

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Desenvolvimento de uma Ferramenta de Apoio ao Estudo de Viabilidade de Instalação de Baterias em Sistemas Fotovoltaicos em Operação

Gonçalo de Pina Ribeiro Felgueiras



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira

30 de setembro de 2025

Resumo

A transição energética em curso, impulsionada pela necessidade de reduzir emissões de gases com efeito de estufa e a dependência de fontes fósseis, tem levado à crescente adoção de sistemas de produção de energia renovável, com destaque para a energia solar fotovoltaica. Contudo, a variabilidade e a intermitência desta fonte energética limitam o seu aproveitamento direto, tornando o armazenamento de energia uma solução essencial para maximizar o autoconsumo e aumentar a autonomia energética.

Nesta dissertação desenvolveu-se uma ferramenta em Microsoft Excel, com suporte em VBA, com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e económica da instalação de baterias em sistemas fotovoltaicos de autoconsumo. A ferramenta permite simular cenários com e sem bateria, calcular indicadores energéticos e financeiros (Payback, taxa interna de retorno, valor atual líquido, custo nivelado de eletricidade), identificar a bateria ideal a instalar, assim como, a capacidade ideal de armazenamento para cada caso específico. Importa salientar que a sua aplicação a um caso de estudo real permitiu validar a sua eficácia, revelando ganhos expressivos no autoconsumo e indicadores económicos favoráveis à instalação da bateria.

O trabalho contribui, assim, para a criação de um instrumento prático de apoio à decisão em contexto empresarial, potenciando a adoção de soluções de armazenamento como parte integrante da transição energética sustentável.

Abstract

The ongoing energy transition, driven by the urgency to reduce greenhouse gas emissions and reliance on fossil fuels, has led to a growing adoption of renewable energy systems, particularly photovoltaic installations. However, the inherent variability and intermittency of solar production limit its direct consumption, making energy storage a key solution to increase self-consumption and enhance energy independence.

This dissertation presents the development of a Microsoft Excel-based tool, supported by VBA programming, designed to evaluate the technical and economic feasibility of battery installation in existing PV self-consumption systems. The tool enables the simulation of scenarios with and without storage, the calculation of key performance indicators (Payback Period, Internal Rate of Return, Net Present Value, Levelized Cost of Energy), and the automatic identification of the optimal battery to install for each case.

The tool was applied to a real-world case study, demonstrating its practicality and effectiveness. The results showed a significant improvement in self-consumption and favorable financial indicators, validating the investment in energy storage. This work thus contributes to the development of a practical decision-support system, offering companies a reliable means to evaluate the integration of storage technologies as part of a more sustainable and efficient energy model.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas representam um conjunto de 17 metas globais adotadas em 2015, com o propósito de erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir paz e prosperidade para todos até 2030. Estes objetivos abrangem áreas essenciais como saúde, educação, igualdade de género, energia sustentável, ação climática, entre outros [1].



Figura 1: ODS indicadas - Adaptado de [1]

Como definido nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU [1], a integração de energias renováveis com soluções de armazenamento contribui para as seguintes metas:

ODS 7 Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos;

ODS 9 Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;

ODS 11 Tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis;

ODS 12 Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis;

ODS 13 Tomar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.

ODS	Meta	Contribuição	Indicadores e Métricas de Desempenho
7	7.2	A integração de sistemas fotovoltaicos com armazenamento contribui para o aumento da quota de energias renováveis no mix energético nacional.	Porcentagem de energia consumida proveniente de fontes renováveis; capacidade instalada de FV com baterias.
	7.3	A gestão otimizada da energia armazenada permite melhorar a eficiência energética, reduzindo perdas e picos de consumo.	Redução do consumo na ponta; taxa de autoconsumo; eficiência global do sistema.
9	9.4	A implementação de soluções tecnológicas de armazenamento moderniza infraestruturas energéticas, tornando-as mais sustentáveis e resilientes.	Número de instalações com sistemas de armazenamento; tempo médio de autonomia energética.
11	11.6	A geração local de energia limpa contribui para a redução das emissões urbanas e da pegada ambiental das cidades.	Redução de emissões de CO ₂ ; número de edifícios com sistemas FV; consumo energético local versus externo.
12	12.2	A utilização de recursos renováveis, como o sol, combinada com o armazenamento eficiente, representa um uso responsável dos recursos naturais.	Rácio produção/consumo de energia renovável; intensidade energética do sistema.
13	13.1	O armazenamento de energia contribui para a resiliência energética e adaptação a eventos climáticos extremos, como falhas de rede.	Horas de autonomia energética; número de falhas evitadas por backup de baterias.

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todas as pessoas que me acompanharam e apoiaram ao longo desta etapa acadêmica e pessoal.

Em primeiro lugar, à minha namorada, pelo seu apoio incondicional, incentivo constante e pela presença fundamental, não só durante o desenvolvimento desta dissertação, mas também ao longo do meu percurso pessoal.

À minha mãe, pelo seu exemplo de força e dedicação, e por me incentivar continuamente a tornar-me na melhor versão de mim mesmo.

À minha irmã, por ser uma referência a nível pessoal e profissional, e por me ter proporcionado uma base sólida que me guiou em muitos momentos.

Ao meu pai, pelo apoio que sempre me deu e pela confiança que depositou em mim.

Agradeço também ao Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira, meu orientador académico, pela sua orientação, disponibilidade e constante apoio ao longo deste trabalho.

Ao engenheiro Carlos Rocha, orientador na empresa Ecoinside, pelo acompanhamento prestado e pela partilha de conhecimentos essenciais para o bom desenvolvimento do estágio.

A toda a equipa da Ecoinside, pela oportunidade que me foi concedida, pelo ambiente acolhedor e colaborativo que encontrei, e pela ajuda prestada ao longo de todo o processo.

A todos, o meu sincero obrigado.

That's what I do: I drink and I know things

— Tyrion Lannister

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e Motivação	1
1.2	Contexto empresarial	2
1.3	Objetivos	2
1.4	Estrutura da dissertação	3
2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	Energia Solar Fotovoltaica e Autoconsumo	5
2.1.1	Fundamentos da Conversão Fotovoltaica	5
2.1.2	Tipos de Painéis Fotovoltaicos	6
2.1.3	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	7
2.1.4	O Papel dos Inversores nos Sistemas Fotovoltaicos	8
2.1.5	Enquadramento Legal e Económico	9
2.2	Armazenamento de Energia em Sistemas Fotovoltaicos	10
2.2.1	Tipos de Baterias Aplicadas a Sistemas Fotovoltaicos	10
2.2.2	Desempenho e Fatores Críticos na Operação de Baterias	17
2.2.3	Estratégias de Gestão da Utilização de Baterias	18
2.2.4	