



ANÁLISE TÉCNICO?ECONÓMICA DA COLOCAÇÃO DE UMA BATERIA NUMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA EM AUTOCONSUMO

JOSÉ RUI NOGUEIRA FREITAS

julho de 2024

**ANÁLISE TÉCNICO–ECONÓMICA DA COLOCAÇÃO
DE UMA BATERIA NUMA INSTALAÇÃO
FOTOVOLTAICA EM AUTOCONSUMO**

José Rui Nogueira Freitas

**Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia**

Orientador: Teresa Alexandre Ferreira Mourão Pinto Nogueira, tan@isep.ipp.pt

Júri:

Presidente: Doutor Fernando Maurício Teixeira De Sousa Dias

Vogais:

Doutora Teresa Alexandre Ferreira Mourão Pinto Nogueira

Doutor Nuno Filipe da Fonseca Bastos Gomes

Resumo

Atualmente, é evidente que o consumo intermitente de energia em instalações fotovoltaicas pode resultar em desperdício. Isso ocorre devido à produção excessiva e à integração dessa energia na rede a preços nulos. A inclusão de baterias de armazenamento apresenta-se como uma solução eficaz para capturar e conservar a energia excedente, permitindo seu uso posterior.

Para a realização deste trabalho, foi necessário estudar os sistemas fotovoltaicos, analisando as diferentes tipologias, sua constituição e as características dos principais componentes. Neste contexto, esta dissertação concentra-se na otimização do consumo de energia em habitações, explorando a viabilidade da integração de um sistema de armazenamento de energia.

Este estudo de caso tem como principal objetivo avaliar a viabilidade da aplicação de sistemas de armazenamento de energia em sistemas solares fotovoltaicos para autoconsumo residencial. A avaliação é realizada por meio de dois cenários distintos: no primeiro, uma habitação já possui um sistema fotovoltaico instalado e foi submetida a um retrofit; no segundo, a mesma habitação não possuía qualquer sistema fotovoltaico previamente instalado. Para ambos os cenários, foram analisadas diversas capacidades de armazenamento de diferentes marcas de baterias, estudadas em conjunto com diferentes potências do campo solar (2,67 kWp e 4,01 kWp).

Para avaliar a viabilidade das soluções analisadas em ambos os cenários em estudo, foram tidos em conta os seguintes indicadores técnicos: autoconsumo direto, energia injetada na rede, consumo da bateria e redução do consumo da rede elétrica. A nível económico foram tidos em conta os seguintes indicadores: VAL, TIR e PRC.

Os resultados obtidos neste estudo revelam a importância crucial de um dimensionamento adequado do sistema de produção e armazenamento de energia para a integração eficiente de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica. Esta otimização não só beneficia os consumidores, reduzindo os custos de energia, mas também promove a sustentabilidade ambiental e fortalece a estabilidade da rede elétrica pública.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico, autoconsumo, armazenamento de energia, baterias

Abstract

Intermittent energy consumption in photovoltaic installations can lead to wastage due to overproduction and the integration of excess energy into the grid at zero cost. Storage batteries provide an effective solution for capturing and conserving surplus energy, thus enabling its later use.

To develop this work, it was necessary to research photovoltaic systems and analyze their various types, components, and characteristics. This dissertation focuses on improving household energy usage and investigating the potential for incorporating an energy storage system.

The main objective of this case study is to assess the feasibility of implementing energy storage systems for residential solar photovoltaic systems.

The assessment includes two scenarios: one where a house already has a photovoltaic system and has been retrofitted, and another where the house had no photovoltaic system previously. In both scenarios, different storage capacities of various battery brands were analyzed along with different solar field powers (2.67 kWp and 4.01 kWp).

To evaluate the viability of the solutions in both scenarios, we consider technical indicators such as direct self-consumption, energy injected into the grid, battery consumption, and reduction in grid consumption. We also consider economic indicators like NPV, IRR, and PRC.

The results from this study highlight the critical importance of properly sizing the energy production and storage system for effectively integrating renewable sources like photovoltaic solar energy. This optimization not only reduces energy costs for consumers but also promotes environmental sustainability and enhances the stability of the public electricity grid.

Keywords: Photovoltaic system, self-consumption, energy storage, batteries

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha profunda gratidão à Nortécnica-Representações e Técnica S.A. e a todos os seus colaboradores pela oportunidade de desenvolver este projeto e pela forma acolhedora como me receberam. Em particular, gostaria de agradecer aos engenheiros Rui Silva e Pedro Santos pela sua simpatia, paciência e apoio contínuo. A sua orientação e conhecimentos foram essenciais para que este projeto pudesse corresponder às necessidades e expectativas da empresa.

Agradeço também ao meu orientador do Instituto Superior de Engenharia do Porto, a professora Teresa Nogueira. A sua disponibilidade, prontidão e sábios conselhos foram fundamentais ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de fazer um agradecimento especial aos meus amigos. A entreaajuda, o companheirismo e os momentos passados juntos durante estes últimos cinco anos foram inestimáveis. A partilha de experiências e a amizade genuína criada neste período enriqueceram não só a minha vida académica, mas também a pessoal.

Por fim, não poderia deixar de dedicar umas palavras especiais à minha família. O vosso apoio incondicional foram fundamentais em todos os momentos. A paciência, encorajamento e confiança que depositaram em mim foram a força que me impulsionou a superar desafios e a alcançar este importante marco na minha vida.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Contextualização e Motivação.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura.....	3
2	Armazenamento de Energia em Sistemas Fotovoltaicos	5
2.1	Caracterização Geral.....	5
2.1.1	Visão Geral	5
2.1.2	Tecnologias de Armazenamento	7
2.2	Sistemas de Autoconsumo	7
2.2.1	Enquadramento	7
2.2.2	UPAC - Unidades de Produção para Autoconsumo	9
2.2.3	Legislação em Vigor	9
2.2.3.1	Condições de acesso e de exercício de atividade	10
2.2.3.2	Remuneração do Excedente	10
2.2.4	Arquitetura de um Sistema de Autoconsumo	11
2.2.4.1	Módulos FV.....	11
2.2.4.2	Inversor.....	12
2.2.4.3	Baterias Recarregáveis - Características e Definições	13
2.2.4.4	Baterias Recarregáveis - Parâmetros/Conceitos Fundamentais das Baterias 14	
2.2.4.5	Baterias Recarregáveis - Tipos de Baterias.....	15
2.2.4.6	Baterias Recarregáveis - Tipos de Baterias Existentes no Mercado	18
2.2.4.7	Regulador/Controlador de Carga	19
3	Caso de Estudo e Metodologia.....	21
3.1	Caracterização da Habitação	21
3.2	Perfil de Consumo.....	23
3.3	Perfil de Produção	23
3.4	Metodologia Utilizada no Tratamento de Dados	24
3.4.1	Tratamento de Dados Energéticos no PVSOL	25
3.4.2	Tratamento de Dados Económicos no EXCEL.....	26
3.5	Escolha de Equipamentos.....	27
3.5.1	Módulo Fotovoltaico.....	27
3.5.2	Inversor e Sistemas de Armazenamento	27

3.6	Preço do Sistema de Autoconsumo	29
3.7	Pressupostos Técnicos e Económico.....	30
3.8	Indicadores de Rentabilidade	30
4	Análise de Resultados	33
4.1	Cenário 1 – Habitação com <i>Retrofit</i> de UPAC - Viabilidade e Benefícios da Implementação de Soluções com e sem Armazenamento	33
4.1.1	Sistemas de Autoconsumo sem Armazenamento	33
4.1.1.1	Configuração - Campo Solar 2,67 kWp.....	33
4.1.1.2	Configuração - Campo Solar 4,01 kWp.....	35
4.1.2	Sistemas de Autoconsumo com Armazenamento.....	37
4.1.2.1	Configuração - Campo Solar 2,67 kWp.....	37
4.1.2.2	Configuração - Campo Solar 4,01 kWp.....	41
4.1.3	Campo Solar 2,67 kWp Vs Campo Solar 4,01 kWp.....	45
4.1.4	Análise Económica.....	46
4.2	Cenário 2 – Instalação de Sistemas Fotovoltaicos em Habitação sem Instalação Prévia: Viabilidade e Benefícios da Implementação de Soluções com e sem Armazenamento.....	48
4.2.1	Sistemas de autoconsumo sem armazenamentos	48
4.2.1.1	Configuração - Campo Solar 2,67 kWp.....	48
4.2.1.2	Configuração - Campo Solar 4,01 kWp.....	50
4.2.2	Sistemas de Autoconsumo com Armazenamento.....	52
4.2.2.1	Configuração - Campo Solar 2,67 kWp.....	52
4.2.2.2	Configuração - Campo Solar 4,01 kWp.....	56
4.2.3	Campo Solar 2,67 kWp Vs Campo Solar 4,01 kWp.....	60
4.2.4	Análise Económica.....	61
4.3	Comparação e Interpretação de Resultados	62
4.3.1	Análise energética dos cenários de operação	62
4.3.2	Síntese dos Resultados Económicos	63
5	Conclusão.....	65
5.1	Análise Conclusiva.....	65
5.2	Perspetivas de Trabalho Futuro.....	66
	Referências.....	67
	ANEXOS.....	69
	Anexo A - Perfis de consumo de ambos os cenários.....	69

Anexo B - Indicadores Energéticos Mensais	71
Anexo C - Viabilidade Económica das soluções Analisadas.	77

Índice de Figuras

Figura 1 - Produção Vs Consumo de sistema solar fotovoltaico sem baterias [8].	6
Figura 2 - Produção Vs Consumo de sistema solar fotovoltaico com bateria [8].	6
Figura 3 - Tecnologias de Armazenamento de Energia Elétrica [7].	7
Figura 4 - Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico [11].	8
Figura 5 - Evolução das UPAC's 2015-2021 [14].	9
Figura 6 - Processo de Autoconsumo [15].	10
Figura 7 - Constituição dos painéis fotovoltaicos [16].	11
Figura 8 - Evolução do Custo e/Wp da tecnologia Fotovoltaica [12].	11
Figura 9 - Inversor Solar Híbrido HUAWEI SUN2000 [18].	13
Figura 10 - Processo de carga/descarga de uma bateria [19].	14
Figura 11 - Constituição de uma bateria Chumbo-Ácido [19].	16
Figura 12 - Constituição de uma bateria Níquel-Cádmio [19].	17
Figura 13 - Evolução do custo das baterias Lítio [23].	17
Figura 14 - Características dos diferentes tipos de baterias [8].	18
Figura 15 - Esquematização do controlador de carga da bateria [3].	20
Figura 16 - Regime Tarifário [30].	22
Figura 17 - Tarifa Tri-Horária [31].	22
Figura 18 - Consumo anual (kWh).	23
Figura 19 - Produção anual (kWh/ano).	24
Figura 20 - Características da UPAC.	34
Figura 21 - Distribuição da Energia Produzida.	34
Figura 22 - Consumo Total.	34
Figura 23 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP.	35
Figura 24 - Características da UPAC.	35
Figura 25 - Distribuição da Energia Produzida.	36
Figura 26 - Consumo Total.	36
Figura 27 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP.	37
Figura 28 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.	39
Figura 29 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.	40
Figura 30 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias ENPHASE/HUAWEI.	40
Figura 31 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.	43
Figura 32 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.	44
Figura 33 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias ENPHASE/HUAWEI.	44
Figura 34 - Redução da energia proveniente da RESP (BYD).	45
Figura 35 - Redução da energia proveniente da RESP (LG).	45
Figura 36 - Redução da energia proveniente da RESP (ENPHASE/HUAWEI).	46
Figura 37 - Consumo anual de uma habitação sem sistema fotovoltaico (kWh).	48
Figura 38 - Características da UPAC (Cenário 2).	49

Figura 39 - Distribuição da Energia Produzida (Cenário 2).	49
Figura 40 - Consumo Total (Cenário 2).	50
Figura 41 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP (Cenário 2).	50
Figura 42 - Características da UPAC (Cenário 2).	51
Figura 43 - Distribuição da Energia Produzida (Cenário 2).	51
Figura 44 - Consumo Total (Cenário 2).	51
Figura 45 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP (Cenário 2).	52
Figura 46 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.	55
Figura 47 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.....	55
Figura 48 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.	56
Figura 49 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.	58
Figura 50 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.....	59
Figura 51 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias ENPHASE/HUAWEI.	59
Figura 52 - Redução da energia proveniente da RESP (BYD).	60
Figura 53 - Redução da energia proveniente da RESP (LG).....	60
Figura 54 - Redução da energia proveniente da RESP (ENPHASE/HUAWEI).	61

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características da Instalação.	21
Tabela 2 - Inversores e baterias (Cenário 1).....	27
Tabela 3 - Inversores e baterias (Cenário 2).....	28
Tabela 4 - Preços do sistema de autoconsumo com e sem armazenamento (Cenário 1).	29
Tabela 5 - Preços do sistema de autoconsumo com e sem armazenamento (Cenário 2).	29
Tabela 6 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>BYD</i> , análise anual.	37
Tabela 7 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>LG</i> , análise anual.....	38
Tabela 8 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>ENPHASE/HUAWEI</i> , análise anual.	38
Tabela 9 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>BYD</i>	41
Tabela 10 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>LG</i>	42
Tabela 11 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>ENPHASE/HUAWEI</i>	42
Tabela 12 – Análise Económica, Cenário 1.....	47
Tabela 13 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>BYD</i>	52
Tabela 14 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>LG</i>	53
Tabela 15 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>ENPHASE/HUAWEI</i>	54
Tabela 16 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>BYD</i>	56
Tabela 17 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>LG</i>	57
Tabela 18 - Comparação entre s/Baterias e Baterias <i>ENPHASE/HUAWEI</i>	57
Tabela 19 – Análise Económica, Cenário 2.....	61

Acrónimos e Siglas

BMS	Sistemas de Gerenciamento de Baterias
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CO2	Dióxido de Carbono
DC	Potência Elétrica Contínua
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ESS	Energy Storage Systems
IEC	International Electrotechnical Commission
IVA	Imposto sobre Valor Acrescentado
PRC	Período de Recuperação do Capital
PV	Energia Fotovoltaica
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
SERUP	Registo de Unidades de Produção
TIR	<i>Taxa Interna de Retorno</i>
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo
VAL	Valor Atual Líquido

1 Introdução

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito da unidade curricular Estágio/Dissertação, que integra o segundo ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica-Sistemas Elétricos de Energia, do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Esta Dissertação foi desenvolvida, na empresa Nortécnica-Representações e Técnica S.A, cuja atividade incide na distribuição de material elétrico e soluções técnicas, nomeadamente na área da automação, iluminação, corte e proteção, material de instalação e cabos elétricos. Neste primeiro capítulo são apresentados os objetivos do projeto, bem como a sua contextualização, identificando o problema que se pretende resolver e os resultados que se pretendem obter.

1.1 Contextualização e Motivação

A crescente preocupação com as alterações climáticas e a necessidade de alcançar as metas do acordo de Paris torna cada vez mais urgente a transição para uma sociedade com baixas emissões de dióxido de carbono (CO₂). A adoção de fontes de energia renovável para a produção de eletricidade desempenha um papel fundamental nesta transição, pois está diretamente ligado à diminuição das emissões de CO₂ [1].

Nos últimos anos, tem sido notável o crescente protagonismo da geração de eletricidade a partir de fontes de energia renovável, incluindo a energia hídrica, eólica, solar e a biomassa. Dentro deste panorama de fontes limpas de energia e suas tecnologias de conversão correspondentes, a energia fotovoltaica (PV) destaca-se como líder indiscutível no que se refere à expansão da capacidade instalada em nível global [2]. Este facto remete para a otimização da sua utilização, desenvolvendo-se novas metodologias de controlo que permitam melhorar o funcionamento destes sistemas, beneficiando o produtor e o consumidor de energia elétrica [3].

Em Portugal, ao longo dos anos, foram previstos vários centros de produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renovável. Além destes centros de grande produção, também foram promulgadas leis que possibilitam que a população instale nas suas casas ou empresas,

pequenas centrais de produção de energia que garantem uma parte de suas necessidades energéticas. Isso ocorre principalmente por meio da energia solar, seja para o aquecimento de água através de painéis solares ou para a geração de eletricidade por meio de módulos fotovoltaicos [4].

Apoiando o movimento de energia renovável descentralizada, são identificados alguns inconvenientes relacionados com a sua utilização, nomeadamente a disponibilidade dos recursos naturais. Direcionando o estudo para a geração solar fotovoltaica em autoconsumo, é notória a dependência das condições meteorológicas para a produção de energia, evidenciando a intermitência associada à utilização destas tecnologias. Para combater esses fatores, podem ser acoplados à instalação fotovoltaica sistemas de armazenamento de energia, como baterias, de forma a complementar o recurso energético, permitindo assim um maior controle da fonte de geração fotovoltaica [3].

No caso de um consumo contínuo durante o dia, a motivação económica é cada vez mais atraente. No entanto, nas situações frequentes em que o consumo não é constante, pode ocorrer que muita energia produzida seja desperdiçada, sendo fornecida à rede de preços nulos, especialmente em situações de baixa potência. A colocação de um sistema de armazenamento de energia com bateria pode ser uma forma de garantir que a energia não consumida no local de produção seja armazenada para uso posterior. Além disso, se o consumo local estiver sujeito a um sistema tarifário com preços diferenciados ao longo do dia, a energia mais barata poderá ser aproveitada para armazenar e disponibilizar para consumo quando estiver mais cara. No entanto, o custo ainda elevado das baterias, embora cada vez mais competitivo, levanta dúvidas sobre a solução económica dessa solução.

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é avaliar a viabilidade energética e económica da implementação de sistemas de armazenamento de energia em conjunto com sistemas fotovoltaicos de autoconsumo. Pretende-se realizar uma análise abrangente que aborde tanto os aspetos técnicos quanto os económicos, com o intuito de determinar a melhor configuração possível para maximizar a eficiência e a rentabilidade desses sistemas.

Especificamente, a dissertação busca analisar as várias tecnologias de armazenamento de energia disponíveis no mercado e suas compatibilidades com sistemas fotovoltaicos de autoconsumo. A avaliação do desempenho técnico dessas tecnologias é examinada em termos de autoconsumo, injeção na rede, redução da energia proveniente da Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), capacidade de armazenamento, entre outros. Além disso, será realizado um estudo abrangente dos custos associados à implementação de sistemas de armazenamento de energia, incluindo despesas de aquisição, instalação e manutenção, comparando os custos com os benefícios económicos gerados.

Através destes objetivos, a dissertação busca aumentar a compreensão e a difusão de soluções energeticamente eficientes e economicamente viáveis, incentivando o uso de fontes de energia renováveis e o desenvolvimento sustentável.

1.3 Estrutura

O presente relatório está organizado em cinco capítulos, os quais foram estruturados e descritos de forma a proporcionar ao leitor uma compreensão abrangente sobre o projeto realizado.

O primeiro capítulo aborda a "Introdução", onde se apresenta o contexto do trabalho desenvolvido, os objetivos correspondentes e as motivações que fundamentam a escolha deste tema.

No segundo capítulo, "Armazenamento de Energia em Sistemas Fotovoltaicos", destaca-se a importância do armazenamento de energia nos sistemas fotovoltaicos de autoconsumo, assim como as diversas formas de armazenamento. Neste capítulo, explora-se também o sistema fotovoltaico de autoconsumo, abordando aspectos como legislação e arquitetura do sistema.

O terceiro capítulo foca-se no "Caso de Estudo e Metodologia", abordando a caracterização do local de consumo analisado e detalhando a metodologia utilizada no desenvolvimento desta dissertação.

No quarto capítulo, procede-se à análise dos resultados obtidos. Neste capítulo, são apresentados os resultados, acompanhados pela sua análise, clarificando as suas características mais relevantes.

No último capítulo, o capítulo cinco, são expostas as considerações finais, tendo como base toda a análise e resultados obtidos ao longo desta dissertação. São ainda indicadas algumas diretrizes para trabalhos futuros.

2 Armazenamento de Energia em Sistemas Fotovoltaicos

2.1 Caracterização Geral

2.1.1 Visão Geral

Quando se considera a energia proveniente de recursos renováveis, há, por vezes, uma falta de exatidão quanto à previsão, devido ao facto do processo ser estocástico. A compensação da imprevisibilidade é atenuada com recurso ao armazenamento de energia [5].

Os sistemas de armazenamento de energia, conhecidos como *Energy Storage Systems* (ESS), desempenham um papel crucial na otimização dos recursos energéticos disponíveis atualmente [6]. Existem inúmeras aplicações presentes no nosso dia a dia, que requerem de um ESS. Um exemplo vulgar são as baterias dos nossos smartphones e computadores portáteis. Estes exemplos de utilização, evidenciam a importância dos ESS na execução das nossas atividades diárias, uma vez que, grande parte dos cidadãos comuns no modelo da sociedade onde estamos inseridos utiliza um smartphone ou tem acesso a um computador portátil. Uma das aplicações dos ESS, que também é bastante relevante, do ponto de vista de armazenamento de energia em larga escala, é o armazenamento de energia ao nível da rede elétrica. Além da função primordial, de armazenar a energia, permitem também, resolver outros desafios impostos pelos sistemas da rede elétrica, nomeadamente compensar falhas de geração de energia, de modo a garantir a continuidade de serviço, equilibrar os picos de tensão, regular a frequência da rede e particularmente, garantir a estabilidade da rede elétrica [7].

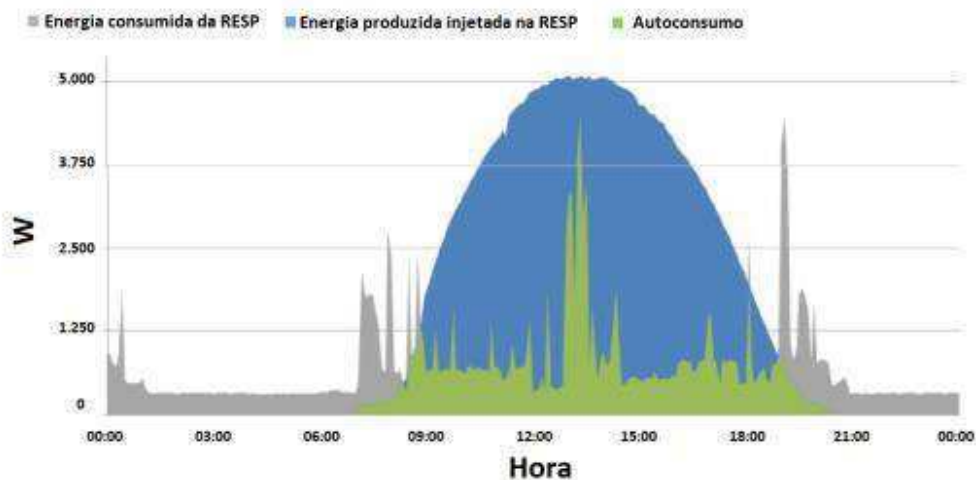


Figura 1 - Produção Vs Consumo de sistema solar fotovoltaico sem baterias [8].

Na Figura 1, é possível visualizar o perfil diário típico de um sistema ligado à rede sem armazenamento.

Por volta do intervalo compreendido entre as 9h00 e as 18h00, o sistema é capaz de fornecer energia suficiente para abastecer as instalações, com o excedente sendo direcionado para a RESP. Nas horas restantes, quando a energia solar não está disponível, há a necessidade de utilizar a energia proveniente da RESP para suprir as necessidades energéticas, como evidenciado na Figura 1.

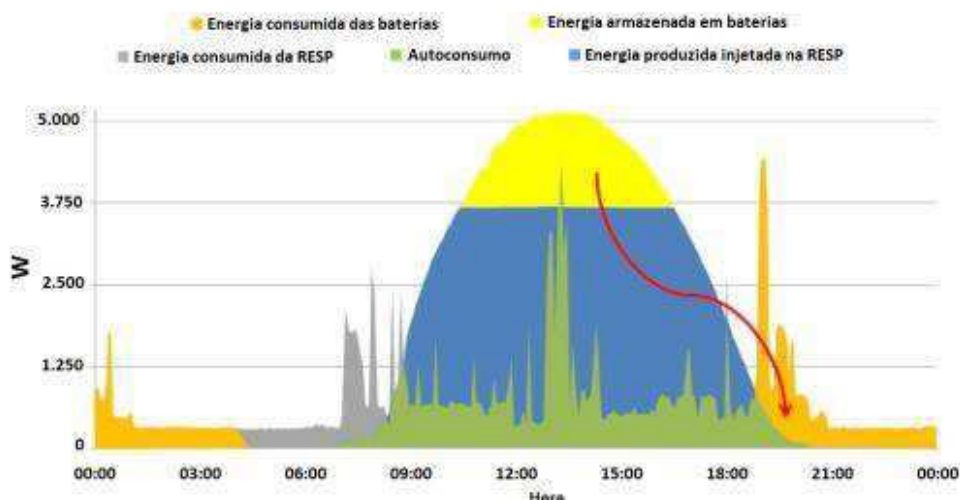


Figura 2 - Produção Vs Consumo de sistema solar fotovoltaico com bateria [8].

Em relação à Figura 2, observa-se que a integração de um ESS permite o armazenamento de energia produzida por um sistema fotovoltaico durante o dia, viabilizando a sua utilização nos períodos de pico. É importante salientar que, esta transferência de energia só fará sentido se o encargo do kWh armazenado for menor do que o encargo do kWh da RESP.

2.1.2 Tecnologias de Armazenamento

Esta seção tem como objetivo ilustrar as principais tecnologias utilizadas nos sistemas de armazenamento de energia. Posteriormente, será dada maior ênfase ao sistema de armazenamento de energia que faz uso de baterias, dado que o lítio é o metal primário escolhido pelos fabricantes devido a uma série de fatores, incluindo o peso reduzido e a alta densidade energética.



Figura 3 - Tecnologias de Armazenamento de Energia Elétrica [7].

Dada a complexidade do armazenamento de energia elétrica, esta é frequentemente convertida em outras formas de energia, como energia mecânica, eletroquímica, química e térmica, para depois ser reconvertida em energia elétrica de acordo com as necessidades. Na Figura 3, encontram-se representadas as distintas tecnologias de armazenamento de energia elétrica [7].

A escolha e projeto do ESS tem de ter em consideração os diferentes fatores de dimensionamento, tais como a capacidade de armazenamento, a potência disponível, o tempo de descarga, a eficiência, a durabilidade (número de ciclos de carga e descarga), a autonomia, o custo e o impacto ambiental [6].

2.2 Sistemas de Autoconsumo

2.2.1 Enquadramento

O mercado fotovoltaico foi impulsionado por políticas de incentivo, oferecendo tarifas remuneratórias bastante atrativas. Essas políticas de incentivo variaram ao longo do tempo, de acordo com a estratégia adotada por cada país. Inicialmente, Portugal adotou um sistema de tarifas bonificadas "feed-in", proporcionando um valor fixo por kWh produzido aos produtores

independentes por um período determinado. Atualmente, está em transição para o paradigma do autoconsumo, eliminando essas tarifas.

A maioria dos sistemas fotovoltaicos está conectada à rede elétrica, diferentemente dos sistemas isolados. Isso significa que a produção local de energia solar não precisa corresponder necessariamente ao consumo local, se estiver conectada à rede. Tradicionalmente, a eletricidade era gerada em grandes centrais e distribuída aos consumidores por uma extensa rede de linhas de transmissão. Com a geração intermitente da energia solar, os sistemas de pequena escala estão mais próximos dos consumidores para atender às suas necessidades.

De forma a incentivar a adoção da energia fotovoltaica no sistema de energia, diversos países implementaram políticas de apoio para compensar a diferença entre os custos de produção e a receita da eletricidade gerada por painéis solares. No entanto, atualmente, o custo da eletricidade fotovoltaica autoproduzida é mais baixo do que o preço de retalho da eletricidade em alguns países, o que torna o autoconsumo lucrativo sem subsídios [9].

Define-se Autoconsumo, como o consumo de energia elétrica produzida por uma ou mais unidades de produção para autoconsumo (UPAC) e realizado por um ou mais consumidores finais, que produzem energia renovável para consumo próprio, denominando-se a estes de autoconsumidores. Este regime permite ao autoconsumidor o consumo de energia em forma de autoconsumo, o armazenamento da energia ou caso haja excedentes, a sua venda à rede através dos mercados de eletricidade, Figura 4 [10].



Figura 4 - Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico [11].

2.2.2 UPAC – Unidades de Produção para Autoconsumo

As UPAC são unidades de produção de autoconsumo onde a sua fonte primária é de origem renovável com o objetivo de satisfazer as suas necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica, minimizando a importação de energia da RESP, tornando-se um sistema bastante vantajoso para o consumidor [9],[12].

A energia produzida pela UPAC tem como prioridade alimentar a instalação, e a energia excedente pode ser vendida e injetada na RESP, como referido anteriormente. Esta energia produzida destina-se a consumo próprio, priorizando o abastecimento direto no local de produção. O cenário ideal seria que esse sistema fosse capaz de suprir toda a demanda de energia do consumidor, dispensando, assim, a compra de eletricidade (energia proveniente/adquirida à RESP) [13]. A energia proveniente da UPAC é totalmente consumida caso seja igual ou inferior ao consumo local. Caso seja insuficiente, a ligação à RESP permite que a instalação seja alimentada com energia proveniente da RESP. Em situações de excesso de produção, resultando em excedente de energia, esta pode ser injetada na rede ou armazenada, caso haja sistemas de armazenamento instalados, para uso posterior [10].

Quanto aos tipos de UPAC's, estas podem ser privadas, comerciais ou até industriais, podendo estar conectadas à rede elétrica ou operar de forma independente [11].



Figura 5 - Evolução das UPAC's 2015-2021 [14].

De acordo com os dados fornecidos pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG): entre 2015 e 2021 a UPAC fotovoltaica cresceu cerca de 90%, sendo residual a utilização de UPAC's de fonte não solar, Figura 5 [14].

2.2.3 Legislação em Vigor

No contexto português, existe o enquadramento legal estipulado pelo Decreto-Lei nº 153/2014, de 20 de outubro, que define os regimes jurídicos referentes à produção de eletricidade destinada ao autoconsumo. O propósito principal desta legislação é ajustar o atual modelo de geração distribuída de energia ao padrão de consumo observado localmente.

2.2.3.1 Condições de acesso e de exercício de atividade

De acordo com a legislação em vigor [15]:

- A UPAC com potência instalada igual ou inferior a 700 W está isento de controlo prévio, desde que não esteja prevista a injeção de excedente na RESP;
- A UPAC com potência instalada superior a 700 W e igual ou inferior a 30 kW está sujeita a comunicação prévia;
- A UPAC com potência instalada superior a 30 kW e igual ou inferior a 1 MW está sujeita a registo prévio e certificado de exploração;
- A UPAC com potência instalada superior 1 MW está sujeita a atribuição de licença de produção e de exploração.
- O licenciamento é efetuado através do Registo de Unidades de Produção (SERUP);
- A potência de ligação da UPAC tem de ser inferior à potência contratada.

Registo	Cadastro			Certificação
1. Registo no Portal DGE	3. Atribuição de Cadastro Aceitação de condições ORD			7. Certificação Inspeção
2. Pronúncia ORD Análise viabilidade de potência a injetar na rede	4. Instalação Produção Criação CPE Produção	5. Análise Contagem Comunicação cliente Substituição contador Comunicação cliente - Final	6. Proteção Interligação Comunicação Pot. Ligação > 250kW Elementos projeto Análise projeto Ensaio promotor	8. Certificação Instalação preparada para receber contrato

Figura 6 - Processo de Autoconsumo [15].

2.2.3.2 Remuneração do Excedente

O cálculo da remuneração do excedente injetado na RESP, é obtido através da equação 1 [4]:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \cdot OMIE_m \cdot 0,9 \quad (1)$$

Onde 'm' representa o mês em questão, $R_{UPAC,m}$ o valor da remuneração pela energia fornecida à RESP em € no mês 'm', $E_{fornecida,m}$ a energia injetada na RESP proveniente da UPAC em kWh no mês 'm' e $OMIE_m$ o valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do OMIE para Portugal também relativo ao mês 'm'.

2.2.4 Arquitetura de um Sistema de Autoconsumo

2.2.4.1 Módulos FV

A energia fotovoltaica é gerada através de tecnologia que converte a luz solar em potência elétrica contínua (DC), medida em *Watts*, utilizando materiais semicondutores. Essa conversão ocorre nos módulos fotovoltaicos, compostos por células fotovoltaicas que produzem uma determinada tensão e corrente adequadas à instalação, além de proporcionar proteção às células. Esses módulos, quando agrupados, formam o que é conhecido como painel fotovoltaico, Figura 7 [9].

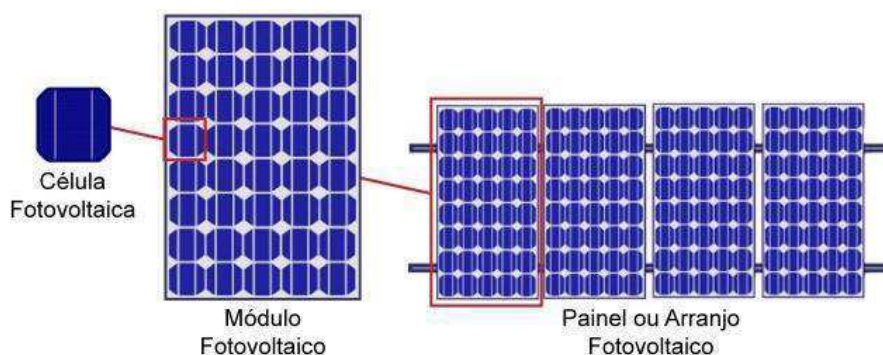


Figura 7 - Constituição dos painéis fotovoltaicos [16].

No mercado atual, os módulos fotovoltaicos predominantes são os monocristalinos e policristalinos. Ao longo dos anos, tem-se evidenciado o crescimento das tecnologias de 1ª geração, destacando-se a produção de 89.7GWp de tecnologia monocristalina em 2019, representando mais de 60% da produção anual nesse ano.

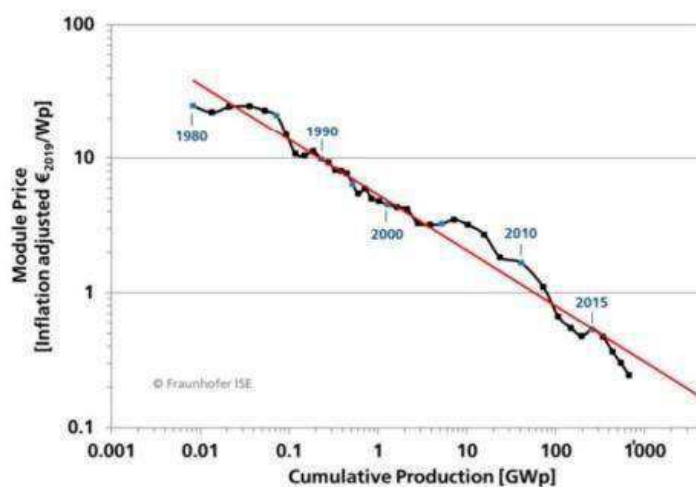


Figura 8 - Evolução do Custo e/Wp da tecnologia Fotovoltaica [12].

Esta tendência parece manter-se, uma vez que o custo da tecnologia fotovoltaica tem vindo a diminuir ao longo do tempo, conforme evidenciado na Figura 8. A linha de tendência, representada pela linha vermelha na Figura 8, demonstra que, à medida que a produção acumulada aumenta, há uma redução no preço por Watt instalado. Dessa forma, sempre que o valor da produção acumulada duplica, o preço da tecnologia diminui 25%.

2.2.4.2 Inversor

No contexto dos sistemas de energia solar fotovoltaica, os inversores desempenham um papel crucial, quase tão significativo quanto os próprios painéis fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos produzem energia em corrente contínua (CC) que precisa de ser convertida em corrente alternada (CA), assim como ajustar a frequência, em compatibilidade com o sistema elétrico onde vão ser instalados [17].

Além disso, os inversores desempenham um papel fundamental na proteção do sistema, isto é, interrompem a conexão entre a rede elétrica e o sistema fotovoltaico se os níveis de corrente, tensão ou frequência não estiverem dentro dos parâmetros aceitáveis estabelecidos pelos padrões da rede elétrica, tanto no lado da produção quanto na rede. Em casos nos quais não há energia na rede, seja por falha ou operações de manutenção, os inversores isolam o gerador fotovoltaico da rede, reduzindo consideravelmente o risco de contatos diretos ou indiretos [9].

Os inversores podem ser classificados com a sua possibilidade ou não de ligação à RESP, ou seja, inversores ligados à rede (*on-grid*) e inversores autónomos (*off-grid*). Relativamente, aos inversores *on-grid* são especificamente concebidos para operar em conjunto com a RESP. Deste modo, os inversores estarão constantemente ligados à rede e, é imprescindível possuírem capacidade de garantir uma corrente AC com qualidade, isto é, assegurar um sinal livre de distorções harmónicas. Adicionalmente, estes equipamentos devem ser capazes de encontrar qualquer irregularidade que possa surgir na rede elétrica, nomeadamente tensões ou frequência flutuantes e especialmente quedas de tensões. Por outro lado, os inversores *off-grid* são utilizados para alimentar cargas diretamente, dependendo exclusivamente de um sistema de armazenamento com baterias. Estes inversores são comumente utilizados em sistemas fotovoltaicos isolados, uma vez que, não possuem capacidade de se ligarem à RESP [7].

Atualmente, e tendo em conta o caso de estudo deste projeto, existe a possibilidade de instalar um inversor híbrido. Similar a um inversor tradicional, este dispositivo converte energia de corrente contínua em corrente alternada, porém possui a capacidade adicional de armazenar energia AC em baterias, Figura 9.



Figura 9 - Inversor Solar Híbrido HUAWEI SUN2000 [18].

2.2.4.3 Baterias Recarregáveis – Características e Definições

O armazenamento de energia elétrica é um tema central no aproveitamento da energia renovável (fotovoltaica), uma vez que a produção e consumo podem não estar alinhados ao longo do dia e, conseqüentemente, ao longo do ano [3]. Este desalinhamento resulta em flutuações na potência de saída, uma preocupação crítica para aplicações em redes elétricas.

As baterias recarregáveis são uma solução para este problema, pois quando integradas num sistema fotovoltaico, são carregadas durante o dia, armazenando energia, e descarregadas à noite, uma vez que são capazes de transformar diretamente a energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter a energia potencial química em energia elétrica [3],[9].

Posto isto, uma bateria é um elemento capaz de armazenar energia e é composta por uma ou mais células eletroquímicas, que podem ser dispostas em série ou em paralelo. Uma célula é considerada a unidade fundamental responsável por converter energia química armazenada em seu interior em energia elétrica. Cada célula é composta por três elementos principais:

- **Ânodo ou eletrodo negativo:** liberta elétrons para o circuito externo, sofrendo oxidação durante esta reação química;
- **Cátodo ou eletrodo positivo:** recebe os elétrons oriundos do circuito externo, sofrendo redução durante esta reação eletroquímica;
- **Eletrólito:** é um condutor iônico situado entre os dois eletrodos e permite o fluxo de elétrons [19].

Este tipo de baterias tem capacidade de armazenamento e fornecimento de energia elétrica por meio de reações químicas de oxidação-redução que ocorrem no seu interior. Ao contrário das baterias primárias, onde a ocorrência química é unidirecional, nas secundárias esse

processo é reversível, permitindo a recarga após o esgotamento dos reagentes, evitando assim o descarte após o uso [9].

A célula eletroquímica converte energia elétrica em química, durante o carregamento e energia química em elétrica durante o descarregamento. Durante o estado de descarregamento a célula eletroquímica está ligada a uma carga elétrica externa, o ânodo liberta elétrons, ou seja, é oxidado. Estes elétrons fluem através de um circuito externo para o cátodo, onde são aceites e, portanto, o cátodo é reduzido. O circuito elétrico completa-se no eletrólito devido ao fluxo de aniões e catiões para o ânodo e o cátodo, respetivamente. Relativamente, ao estado de carregamento, fluxo de corrente é invertido. A oxidação ocorre no eléctrodo positivo e a redução ocorre no eléctrodo negativo, que neste caso correspondem ao ânodo e ao cátodo, respetivamente, devido ao facto de o ânodo ser, por definição, o local onde ocorre a oxidação, Figura 10 [20].

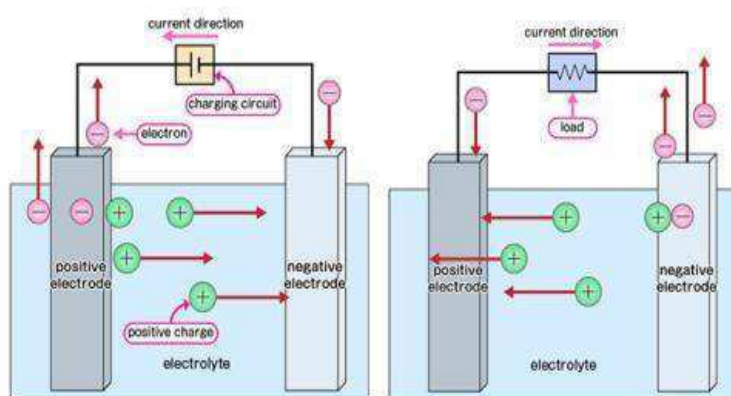


Figura 10 - Processo de carga/descarga de uma bateria [19].

2.2.4.4 Baterias Recarregáveis - Parâmetros/Conceitos Fundamentais das Baterias

A seleção adequada do tipo de bateria a utilizar é uma tarefa crucial que pode influenciar o dimensionamento da instalação. Neste sentido, é essencial definir quais as características relevantes, de modo a realizar uma comparação justa entre todas as possibilidades. Deste modo, as principais características a ter em conta são: a capacidade da bateria, a profundidade de descarga (*DOD* - *Depth of Discharge*), o estado de carga (*SOC* - *State of Charge*), o estado de saúde (*SOH* - *State of Health*), o tempo de vida útil, a auto descarga e a eficiência energética [3], [19],[21].

- **Capacidade da bateria (Ah)** - Quantidade de energia que esta pode fornecer até ficar totalmente descarregada, em determinadas condições de operação;
- **Profundidade de descarga (%)** - Este parâmetro indica a percentagem da capacidade nominal da bateria disponível para o armazenamento de energia;

- **Estado de carga (%)** - Este parâmetro é definido pela razão entre a capacidade disponível e a capacidade nominal da bateria e permite conhecer o tempo que uma dada bateria pode fornecer energia;
- **Estado de saúde** - O estado de saúde (SOH) de uma bateria é definido pela degradação da capacidade da mesma, ou seja, traduz a capacidade de armazenamento e fornecimento de energia de uma bateria comparativamente a uma bateria nova;
- **Tempo de Vida Útil** - A vida útil de uma bateria é limitada e corresponde ao número de ciclos de carga e descarga que se pode realizar antes do não cumprimento de critérios mínimos de funcionamento;
- **Autodescarga** - Este parâmetro representa uma percentagem de energia de descarregada pela bateria quando esta não está a ser utilizada (normalmente cerca de 3% ao mês);
- **Eficiência Energética** - Este parâmetro é determinado pela relação entre a energia liberada e armazenada durante um ciclo completo.

2.2.4.5 Baterias Recarregáveis - Tipos de Baterias

Atualmente, existe uma vasta gama de baterias utilizadas em sistemas de armazenamento de energia, desde chumbo-ácido, níquel-cádmio, iões de lítio, entre outras.

- Baterias Chumbo-Ácido

As baterias de chumbo-ácido, Figura 11, foram inventadas em 1859 pelo eletroquímico francês Gaston Planté. Estas baterias são recarregáveis, confiáveis, de grande capacidade e de baixo custo, tornando-as na tecnologia de armazenamento de energia de menor custo por Wh que está atualmente disponível no mercado para aplicações de sistemas fotovoltaicos [9],[19].

Numa bateria de chumbo-ácido, o eletrólito consiste numa solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄). O material ativo no elétrodo positivo é o dióxido de chumbo (PbO₂), enquanto no elétrodo negativo é o chumbo esponjoso (Pb) [19].

Durante o processo de descarga, o ácido sulfúrico reage com os elétrodos, resultando na produção de água que dilui o eletrólito e sulfato de chumbo (PbSO₄). Durante o carregamento, este processo é invertido, o sulfato de chumbo produzido nos dois elétrodos durante o descarregamento é transformado em chumbo, dióxido de chumbo e ácido sulfúrico.

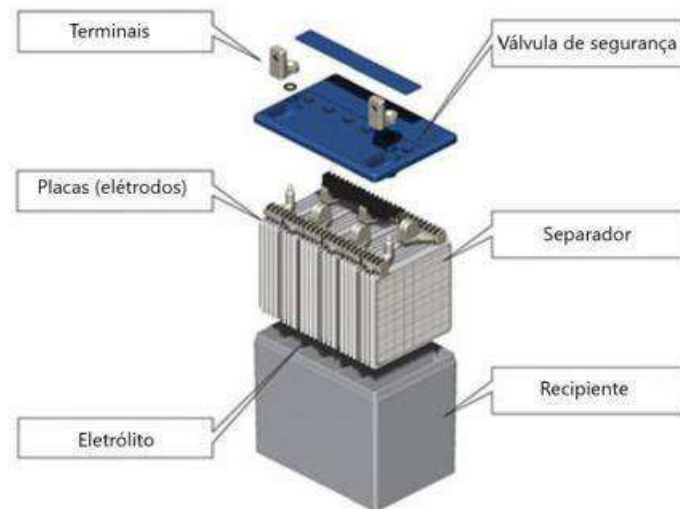


Figura 11 - Constituição de uma bateria Chumbo-Ácido [19].

- Baterias Níquel-Cádmio

As baterias de níquel-cádmio (NiCd), Figura 12, tal como as baterias de chumbo-ácido são um tipo de baterias de armazenamento. Estas baterias foram inventadas em 1899, por Waldemar Jungner, na Suécia [19]. Embora tenham um custo inicial mais elevado em comparação com as baterias de chumbo-ácido, as baterias NiCd destacam-se pelos ganhos operacionais, tais como menor necessidade de manutenção e uma vida útil mais longa. Contudo, o seu preço inicial elevado e a presença de metais tóxicos na sua composição fazem com que esta tecnologia seja menos utilizada em instalações fotovoltaicas [9].

Os materiais ativos destas baterias são o hidróxido de níquel (Ni(OH)_2), presente no eletrodo positivo e o hidróxido de cádmio (Cd(OH)_2), no eletrodo negativo. Os eletrodos encontram-se separados por uma membrana que permite a passagem dos eletrões e iões entre eles, e que por sua vez estão imersos num eletrólito. As espécies Ni(OH)_2 , conhecido como hidróxido de níquel, e NiOOH , também referido como hidroxí(oxo)níquel, são reconhecidas como um par reversível, sendo capazes de se converter uma na outra durante o processo de carga e descarga. Durante uma fase de carga, a energia elétrica proveniente de uma fonte externa é convertida e armazenada como energia química na célula, onde o Ni(OH)_2 oxida-se transformando-se em NiOOH . Durante a descarga, o NiOOH reduz-se, transformando-se em Ni(OH)_2 , libertando energia química armazenada como energia elétrica [19], [20].

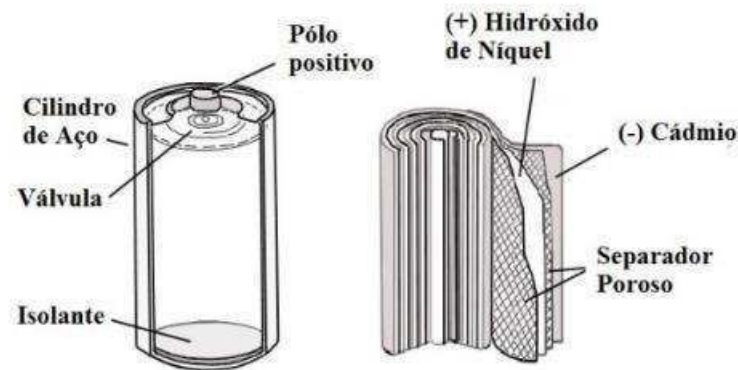


Figura 12 - Constituição de uma bateria Níquel-Cádmio [19].

- Baterias Lítio

O pioneiro a trabalhar com este tipo de célula foi GN Lewis em 1912, porém, só em 1970 as primeiras baterias recarregáveis foram comercializadas [22].

É considerada uma tecnologia altamente promissora e com amplo espaço para evolução. O cátodo é composto por Lítio (Li) na forma de $LiMO_2$, onde M representa um elemento químico (Ni, Co, Mn) capaz de produzir íões de lítio durante o processo de descarga. O ânodo é constituído por carbono, possuindo propriedades capazes de receber e armazenar íões de lítio. Quanto ao eletrólito, é composto por carbonatos orgânicos de lítio.

Uma das vantagens significativas desta bateria reside na sua elevada densidade energética, eficiência elevada, ausência de 'efeito de memória', capacidade para suportar taxas de descarga elevadas, tempo de carregamento rápido e taxas de autodescarga baixas.

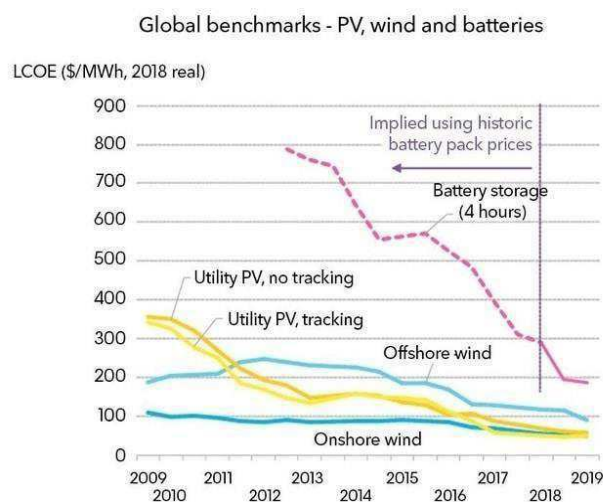


Figura 13 - Evolução do custo das baterias Lítio[23].

Atualmente, as baterias de íons de lítio dominam o mercado, apresentando boas perspectivas de custo dadas as suas características de funcionamento. Na Figura 13, é representada a evolução do custo das baterias de lítio ao longo dos anos [3].

Especificações	Chumbo-Ácido	Níquel-Cádmio	Níquel-Hidreto Metálico	Íão-Lítio
Densidade de energia (Wh/kg)	40	60	80	160
Eficiência (%)	70 - 80	60 - 90	50 - 80	70 - 85
Ciclos de vida (n°)	300	1500	500	700
Tolerância a sobrecargas	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
Taxa de Auto descarga (%/mês)	5	20	30	10

Figura 14 - Características dos diferentes tipos de baterias [8].

A Figura 14, apresenta uma análise comparativa das baterias recarregáveis discutidas anteriormente, enfatizando os parâmetros fundamentais de cada uma. Esta comparação tem como objetivo oferecer uma visão detalhada das diferenças e semelhanças entre as baterias avaliadas.

2.2.4.6 Baterias Recarregáveis - Tipos de Baterias Existentes no Mercado

Atualmente, um número crescente de empresas tem investido no desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento, explorando o vasto potencial das baterias de lítio na integração de múltiplos setores. Entre essas empresas, destacam-se a *LG Chemical*, *Huawei*, *Pylontech*, *Meterboost*, *BYD* e *Salicru*.

Para aplicações estacionárias, a empresa *LG Chemical*, desenvolveu um sistema de armazenamento denominado de *RESU*, disponível para vários modelos com diferente capacidade de energia deste 3.3 kWh a 13.1 kWh. Estes sistemas são aplicados normalmente no setor residencial [3].

Em relação à empresa *Huawei*, destaca-se o desenvolvimento do sistema de armazenamento denominado Luna 2000, especificamente direcionado para consumidores residenciais. Este sistema é caracterizado por um design modular, permitindo uma capacidade total de até 30 kWh, distribuídos em módulos individuais de 5 kWh cada [24].

A empresa *Pylontech*, enquadra-se no mercado de baterias residenciais por meio de soluções básicas em baterias de íons de lítio montadas em rack, apresentando o US2000B e o US3000C como seus principais produtos. O US2000B representa o ponto central da oferta de baterias da *Pylontech*, consistindo num módulo com capacidade nominal de 2,4 kWh e capacidade útil de 2,16 kWh. Já o US3000C é uma versão mais recente do US2000B, especificada por uma robustez aprimorada. A principal diferença reside na sua capacidade nominal, atingindo os 3,55 kWh,

com uma capacidade útil de 3,2 kWh, o que evidencia o esforço contínuo da *Pylontech* em aprimorar suas soluções de armazenamento energético para o mercado residencial [25].

No que diz respeito à *Meterboost*, destaca-se como a única empresa portuguesa a desenvolver e produzir baterias de lítio em território nacional. Destaca-se a série MB48LI, composta por baterias de lítio incorporando um sistema de gerenciamento de bateria (BMS) integrado, projetado para ser utilizado em conjunto com inversores ou carregadores [26].

Quanto à empresa BYD destaca-se com a apresentação de três modelos inovadores: *Battery Box Premium HVS/HVM*, LVL e LVS, cada um oferecendo diferentes capacidades e possibilidades de escalabilidade. O modelo HVS possui uma capacidade que varia entre 5,1 e 38,4 kWh, com módulos de 2,56 kWh cada. Já o modelo HVM apresenta uma capacidade que vai de 8,3 a 66,2 kWh, distribuída em módulos de 2,76 kWh. O modelo LVS, por sua vez, permite ampliações em módulos de 3,7 kWh, tornando-se uma solução ideal para expandir gradualmente a capacidade dos sistemas de baterias em instalações fotovoltaicas. Em cenários que exigem soluções de maior envergadura e escalabilidade mais abrangentes, os modelos LVL são de 15,4 kWh ideal, possibilitando a adição de módulos equivalentes até um total de 64 unidades. Essa configuração permite acumulações de energia que se aproximam de 1 MWh, evidenciando a especificidade e adaptabilidade desses sistemas para diferentes necessidades de armazenamento de energia [27].

Por último, a empresa *Salicru* apresenta o modelo *Equinox 2 Batt*, com capacidades variando entre 5,12 e 20,48 kWh. As baterias *Equinox 2* foram especialmente projetadas para operar em conjunto com os inversores híbridos *Equinox 2*, sejam estas monofásicas ou trifásicas, em conformidade com as regulamentações legais tanto para ambientes domésticos quanto comerciais [28].

2.2.4.7 Regulador/Controlador de Carga

O regulador de carga é um dos principais componentes de um sistema solar fotovoltaico, desempenhando um papel fundamental na extensão da vida útil dos conjuntos de baterias, que como todos sabemos constituem uma das partes mais dispendiosas nestes sistemas solares. A função principal do regulador de carga é proteger as baterias contra sobrecargas ou descargas excessivas, assegurando, deste modo, que toda a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos seja armazenada com máxima eficiência nas baterias.

Os controladores de carga possuem uma série de dispositivos que monitorizam continuamente o estado de carga do sistema, alertando o utilizador para que este possa ajustar a instalação de acordo com as suas necessidades específicas, contribuindo para prolongar a vida útil das baterias. Utilizam-se principalmente em sistemas isolados da rede, ou seja, autónomos, compostos por módulos fotovoltaicos, ligados a um regulador, que por sua vez está ligado a baterias para alimentação [29]. Estes sistemas de controlo têm como parâmetros de entrada a tensão e corrente da bateria, temperatura e concentração de iões de eletrólito, produzindo

uma resposta a estes parâmetros através da manipulação da intensidade de corrente, temperatura de operação e fluxo do eletrólito.

Com a implementação destes sistemas, é possível gerir o modo de operação da bateria, estimando o Estado de Carga (SOC) e o Estado de Saúde (SOH), maximizando assim a sua vida útil. A Figura 15, apresenta a arquitetura conceptual do controlador [3].

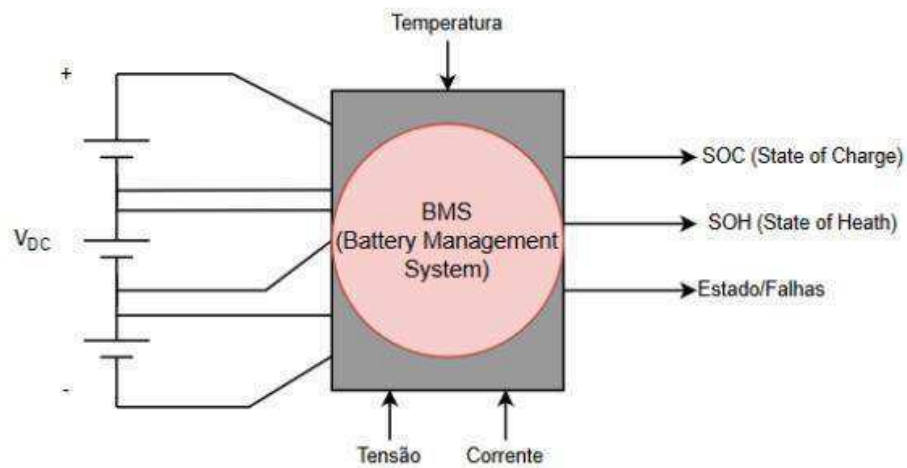


Figura 15 - Esquemática do controlador de carga da bateria [3].

3 Caso de Estudo e Metodologia

Neste capítulo, é apresentada a abordagem metodológica adotada para a condução, bem como a descrição detalhada do caso em estudo. Assim, este capítulo visa esclarecer as estratégias e os procedimentos utilizados para alcançar os objetivos da pesquisa.

3.1 Caracterização da Habitação

O estudo sobre a implementação de um sistema de armazenamento de energia numa habitação já equipada com painéis fotovoltaicos tem como objetivo explorar maneiras de maximizar a utilização da energia solar gerada, aumentar a eficiência energética e proporcionar benefícios económicos e ambientais adicionais. Apesar da instalação original datar de 2016, a evolução tecnológica e as novas oportunidades de otimização justificam plenamente a análise da viabilidade e dos potenciais benefícios de um sistema de armazenamento.

A instalação atual da habitação apresenta as seguintes características:

Tabela 1 - Características da Instalação.

Localização	Porto
Tipo de tarifa	Tri-Horária
Potência contratada	17,25 KVA
Nº painéis instalados	6 Painei <i>Luxor LX</i>
Potência do módulo FV	250Wp
Inversor	Inversor <i>Sunny Tripower 5000 TL</i>
Potência do campo solar	1500 Wp
Ano de instalação	2016

A análise deste tipo de instalação fotovoltaica com armazenamento de energia deve-se sobretudo às suas inúmeras vantagens e ao potencial de otimização do autoconsumo de energia renovável, conforme referido nos capítulos anteriores.

Como referido no 1.1 da Introdução, se o consumo local estiver sujeito a um sistema tarifário com preços diferenciados ao longo do dia, a energia mais barata poderá ser aproveitada para armazenar e disponibilizar para consumo quando estiver mais cara. Logo, é de extrema importância o conhecimento do regime tarifário aplicado ao consumidor. Os valores aplicados, são apresentados de seguida na Figura 16.

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BTN ($\leq 20,7$ kVA e $> 2,3$ kVA)		PREÇOS
Potência contratada		EUR/dia
Tarifa simples, bi-horária e tri-horária	3,45	0,1746
	4,6	0,2272
	5,75	0,2796
	6,9	0,3320
	10,35	0,4891
	13,8	0,6462
	17,25	0,8034
20,7	0,9605	
Energia ativa		EUR/kWh
Tarifa simples		0,1625
Tarifa bi-horária	Horas fora de vazio	0,1968
	Horas de vazio	0,1072
Tarifa tri-horária	Horas de ponta	0,2400
	Horas cheias	0,1741
	Horas de vazio	0,1072

Figura 16 - Regime Tarifário [30].

Importa salientar que aos preços apresentados, é necessário considerar o acréscimo do IVA, atualmente fixado em 23%. O período de “Horário de Inverno” abrange os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, enquanto o “Horário de Verão” engloba os meses de abril a outubro, inclusivamente, Figura 17.

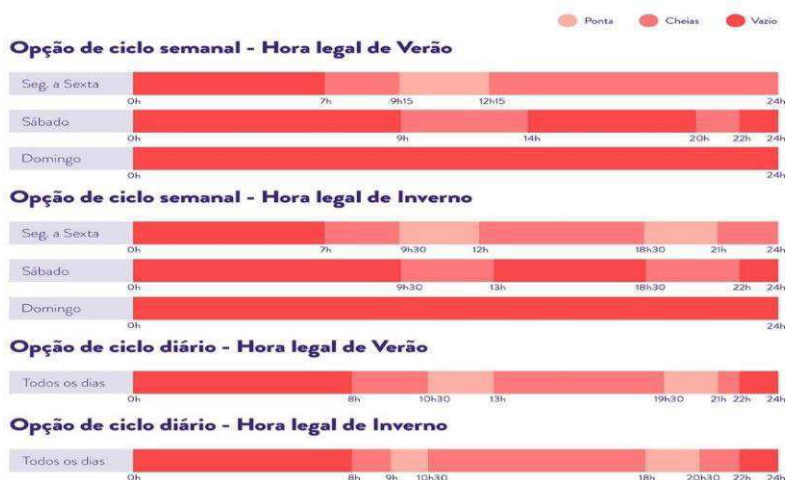


Figura 17 - Tarifa Tri-Horária [31].

3.2 Perfil de Consumo

De modo a adequar o sistema fotovoltaico para autoconsumo é crucial considerar o perfil de consumo do local da instalação. Através do conhecimento detalhado desse perfil, é possível ajustar a potência da UPAC visando a maximização do desempenho do sistema implantado, com o objetivo de reduzir o consumo de energia da RESP.

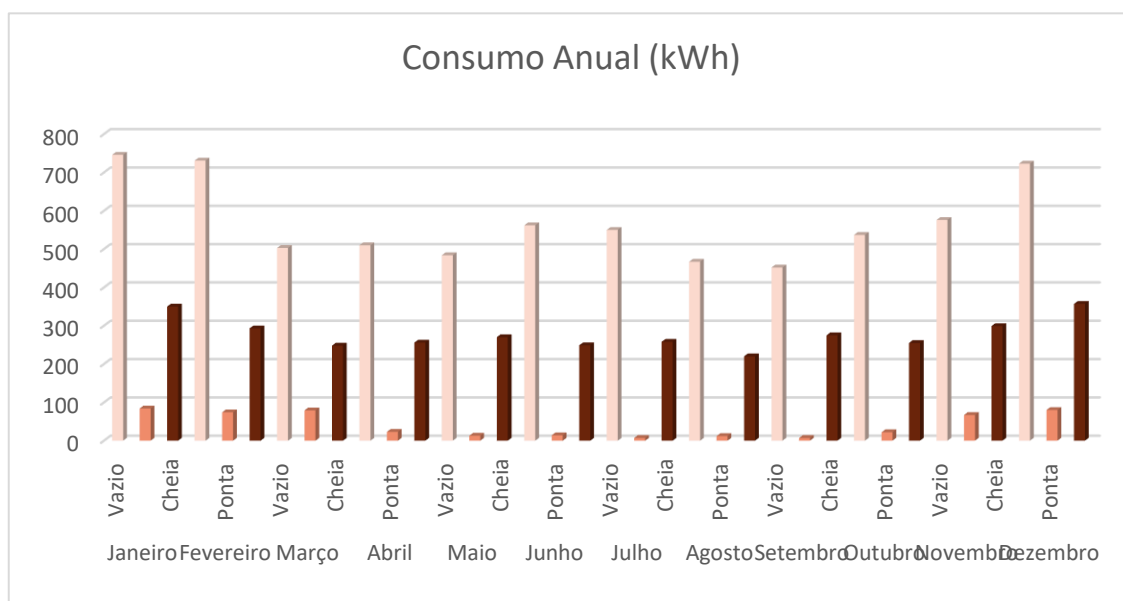


Figura 18 - Consumo anual (kWh).

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos através de faturas mensais disponibilizadas pelo consumidor. É de salientar que foram considerados dados relativos ao ano 2023, mais precisamente, de janeiro de 2023 a dezembro de 2023, Figura 18.

Através da análise do gráfico, é possível verificar, que os meses de inverno e outono apresentam consumos superiores comparativamente aos meses de primavera e verão.

A tabela com os valores dos consumos de cada mês, assim como os seus respetivos encargos energéticos, pode ser encontrado no Anexo A desta dissertação.

3.3 Perfil de Produção

Pela análise destes valores, é possível avaliar o rendimento da instalação atual da habitação e, conseqüentemente, decidir sobre a viabilidade de manter este regime de produção. A Figura 19 apresenta os valores de produção associada à habitação, onde o valor de produção anual é de 2283,7 kWh/ano.

Ao analisar as figuras 18 e 19, fica claramente evidente que existe uma discrepância significativa entre a produção anual de energia solar e o consumo total da habitação. Esta disparidade levanta questões pertinentes sobre a eficiência e adequação do sistema atual de produção de

energia solar, destacando assim a necessidade de revisão e implementação de melhorias para otimizar a utilização dos recursos renováveis disponíveis.

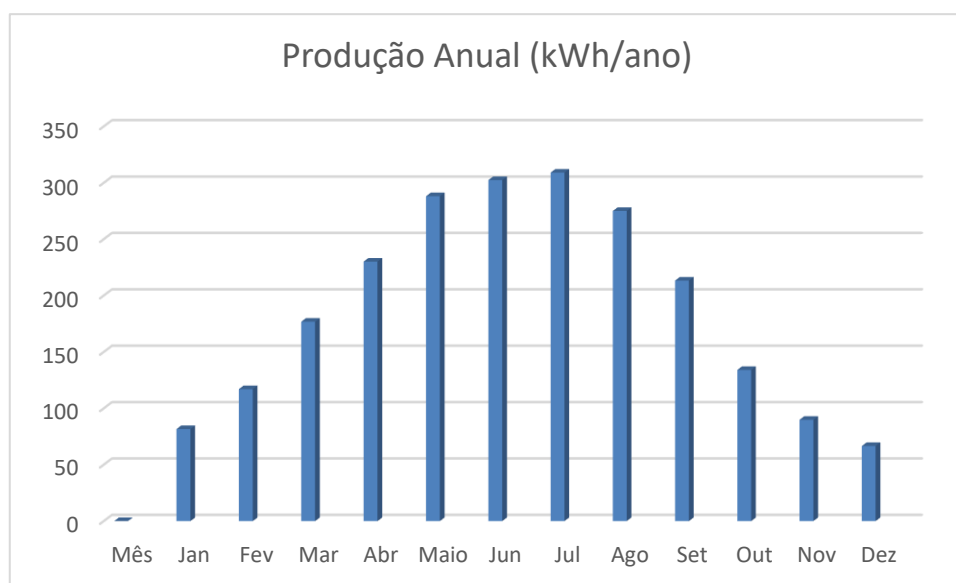


Figura 19 - Produção anual (kWh/ano).

3.4 Metodologia Utilizada no Tratamento de Dados

O principal objetivo deste estudo é determinar a solução ideal de um sistema de autoconsumo, com ou sem armazenamento, para uma instalação de baixa potência, considerando tanto os aspetos energéticos quanto os económicos.

Para alcançar este objetivo, foram criados dois cenários para a mesma habitação. A comparação destes dois cenários visa verificar as diferenças em termos técnicos e económicos, permitindo uma avaliação abrangente das opções disponíveis.

Conforme apresentado anteriormente, a instalação fotovoltaica diz respeito ao ano de 2016. Neste contexto, no cenário 1, procedeu-se à análise da viabilidade de implementar um sistema de armazenamento de energia nesta habitação. Devido à idade da instalação e à discrepância entre a potência do seu campo solar e o consumo atual, não seria possível integrar qualquer tipo de sistema de armazenamento de energia sem realizar um “retrofit” nesta instalação. Para tal, foi necessário fazer uma substituição de determinados equipamentos da instalação.

Foram analisadas duas hipóteses, a primeira envolve um sistema fotovoltaico de autoconsumo sem armazenamento, enquanto a segunda considera a implementação de um sistema com armazenamento, avaliando diversas soluções de diferentes marcas e capacidades.

Adicionalmente, no cenário 2, será realizado um estudo comparativo para a mesma habitação, assumindo que não há nenhum sistema fotovoltaico instalado previamente. Serão analisados

os padrões de consumo de energia provenientes 100% da RESP e as potenciais soluções de um sistema sem armazenamento e com armazenamento.

Espera-se determinar a viabilidade e os benefícios de cada cenário, permitindo uma avaliação abrangente das vantagens e desvantagens de possuir ou não um sistema fotovoltaico, bem como o impacto da instalação de uma bateria em cada caso.

Realizou-se uma análise mensal e anual de cada cenário no que diz respeito aos dados energéticos. Especificamente, foram escolhidos os meses de julho e dezembro, correspondendo ao mês com maior produção fotovoltaica e ao mês com menor produção, respetivamente, com o intuito de evidenciar as diferenças existentes relativas à sazonalidade. Em relação aos dados económicos, apenas foi feita uma análise anual.

Para ambos os cenários, foram consideradas duas opções de capacidade de campo solar: a primeira, com 6 painéis de 445 Wp, alcançando uma capacidade de campo solar de 2,67 kWp; e a segunda, com 9 painéis de 445 Wp, resultando em uma capacidade de campo solar de 4,01 kWp.

Estas duas configurações foram selecionadas para avaliar a diferença no desempenho e na viabilidade económica de sistemas de diferentes tamanhos.

Para analisar os objetivos de ambos os cenários, a metodologia adotada para o tratamento de dados integrou dois softwares distintos, PVSOL e Excel, permitindo uma análise abrangente e detalhada.

3.4.1 Tratamento de Dados Energéticos no PVSOL

Para o cálculo e dimensionamento da UPAC, foi utilizado o software PVSOL. Trata-se de um programa de simulação dinâmica que permite a análise de sombreamento e dimensionamento de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos, incluindo sistemas isolados, com baterias e veículos elétricos. Além disso, permite visualizações em três dimensões.

O programa é atualizado regularmente e tem uma base de dados extensa e atualizada, o que permite que os usuários trabalhem com os produtos mais recentes do mercado. Por outro lado, permite criar relatórios de projeto bastante completos e úteis para o tipo de projeto deste caso de estudo, contendo diagramas de circuitos, listas de equipamentos necessários para instalação e análises económicas, entre outros [12].

Neste software, foram realizadas simulações de dois tipos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com e sem baterias. Foram introduzidos os valores de consumo obtidos nas faturas de eletricidade, ajustando-os ao tipo de tarifa presente na habitação, neste caso, a tarifa Tri-Horária. Além disso, para obter uma análise completa e precisa das configurações fotovoltaicas consideradas, realizei simulações em 3D para as duas opções de capacidade de campo solar.

Após essa inserção, o software utilizado gera indicadores-chave, como a produção de energia, o autoconsumo, a energia injetada na rede e o consumo da bateria, no caso de sistemas fotovoltaicos com armazenamento.

3.4.2 Tratamento de Dados Económicos no EXCEL

Após a obtenção dos indicadores-chave, a nível mensal e anual, foram realizados cálculos utilizando a ferramenta Excel para avaliar a viabilidade económica da instalação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo tanto sem, como com sistema de armazenamento, em ambos os cenários.

Inicialmente, analisou-se o encargo financeiro associado a um sistema fotovoltaico de autoconsumo sem armazenamento. Subsequentemente, considerou-se a hipótese de implementação de um sistema de armazenamento, ajustando o valor do investimento de acordo com a solução de armazenamento avaliada.

Para determinar a poupança nominal de cada solução analisada, foram realizados cálculos detalhados para garantir maior precisão. Primeiramente, foi calculado o peso dos kWh consumidos em cada período do tarifário. Isso foi feito porque o tarifário apresenta diferentes valores em diferentes períodos horários. Com base no perfil de consumo, identificamos os pesos dos kWh para cada período.

Após determinar o peso dos kWh consumidos em cada período, foi multiplicado esse valor pelo consumo anual de autoconsumo (kWh/ano) e, no caso das soluções com armazenamento, pelo consumo anual de autoconsumo mais o consumo da bateria (kWh/ano). Em seguida, esse resultado foi multiplicado pelo preço da tarifa correspondente. Dessa forma, foi obtido a poupança nominal com precisão, considerando as variações tarifárias e o perfil de consumo específico, conforme a equação 2.

Para calcular a receita gerada pela energia injetada na rede, foi utilizado o valor de remuneração por cada kWh de energia injetada, de acordo com os preços praticados pela RESP, conforme a equação 3.

Posteriormente, foram calculados os principais indicadores de rentabilidade para cada caso analisado, tais como: o Valor Atualizado Líquido (VAL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de Retorno do Capital (PRC). No Excel, esses indicadores foram calculados automaticamente através de fórmulas específicas, com exceção do PRC, que foi calculado manualmente. O VAL foi determinado utilizando a fórmula VAL (taxa; valores), onde "taxa" refere-se à taxa de desconto e "valores" corresponde à coluna contendo os fluxos de caixa (proveitos). A TIR foi calculada utilizando a fórmula TIR (valores; estimativa), onde "valores" refere-se à coluna dos fluxos de caixa e "estimativa" é o valor próximo à TIR esperada.

$$\text{Poupança Nominal (€)} = \left[\frac{(\text{Autoconsumo (kWh/ano)} * \text{Peso Tarifa (\%)}) * \text{Tarifa (€/kWh)}}{\text{Tarifa (€/kWh)}} \right] \quad (2)$$

$$\text{Receita Venda Nominal (€)} = \text{Energia Injetada (kWh/ano)} * \text{Tarifa de Injeção (€/kWh)} \quad (3)$$

3.5 Escolha de Equipamentos

3.5.1 Módulo Fotovoltaico

Pretende-se um módulo atenda a determinados critérios, tais como:

- Fabricante de referência do mercado;
- Elevada qualidade e eficiência superior a 20%;
- Baixa taxa de degradação anual;
- Certificados *pela International Electrotechnical Commission (IEC)*.

Assim sendo, o módulo selecionado, para ambos os cenários, é o módulo da empresa AIKO, modelo AIKO-A-MAH54Mb, de potência 445W. Este módulo apresenta uma eficiência 22,8 % e apenas uma taxa de degradação anual de 0,35%.

3.5.2 Inversor e Sistemas de Armazenamento

Nas Tabelas 2 e 3, apresentam-se as opções escolhidas para os inversores e baterias em ambos os cenários e diferentes configurações.

Tabela 2 - Inversores e baterias (Cenário 1).

Cenário 1	2,67 kWp		4,01 kWp	
Inversor s/ Baterias	SMA Sunny Tripower 5000 TL		SMA Sunny Tripower 5000 TL	
Inversor c/ Baterias	Inversor	Baterias	Inversor	Baterias
	SMA Sunny Boy Storage 2.5	BYD 5.1 a 10.2 kWh LG 3.3 a 9.3 kWh	SMA Sunny Boy Storage 3.7	BYD 5.1 a 10.2 kWh LG 3.3 a 9.3 kWh
	Huawei SUN2000 3KTL - M1	Huawei LUNA2000 5,1 a 10,2 kWh	Huawei SUN2000 4KTL - M1	Huawei LUNA2000 5,1 a 10,2 kWh
Baterias	Enphase IQ 3T 3.5 kWh		Enphase IQ 3T 3.5 kWh	

Relativamente ao cenário 1, onde foi aplicado um “*retrofit*” ao sistema atualmente instalado, optou-se por manter o inversor já existente no estudo da UPAC sem baterias, uma vez que ainda se encontrava em perfeitas condições de funcionamento e devido à fiabilidade e confiança da marca SMA, bem como à qualidade da sua plataforma de monitorização.

No estudo da UPAC com sistema de armazenamento, decidiu-se substituir o inversor por inversores híbridos, que possuem a capacidade adicional de armazenar energia AC em baterias. Optou-se pela substituição completa do inversor, uma vez que "hibridizar" o inversor existente, ou seja, optar por um regulador de carga, seria mais caro do que a substituição total.

Quanto às baterias analisadas neste estudo, optou-se por marcas de referência no mercado. Especificamente, foram escolhidas as seguintes: a BYD, modelo "HVS", com capacidades de 5,1 a 10,2 kWh; a LG, modelo "Chem Resu", com capacidades de 3,3 a 9,3 kWh; a Huawei, modelo "LUNA2000", com capacidades de 5,1 a 10,2 kWh; e, por fim, a Enphase, modelo "ENCHARGE 3T", com uma capacidade única de 3,5 kWh.

Na Tabela 2, é possível verificar que, dependendo das baterias escolhidas para a análise, um inversor diferente é selecionado. Isto deve-se às compatibilidades existentes entre as marcas dos inversores e das baterias analisadas.

No caso das baterias da Enphase, podemos observar na Tabela 2, que não apresentam qualquer inversor associado, já que a própria bateria inclui quatro microinversores integrados. Todavia, apesar de não necessitar da compra de um inversor, são necessários outros componentes para o seu correto funcionamento, que foram incluídos na estimativa de investimento, tais como: tampa ENPHASE Cobertura 3T e para comunicação sem fios, precisa de QRelay e Zigbee.

Tabela 3 - Inversores e baterias (Cenário 2).

Cenário 2	2,67 kWp		4,01 kWp	
Inversor s/ Baterias	SMA Sunny Boy Storage 2.5		SMA Sunny Boy Storage 3.7	
Inversor c/ Baterias	Inversor	Baterias	Inversor	Baterias
	SMA Sunny Boy Storage 2.5	BYD 5.1 a 10.2 kWh LG 3.3 a 9.3 kWh	SMA Sunny Boy Storage 3.7	BYD 5.1 a 10.2 kWh LG 3.3 a 9.3 kWh
	Huawei SUN2000 3KTL – M1	Huawei LUNA2000 5,1 a 10,2 kWh	Huawei SUN2000 4KTL - M1	Huawei LUNA2000 5,1 a 10,2 kWh
Baterias	Enphase IQ 3T 3.5 kWh		Enphase IQ 3T 3.5 kWh	

No cenário 2, foram tomadas as mesmas opções que no cenário 1, divergindo apenas na análise da UPAC sem baterias, pois trata-se de uma habitação sem qualquer instalação fotovoltaica prévia. Portanto, optou-se pela instalação inicial de inversores híbridos. Dessa forma, caso se decida instalar baterias, posteriormente não será necessário adquirir um novo inversor, evitando assim um gasto adicional.

3.6 Preço do Sistema de Autoconsumo

Durante a realização do trabalho, foram consideradas as características técnicas de cada um dos componentes apresentados a seguir, conforme ilustrado anteriormente nas Tabelas 2 e 3:

- Módulo fotovoltaico de 445W AIKO-A-MAH54Mb;
- Inversores dos fabricantes SMA, com potências de 2,5 kW e 3,7 kW, e Huawei, com potências de 3 kW e 4 kW;
- Baterias, dos fabricantes BYD de capacidade 5,1 a 10,2 kWh, LG 3,3 a 9,3 kWh, HUAWEI 5,1 a 10,2 kWh e Enphase de 3,5 kWh.

Tabela 4 - Preços do sistema de autoconsumo com e sem armazenamento (Cenário 1).

CENÁRIO 1		2,67 kWp	4,01 kWp
Preço s/baterias	-	2 033,4 €	2 557,4 €
Preço Baterias BYD	5,1 kWh	6 664,4 €	7 908,7 €
	7,7 kWh	8 386,4 €	9 630,7 €
	10,2 kWh	10 403,6 €	11 647,9 €
Preço Baterias LG	3,3 kWh	4 638,6 €	5 882,8 €
	6,3 kWh	5 886,7 €	7 130,9 €
	9,3 kWh	8 684,9 €	9 929,2 €
Preço Baterias ENPHASE/HUAWEI	3,5 kWh	4 056,8 €	4 576,6 €
	5,1 kWh	6 825,5 €	7 415,4 €
	10,2 kWh	9 875,9 €	10 467,1 €

Tabela 5 - Preços do sistema de autoconsumo com e sem armazenamento (Cenário 2).

CENÁRIO 2		2,67 kWp	4,01 kWp
Preço s/baterias	-	3 220,5 €	4 463,9 €
Preço Baterias BYD	5,1 kWh	6 664,4 €	7 908,7 €
	7,7 kWh	8 386,4 €	9 630,7 €
	10,2 kWh	10 403,6 €	11 647,9 €
Preço Baterias LG	3,3 kWh	4 638,6 €	5 882,8 €
	6,3 kWh	5 886,7 €	7 130,9 €
	9,3 kWh	8 684,9 €	9 929,2 €
Preço Baterias ENPHASE/HUAWEI	3,5 kWh	4 056,8 €	4 576,6 €
	5,1 kWh	6 825,5 €	7 415,4 €
	10,2 kWh	9 875,9 €	10 467,1 €

Tendo em conta as opções descritas nas Tabelas 2 e 3, apresentam-se nas Tabelas 4 e 5 os valores totais de investimento (incluindo IVA) para o sistema de autoconsumo em ambos os

cenários e com as respetivas configurações do campo solar. Estas tabelas fornecem uma visão dos custos envolvidos, permitindo uma avaliação clara do investimento necessário para a implementação dos sistemas propostos.

3.7 Pressupostos Técnicos e Económico

Para dimensionar corretamente a UPAC, foram considerados alguns pressupostos:

- **Perfil de Consumo:** O perfil de consumo da habitação utilizado corresponde ao do ano de 2023;
- **Taxa de Degradação Anual dos Módulos:** Foi considerada uma taxa de degradação anual dos módulos de 0,35%;
- **Taxa de Autodegradação das Baterias:** A taxa de autodegradação das baterias não foi tida em conta;
- **Período de Análise Económica:** O período de análise económica foi definido em 25 anos;
- **Taxa de Inflação da Energia:** Considerou-se uma taxa de inflação da energia de 2,5%.
- **Preço de Venda da Eletricidade Excedente:** O preço de venda da eletricidade excedente foi fixado em 0,04 €/kWh;
- **Tarifas:** As tarifas utilizadas correspondem às tabeladas na Figura 16;
- **Despesas de Manutenção:** Foram consideradas despesas de manutenção no valor de 100 €, com uma inflação anual de 2%;
- **Taxa de Desconto:** Foi utilizada uma taxa de desconto de 6% para a atualização dos proveitos futuros no cálculo do Valor Atualizado Líquido (VAL).

3.8 Indicadores de Rentabilidade

Para avaliar a rentabilidade económica do projeto, são utilizados diversos critérios, como o Valor Atual Líquido (VAL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de Recuperação do Capital (PRC).

O Valor Atualizado Líquido representa o valor dos fluxos de caixa do investimento atualizados para o momento zero, utilizando a taxa de custo médio ponderado dos capitais que financiam o investimento. O VAL de um projeto pode ser positivo, negativo ou igual a zero:

- Se **VAL > 0**, então pode-se concluir que o projeto é economicamente rentável, ou seja, recupera-se o investimento realizado, os financiadores são remunerados à taxa exigida e há um lucro puro igual ao valor do VAL;
- Se **VAL < 0**, então pode-se concluir que o projeto não é rentável e, por isso, deve ser rejeitado. Neste caso, os *cash-flows* de exploração não foram suficientes para recuperar o investimento efetuado e, ao mesmo tempo, remunerar os financiadores à taxa exigida;

- Se **VAL = 0**, então pode-se concluir que o projeto é economicamente rentável na medida em que o investimento feito é recuperado e os financiadores são totalmente remunerados à taxa exigida. Contudo, não existirá qualquer lucro puro (igual a zero);

A taxa interna de rentabilidade é a taxa de atualização dos *cash-flows* de investimento e de exploração e que torna os dois valores iguais no momento zero, isto é, quando VAL é zero. Quanto maior a TIR, maior é a rentabilidade do projeto.

O Prazo de Recuperação do Capital (PRC) é o tempo necessário para recuperar todo o investimento, ou seja, é o prazo de tempo até que o investidor recupere o capital investido.

4 Análise de Resultados

4.1 Cenário 1 – Habitação com *Retrofit* de UPAC - Viabilidade e Benefícios da Implementação de Soluções com e sem Armazenamento

Neste primeiro cenário, foram realizadas as simulações e cálculos correspondentes de acordo com as opções mencionadas no capítulo anterior, tanto para o sistema sem armazenamento, quanto para o sistema com armazenamento, considerando ambas as potências do campo solar.

4.1.1 Sistemas de Autoconsumo sem Armazenamento

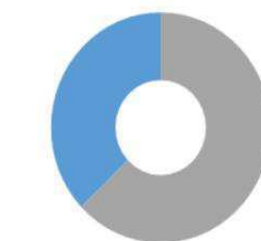
4.1.1.1 Configuração - Campo Solar 2,67 kWp

Na Figura 20, são apresentados os resultados obtidos pelo programa Pvsol, relativos ao campo solar de 2,67 kWp. Como mencionado no ponto 3.3, a produção anual atual do sistema fotovoltaico existente é de 2283,7 kWh/ano. Em comparação com a configuração simulada, este sistema produz anualmente cerca de 3892 kWh/ano, representando aproximadamente um aumento de 41 % em relação à produção da instalação fotovoltaica já existente.

Relativamente, à distribuição da energia produzida pela UPAC, os seus respetivos valores, nomeadamente, “autoconsumo” e “injeção na rede” encontram-se também na da figura 20, assim como no respetivo gráfico, Figura 21.

Sistema fotovoltaico	
Potência do gerador fotovoltaico	2,67 kWp
Rendimento anual específico	1 457,43 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	91,79 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	0,0 %
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	3 892 kWh/Ano
Autoconsumo	2 448 kWh/Ano
Limitação no ponto de injeção	0 kWh/Ano
Injeção na rede	1 443 kWh/Ano
Autoconsumo	62,9 %
Emissões de CO ₂ evitadas	1 829 kg/ano

Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)



■ Autoconsumo
■ Limitação no ponto de injeção
■ Injeção na rede

Figura 20 - Características da UPAC.

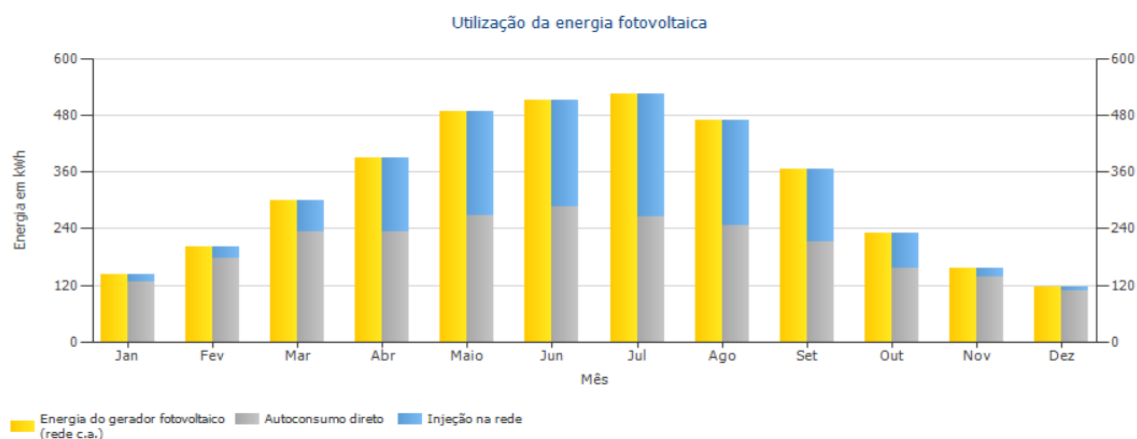


Figura 21 - Distribuição da Energia Produzida.

Durante o período em que o sistema fotovoltaico está exposto à luz solar, ocorre a produção de energia. Neste contexto, é observável que a energia gerada pela UPAC pode ser utilizada pela instalação consumidora correspondente, sendo qualquer excesso de energia direcionado para a rede elétrica.

Analisando a Figura 21, é evidente que a taxa de autoconsumo supera a quantidade de energia injetada na rede, alcançando um valor de 62,9%.

Consumidores	
Consumidores	10 653 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	0 kWh/Ano
Consumo total	10 653 kWh/Ano
coberto pelo sistema fv	2 448 kWh/Ano
coberto pela rede elétrica	8 205 kWh/Ano
Fração solar	23,0 %

Consumo total



■ coberto pelo sistema fv
■ coberto pela rede elétrica

Figura 22 – Consumo Total.

Este sistema demonstra um nível de autonomia de 23%, Figura 22, evidenciando que a proporção de energia fornecida pela RESP ainda é substancialmente maior do que a fornecida pela UPAC.

A Figura 23, apresenta graficamente a distribuição da energia proveniente da rede e do sistema solar fotovoltaico, essencial para atender às demandas energéticas da instalação.

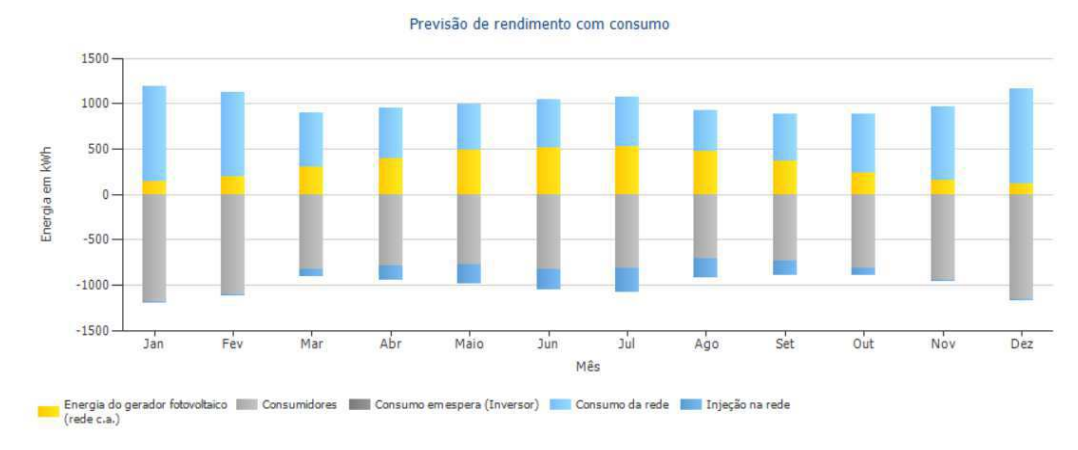


Figura 23 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP.

A necessidade de recorrer à energia da rede surge devido ao consumo da instalação em momentos nos quais a produção de energia do sistema solar é insuficiente ou inexistente, o que leva a que a habitação tenha de requerer energia da rede para satisfazer as necessidades energéticas.

4.1.1.2 Configuração - Campo Solar 4,01 kWp

Como foi referido anteriormente, nesta segunda configuração, a potência de campo solar, ou seja, a potência do gerador fotovoltaico aumenta, pois são introduzidos 9 painéis, ou seja, mais três que na opção anterior.



Figura 24 - Características da UPAC.

Na Figura 24, são apresentadas as características da UPAC, onde podemos observar que este possui a capacidade de gerar 5830 kWh/ano. Comparativamente, à produção anual do sistema fotovoltaico atual, isso representa um aumento de 60,8%. Adicionalmente, em relação à configuração anterior (campo solar de 2,67 kWp), esse aumento é de 33,3%,

Na Figura 25 encontra-se representada a utilização da energia fotovoltaica produzida ao longo do ano.

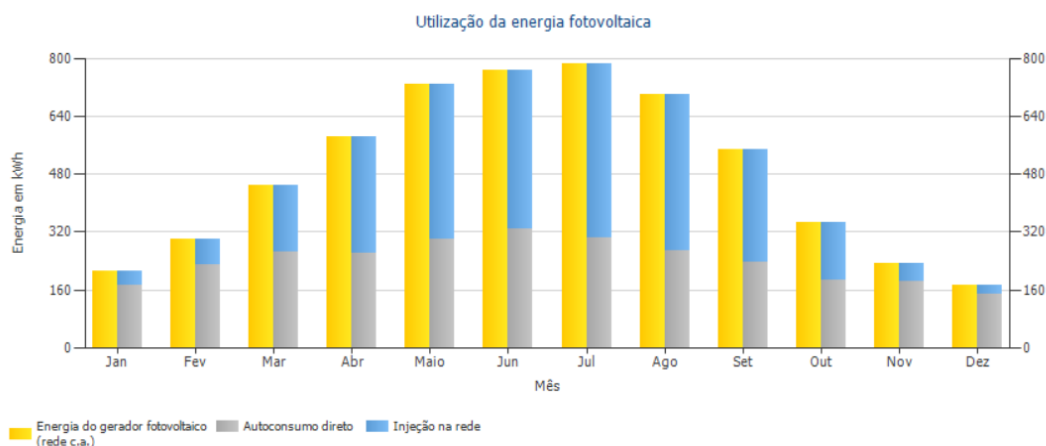


Figura 25 - Distribuição da Energia Produzida.

Em relação aos conceitos de "autoconsumo" e "injeção na rede", observou-se uma mudança nos seus valores devido ao aumento significativo da potência do campo solar. Este aumento levou a uma redução na taxa de autoconsumo, que agora está em 49,4%.

Observando a Figura 24, nota-se que mais de metade da energia produzida é injetada na RESP, superando ligeiramente os 50%. Em virtude disso, observa-se apenas um leve aumento no nível de autonomia da fração solar em comparação com a configuração anterior, conforme demonstrado na Figura 26.

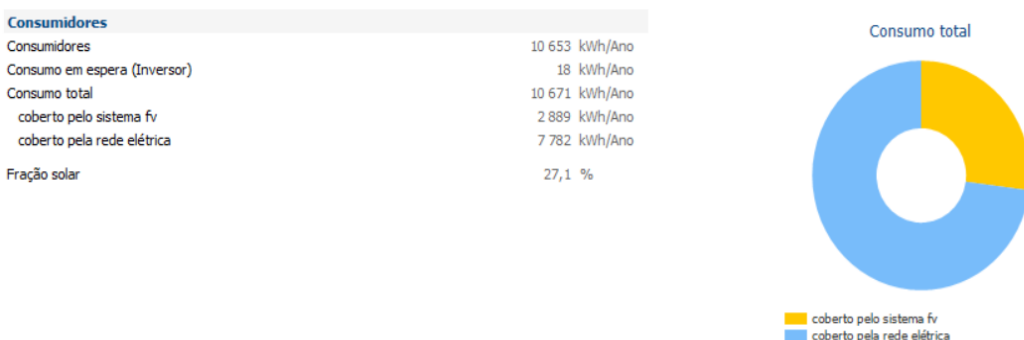


Figura 26 - Consumo Total.

A Figura 27, apresenta graficamente a distribuição da energia proveniente da rede e do sistema solar fotovoltaico.

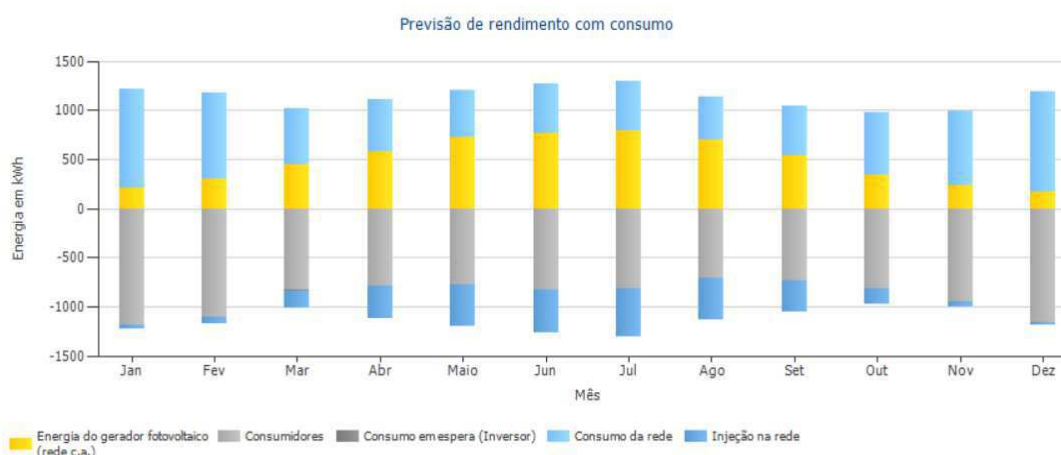


Figura 27 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP.

4.1.2 Sistemas de Autoconsumo com Armazenamento

4.1.2.1 Configuração - Campo Solar 2,67 kWp

Para avaliar a viabilidade da incorporação de um sistema de baterias para armazenamento de energia, foram consideradas as mesmas características acima mencionadas. Contudo, a UPAC dimensionada contém agora a ligação de sistemas de armazenamento/baterias.

Neste cenário, foram analisadas as opções listadas na Tabela 2, abrangendo quatro marcas distintas de baterias com diferentes capacidades (kWh): *BYD*, *LG*, *Huawei* e *Enphase*.

Tabela 6 - Comparação entre s/Baterias e Baterias *BYD*, análise anual.

	s/Baterias	Baterias <i>BYD</i> (HVS)		
	-	5,1 kWh	7,7 kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	8205	7309	7068	6932
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	2448	2441	2433	2411
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	1443	435	176	33
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	903	1153	1310
Autoconsumo (kWh/ano)	2448	3344	3586	3721
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	23,0%	31,4%	33,7%	34,9%
Autoconsumo (%)	62,9%	88,8%	95,5%	99,2%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	459,3	569	598,6	615,1

Tabela 7 - Comparação entre s/Baterias e Baterias LG, análise anual.

	s/Baterias	Baterias LG		
	-	3,3 kWh	6,6 kWh	9,3 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	8205	7712	7126	6940
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	2448	2410	2434	2427
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	1443	775	263	63
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	550	1093	1286
Autoconsumo (kWh/ano)	2448	2960	3527	3713
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	23,0%	27,6%	33,1%	34,7%
Autoconsumo (%)	62,9%	79,8%	93,2%	98,6%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	459,3	519,3	592,3	615

Tabela 8 - Comparação entre s/Baterias e Baterias ENPHASE/HUAWEI, análise anual.

	s/Baterias	Baterias ENPHASE/HUAWEI		
	-	3,5 kWh	5,1kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	8205	7515	7411	7034
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	2448	2429	2429	2429
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	1443	681	472	48
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	727	829	1204
Autoconsumo (kWh/ano)	2448	3156	3258	3633
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	23,0%	29,5%	30,5%	34,0%
Autoconsumo (%)	62,9%	82,2%	87,3%	98,7%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	459,3	547,8	556,3	601,2

Nas Tabelas 6, 7 e 8 apresentam-se os resultados obtidos para os indicadores anuais, conforme listados antes e após a implementação de um sistema de armazenamento.

Ao observar os dados apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8, torna-se evidente que, com a introdução das baterias, todas as soluções analisadas registam um consumo da energia produzida igual ou superior a 80%. Este aumento no autoconsumo está diretamente relacionado com a redução significativa da energia injetada na rede, em comparação com um sistema sem baterias, como é evidente em cada tabela. Além disso, é visível que a introdução das baterias proporciona uma poupança significativa na fatura de eletricidade, sendo este um processo progressivo. Inicialmente, ao comparar a UPAC sem baterias com a instalação atual, observa-se uma poupança considerável. Posteriormente, ao integrar baterias na UPAC, essa poupança é visivelmente ampliada.

A poupança na fatura de eletricidade é proporcional relativamente ao aumento da capacidade de armazenamento das baterias. Posso concluir, que o uso de baterias não só otimiza o aproveitamento da energia produzida pelo sistema fotovoltaico, como também resulta numa economia mais substancial a longo prazo.

No entanto, não posso deixar de referir que, nos casos em que as baterias têm uma capacidade útil superior a 10,2 kWh, estas deixam de ser uma solução eficiente. Conforme evidenciado nas tabelas, para as baterias com capacidade acima de 9,3 kWh, pode-se observar um autoconsumo próximo dos 100%. Concluindo, capacidades substancialmente superiores a esta não se revelariam uma solução ideal a nível técnico, uma vez que não se aproveitaria plenamente a capacidade total de armazenamento de energia da bateria.

Nos gráficos, das figuras 28, 29 e 30, encontram-se os resultados obtidos para os indicadores mensais, especificamente para os meses de julho e dezembro.

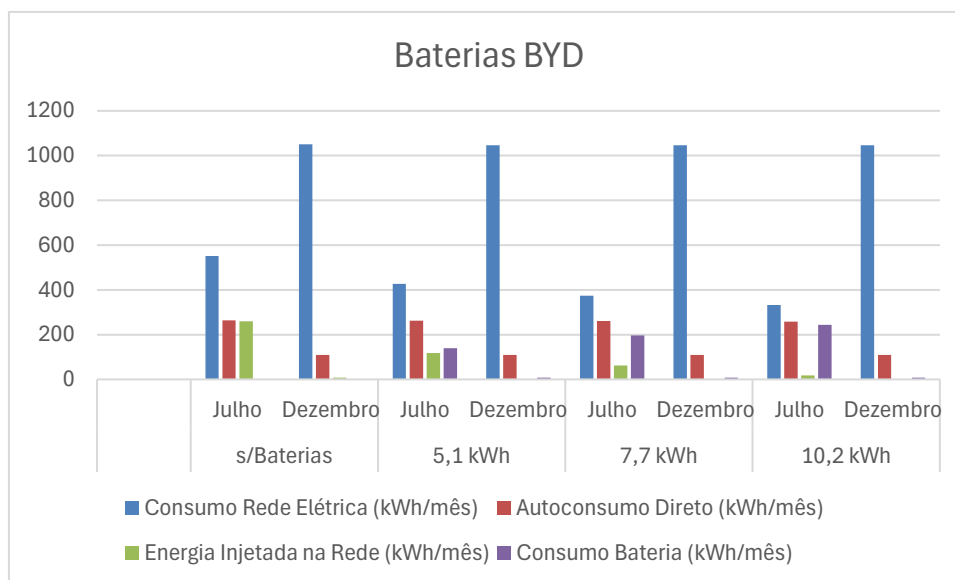


Figura 28 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.

Através da análise mensal, é possível verificar a influência da sazonalidade nestes sistemas. Observa-se encargos energéticos mais elevados no inverno (dezembro), devido ao aumento do consumo e à redução na produção fotovoltaica. Em contraste, no verão (julho), a situação se

inverte, com menores encargos energéticos resultantes do menor consumo e da maior produção fotovoltaica.

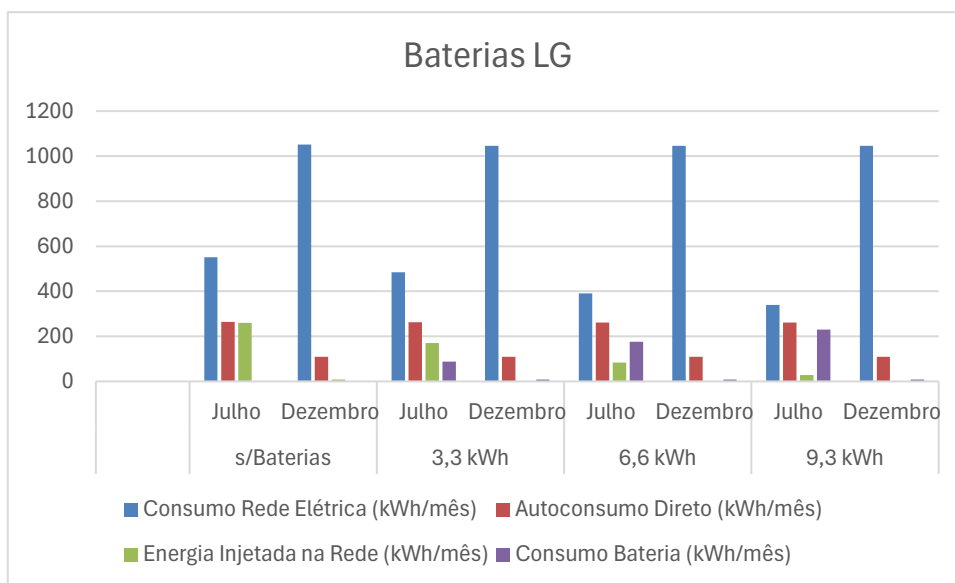


Figura 29 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.

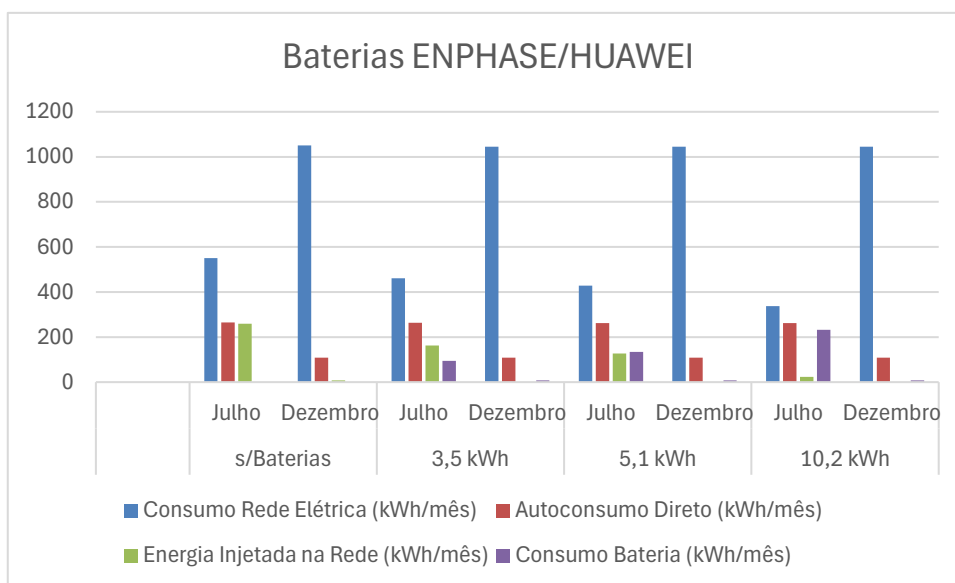


Figura 30 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias ENPHASE/HUAWEI.

Nas Figuras 28, 29 e 30 constatou-se que, nos meses de verão, este sistema apresenta um desempenho satisfatório. Em julho, todas as soluções de armazenamento analisadas garantem uma redução de pelo menos 40% na energia proveniente da RESP. Verifica-se que, no caso das baterias com maior capacidade de armazenamento, essas asseguram uma redução próxima de 60% na energia oriunda da RESP.

Em concordância com a análise anual, para este cenário com a respectiva configuração, as baterias com capacidade acima de 9,3 kWh demonstram um autoconsumo próximo de 100%.

Conclui-se que capacidades substancialmente superiores a esta não se revelariam ideais do ponto de vista técnico, uma vez que a energia consumida da RESP manteve-se praticamente inalterada, devido ao não aproveitamento total da capacidade de armazenamento dessas baterias.

Por outro lado, os meses de inverno, especificamente dezembro, evidenciam um desempenho negativo. O sistema consegue alcançar apenas uma poupança de cerca de 10%, constatando-se que as baterias permanecem com carga mínima durante o inverno, o que traz poucos benefícios em comparação com seu elevado custo.

No anexo B, encontram-se detalhadamente os indicadores energéticos obtidos para ambos os meses.

4.1.2.2 Configuração - Campo Solar 4,01 kWp

Os resultados obtidos para os indicadores anuais, tanto antes quanto após a implementação de um sistema de armazenamento, e considerando o aumento da potência do campo solar, estão apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11.

Estes dados permitem observar as diferenças de desempenho e rentabilidade entre as diferentes configurações analisadas.

Tabela 9 - Comparação entre s/Baterias e Baterias BYD.

	s/Baterias	Baterias BYD (HVS)		
	-	5,1 kWh	7,7 kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	7782,4	6561	6111	5747
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	2889	2883	2881	2869
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	2941,3	1594	1113	731
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	1227	1680	2055
Autoconsumo (kWh/ano)	2889	4110	4561	4924
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	26,9%	38,4%	42,7%	46,1%
Autoconsumo (%)	49,4%	72,6%	80,8%	87,6%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	597,3	741,8	796,9	841,5

Tabela 10 - Comparação entre s/Baterias e Baterias LG.

	s/Baterias	Baterias LG		
	-	3,3 kWh	6,6 kWh	9.3 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	7782,4	7080	6274	5857
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	2880,2	2888	2879	2865
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	2950,1	2139	1279	826
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	704	1518	1950
Autoconsumo (kWh/ano)	2880,2	3592	4397	4815
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	26,9%	33,6%	41,0%	45,1%
Autoconsumo (%)	49,4%	63,2%	78,0%	85,8%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	597,3	678,1	776,5	827,3

Tabela 11 - Comparação entre s/Baterias e Baterias ENPHASE/HUAWEI.

	s/Baterias	Baterias ENPHASE/HUAWEI		
	-	3,5 kWh	5,1kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	7782,4	6851	6664	5892
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	2889	2889	2880	2879
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	2941,3	1988	1663	789
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	935	1124	1893
Autoconsumo (kWh/ano)	2889	3824	4004	4772
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	26,9%	35,7%	37,5%	44,7%
Autoconsumo (%)	49,4%	65,7%	70,6%	85,8%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	597,3	710,3	727	818,8

Com o aumento da potência do campo solar, observamos mudanças significativas nos indicadores de desempenho, conforme detalhado nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tendo como referência os valores acima destacados, a energia injetada na rede apresentou valores significativamente superiores em comparação com a configuração anterior, verificando-se no caso sem baterias um aumento de quase 50%. Este aumento é uma consequência direta da maior capacidade de geração do gerador fotovoltaico. Contudo, esta maior injeção de energia na rede resulta em percentagens de autoconsumo menores, uma vez que, a produção excedente de energia não é consumida localmente e é direcionada para a rede.

Em comparação com a configuração anterior, as baterias com capacidade a partir de 9,3 kWh garantem quase 100% de autoconsumo. Nesta configuração, o maior autoconsumo registado foi de 87,8%, evidenciando que capacidades superiores de baterias podem, também, ser uma boa solução a nível técnico.

A poupança energética, também, registou um aumento significativo. Com um aumento na produção e consequentemente uma maior capacidade de armazenamento, o sistema torna-se mais eficiente no aproveitamento da energia solar disponível, reduzindo os custos associados ao consumo de energia da rede. Nos casos em que foram utilizadas baterias com capacidade a partir de 9,3 kWh, a redução do consumo por parte da rede elétrica alcançou quase 50%.

Os indicadores mensais obtidos para esta potência de campo solar, especificamente referentes aos meses de julho e dezembro, estão apresentados nas Figuras 31, 32 e 33.

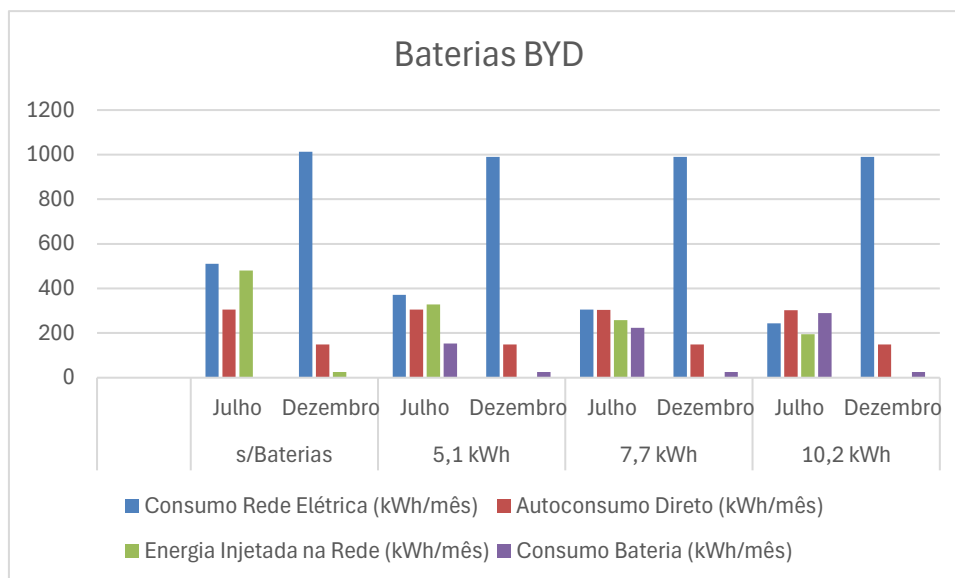


Figura 31 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.

Neste contexto, conforme observado na análise anual, o aumento da capacidade de produção tem resultado em significativas poupanças energéticas. No entanto, simultaneamente, a quantidade de energia produzida e injetada na rede também tem crescido. Esta configuração destaca-se por apresentar os melhores índices de poupança energética e os menores valores de energia consumida proveniente da RESP anualmente.

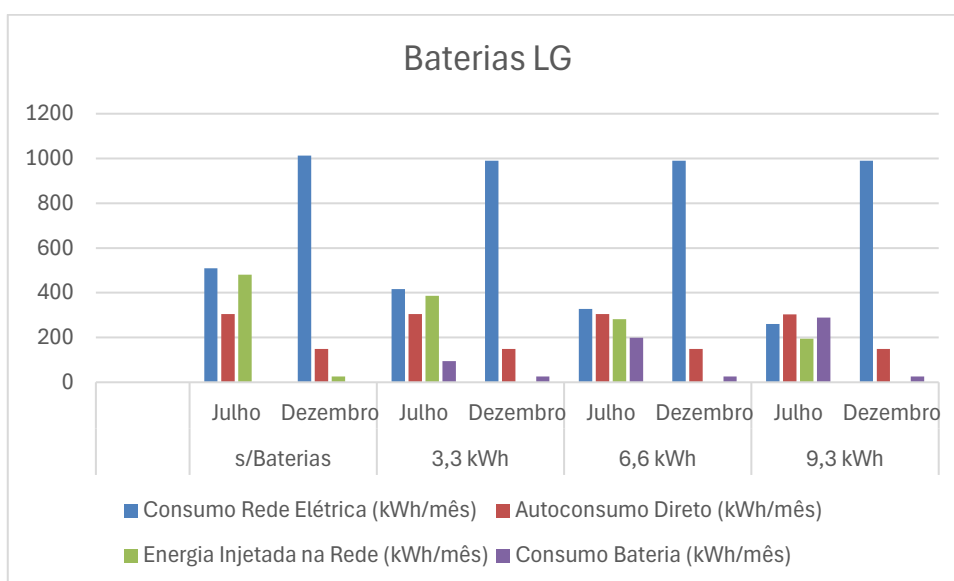


Figura 32 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.

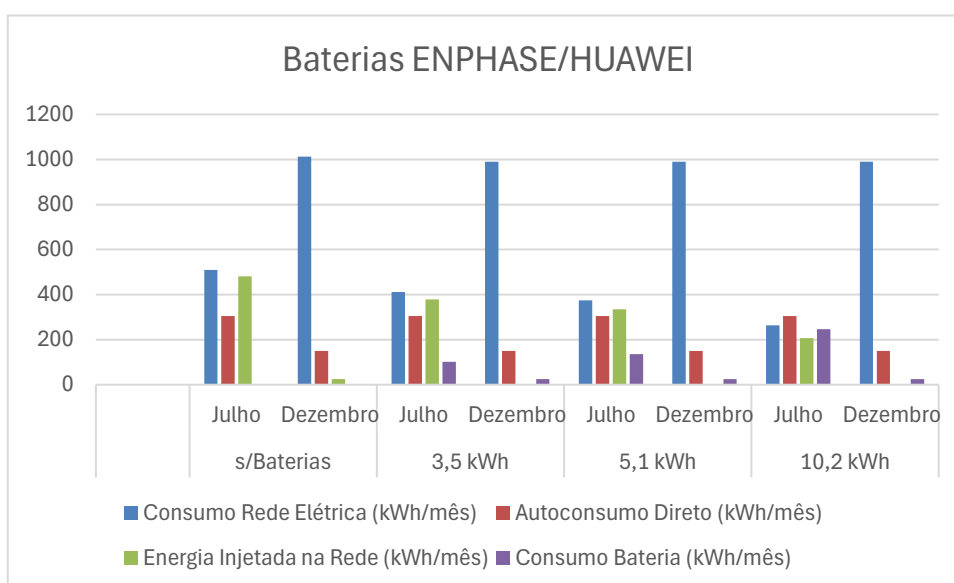


Figura 33 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias ENPHASE/HUAWEI.

Por outro lado, exibe os piores índices de energia produzida injetada na rede e de energia produzida consumida, em comparação com a configuração anterior. Verifica-se, portanto, que no mês de maior produção, nomeadamente julho, a energia injetada na RESP acaba por superar o autoconsumo direto, tanto na solução sem baterias quanto em algumas soluções com armazenamento.

No que diz respeito ainda à análise do mês de julho, é importante destacar que as soluções com baterias apresentam uma redução significativa no consumo de energia da RESP, registando uma diminuição de aproximadamente 70% nas soluções com capacidades a partir de 9,3 kWh. Em contraste, a solução sem baterias necessita do dobro da energia proveniente da RESP."

Tal como verificado na configuração anterior, existe uma diferença considerável entre os meses de julho e dezembro. Esta configuração não é exceção, apresentando resultados menos favoráveis durante o inverno, o que era esperado.

No anexo B, encontram-se detalhadamente os indicadores energéticos obtidos para ambos os meses.

4.1.3 Campo Solar 2,67 kWp Vs Campo Solar 4,01 kWp

No gráfico das Figuras 34, 35 e 36, são representados de forma gráfica os indicadores energéticos (anuais) das tabelas anteriores, proporcionando uma compreensão mais clara da redução da energia proveniente da RESP em ambas as configurações. A área designada como "produção" corresponde à quantidade de energia gerada em relação ao consumo total da instalação.

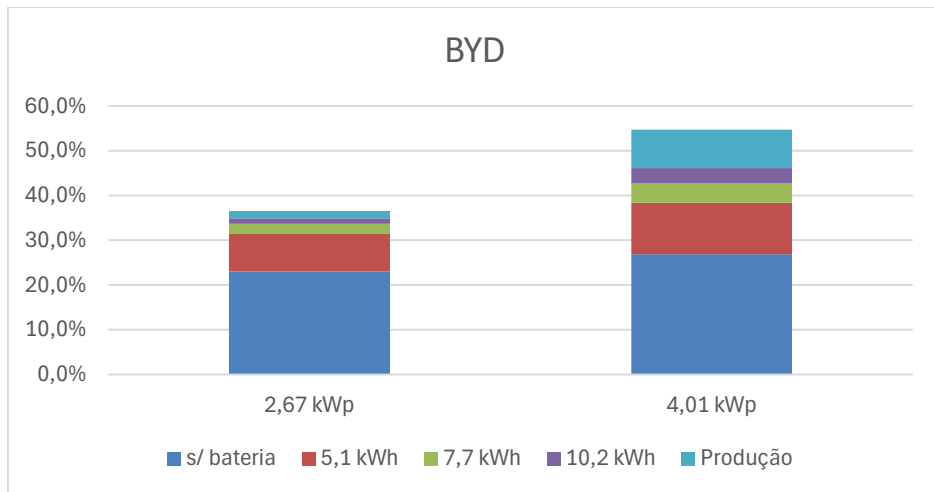


Figura 34 - Redução da energia proveniente da RESP (BYD).

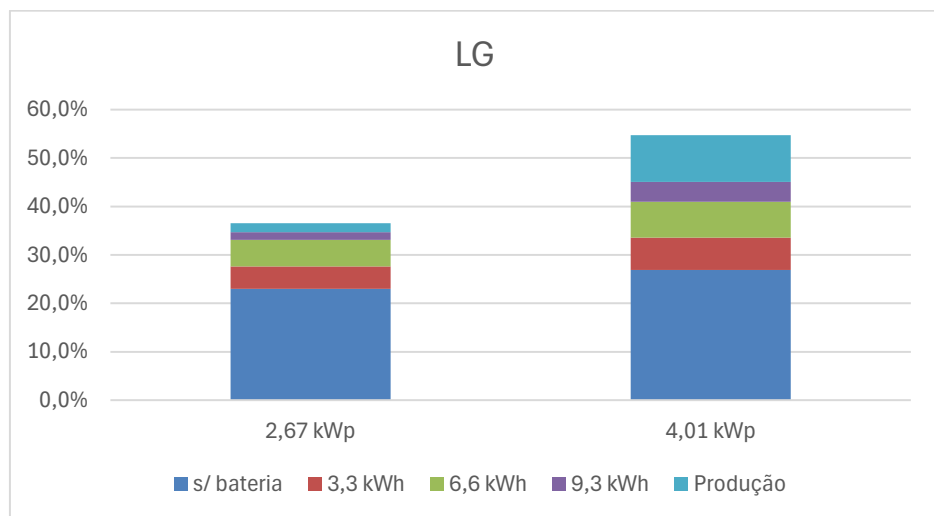


Figura 35 - Redução da energia proveniente da RESP (LG).

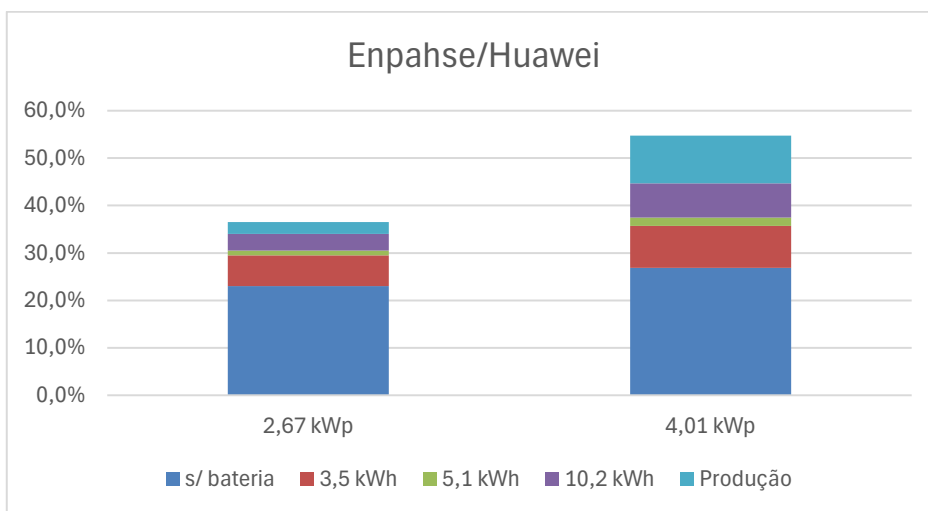


Figura 36 - Redução da energia proveniente da RESP (ENPHASE/HUAWEI).

4.1.4 Análise Económica

Para a análise económica do primeiro cenário, foram considerados vários parâmetros fundamentais:

Foi considerado o investimento inicial, que abrange o custo total do sistema, conforme detalhado na Tabela 4. Este investimento inclui todos os componentes necessários para a instalação do sistema de autoconsumo.

De seguida, foi considerado o valor da remuneração pela injeção da energia excedente na rede, representando uma fonte adicional de rendimento.

Posteriormente, a economia de energia, resultante da poupança proporcionada pelo autoconsumo, foi considerada como parâmetro essencial, levou a uma redução significativa dos custos com eletricidade.

Por fim, foram consideradas as despesas de manutenção, que incluem os custos recorrentes associados à manutenção e operação do sistema ao longo do tempo.

Na tabela seguinte, são apresentados os indicadores de rentabilidade de todos os casos analisados de autoconsumo, VAL, TIR e o PRC. A combinação destes parâmetros oferece uma visão abrangente da viabilidade económica do sistema de autoconsumo proposto par este cenário.

Com base nos resultados fornecidos, pela Tabela 12, verifica-se que quando se utiliza uma configuração de maior potência para o campo solar, todos os indicadores de rentabilidade, como VAL, TIR e PRC, são otimizados em comparação com a configuração de menor potência. Evidenciando que uma maior capacidade instalada proporciona um desempenho econômico mais favorável, possivelmente devido à maior geração de energia e à maior eficiência no uso dos recursos analisados.

Tabela 12 – Análise Económica, Cenário 1.

CENÁRIO 1		2,67 kWp			4,01 kWp		
		VAL	TIR	PRC	VAL	TIR	PRC
s/baterias	-	3 442,2 €	20%	4,4 Anos	4 911,9 €	21%	4,9 Anos
Baterias BYD	5,1 kWh	661,4 €	7%	12,5 Anos	2 053,4 €	8%	11,1 Anos
	7,7 kWh	- 529,0 €	5%	14,5 Anos	1 227,3 €	7%	12,2 Anos
	10,2 kWh	-2 176,4 €	4%	16,9 Anos	- 21,8 €	6%	13,7 Anos
Baterias LG	3,3 kWh	1 833,8 €	10%	10,1 Anos	3 010,2 €	11%	9,3 Anos
	6,3 kWh	563,7 €	7%	12,7 Anos	3 284,1 €	10%	9,6 Anos
	9,3 kWh	- 555,2 €	5%	14,5 Anos	1 401,6 €	7%	12,1 Anos
Baterias HUAWEI/ ENPHASE	3,5 kWh	2 810,8 €	12%	8,4 Anos	4 721,4 €	15%	7,0 Anos
	5,1 kWh	321,4 €	6%	13,1 Anos	2 290,8 €	9%	10,6 Anos
	10,2 kWh	- 1 900,6 €	4%	16,6 Anos	767,8 €	7%	12,8 Anos

Na configuração de menor potência, todas as soluções que utilizam baterias com capacidade igual ou superior a 7,7 kW resultaram em indicadores de VAL negativos. Indicando que, para sistemas menores, o custo adicional de baterias com maior capacidade de armazenamento não é justificado pelos benefícios em termos de economia de energia, levando a resultados econômicos desfavoráveis.

Na configuração de maior potência, apenas uma solução apresentou um VAL negativo: a bateria BYD de 10,2 kWh. Este resultado pode ser atribuído ao custo mais elevado desta bateria em comparação com as alternativas da LG e HUAWEI, conforme demonstrado na Tabela 4.

A maior despesa inicial associada à BYD não é compensada pela economia de energia ao longo do tempo, resultando num VAL negativo. Verifica-se que para soluções de baterias de maior capacidade os indicadores de rentabilidade são piores que soluções de baterias de menor capacidade.

Em ambas as configurações (menor e maior potência), as melhores soluções foram a UPAC sem baterias, que apresentou um PRC bastante atrativo. Esta vantagem decorre da ausência de gastos com a aquisição de um novo inversor, conforme discutido no ponto 3.5.2 da dissertação. Para a UPAC com baterias, a melhor solução foi a bateria ENPHASE de 3,5 kW de capacidade, que apresentou indicadores de rentabilidade similares à UPAC sem baterias. Isso deve-se ao fato de a bateria ENPHASE incluir 4 microinversores, eliminando a necessidade de um inversor adicional e consequentemente reduzindo os custos gerais.

As tabelas com os resultados econômicos ao longo dos 25 anos do projeto, tanto para a solução sem baterias quanto para a solução com a bateria ENPHASE de 3,5 kWh, estão disponíveis no Anexo C, respetivamente.

4.2 Cenário 2 – Instalação de Sistemas Fotovoltaicos em Habitação sem Instalação Prévia: Viabilidade e Benefícios da Implementação de Soluções com e sem Armazenamento

Como mencionado anteriormente, neste segundo cenário, as mesmas soluções para o sistema de autoconsumo serão analisadas com uma diferença nos valores de consumo utilizados. Noutras palavras, todo o consumo é proveniente na RESP, o que significa que não há nenhum valor de energia consumido por uma instalação fotovoltaica.

Com base na potência contratada (17,25 kVA), o consumo da habitação foi calculado, conforme mostra a Figura 37. O consumo médio mensal associado a essa potência contratada foi determinado com base nos dados fornecidos pela EDP. A partir dos valores de consumo utilizados no cenário anterior (vazio, cheio e ponta), ajustaram-se as percentagens de cada tipo de consumo para aproximar os valores aos tabelados pela EDP [32].

A tabela com os valores dos consumos mensais pode ser encontrada no Anexo A desta dissertação.

Para este segundo cenário, foram adotadas as mesmas configurações de potência do campo solar utilizadas no cenário anterior.

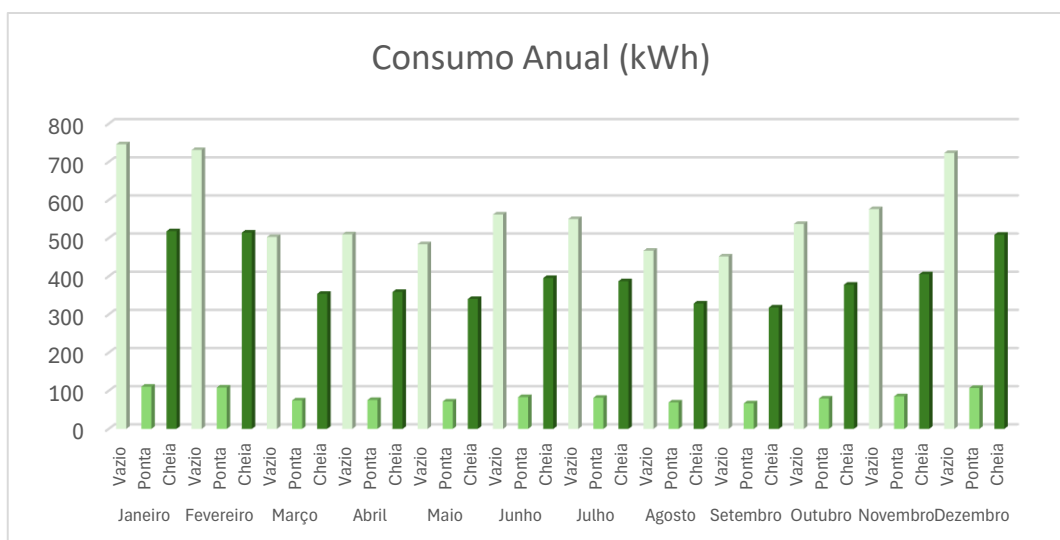


Figura 37 - Consumo anual de uma habitação sem sistema fotovoltaico (kWh).

4.2.1 Sistemas de autoconsumo sem armazenamentos

4.2.1.1 Configuração - Campo Solar 2,67 kWp

A Figura 38, mostra os resultados do programa Pvsol para o campo solar de 2,67 kWp. Dado que foi utilizada a mesma potência de campo solar, os valores que o sistema produz anualmente são muito semelhantes aos do cenário anterior. O sistema gera anualmente 3852 kWh/ano.

No entanto, devido às alterações no consumo mensal e, conseqüentemente, no consumo anual, os valores relativos à distribuição da energia produzida pela UPAC sofreram alterações. A percentagem de “autoconsumo” aumentou significativamente para 81,6%. Isso deve-se ao aumento do consumo por parte da RESP. Este aumento resulta em uma maior quantidade de energia produzida que é consumida internamente, o que, por sua vez, diminui a quantidade de energia injetada na rede.

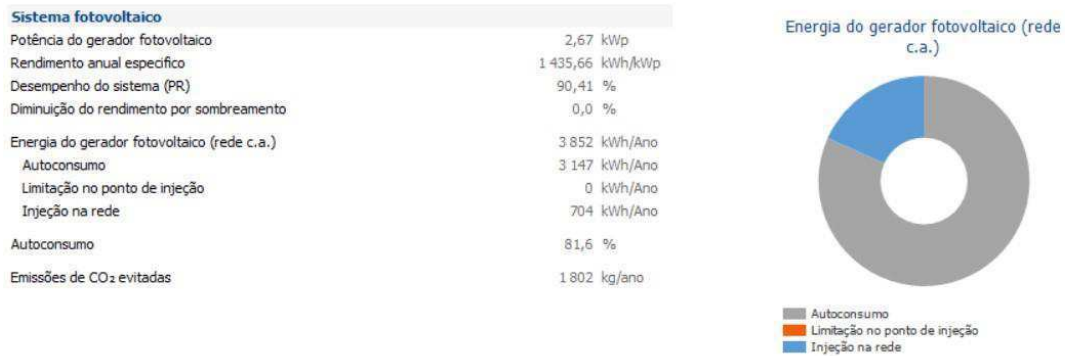


Figura 38 - Características da UPAC (Cenário 2).

Na Figura 39, encontra-se representada a utilização da energia fotovoltaica produzida ao longo do ano. Observa-se que a componente de “autoconsumo” supera a “injeção na rede” ao longo do ano, como analisado anteriormente.

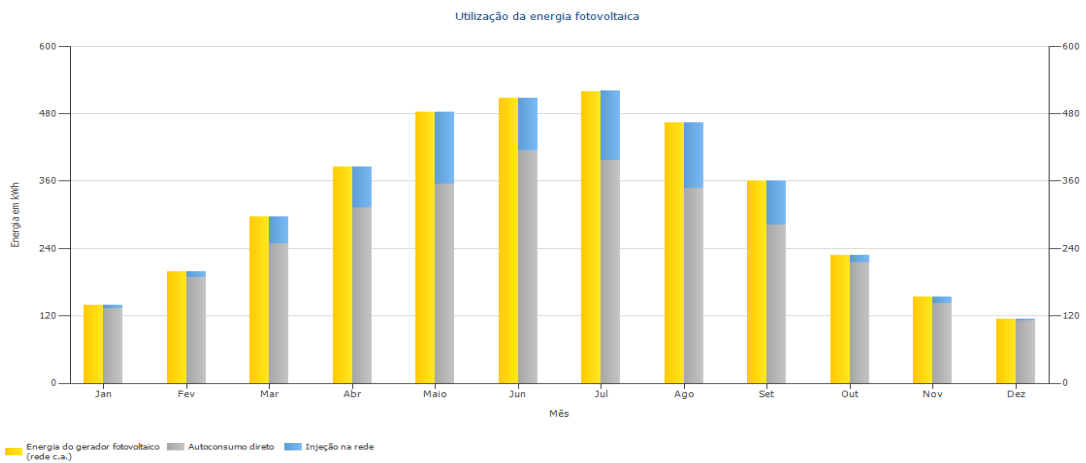


Figura 39 - Distribuição da Energia Produzida (Cenário 2).

Observando a Figura 40, nota-se que o sistema simulado apresenta um nível de autonomia de 24,8%. Isso evidencia que, apesar da UPAC apresentar uma alta percentagem de autoconsumo, a quantidade de energia fornecida pela RESP ainda é substancialmente maior do que a fornecida pela UPAC.



Figura 40 - Consumo Total (Cenário 2).

A Figura 41, apresenta graficamente a distribuição da energia proveniente da rede e do sistema solar fotovoltaico ao longo de um ano.

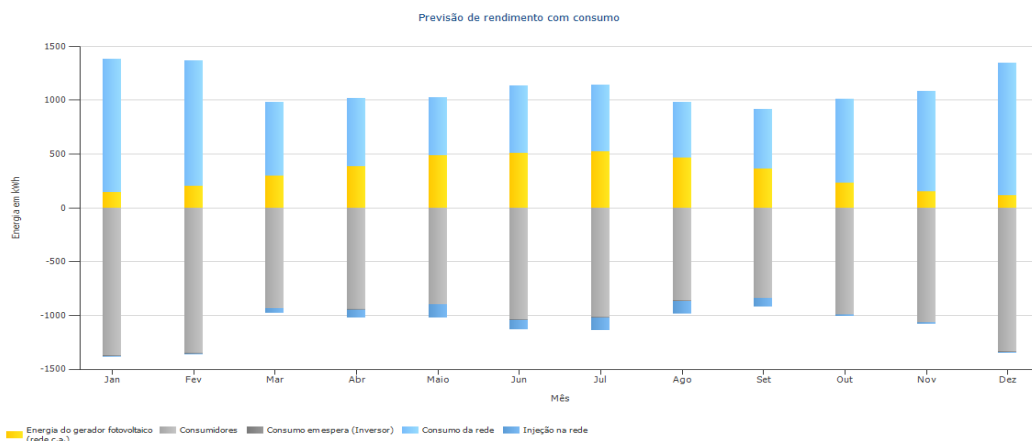


Figura 41 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP (Cenário 2).

4.2.1.2 Configuração - Campo Solar 4,01 kWp

À semelhança do que aconteceu na configuração anterior, o valor da energia gerada pelo sistema fotovoltaico permanece o mesmo do que o do cenário 1, ou seja, 5830 kWh/ano, Figura 42.

No que diz respeito aos conceitos de “autoconsumo” e “injeção na rede”, verificou-se, assim como no cenário 1, uma diminuição na percentagem de autoconsumo (64,1%) e, conseqüentemente, um aumento da energia injetada na rede em comparação com a configuração de menor potência.

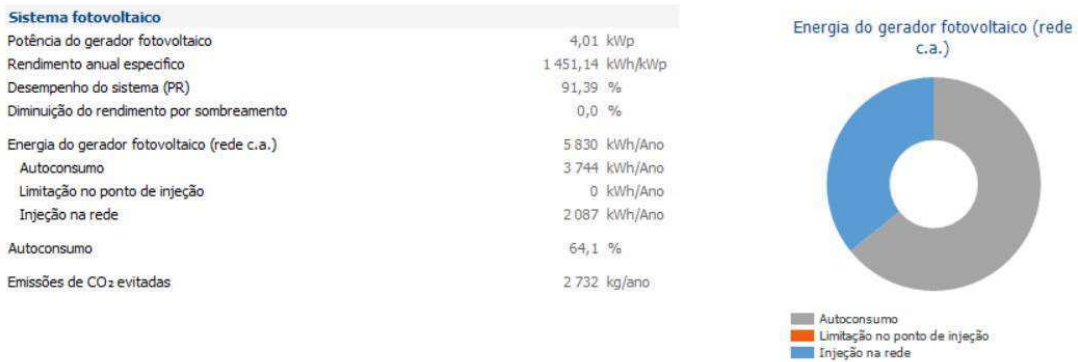


Figura 42 - Características da UPAC (Cenário 2).

Na Figura 43, está ilustrada a utilização da energia fotovoltaica ao longo do ano, considerando a configuração específica.

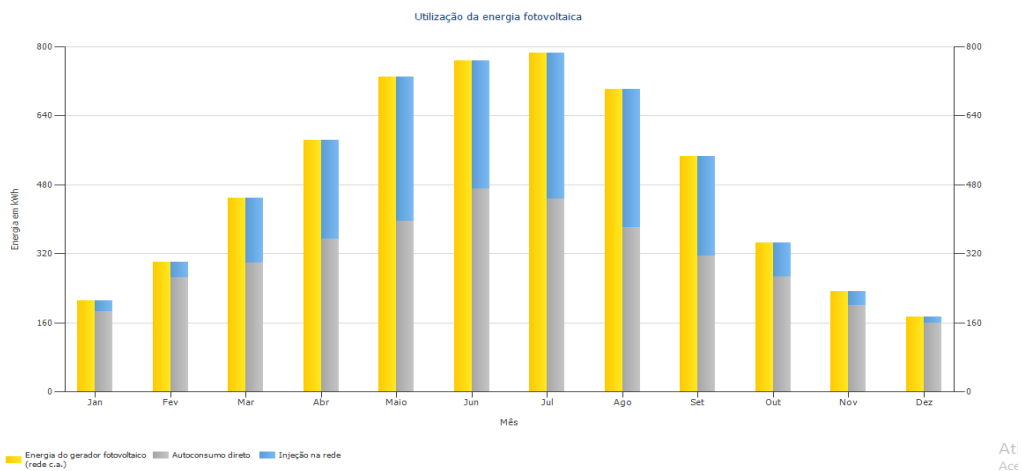


Figura 43 - Distribuição da Energia Produzida (Cenário 2).

Em relação à cobertura do consumo pela UPAC e RESP, observa-se que a proporção da energia proveniente da fração solar aumentou proporcionalmente com o aumento da potência do campo solar, em linha com as observações do primeiro cenário, conforme evidenciado na Figura 44.



Figura 44 - Consumo Total (Cenário 2).

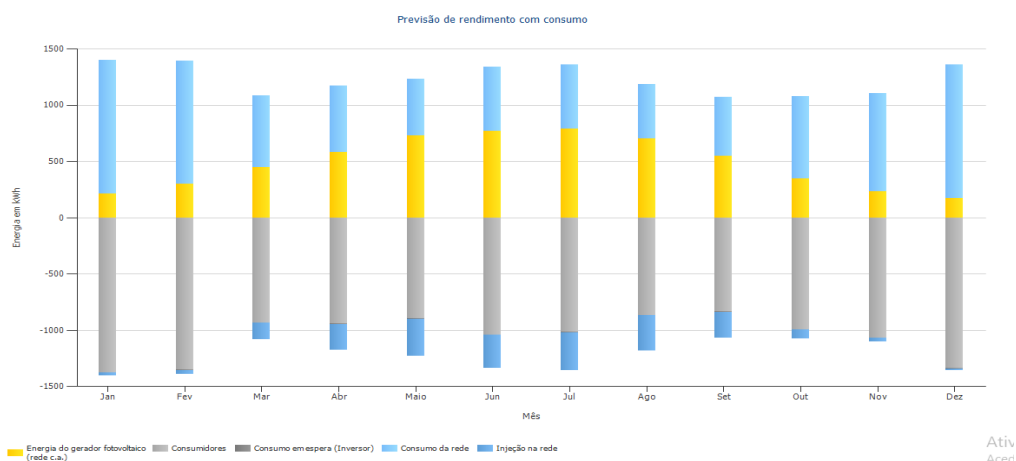


Figura 45 - Cobertura do consumo pela UPAC e RESP (Cenário 2).

A Figura 45, apresenta de forma gráfica os dados referentes à cobertura do consumo retratada na Figura 44.

4.2.2 Sistemas de Autoconsumo com Armazenamento

4.2.2.1 Configuração - Campo Solar 2,67 kWp

Conforme foi analisado no cenário 1, para possibilitar uma comparação de resultados, foram adotadas as mesmas análises mensais e anuais para esta configuração.

Nas Tabelas 13, 14 e 15 encontram-se os resultados obtidos para os indicadores anuais, listados antes e após a implementação de um sistema de armazenamento.

Com base nos dados das Tabelas 13, 14 e 15, aliados às informações fornecidas na Figura 38, torna-se evidente que, na simulação deste cenário com a configuração atual, o sistema sem baterias alcança um elevado percentual de autoconsumo, atingindo 80,9%. Essa constatação demonstra a eficácia do sistema ao maximizar a utilização direta da energia produzida sem armazenamento. É interessante observar que, em comparação com o cenário 1, o percentual de autoconsumo da UPAC sem baterias supera até mesmo o percentual de autoconsumo da UPAC com baterias de 3,3 kWh da LG, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 13 - Comparação entre s/Baterias e Baterias BYD.

	s/Baterias	Baterias BYD (HVS)		
	-	5,1 kWh	7,7 kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	9533,3	8929	8901	8896
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	3147,2	3131	3141	3147
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	744,8	24	0	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	622	641	639
Autoconsumo (kWh/ano)	3147,2	3753	3782	3786
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	24,8%	29,6%	29,8%	29,8%
Autoconsumo (%)	80,9%	99,4%	100,0%	100,0%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	599,8	662,3	666,4	667,1

Tabela 14 - Comparação entre s/Baterias e Baterias LG.

	s/Baterias	Baterias LG		
	-	3,3 kWh	6,6 kWh	9,3 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	9533,3	9127	8895	8891
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	3147,2	3124	3135	3147
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	744,8	198	0	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	429	653	645
Autoconsumo (kWh/ano)	3147,2	3553	3788	3792
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	24,8%	28,0%	29,8%	29,8%
Autoconsumo (%)	80,9%	94,8%	100,0%	100,0%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	599,8	633,9	667,4	668,1

Tabela 15 - Comparação entre s/Baterias e Baterias ENPHASE/HUAWEI.

	s/Baterias	Baterias ENPHASE/HUAWEI		
	-	3,5 kWh	5,1kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	9533,3	8977	8960	8917
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	3147,2	3147	3147	3147
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	744,8	137	45	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	556	573	616
Autoconsumo (kWh/ano)	3147,2	3703	3720	3763
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	24,8%	29,2%	29,3%	29,6%
Autoconsumo (%)	80,9%	96,4%	98,8%	100,0%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	599,8	616,4	616,6	620,8

A UPAC alcançou 100% de autoconsumo nas situações em que foram utilizadas baterias de maior capacidade. No entanto, é evidente que baterias com capacidades superiores a 5,1 kWh não são soluções ideais, como indicam as tabelas acima apresentadas, onde não é aproveitado na totalidade a capacidade de armazenamento. Como por exemplo nas soluções 7,7 kWh e 10,2 kWh da BYD que apresentam o mesmo consumo de bateria apresentando capacidades de armazenamento diferentes, Tabela 13.

Portanto, as melhores opções seriam baterias com capacidades até 5,1 kWh, como a bateria 3,3 kWh da LG, a de 3,5 kWh da Enphase e as baterias de 5,1 kWh da BYD e Huawei.

Realça-se o facto que a economia na fatura de eletricidade neste caso não segue a mesma tendência observada no primeiro cenário, visto que, capacidades de armazenamento superiores a 5,1 kWh não são utilizadas na totalidade, como acima referido. Consequentemente, a economia na fatura de eletricidade não aumenta de forma gradual, permanecendo praticamente inalterada a partir dessa capacidade de 5,1 kWh.

Nas Figuras 46, 47 e 48, encontram-se os resultados obtidos para os indicadores mensais da configuração de menor potência, listados antes e após a implementação de um sistema de armazenamento.

Com base nos indicadores energéticos de julho, apresentados nos gráficos das Figuras 46, 47 e 48, constata-se, em consonância com a análise anual, que certas baterias não representam soluções ideais.

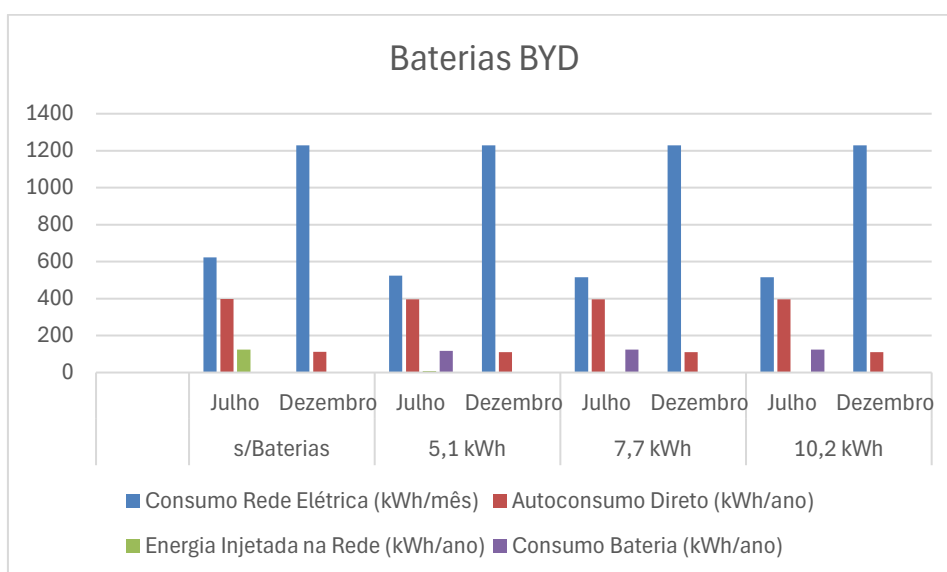


Figura 46 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.

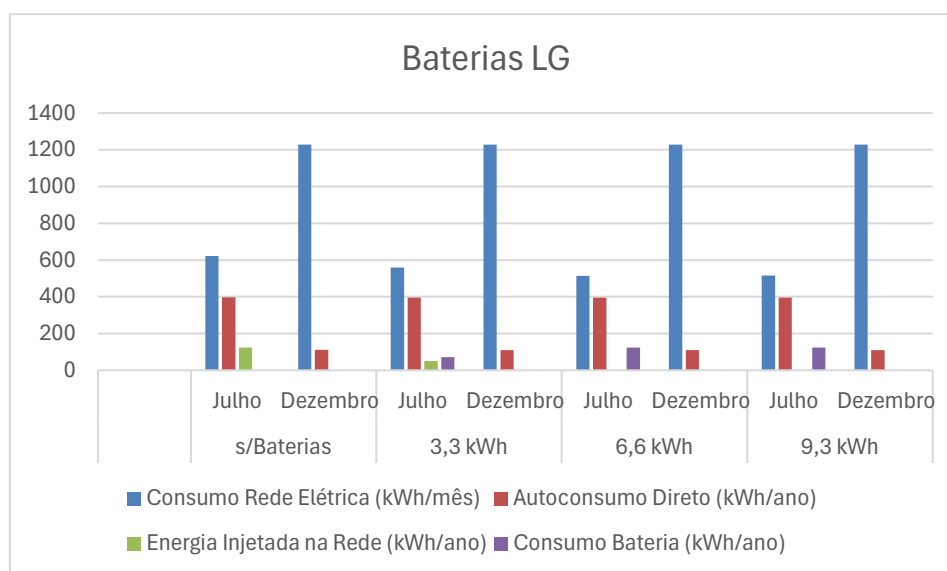


Figura 47 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.

Estes gráficos mostram que a capacidade de armazenamento não é plenamente aproveitada. Esse facto é evidente, pois, a partir de uma certa capacidade, a redução do consumo pela RESP não se altera. Ainda assim, é importante destacar que as soluções com baterias apresentam uma redução considerável no consumo de energia da RESP, registando uma diminuição entre os 45% e os 50%.

Conforme observado no cenário anterior, há uma diferença considerável entre os meses de julho e dezembro. Esta configuração não é exceção, exibindo resultados menos favoráveis durante o inverno, o que era previsível.

No anexo B, encontram-se detalhadamente os indicadores energéticos obtidos para ambos os meses.

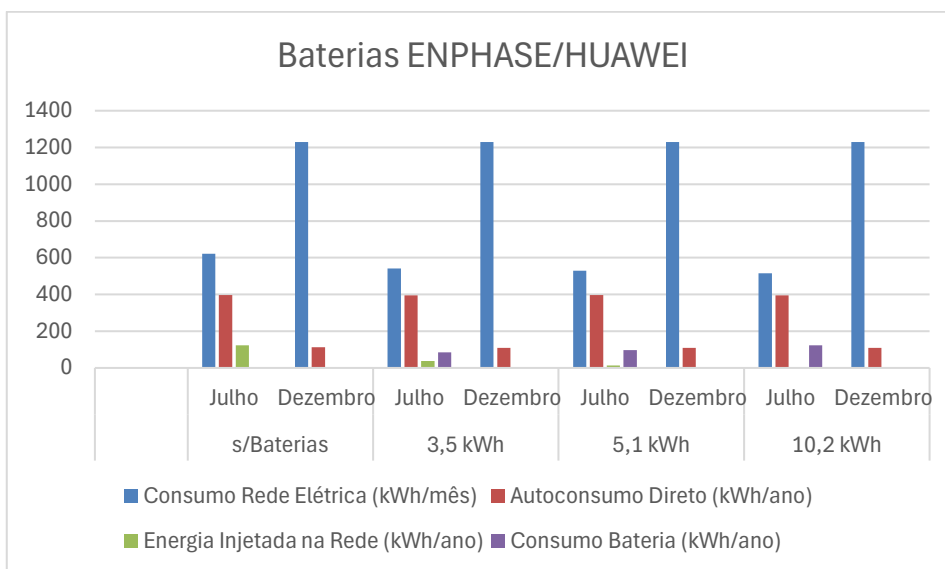


Figura 48 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.

4.2.2.2 Configuração - Campo Solar 4,01 kWp

Tal como na configuração anterior, para comparar os resultados, foram usadas as mesmas análises mensais e anuais para esta configuração, como analisado no cenário 1.

Nas Tabelas 16, 17 e 18 encontram-se os resultados obtidos para os indicadores anuais, listados antes e após a implementação de um sistema de armazenamento.

Tabela 16 - Comparação entre s/Baterias e Baterias BYD.

	s/Baterias	Baterias BYD (HVS)		
	-	5,1 kWh	7,7 kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	8936,9	7856	7485	7214
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	3743,6	3738	3727	3718
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	2086,7	895	503	221
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	1087	1469	1748
Autoconsumo (kWh/ano)	3743,6	4825	5196	5466
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	29,5%	38,0%	41,0%	43,1%
Autoconsumo (%)	64,2%	84,6%	91,3%	96,2%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	734,5	885,9	935,6	971,9

Analisando os resultados das Tabelas 16, 17 e 18 observa-se que, tal como no cenário 1, as percentagens de autoconsumo diminuíram em todos os casos analisados com o aumento da potência do campo solar. Nenhuma das soluções analisadas garantiu 100% de autoconsumo. No entanto, valores próximos a este patamar foram atingidos nos casos de baterias de maior capacidade.

Este ponto sugere que baterias com capacidade superior a 10,2 kWh podem não ser uma boa solução, apesar de garantir 100% de autoconsumo. Isso deve-se ao facto de que, conforme mencionado em análises anteriores, as suas capacidades não seriam utilizadas na totalidade.

No cenário 1, onde baterias de maior capacidade garantiam até 87,6% de autoconsumo, baterias de maior capacidade às analisadas poderiam ser uma boa solução a nível técnico.

Contrariamente, no cenário atual essa eficácia não se confirma, reforçando a necessidade de otimizar a escolha das capacidades das baterias para maximizar o autoconsumo sem subutilizar o armazenamento disponível.

Tabela 17 - Comparação entre s/Baterias e Baterias LG.

	s/Baterias	Baterias LG		
		3,3 kWh	6,6 kWh	9,3 kWh
	-			
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	8936,9	8296	7616	7297
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	3743,6	3742	3733	3722
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	2086,7	1336	630	283
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	663	1331	1661
Autoconsumo (kWh/ano)	3743,6	4405	5064	5383
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	29,5%	34,6%	40,0%	42,4%
Autoconsumo (%)	64,2%	77,6%	89,2%	95,1%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	734,5	829,5	917,4	959,7

Os resultados das Tabelas 16, 17 e 18 mostram que o aumento da capacidade da bateria é diretamente proporcional à redução da fatura, tal como aconteceu em ambas as configurações do cenário 1. O mesmo não se verificou na configuração de menor potência do cenário 2, onde a economia na fatura de eletricidade não aumenta de forma gradual, permanecendo praticamente inalterada a partir dessa capacidade de 5,1 kWh, como foi analisado anteriormente.

Tabela 18 - Comparação entre s/Baterias e Baterias ENPHASE/HUAWEI.

	s/Baterias	Baterias ENPHASE/HUAWEI		
	-	3,5 kWh	5,1kWh	10,2 kWh
Consumo Rede Elétrica (kWh/ano)	8936,9	8099	7954	7341
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	3743,6	3744	3744	3744
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	2086,7	1227	965	273
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	842	980	1591
Autoconsumo (kWh/ano)	3743,6	4586	4724	5335
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	29,5%	36,1%	37,3%	42,1%
Autoconsumo (%)	64,2%	78,8%	83,0%	95,1%
Poupança Fatura 1ºAno (€)	734,5	805,6	817,9	891

Nas Figuras 49, 50 e 51 encontram-se os resultados obtidos para os indicadores mensais da configuração de maior potência do segundo cenário, listados antes e após a implementação de um sistema de armazenamento.

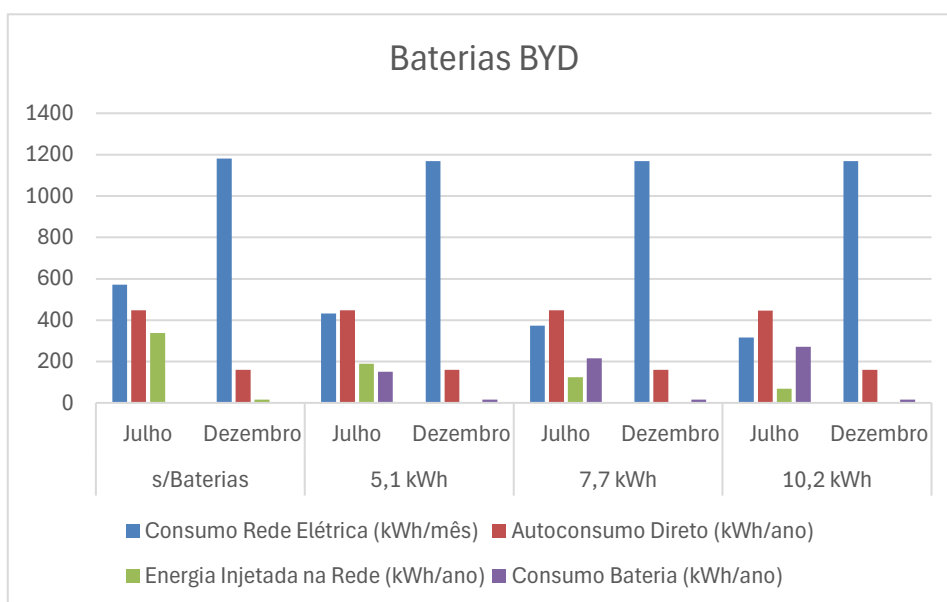


Figura 49 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias BYD.

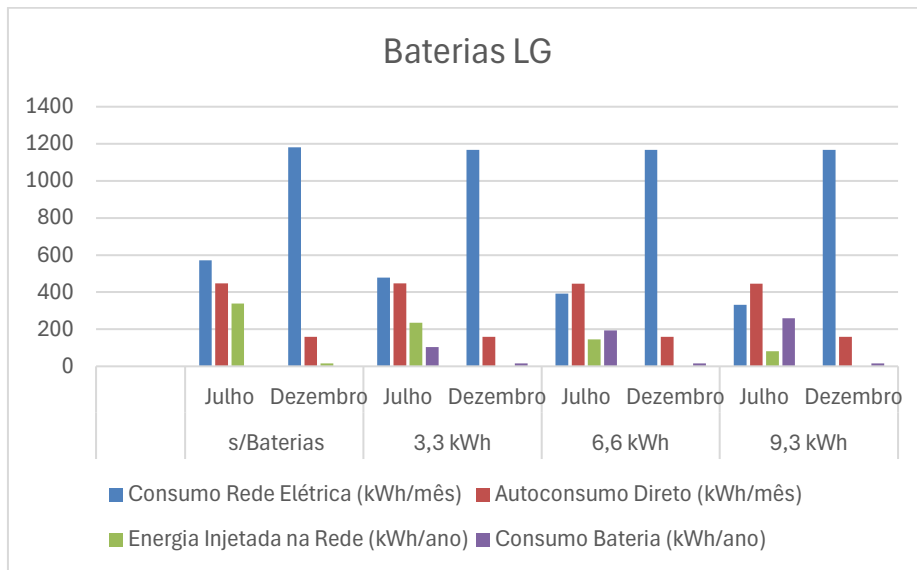


Figura 50 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias LG.

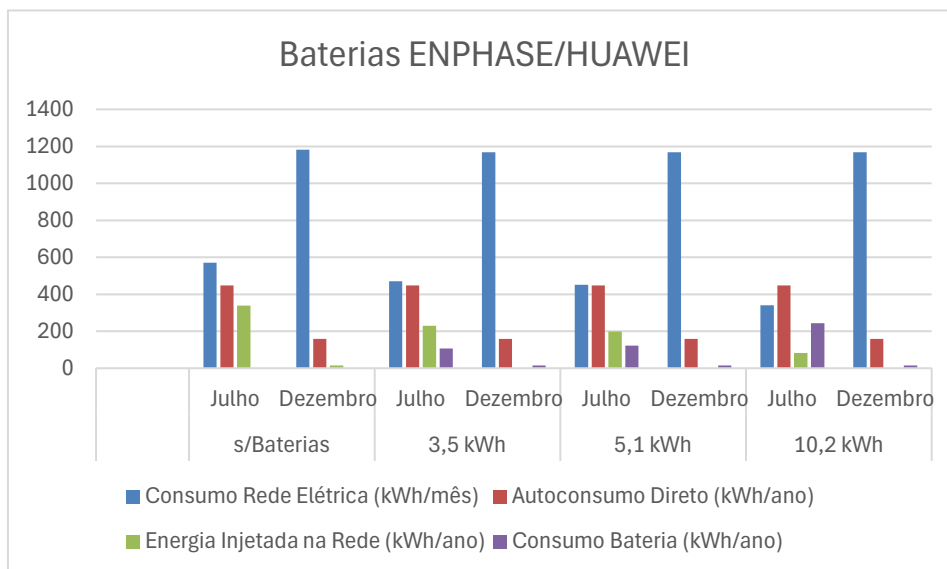


Figura 51 - Indicadores energéticos dos meses de julho e dezembro, baterias ENPHASE/HUAWEI.

Analisando os resultados dos gráficos apresentados, observa-se que, conforme na análise anual, as percentagens de autoconsumo diminuíram em todos os casos analisados com o aumento da potência do campo solar. Similarmente ao cenário 1, verifica-se que, no mês de julho, soluções com baterias de maior capacidade constituem uma excelente opção energética, atingindo níveis de autoconsumo em torno de 90%. Em contraste com a configuração anterior deste segundo cenário, nota-se que a redução da energia proveniente da RESP é diretamente proporcional ao aumento das capacidades de armazenamento das baterias, evidenciando que a capacidade de armazenamento é plenamente aproveitada em todas as soluções analisadas.

Conseqüentemente, verifica-se que, no mês de julho, soluções com baterias apresentam uma redução de 50% a 70% na energia proveniente da RESP.

Como mencionado anteriormente, existe uma distinção significativa entre os meses de julho e dezembro. Esta situação não foge à regra, apresentando resultados menos favoráveis durante o inverno, conforme era esperado.

No anexo B, encontram-se detalhadamente os indicadores energéticos obtidos para ambos os meses.

4.2.3 Campo Solar 2,67 kWp Vs Campo Solar 4,01 kWp

No gráfico das Figuras 52, 53 e 54, são representados de forma gráfica os dados das Tabelas anteriores, proporcionando uma compreensão mais clara da redução da energia proveniente da RESP em ambas as configurações do cenário 2.

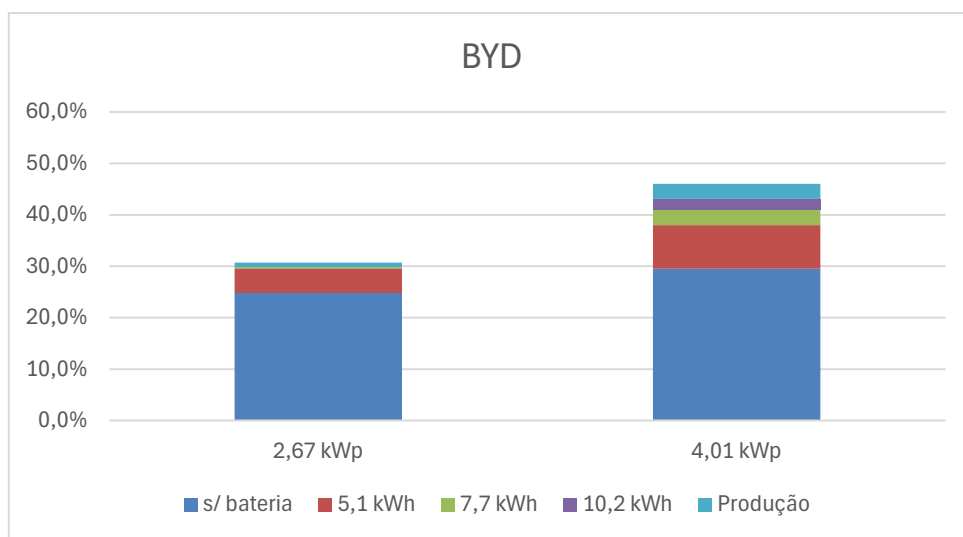


Figura 52 - Redução da energia proveniente da RESP (BYD)

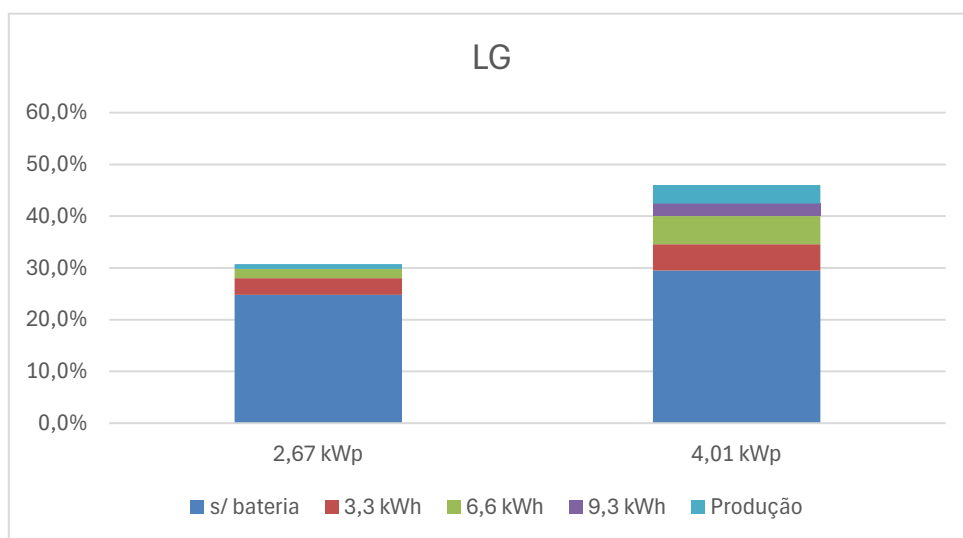


Figura 53 - Redução da energia proveniente da RESP (LG).

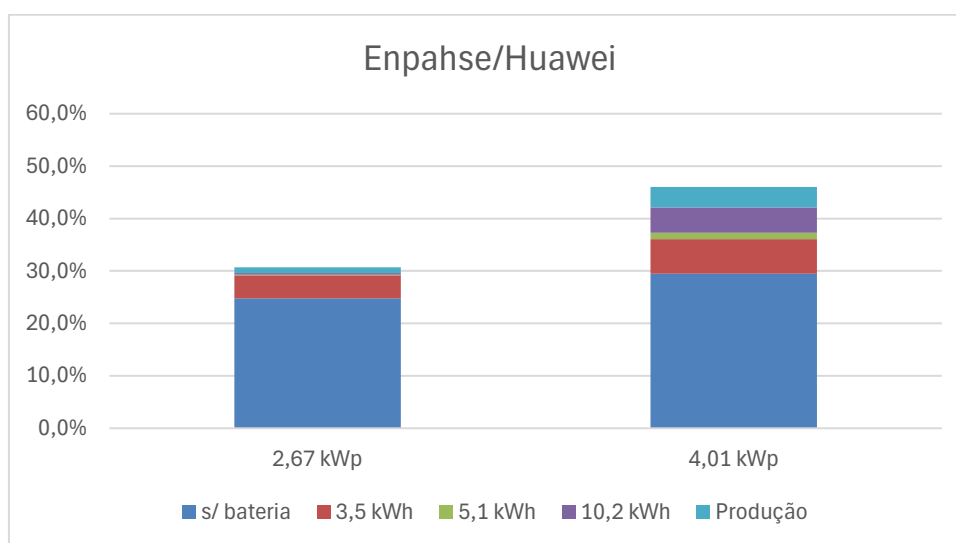


Figura 54 - Redução da energia proveniente da RESP (ENPHASE/HUAWEI).

4.2.4 Análise Económica

Para a análise económica do segundo cenário, foram utilizados os mesmos métodos e parâmetros fundamentais considerados no primeiro cenário.

Nesta análise, foram considerados os valores da Tabela 5 para o investimento inicial.

Na tabela seguinte, são apresentados os indicadores de rentabilidade de todos os casos analisados de autoconsumo para o cenário 2.

Tabela 19 – Análise Económica, Cenário 2.

CENÁRIO 2		2,67 kWp			4,01 kWp		
		VAL	TIR	PRC	VAL	TIR	PRC
s/baterias	-	4 368,4 €	17%	6,1 Anos	5 182,2 €	16%	6,6 Anos
Baterias BYD	5,1 kWh	2 039,0 €	9%	10,7 Anos	4 160,7 €	11%	9,2 Anos
	7,7 kWh	478,5 €	7%	12,9 Anos	3 276,2 €	9%	10,4 Anos
	10,2 kWh	-1 412,5 €	5%	15,6 Anos	1 914,3 €	8%	11,9 Anos
Baterias LG	3,3 kWh	3 556,6 €	13%	8,0 Anos	5 255,1 €	14%	7,5 Anos
	6,3 kWh	2 847,2 €	10%	9,5 Anos	5 361,5 €	13%	8,1 Anos
	9,3 kWh	246,0 €	6%	13,3 Anos	3 349,5 €	9%	10,4 Anos
Baterias HUAWEI/ ENPHASE	3,5 kWh	3 822,5 €	14%	7,33 Anos	6 334,8 €	17%	6,1 Anos
	5,1 kWh	1 193,4 €	8%	11,8 Anos	3 959,3 €	11%	9,2 Anos
	10,2 kWh	-1 602,6 €	4%	16,1 Anos	2 525,1 €	8%	11,2 Anos

Tal como no cenário 1, os indicadores de rentabilidade apresentam melhores resultados para uma maior potência do campo solar. Observa-se que, na configuração de menor potência, apenas soluções com capacidade superior a 9,3 kWh apresentaram um VAL inferior a zero. Esta informação contrasta com os resultados do primeiro cenário, no qual valores negativos de VAL foram encontrados para baterias com capacidade de 7,7 kWh ou mais. Nenhuma das soluções apresentou valores de VAL negativos na configuração de maior potência.

No que se refere, à configuração de menor potência, a solução da UPAC sem armazenamento de energia continua a ser a mais rentável.

No entanto, em contraste com o cenário 1, a solução da UPAC sem baterias não é a melhor opção para a configuração de maior potência, visto que, a poupança obtida pelo uso de determinadas baterias, como por exemplo a 3.3 e 6.3 da LG e a 3.5 da ENPHASE, cujo investimento é superior à solução da UPAC sem baterias, traz um maior benefício económico.

Tendo em conta o referido, na configuração de maior potência, a melhor solução em termos de investimento é a bateria de 3,5 kWh da ENPHASE. E embora, todas as outras baterias sejam soluções rentáveis, verifica-se que, quanto maior for a capacidade da bateria, menor é a rentabilidade do investimento, sendo exceção a marca LG.

As tabelas contendo os resultados económicos ao longo dos 25 anos do projeto para as soluções com baterias LG de 3,3 kWh, LG de 6,6 kWh e ENPHASE de 3,5 kWh estão disponíveis no Anexo B.

4.3 Comparação e Interpretação de Resultados

4.3.1 Análise energética dos cenários de operação

Relativamente ao Cenário 1, a análise dos dados apresentados nas tabelas referentes à configuração de 2,67 kWp revela que a introdução de baterias na instalação existente resultou em um aumento significativo no autoconsumo da energia produzida, atingindo níveis iguais ou superiores a 80% em todas as soluções examinadas. Este aumento no autoconsumo está diretamente relacionado com a redução expressiva da energia injetada na rede em comparação com a solução sem baterias, conforme evidenciado nas tabelas mencionadas.

Contudo, é crucial destacar que baterias com capacidade útil superior a 10,2 kWh deixam de ser uma solução eficiente. Os dados indicam que baterias com capacidade superior a 9,3 kWh atingem quase 100% de autoconsumo. Portanto, capacidades substancialmente superiores não se revelam ideais do ponto de vista técnico, pois a capacidade total de armazenamento de energia da bateria não seria plenamente aproveitada.

Ainda no contexto deste cenário, ao considerar o aumento da potência do campo solar, observa-se que a energia injetada na rede apresenta valores significativamente superiores em comparação com a configuração de menor potência. Especificamente, no caso sem baterias, há

um aumento de quase 50%. Esta maior injeção de energia na rede resulta em percentagens de autoconsumo menores, uma vez que a produção excedente não é consumida localmente, sendo direcionada para a rede.

Deste modo, as soluções com armazenamento desempenham um papel ainda mais importante no aumento do autoconsumo e, conseqüentemente, na redução da energia injetada. Comparando com a configuração de menor potência, onde baterias com capacidade a partir de 9,3 kWh garantem quase 100% de autoconsumo, nesta configuração, o maior autoconsumo registado foi de 87,8%, indicando que capacidades superiores de baterias também podem ser tecnicamente viáveis.

Para a mesma configuração de menor potência analisada no Cenário 1, o Cenário 2 demonstra uma alta eficácia do sistema em maximizar a utilização direta da energia produzida, sem a necessidade de armazenamento. Comparativamente às conclusões do Cenário 1, ao considerar soluções com baterias, a análise técnica revelou que, na maioria dos casos, a implementação de sistemas de armazenamento não é vantajosa. A UPAC alcançou 100% de autoconsumo nas situações em que foram utilizadas baterias de maior capacidade. Contudo, baterias com capacidades superiores a 5,1 kWh não se mostraram soluções ideais, uma vez que não se aproveita totalmente a capacidade de armazenamento. Por exemplo, as soluções de 7,7 kWh e 10,2 kWh da BYD apresentaram o mesmo consumo de bateria, apesar das diferentes capacidades de armazenamento.

Adicionalmente, no Cenário 2, ao considerar a configuração de maior potência, observa-se que, assim como no Cenário 1, as percentagens de autoconsumo diminuem em todos os casos analisados com o aumento da potência do campo solar. Isto demonstra que soluções com sistemas de armazenamento são tecnicamente rentáveis, obtendo percentagens de autoconsumo de aproximadamente 100% em soluções de bateria com maior capacidade.

Por fim, a análise mensal evidencia a influência da sazonalidade nos sistemas de autoconsumo. Observa-se encargos energéticos mais elevados no inverno, especialmente em dezembro, devido ao aumento do consumo e à redução na produção fotovoltaica. Em contraste, no verão, particularmente em julho, os encargos energéticos diminuem em virtude do menor consumo e da maior produção fotovoltaica. Para ambas as configurações dos dois cenários estudados, constatou-se uma diferença considerável entre os meses de julho e dezembro, com resultados menos favoráveis durante o inverno. Esses dados confirmam a necessidade de adaptar as estratégias energéticas às variações sazonais para melhorar a eficiência dos sistemas.

4.3.2 Síntese dos Resultados Económicos

Conclui-se que, no cenário 1, com menor potência do campo solar, a implementação de sistemas de armazenamento mostrou-se uma boa solução técnica, mas economicamente desfavorável em determinadas situações.

Entre as soluções de baterias, as que apresentaram os melhores resultados foram as de menor capacidade de armazenamento, nomeadamente a ENPHASE de 3,5 kWh, que não necessitou da aquisição de um inversor, reduzindo assim os custos, seguida pela LG de 3,3 kWh.

Para sistemas de menor potência na habitação em estudo, à medida que foram implementados sistemas de armazenamento de maior capacidade, a rentabilidade económica do projeto diminuiu. Verificou-se que, a partir de 7,7 kWh de capacidade, a solução não é rentável. Portanto, a implementação de sistemas de armazenamento com baterias de maior capacidade não é justificada pelos benefícios em termos de economia de energia, levando a resultados económicos desfavoráveis.

Ainda para o cenário 1, economicamente, a configuração de maior potência apresentou resultados substancialmente superiores em comparação com a de menor potência. A única solução com VAL negativo foi a bateria BYD de 10,2 kWh, devido ao seu elevado custo inicial que não foi compensado pela economia de energia ao longo do tempo. Soluções com baterias de maior capacidade demonstraram uma rentabilidade inferior às de menor capacidade.

A solução UPAC sem baterias ainda é a melhor opção, apesar dos melhores resultados das soluções com sistemas de armazenamento. No entanto, a bateria ENPHASE de 3,5 kWh apresentou indicadores de rentabilidade ligeiramente inferiores, mas com um “Fluxo de Caixa Acumulado Nominal” superior, conforme evidenciado no Anexo C desta dissertação.

Relativamente ao cenário 2, do ponto de vista económico, para a configuração de menor potência, soluções de baterias com capacidade superior a 9,3 kWh não demonstraram indicadores de rentabilidade favoráveis. Similarmente ao primeiro cenário, a solução sem baterias continua a apresentar os melhores indicadores de rentabilidade. No entanto, as baterias LG 3,3 kWh e ENPHASE 3,5 kWh também se destacam como boas opções de investimento.

Tal como no cenário 1, os indicadores de rentabilidade económica melhoram com o aumento da potência do campo solar. Nenhuma das soluções apresentou valores de VAL negativos na configuração de maior potência. Contudo, diferentemente do cenário 1, a solução da UPAC sem baterias não é a mais vantajosa na configuração de maior potência, pois o uso de determinadas baterias, como as de 3,3 kWh e 6,3 kWh da LG e a de 3,5 kWh da ENPHASE, embora exijam um investimento inicial superior, proporcionam maior benefício económico.

Dessa forma, na configuração de maior potência, a melhor opção de investimento é a bateria de 3,5 kWh da ENPHASE. Embora todas as outras baterias sejam soluções rentáveis, observa-se que, quanto maior a capacidade da bateria, menor é a rentabilidade do investimento, com exceção das baterias da marca LG.

5 Conclusão

5.1 Análise Conclusiva

O principal propósito deste estudo consistiu na análise de um sistema fotovoltaico residencial voltado para o autoconsumo, com foco particular no armazenamento de energia. A pesquisa abrangeu desde a fase inicial de concepção e dimensionamento do sistema até a avaliação de seu desempenho, englobando aspectos como eficiência energética e viabilidade econômica.

O setor fotovoltaico tem ganho crescente destaque como uma fonte viável de produção de energia, especialmente devido à queda contínua nos custos associados à tecnologia envolvida. Paralelamente, o mercado de baterias tem testemunhado um crescimento e evolução consideráveis, resultando em tecnologias cada vez mais robustas e confiáveis para uma ampla gama de aplicações.

Para os perfis de consumo analisados, tanto no cenário 1 quanto no cenário 2, foi avaliada a influência da potência instalada não apenas no consumo de energia, mas também nos parâmetros energéticos estudados e na redução dos custos energéticos associados. Este estudo está intrinsecamente ligado aos indicadores de rentabilidade considerados ao longo da dissertação (VAL, TIR e PRI). Concluiu-se que, em ambos os cenários, quanto maior a potência instalada, maior a economia anual e, conseqüentemente maior a quantidade de energia injetada na RESP.

Posteriormente, concluiu-se através da análise da implementação de baterias que o uso desta tecnologia não é economicamente viável para todas as soluções estudadas. Isso ocorre porque o investimento inicial em determinadas baterias não se traduz necessariamente em uma economia energética compensatória.

Observou-se que, em ambos os cenários, na configuração de menor potência, a alternativa mais rentável seria a implementação de um sistema de autoconsumo sem armazenamento, devido aos seus superiores valores de VAL e TIR, além de um PRC inferior. Concretamente, no cenário

2, ao contrário do cenário 1 onde houve reaproveitamento da instalação existente, resultando em menor investimento na solução sem armazenamento, verificou-se igualmente que as soluções com armazenamento não apresentavam a melhor rentabilidade.

Na análise das diferentes configurações de potência, observou-se que as soluções com armazenamento oferecem desempenho superior quando comparadas às configurações de menor potência. No entanto, para o primeiro cenário, concluiu-se que a implementação de um sistema de autoconsumo sem armazenamento é a opção mais vantajosa, aproveitando a infraestrutura já existente na habitação. Apesar disso, a utilização da bateria ENPHASE 3,5 kWh demonstra índices de rentabilidade bastante próximos, apresentando-se como uma alternativa competitiva. Por outro lado, no segundo cenário, verificou-se que as soluções de armazenamento ENPHASE 3,5 kWh, LG 3,3 kWh e LG 6,3 kWh são mais rentáveis do que a opção sem armazenamento, o que contrasta com a situação do cenário 1, onde o investimento inicial na solução sem armazenamento é menor.

Em síntese, a análise técnica e econômica conjunta revela que, para ambas as configurações de menor potência, sistemas sem baterias continuam a ser altamente eficazes e rentáveis. Por outro lado, em configurações de maior potência, as soluções com baterias, mostram-se mais eficientes e economicamente viáveis. Esta conclusão sublinha que a escolha entre soluções com e sem armazenamento não depende apenas da potência instalada, mas também de variáveis específicas de cada cenário, como o investimento inicial necessário, a infraestrutura disponível e os objetivos de rentabilidade a longo prazo.

5.2 Perspetivas de Trabalho Futuro

Em uma perspectiva futura, a habitação do futuro contaria com um inversor híbrido já integrado. Isso permitiria avaliar de forma inequívoca se o “retrofit” realizado na instalação realmente transforma o sistema de armazenamento na melhor solução disponível. No cenário 2, onde uma configuração de maior potência foi implementada, ficou claro que a adoção de certos sistemas de armazenamento é uma escolha viável.

Para estudos subsequentes e para dar continuidade a esta pesquisa, seria vantajoso desenvolver uma metodologia que ofereça um conhecimento detalhado do perfil de consumo da habitação. A comparação das conclusões obtidas por essa metodologia com as alcançadas nesta dissertação poderia validar a consistência das soluções propostas, garantindo assim uma base sólida para futuras implementações e desenvolvimentos tecnológicos na área de sistemas de armazenamento de energia.

Além disso, a integração de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, pode otimizar ainda mais a eficiência e a gestão desses sistemas. O uso de dados em tempo real para monitorar e ajustar o desempenho dos sistemas de armazenamento de energia permitirá uma resposta mais rápida e precisa às necessidades energéticas da habitação. Com a adoção dessas inovações, espera-se não apenas melhorar a sustentabilidade das habitações, mas também reduzir os custos operacionais a longo prazo.

Referências

- [1] G. Távora, J. A. Silva, e S. Mendonça, «EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA: UMA PERSPECTIVA A PARTIR DAS PATENTES DE BATERIAS», 2020, doi: 10.34637/CIES2020.3.1156.
- [2] L. Deotti, W. Guedes, B. Dias, e T. Soares, «Technical and Economic Analysis of Battery Storage for Residential Solar Photovoltaic Systems in the Brazilian Regulatory Context», *Energies*, vol. 13, n.º 24, Art. n.º 24, jan. 2020, doi: 10.3390/en13246517.
- [3] F. M. M. André, «Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos com Baterias Ligados à Rede».
- [4] I. Mendes, «DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA AUTOCONSUMO».
- [5] R. M. D. Barros, «SISTEMA DE GESTÃO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS».
- [6] L. C. A. Silva, «Projeto de um Conversor CC-CC Bidirecional Isolado para a Ligação de um Sistema de Armazenamento de Energia com o Barramento de Tensão Contínua de um Inversor Trifásico».
- [7] L. Costa, «Análise Técnico-Económica de Sistema de Alimentação de Posto de Carregamento de Veículos Elétricos com recurso a Energia Fotovoltaica e Sistema de Armazenamento de Energia Elétrica».
- [8] Rúben Perdigão, «METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL PARA AUTOCONSUMO COM ARMAZENAMENTO».
- [9] M. Barros, «Introdução de um Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico num Equipamento Coletivo».
- [10] S. M. Ferreira, «Implementação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo».
- [11] «Autoconsumo | Como funciona? - SunEnergy». Acedido: 8 de janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.sunenergy.pt/particulares/autoconsumo/paineissolares-para-autoconsumo/>
- [12] D. Pinheiro, «Avaliação e instalação de uma Unidade de Produção de Autoconsumo (UPAC) com armazenamento de energia».
- [13] J. Lima, «Implementação de produção fotovoltaica para autoconsumo numa instalação industrial».
- [14] M. A. O. De, «O REGIME DO AUTOCONSUMO».
- [15] «Produção de energia para Autoconsumo | E-REDES». Acedido: 10 de janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.e-redes.pt/pt-pt/transicao-energetica/redes-dofuturo/autoconsumo>
- [16] «Célula Fotovoltaica: Tudo que Você Precisa Saber», Blog Eletrônica de Potência. Acedido: 8 de janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>
- [17] N. Costa, «Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particula».
- [18] «Inversor Solar Híbrido HUAWEI SUN2000 Carregador de Baterias com Injeção à Rede 25 kW Monofásico». Acedido: 8 de janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.efectoled.com/pt/comprar-energia-solar/22614-inversor-conexion-a-redtrifasico-doble->

- mppt-.html?utm_source=google&utm_medium=pmax&utm_campaign=PT_Professional_Max_Valor&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA16sBhAoEiwArqIGPjhnZL2MFT6uBewild29e8evEU08s3v8uv28_KAnGAMmuYZj2r5EihoCbb gQAvD_BwE
- [19] I. Santos, «Dimensionamento de baterias para serviços auxiliares».
- [20] E. Sampaio, «Desenvolvimento de um laminado com propriedades eletroquímicas e capacidade de armazenamento de energia.»
- [21] João Pinho e Marco Galdino, «Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos».
- [22] E. D. O. Ataíde, «BATERIAS RECARREGÁVEIS», 2010.
- [23] P. Reis, «Custo das baterias de íões de lítio cai a pique! Será a revolução?», Portal Energias Renováveis. Acedido: 8 de janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/custo-baterias-ioes-litio-147296/>
- [24] «Huawei aposta em baterias combinadas com sistemas de energia solar», Portal Solar. Acedido: 14 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/equipamentos-fv/huawei-apostaem-baterias-combinadas-com-sistemas-de-energia-solar>
- [25] J. Sykes, «Pylontech Battery: An Independent Review by Solar Choice», Solar Choice. Acedido: 14 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.solarchoice.net.au/products/batteries/pylontech-battery-review/>
- [26] «Autoconsumo Portugal». Acedido: 14 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://autoconsumoportugal.pt/meterboost/1031-meterboost-mb48li82-42kwh.html>
- [27] «Krannich Solar Portugal: Nova geração de baterias solares de lítio da BYD: características e vantagens face aos modelos anteriores». Acedido: 14 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://krannich-solar.com/pt-pt/blog/nova-geracaode-baterias-solares-de-litio-da-byd-caracteristicas-e-vantagens-face-aos-modelosanteriores/>
- [28] «Equinox 2 BATT | Bornay - es». Acedido: 14 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.bornay.com/es/productos/inversores-de-conexion-a-redsalicru/equinox-2-batt>
- [29] P. Reis, «Dimensionamento do controlador de carga para um sistema solar», Portal Energias Renováveis. Acedido: 14 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/controlador-carga-sistema-solar/>
- [30] «ERSE - Tarifas e preços - eletricidade». Acedido: 18 de janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>
- [31] Signed.pt, «O que é a tarifa tri-horária | Glossário», Goldenergy. Acedido: 11 de janeiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://goldenergy.pt/glossario/tarifa-tri-horaria/>
- [32] EDP, 'FICHA NORMALIZADA DE OFERTA DE FORNECIMENTO DE ENERGIA'. [Online]. Available: https://www.edp.pt/media/y1hfrpn3/ele_indexada__janeiro.pdf

ANEXOS

Anexo A – Perfis de consumo de ambos os cenários

Tabela A.1 - Perfil de consumo da habitação (Cenário 1).

Mês	Consumo Mensal (kWh)		Custo Mensal (€)
Janeiro	Vazio	746	88,37
	Ponta	84	22,11
	Cheia	350	54,45
Fevereiro	Vazio	731	92,47
	Ponta	74	19,74
	Cheia	293	45,33
Março	Vazio	503	63,63
	Ponta	79	21,08
	Cheia	248	38,37
Abril	Vazio	510	64,52
	Ponta	23	6,14
	Cheia	256	39,60
Maio	Vazio	484	61,23
	Ponta	13	3,47
	Cheia	270	41,77
Junho	Vazio	562	71,09
	Ponta	14	3,74
	Cheia	249	38,52
Julho	Vazio	550	83,92
	Ponta	7	2,26
	Cheia	258	46,96
Agosto	Vazio	467	77,43
	Ponta	12	3,99
	Cheia	220	43,85
Setembro	Vazio	452	74,94
	Ponta	7	2,33
	Cheia	275	54,81
Outubro	Vazio	537	89,03
	Ponta	22	7,31
	Cheia	255	50,82
Novembro	Vazio	576	95,50
	Ponta	67	22,26
	Cheia	299	59,59
Dezembro	Vazio	723	74,25
	Ponta	80	20,31
	Cheia	357	55,01

Tabela A.2 - Perfil de consumo da habitação (Cenário 2).

Mês	Consumo Mensal (kWh)		Consumo Total (kWh)
Janeiro	Vazio	746	1381
	Ponta	111	
	Cheia	518	
Fevereiro	Vazio	731	1354
	Ponta	108	
	Cheia	514	
Março	Vazio	503	931
	Ponta	75	
	Cheia	354	
Abril	Vazio	510	944
	Ponta	76	
	Cheia	359	
Maio	Vazio	484	896
	Ponta	72	
	Cheia	341	
Junho	Vazio	562	1041
	Ponta	83	
	Cheia	395	
Julho	Vazio	550	1019
	Ponta	81	
	Cheia	387	
Agosto	Vazio	467	865
	Ponta	69	
	Cheia	329	
Setembro	Vazio	452	837
	Ponta	67	
	Cheia	318	
Outubro	Vazio	537	994
	Ponta	80	
	Cheia	378	
Novembro	Vazio	576	1067
	Ponta	85	
	Cheia	405	
Dezembro	Vazio	723	1339
	Ponta	107	
	Cheia	509	

Anexo B – Indicadores Energéticos Mensais

Tabela B.1 – Indicadores energéticos mensais, baterias BYD campo solar 2,67 kWp(cenário1).

	s/Baterias		Baterias BYD (HVS)					
	-		5,1 kWh		7,7 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	550,7	1051,2	426,7	1045,6	374,6	1045,6	333,1	1045,6
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	264,3	108,8	262,5	108,8	261,6	108,8	258,1	108,8
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	259,9	7,9	118,5	0	61,9	0	17,9	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	139,1	7,9	196,7	7,9	244,2	7,9
Autoconsumo (kWh/ano)	264,3	108,8	401,6	116,7	458,3	116,7	502,3	116,7
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	32,4%	9,4%	47,7%	9,9%	54,1%	9,9%	59,1%	9,9%
Autoconsumo (%)	50,0%	93,2%	76,6%	100,0%	87,4%	100,0%	95,8%	100,0%

Tabela B.2 - Indicadores energéticos mensais, baterias LG campo solar 2,67 kWp (cenário1).

	s/Baterias		Baterias LG					
	-		3,3 kWh		6,6 kWh		9,3 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	550,7	1051,2	484,9	1045,6	390,3	1045,6	339	1045,6
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	264,3	108,8	262,7	108,8	261,6	108,8	261,3	108,8
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	259,9	7,9	169,9	0	83,1	0	28,5	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	87,5	7,9	175,5	7,9	230,4	7,9
Autoconsumo (kWh/ano)	264,3	108,8	350,2	116,7	437,1	116,7	491,7	116,7
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	32,4%	9,4%	40,5%	9,9%	52,1%	9,9%	58,4%	9,9%
Autoconsumo (%)	50,0%	93,2%	66,8%	100,0%	83,3%	100,0%	93,8%	100,0%

Tabela B.3 - Indicadores energéticos mensais, baterias ENPHASE/HUAWEI campo solar 2,67 kWp (cenário1).

	s/Baterias		Baterias ENPHASE/HUAWEI					
	-		3,5 kWh		5,1 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	550,7	1051,2	461,4	1045,6	428,5	1045,6	337,9	1045,6
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	264,3	108,8	262,8	108,8	262,5	108,8	262,3	108,8
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	259,9	7,9	163,2	0	127,6	0	23,8	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	94,1	7,9	134,6	7,9	232,1	7,9
Autoconsumo (kWh/ano)	264,3	108,8	356,9	116,7	397,1	116,7	494,4	116,7
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	32,4%	9,4%	43,4%	9,9%	47,4%	9,9%	58,5%	9,9%
Autoconsumo (%)	50,0%	93,2%	68,1%	100,0%	75,8%	100,0%	94,3%	100,0%

Tabela B.4 - Indicadores energéticos mensais, baterias BYD campo solar 4,01 kWp (cenário1).

	s/Baterias		Baterias BYD (HVS)					
	-		5,1 kWh		7,7 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	510	1012,7	371	990,1	305,1	990,1	244,3	990,1
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	305,2	149,3	304,9	149,3	304,3	149,3	302,8	149,3
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	480,9	25,2	328	0	257,7	0	194,2	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	153,2	25,2	224,1	25,2	289,1	25,2
Autoconsumo (kWh/ano)	305,2	149,3	458,1	174,5	528,4	174,5	591,9	174,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	37,5%	12,7%	54,5%	14,7%	62,6%	14,7%	70,1%	14,7%
Autoconsumo (%)	38,8%	85,6%	58,3%	100,0%	67,2%	100,0%	75,3%	100,0%

Tabela B.5 - Indicadores energéticos mensais, baterias LG campo solar 4,01 kWp (cenário1).

	s/Baterias		Baterias LG					
	-		3,3 kWh		6,6 kWh		9,3 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	510	1012,7	415,8	990,1	327,6	990,1	261,1	990,1
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	305,2	149,3	305,1	149,3	304,6	149,3	302,8	149,3
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	480,9	25,2	386,9	0	282,3	0	194,2	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	94,1	25,2	199,2	25,2	289,1	25,2
Autoconsumo (kWh/ano)	305,2	149,3	399,2	174,5	503,8	174,5	591,9	174,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	37,5%	12,7%	49,0%	14,7%	59,9%	14,7%	70,1%	14,7%
Autoconsumo (%)	38,8%	85,6%	50,8%	100,0%	64,1%	100,0%	75,3%	100,0%

Tabela B.6 - Indicadores energéticos mensais, baterias ENPHASE/HUAWEI campo solar 4,01 kWp (cenário1).

	s/Baterias		Baterias ENPHASE/HUAWEI					
	-		3,5 kWh		5,1 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	510	1012,7	411,1	990,1	374,1	990,1	263,3	990,1
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	305,2	149,3	305,2	149,3	304,9	149,3	304,8	149,3
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	480,9	25,2	379	0	335,3	0	206,1	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	102	25,2	136	25,2	247,1	25,2
Autoconsumo (kWh/ano)	305,2	149,3	407,2	174,5	440,9	174,5	551,9	174,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	37,5%	12,7%	49,6%	14,7%	54,1%	14,7%	67,7%	14,7%
Autoconsumo (%)	38,8%	85,6%	51,8%	100,0%	56,1%	100,0%	70,2%	100,0%

Tabela B.7 - Indicadores energéticos mensais, baterias BYD campo solar 2,67 kWp (cenário2).

	s/Baterias		Baterias BYD (HVS)					
	-		5,1 kWh		7,7 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	622,2	1229,1	523,7	1228,8	515,6	1228,8	515,6	1228,8
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	396,9	111,9	395,9	110,1	395,7	110,1	395,7	110,1
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	123,3	2,5	7,8	0	0	0	0	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	116,9	2,4	123,9	2,4	123,9	2,4
Autoconsumo (kWh/ano)	396,9	111,9	512,8	112,5	519,6	112,5	519,6	112,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	38,9%	8,2%	48,6%	8,3%	49,4%	8,3%	49,4%	8,3%
Autoconsumo (%)	76,3%	97,7%	97,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B.8 - Indicadores energéticos mensais, baterias LG campo solar 2,67 kWp (cenário2).

	s/Baterias		Baterias LG					
	-		3,3 kWh		6,6 kWh		9,3 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	622,2	1229,1	559,8	1228,8	514,1	1228,8	515,6	1228,8
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	396,9	111,9	395	110,1	395,7	110,1	395,7	110,1
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	123,3	2,5	50,4	0	0,1	0	0	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	71,2	2,4	123,8	2,4	123,9	2,4
Autoconsumo (kWh/ano)	396,9	111,9	466,2	112,5	519,5	112,5	519,6	112,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	38,9%	8,2%	45,1%	8,3%	45,1%	8,3%	49,4%	8,3%
Autoconsumo (%)	76,3%	97,7%	89,6%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B.9 - Indicadores energéticos mensais, baterias ENPHASE/HUAWEI campo solar 2,67 kWp (cenário2).

	s/Baterias		Baterias ENPHASE/HUAWEI					
	-		3,5 kWh		5,1 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	622,2	1229,1	541,9	1228,8	529,5	1228,8	515,6	1228,8
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	396,9	111,9	395,1	110,1	395,9	110,1	395,7	110,1
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	123,3	2,5	37,3	0	13,5	0	0	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	84,1	2,4	97,8	2,4	123,9	2,4
Autoconsumo (kWh/ano)	396,9	111,9	479,2	112,5	493,7	112,5	519,6	112,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	38,9%	8,2%	46,8%	8,3%	48,1%	8,3%	49,4%	8,3%
Autoconsumo (%)	76,3%	97,7%	92,1%	100,0%	94,9%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela B.10 - Indicadores energéticos mensais, baterias BYD campo solar 4,01 kWp (cenário2).

	s/Baterias		Baterias BYD (HVS)					
	-		5,1 kWh		7,7 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	571,5	1181,7	432,6	1168,1	373	1168,1	316,5	1168,1
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	447,6	159,3	447,4	159,3	447	159,3	446,1	159,3
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	338,5	15,2	188,9	0	124,2	0	68,4	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	149,8	15,2	214,9	15,2	271,6	15,2
Autoconsumo (kWh/ano)	447,6	159,3	597,2	174,5	661,9	174,5	717,7	174,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	43,9%	11,8%	57,4%	12,8%	63,4%	12,8%	68,9%	12,8%
Autoconsumo (%)	56,9%	91,3%	75,9%	100,0%	84,2%	100,0%	91,3%	100,0%

Tabela B.11 - Indicadores energéticos mensais, baterias LG campo solar 4,01 kWp (cenário2).

	s/Baterias		Baterias LG					
	-		3,3 kWh		6,6 kWh		9,3 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	571,5	1181,7	478,2	1168,1	391,5	1168,1	331,7	1168,1
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	447,6	159,3	447,5	159,3	446,5	159,3	446,2	159,3
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	338,5	15,2	235,2	0	145,7	0	81,4	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	103,4	15,2	193,9	15,2	258,5	15,2
Autoconsumo (kWh/ano)	447,6	159,3	550,9	174,5	640,4	174,5	704,7	174,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	43,9%	11,8%	53,1%	12,8%	61,6%	12,8%	67,4%	12,8%
Autoconsumo (%)	56,9%	91,3%	70,1%	100,0%	81,5%	100,0%	89,6%	100,0%

Tabela B.12 - Indicadores energéticos mensais, baterias ENPHASE/HUAWEI campo solar 4,01 kWp (cenário2).

	s/Baterias		Baterias ENPHASE/HUAWEI					
	-		3,5 kWh		5,1 kWh		10,2 kWh	
	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro	Julho	Dezembro
Consumo Rede Elétrica (kWh/mês)	571,5	1181,7	470,4	1168,1	451	1168,1	340	1168,1
Autoconsumo Direto (kWh/ano)	447,6	159,3	447,6	159,3	447,6	159,3	447,2	159,3
Energia Injetada na Rede (kWh/ano)	338,5	15,2	230,4	0	199,4	0	83,1	0
Consumo Bateria (kWh/ano)	0	0	107,1	15,2	122,1	15,2	243,8	15,2
Autoconsumo (kWh/ano)	447,6	159,3	554,7	174,5	569,7	174,5	691	174,5
Redução Consumo Rede Elétrica (%)	43,9%	11,8%	53,8%	12,8%	55,7%	12,8%	66,7%	12,8%
Autoconsumo (%)	56,9%	91,3%	70,6%	100,0%	72,5%	100,0%	87,9%	100,0%

Anexo C – Viabilidade Económica das soluções Analisadas.

Tabela C.1 - Viabilidade Económica da Solução UPAC sem baterias, campo solar 2,67 kWp (Cenário 1).

Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Autoconsumo (kWh/ano)	Injeção na rede (kWh/ano)	Tarifa Vazio c/IVA (€/kWh)	Tarifa Ponta c/IVA (€/kWh)	Tarifa Cheias c/IVA (€/kWh)	Tarifa de Injeção na Rede (€/kWh)	Poupança Nominal (€)	Receita Venda Nominal (€)	Despesas de Manutenção (€)	Cash-Flow Nominal Anual (€)	Cash-Flow Acumulado Nominal (€)
0											-2033,436	-2033,436
1	3892,0	2448,1	1443,9	0,131856	0,2952	0,214143	0,0400	401,6	57,7	100,0	359,3	-1674,1
2	3878,4	2439,5	1438,9	0,1352	0,3026	0,2195	0,0410	412,5	59,0	102,0	369,5	-1304,7
3	3864,8	2431,0	1433,8	0,1385	0,3101	0,2250	0,0420	421,3	60,3	104,0	377,5	-927,1
4	3851,3	2422,5	1428,8	0,1420	0,3179	0,2306	0,0431	430,3	61,5	106,1	385,8	-541,4
5	3837,8	2414,0	1423,8	0,1455	0,3258	0,2364	0,0442	439,6	62,9	108,2	394,2	-147,2
6	3824,4	2405,5	1418,8	0,1492	0,3340	0,2423	0,0453	449,0	64,2	110,4	402,8	255,6
7	3811,0	2397,1	1413,9	0,1529	0,3423	0,2483	0,0464	458,6	65,6	112,6	411,5	667,1
8	3797,6	2388,7	1408,9	0,1567	0,3509	0,2545	0,0475	468,4	67,0	114,9	420,5	1087,7
9	3784,3	2380,4	1404,0	0,1607	0,3597	0,2609	0,0487	478,4	68,4	117,2	429,7	1517,3
10	3771,1	2372,0	1399,1	0,1647	0,3687	0,2674	0,0500	488,7	69,9	119,5	439,1	1956,4
11	3757,9	2363,7	1394,2	0,1688	0,3779	0,2741	0,0512	499,1	71,4	121,9	448,6	2405,0
12	3744,8	2355,4	1389,3	0,1730	0,3873	0,2810	0,0525	509,8	72,9	124,3	458,4	2863,4
13	3731,6	2347,2	1384,4	0,1773	0,3970	0,2880	0,0538	520,7	74,5	126,8	468,4	3331,8
14	3718,6	2339,0	1379,6	0,1818	0,4069	0,2952	0,0551	531,9	76,1	129,4	478,6	3810,4
15	3705,6	2330,8	1374,8	0,1863	0,4171	0,3026	0,0565	543,3	77,7	131,9	489,0	4299,5
16	3692,6	2322,6	1370,0	0,1910	0,4275	0,3101	0,0579	554,9	79,4	134,6	499,7	4799,1
17	3679,7	2314,5	1365,2	0,1957	0,4382	0,3179	0,0594	566,8	81,1	137,3	510,6	5309,7
18	3666,8	2306,4	1360,4	0,2006	0,4492	0,3258	0,0609	578,9	82,8	140,0	521,7	5831,4
19	3654,0	2298,3	1355,6	0,2057	0,4604	0,3340	0,0624	591,3	84,6	142,8	533,1	6364,5
20	3641,2	2290,3	1350,9	0,2108	0,4719	0,3423	0,0639	604,0	86,4	145,7	544,7	6909,2
21	3628,4	2282,3	1346,1	0,2161	0,4837	0,3509	0,0655	616,9	88,2	148,6	556,6	7465,8
22	3615,7	2274,3	1341,4	0,2215	0,4958	0,3597	0,0672	630,1	90,1	151,6	568,7	8034,5
23	3603,1	2266,3	1336,7	0,2270	0,5082	0,3687	0,0689	643,6	92,1	154,6	581,1	8615,5
24	3590,5	2258,4	1332,1	0,2327	0,5209	0,3779	0,0706	657,4	94,0	157,7	593,7	9209,3
25	3577,9	2250,5	1327,4	0,2385	0,5339	0,3873	0,0723	671,5	96,0	160,8	606,7	9815,9

Tabela C.2 - Viabilidade Económica da Solução UPAC sem baterias, campo solar 4,01 kWp (Cenário 1).

Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Autoconsumo (kWh/ano)	Injeção na rede (kWh/ano)	Tarifa Vazio c/IVA (€/kWh)	Tarifa Ponta c/IVA (€/kWh)	Tarifa Cheias c/IVA (€/kWh)	Tarifa de Injeção na Rede (€/kWh)	Poupança Nominal (€)	Receita Venda Nominal (€)	Despesas de Manutenção (€)	Cash-Flow Nominal Anual (€)	Cash-Flow Acumulado Nominal (€)
0											-2557,416	-2557,416
1	5830,3	2889,0	2941,3	0,1319	0,2952	0,214143	0,0400	479,6	117,7	100,0	497,3	-2060,1
2	5809,9	2878,8	2931,1	0,1352	0,3026	0,2195	0,0410	486,8	120,2	102,0	504,9	-1555,2
3	5789,6	2868,7	2920,8	0,1385	0,3101	0,2250	0,0420	497,2	122,7	104,0	515,9	-1039,3
4	5769,3	2858,7	2910,6	0,1420	0,3179	0,2306	0,0431	507,8	125,4	106,1	527,1	-512,2
5	5749,1	2848,7	2900,4	0,1455	0,3258	0,2364	0,0442	518,7	128,1	108,2	538,5	26,3
6	5729,0	2838,7	2890,3	0,1492	0,3340	0,2423	0,0453	529,8	130,8	110,4	550,2	576,5
7	5708,9	2828,8	2880,2	0,1529	0,3423	0,2483	0,0464	541,2	133,6	112,6	562,1	1138,7
8	5688,9	2818,9	2870,1	0,1567	0,3509	0,2545	0,0475	552,7	136,5	114,9	574,3	1713,0
9	5669,0	2809,0	2860,0	0,1607	0,3597	0,2609	0,0487	564,6	139,4	117,2	586,8	2299,8
10	5649,2	2799,2	2850,0	0,1647	0,3687	0,2674	0,0500	576,7	142,4	119,5	599,5	2899,4
11	5629,4	2789,4	2840,0	0,1688	0,3779	0,2741	0,0512	589,0	145,4	121,9	612,5	3511,9
12	5609,7	2779,6	2830,1	0,1730	0,3873	0,2810	0,0525	601,6	148,5	124,3	625,8	4137,7
13	5590,1	2769,9	2820,2	0,1773	0,3970	0,2880	0,0538	614,5	151,7	126,8	639,4	4777,2
14	5570,5	2760,2	2810,3	0,1818	0,4069	0,2952	0,0551	627,7	155,0	129,4	653,3	5430,4
15	5551,0	2750,5	2800,5	0,1863	0,4171	0,3026	0,0565	641,1	158,3	131,9	667,4	6097,9
16	5531,6	2740,9	2790,7	0,1910	0,4275	0,3101	0,0579	654,8	161,7	134,6	681,9	6779,8
17	5512,2	2731,3	2780,9	0,1957	0,4382	0,3179	0,0594	668,9	165,1	137,3	696,7	7475,5
18	5492,9	2721,8	2771,2	0,2006	0,4492	0,3258	0,0609	683,2	168,7	140,0	711,8	8188,3
19	5473,7	2712,2	2761,5	0,2057	0,4604	0,3340	0,0624	697,8	172,3	142,8	727,3	8915,6
20	5454,6	2702,7	2751,8	0,2108	0,4719	0,3423	0,0639	712,8	176,0	145,7	743,0	9658,7
21	5435,5	2693,3	2742,2	0,2161	0,4837	0,3509	0,0655	728,0	179,7	148,6	759,2	10417,8
22	5416,4	2683,8	2732,6	0,2215	0,4958	0,3597	0,0672	743,6	183,6	151,6	775,6	11193,4
23	5397,5	2674,5	2723,0	0,2270	0,5082	0,3687	0,0689	759,5	187,5	154,6	792,4	11985,9
24	5378,6	2665,1	2713,5	0,2327	0,5209	0,3779	0,0706	775,8	191,5	157,7	809,6	12795,5
25	5359,8	2655,8	2704,0	0,2385	0,5339	0,3873	0,0723	792,4	195,6	160,8	827,2	13622,7

Tabela C.4 - Viabilidade Econômica da Solução UPAC com baterias HUAWEI/ENPHASE, campo solar 4,01 kWp (Cenário 1).

Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Autoconsumo (kWh/ano)			Injeção na Rede (kWh/ano)			Consumo Bateria (kWh/ano)			Tarifa Vazio c/IVA (€/kWh)	Tarifa Ponta c/IVA (€/kWh)	Tarifa Cheias c/IVA (€/kWh)	Tarifa Injeção na rede (€/kWh)	Poupança Nominal (€)			Receita Venda Nominal (€)			Despesas de Manutenção	Cash-Flow Nominal Anual			Cash-Flow Acumulado Nominal						
		3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh	3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh	3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh					3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh	3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh		3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh	3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh	3.5 kWh	5.1 kWh	10.2 kWh	
0																										-4576,6	-7415,4	-10467,1	-4576,6	-7415,4	-10467,1
1	5830,3	2889,0	2880,0	2879,0	1988,0	1663,0	789,0	935,0	1124,0	1893,0	0,1319	0,2952	0,2141	0,0400	630,8	660,5	787,2	79,5	66,5	31,6	100,0	610,3	627,0	718,8	-3966,2	-6788,4	-9748,3	-3966,2	-6788,4	-9748,3	
2	5809,9	2881,7	2870,1	2868,9	1981,2	1655,8	784,3	929,6	1121,3	1888,2	0,1352	0,3026	0,2195	0,0410	644,4	674,9	804,4	81,2	67,9	32,2	102,0	623,7	640,8	734,5	-3342,6	-6147,6	-9013,8	-3342,6	-6147,6	-9013,8	
3	5789,6	2871,6	2860,0	2858,9	1974,2	1650,0	781,6	926,3	1117,4	1881,6	0,1385	0,3101	0,2250	0,0420	658,2	689,3	821,6	83,0	69,3	32,8	104,0	637,2	654,6	750,4	-2705,4	-5493,0	-8263,4	-2705,4	-5493,0	-8263,4	
4	5769,3	2861,6	2850,0	2848,9	1967,3	1644,2	778,9	923,1	1113,5	1875,0	0,1420	0,3179	0,2306	0,0431	672,3	704,1	839,2	84,7	70,8	33,5	106,1	651,0	668,8	766,6	-2054,5	-4824,2	-7496,8	-2054,5	-4824,2	-7496,8	
5	5749,1	2851,6	2840,1	2838,9	1960,4	1638,5	776,1	919,9	1109,6	1868,5	0,1455	0,3258	0,2364	0,0442	686,7	719,2	857,2	86,6	72,3	34,3	108,2	665,0	683,3	783,2	-1389,4	-4140,9	-6713,6	-1389,4	-4140,9	-6713,6	
6	5729,0	2841,6	2830,1	2829,0	1953,6	1632,8	773,4	916,6	1105,7	1861,9	0,1492	0,3340	0,2423	0,0453	701,4	734,6	875,5	88,4	73,9	35,0	110,4	679,4	698,1	800,1	-710,0	-3442,8	-5913,5	-710,0	-3442,8	-5913,5	
7	5708,9	2831,6	2820,2	2819,1	1946,7	1627,0	770,7	913,4	1101,8	1855,4	0,1529	0,3423	0,2483	0,0464	716,4	750,3	894,3	90,3	75,5	35,8	112,6	694,1	713,2	817,4	-15,9	-2729,7	-5086,1	-15,9	-2729,7	-5086,1	
8	5688,9	2821,7	2810,3	2809,2	1939,9	1621,4	768,0	910,2	1098,0	1848,9	0,1567	0,3509	0,2545	0,0475	731,8	766,4	913,4	92,2	77,1	36,5	114,9	709,2	728,6	835,0	693,3	-2001,1	-4261,1	693,3	-2001,1	-4261,1	
9	5669,0	2811,8	2800,5	2799,4	1933,1	1615,7	765,3	907,0	1094,1	1842,4	0,1607	0,3597	0,2609	0,0487	747,5	782,8	933,0	94,2	78,7	37,3	117,2	724,5	744,4	853,1	1417,8	-1256,7	-3408,0	1417,8	-1256,7	-3408,0	
10	5649,2	2802,0	2790,7	2789,6	1926,4	1610,0	762,6	903,9	1090,3	1836,0	0,1647	0,3687	0,2674	0,0500	763,5	799,5	952,9	96,2	80,4	38,1	119,5	740,2	760,5	871,5	2158,0	-496,2	-2536,4	2158,0	-496,2	-2536,4	
11	5629,4	2792,2	2780,9	2779,8	1919,6	1604,4	760,0	900,7	1086,5	1829,6	0,1688	0,3779	0,2741	0,0512	779,8	816,7	973,3	98,3	82,1	38,9	121,9	756,2	776,9	890,4	2914,2	280,7	-1646,1	2914,2	280,7	-1646,1	
12	5609,7	2782,4	2771,2	2770,1	1912,9	1598,8	757,3	897,6	1082,7	1823,2	0,1730	0,3873	0,2810	0,0525	796,5	834,2	994,2	100,4	83,9	39,7	124,3	772,6	793,7	909,6	3686,8	1074,4	-736,5	3686,8	1074,4	-736,5	
13	5590,1	2772,7	2761,5	2760,4	1906,2	1593,2	754,7	894,4	1078,9	1816,8	0,1773	0,3970	0,2880	0,0538	813,6	852,0	1015,5	102,5	85,7	40,6	126,8	789,3	810,9	929,2	4476,1	1885,3	192,7	4476,1	1885,3	192,7	
14	5570,5	2763,0	2751,8	2750,7	1899,5	1587,6	752,0	891,3	1075,1	1810,4	0,1818	0,4069	0,2952	0,0551	831,0	870,3	1037,2	104,7	87,5	41,5	129,4	806,4	828,4	949,3	5282,4	2713,7	1142,1	5282,4	2713,7	1142,1	
15	5551,0	2753,3	2742,2	2741,1	1892,9	1582,0	749,4	888,2	1071,3	1804,1	0,1863	0,4171	0,3026	0,0565	848,8	888,9	1059,4	107,0	89,4	42,4	131,9	823,8	846,4	969,8	6106,3	3560,1	2111,9	6106,3	3560,1	2111,9	
16	5531,6	2743,7	2732,6	2731,5	1886,3	1576,5	746,8	885,1	1067,6	1797,8	0,1910	0,4275	0,3101	0,0579	867,0	907,9	1082,1	109,3	91,3	43,3	134,6	841,6	864,7	990,8	6947,9	4424,7	3102,7	6947,9	4424,7	3102,7	
17	5512,2	2734,1	2723,0	2721,9	1879,7	1571,0	744,2	882,0	1063,9	1791,5	0,1957	0,4382	0,3179	0,0594	885,5	927,4	1105,3	111,6	93,3	44,2	137,3	859,9	883,4	1012,2	7807,7	5308,1	4114,9	7807,7	5308,1	4114,9	
18	5492,9	2724,5	2713,5	2712,4	1873,1	1565,5	741,5	878,9	1060,1	1785,2	0,2006	0,4492	0,3258	0,0609	904,5	947,2	1128,9	114,0	95,3	45,1	140,0	878,5	902,5	1034,1	8686,2	6210,6	5148,9	8686,2	6210,6	5148,9	
19	5473,7	2715,0	2704,0	2702,9	1866,5	1560,0	739,0	875,8	1056,4	1779,0	0,2057	0,4604	0,3340	0,0624	923,8	967,5	1153,1	116,4	97,3	46,1	142,8	897,5	922,0	1056,4	9583,7	7132,6	6205,3	9583,7	7132,6	6205,3	
20	5454,6	2705,5	2694,6	2693,5	1860,0	1554,5	736,4	872,7	1052,7	1772,7	0,2108	0,4719	0,3423	0,0639	943,6	988,2	1177,8	118,9	99,4	47,1	145,7	916,9	941,9	1079,2	10500,6	8074,5	7284,5	10500,6	8074,5	7284,5	
21	5435,5	2696,0	2685,1	2684,0	1853,5	1549,1	733,8	869,7	1049,0	1766,5	0,2161	0,4837	0,3509	0,0655	963,8	1009,4	1203,0	121,5	101,5	48,1	148,6	936,7	962,3	1102,5	11437,3	9036,9	8387,1	11437,3	9036,9	8387,1	
22	5416,4	2686,6	2675,7	2674,6	1847,0	1543,7	731,2	866,6	1045,4	1760,3	0,2215	0,4958	0,3597	0,0672	984,5	1031,0	1228,8	124,1	103,7	49,1	151,6	957,0	983,1	1126,3	12394,3	10020,0	9513,4	12394,3	10020,0	9513,4	
23	5397,5	2677,2	2666,4	2665,3	1840,5	1538,3	728,7	863,6	1041,7	1754,2	0,2270	0,5082	0,3687	0,0689	1005,6	1053,1	1255,1	126,7	105,9	50,2	154,6	977,7	1004,4	1150,7	13372,0	11024,4	10664,1	13372,0	11024,4	10664,1	
24	5378,6	2667,8	2657,0	2656,0	1834,1	1532,9	726,1	860,6	1038,1	1748,0	0,2327	0,5209	0,3779	0,0706	1027,1	1075,6	1282,0	129,5	108,2	51,3	157,7	998,9	1026,1	1175,5	14370,8	12050,5	11839,6	14370,8	12050,5	11839,6	
25	5359,8	2658,4	2647,7	2646,7	1827,7	1527,5	723,6	857,6	1034,4	1741,9	0,2385	0,5339	0,3873	0,0723	1049,1	1098,7	1309,4	132,2	110,5	52,3	160,8	1020,5	1048,3	1200,9	15391,3	13088,9	13040,6	15391,3	13088,9	13040,6	

Tabela C.5 - Viabilidade Econômica da Solução UPAC com baterias LG, campo solar 4,01 kWp (Cenário 2).

Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Autoconsumo (kWh/ano)			Injeção na Rede (kWh/ano)			Consumo Bateria (kWh/ano)			Tarifa Vazio c/IVA (€/kWh)	Tarifa Ponta c/IVA (€/kWh)	Tarifa Cheias c/IVA (€/kWh)	Tarifa Injeção na rede (€/kWh)	Poupança Nominal (€)			Receita Venda Nominal (€)			Despesas de Manutenção	Cash-Flow Nominal Anual			Cash-Flow Acumulado Nominal					
		3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh	3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh	3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh					3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh	3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh		3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh	3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh	3.3 kWh	6.6 kWh	9.3 kWh
0																								-5882,844	-7130,9	-9929,2	-5882,8	-7130,9	-9929,2	
1	5830,3	3742,0	3733,0	3722,0	1336,0	630,0	283,0	663,0	1331,0	1661,0	0,131856	0,2952	0,214143	0,0400	776,1	892,2	948,4	53,4	25,2	11,3	100,0	729,6	817,4	859,8	-5153,3	-6313,5	-9069,4	-5153,3	-6313,5	-9069,4
2	5809,9	3730,0	3718,3	3706,7	1330,5	627,5	278,9	662,3	1324,7	1655,8	0,1352	0,3026	0,2195	0,0410	793,2	910,8	968,5	54,5	25,7	11,4	102,0	745,8	834,5	877,9	-4407,5	-5479,0	-8191,5	-4407,5	-5479,0	-8191,5
3	5789,6	3716,9	3705,3	3693,7	1325,8	625,3	277,9	660,0	1320,0	1650,0	0,1385	0,3101	0,2250	0,0420	810,2	930,3	989,2	55,7	26,3	11,7	104,0	761,9	852,5	896,8	-3645,6	-4626,5	-7294,7	-3645,6	-4626,5	-7294,7
4	5769,3	3703,9	3692,3	3680,8	1321,2	623,1	276,9	657,7	1315,4	1644,2	0,1420	0,3179	0,2306	0,0431	827,6	950,2	1010,4	56,9	26,8	11,9	106,1	778,4	870,9	916,2	-2867,2	-3755,6	-6378,5	-2867,2	-3755,6	-6378,5
5	5749,1	3690,9	3679,4	3667,9	1316,5	620,9	276,0	655,4	1310,8	1638,5	0,1455	0,3258	0,2364	0,0442	845,3	970,5	1032,0	58,1	27,4	12,2	108,2	795,2	889,7	936,0	-2072,1	-2865,9	-5442,5	-2072,1	-2865,9	-5442,5
6	5729,0	3678,0	3666,5	3655,1	1311,9	618,7	275,0	653,1	1306,2	1632,8	0,1492	0,3340	0,2423	0,0453	863,4	991,3	1054,1	59,4	28,0	12,4	110,4	812,4	908,9	956,1	-1259,7	-1957,1	-4486,4	-1259,7	-1957,1	-4486,4
7	5708,9	3665,1	3653,7	3642,3	1307,3	616,6	274,0	650,8	1301,6	1627,0	0,1529	0,3423	0,2483	0,0464	881,9	1012,5	1076,7	60,6	28,6	12,7	112,6	829,9	928,5	976,8	-429,8	-1028,5	-3509,6	-429,8	-1028,5	-3509,6
8	5688,9	3652,3	3640,9	3629,5	1302,8	614,4	273,1	648,5	1297,1	1621,4	0,1567	0,3509	0,2545	0,0475	900,8	1034,2	1099,7	61,9	29,2	13,0	114,9	847,8	948,5	997,9	418,0	-80,0	-2511,8	418,0	-80,0	-2511,8
9	5669,0	3639,5	3628,2	3616,8	1298,2	612,3	272,1	646,3	1292,5	1615,7	0,1607	0,3597	0,2609	0,0487	920,0	1056,3	1123,3	63,3	29,8	13,3	117,2	866,2	969,0	1019,4	1284,2	889,0	-1492,4	1284,2	889,0	-1492,4
10	5649,2	3626,8	3615,5	3604,2	1293,7	610,1	271,2	644,0	1288,0	1610,0	0,1647	0,3687	0,2674	0,0500	939,7	1079,0	1147,3	64,6	30,5	13,5	119,5	884,9	989,9	1041,4	2169,0	1879,0	-451,0	2169,0	1879,0	-451,0
11	5629,4	3614,1	3602,8	3591,6	1289,1	608,0	270,2	641,8	1283,5	1604,4	0,1688	0,3779	0,2741	0,0512	959,9	1102,1	1171,9	66,0	31,1	13,8	121,9	904,0	1011,3	1063,8	3073,0	2890,3	612,8	3073,0	2890,3	612,8
12	5609,7	3601,4	3590,2	3579,0	1284,6	605,8	269,3	639,5	1279,0	1598,8	0,1730	0,3873	0,2810	0,0525	980,4	1125,7	1197,0	67,4	31,8	14,1	124,3	923,5	1033,1	1086,8	3996,5	3923,4	1699,6	3996,5	3923,4	1699,6
13	5590,1	3588,8	3577,7	3566,5	1280,1	603,7	268,3	637,3	1274,5	1593,2	0,1773	0,3970	0,2880	0,0538	1001,4	1149,8	1222,6	68,9	32,5	14,4	126,8	943,5	1055,4	1110,2	4940,0	4978,8	2809,9	4940,0	4978,8	2809,9
14	5570,5	3576,3	3565,1	3554,0	1275,6	601,6	267,4	635,0	1270,1	1587,6	0,1818	0,4069	0,2952	0,0551	1022,9	1174,4	1248,8	70,3	33,2	14,7	129,4	963,8	1078,2	1134,2	5903,8	6057,0	3944,0	5903,8	6057,0	3944,0
15	5551,0	3563,8	3552,7	3541,6	1271,2	599,5	266,4	632,8	1265,6	1582,0	0,1863	0,4171	0,3026	0,0565	1044,8	1199,5	1275,5	71,8	33,9	15,1	131,9	984,7	1101,5	1158,7	6888,5	7158,5	5102,7	6888,5	7158,5	5102,7
16	5531,6	3551,3	3540,2	3529,2	1266,7	597,4	265,5	630,6	1261,2	1576,5	0,1910	0,4275	0,3101	0,0579	1067,1	1225,2	1302,9	73,4	34,6	15,4	134,6	1005,9	1125,2	1183,7	7894,4	8283,8	6286,4	7894,4	8283,8	6286,4
17	5512,2	3538,9	3527,8	3516,8	1262,3	595,3	264,6	628,4	1256,8	1571,0	0,1957	0,4382	0,3179	0,0594	1090,0	1251,5	1330,8	75,0	35,4	15,7	137,3	1027,7	1149,5	1209,2	8922,1	9433,3	7495,5	8922,1	9433,3	7495,5
18	5492,9	3526,5	3515,5	3504,5	1257,9	593,2	263,7	626,2	1252,4	1565,5	0,2006	0,4492	0,3258	0,0609	1113,3	1278,3	1359,3	76,6	36,1	16,0	140,0	1049,9	1174,3	1235,3	9971,9	10607,6	8730,8	9971,9	10607,6	8730,8
19	5473,7	3514,1	3503,2	3492,2	1253,5	591,2	262,7	624,0	1248,0	1560,0	0,2057	0,4604	0,3340	0,0624	1137,2	1305,6	1388,4	78,2	36,9	16,4	142,8	1072,5	1199,7	1261,9	11044,5	11807,3	9992,7	11044,5	11807,3	9992,7
20	5454,6	3501,8	3490,9	3480,0	1249,1	589,1	261,8	621,8	1243,6	1554,5	0,2108	0,4719	0,3423	0,0639	1161,5	1333,6	1418,1	79,9	37,7	16,7	145,7	1095,7	1225,6	1289,1	12140,2	13032,9	11281,9	12140,2	13032,9	11281,9
21	5435,5	3489,6	3478,7	3467,8	1244,7	587,0	260,9	619,6	1239,3	1549,1	0,2161	0,4837	0,3509	0,0655	1186,4	1362,1	1448,5	81,6	38,5	17,1	148,6	1119,4	1252,0	1317,0	13259,5	14284,9	12598,9	13259,5	14284,9	12598,9
22	5416,4	3477,4	3466,5	3455,7	1240,4	585,0	260,0	617,5	1234,9	1543,7	0,2215	0,4958	0,3597	0,0672	1211,8	1391,3	1479,5	83,3	39,3	17,5	151,6	1143,5	1279,0	1345,4	14403,1	15563,9	13944,2	14403,1	15563,9	13944,2
23	5397,5	3465,2	3454,4	3443,6	1236,0	582,9	259,1	615,3	1230,6	1538,3	0,2270	0,5082	0,3687	0,0689	1237,7	1421,1	1511,1	85,1	40,1	17,8	154,6	1168,2	1306,6	1374,4	15571,3	16870,6	15318,6	15571,3	16870,6	15318,6
24	5378,6	3453,1	3442,3	3431,5	1231,7	580,9	258,2	613,2	1226,3	1532,9	0,2327	0,5209	0,3779	0,0706	1264,2	1451,5	1543,5	86,9	41,0	18,2	157,7	1193,5	1334,8	1404,0	16764,8	18205,4	16722,6	16764,8	18205,4	16722,6
25	5359,8	3441,0	3430,3	3419,5	1227,4	578,9	257,3	611,0	1222,0	1527,5	0,2385	0,5339	0,3873	0,0723	1291,3	1482,6	1576,6	88,8	41,9	18,6	160,8	1219,3	1363,6	1434,3	17984,1	19569,1	18157,0	17984,1	19569,1	18157,0

Título: Lorem Ipsum

Subtítulo: Lorem Ipsum

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 29 de junho de 2024

ISEP-XXXX-XXXX-MODestrvm

Página 1

Jose Rui Nogueira Freitas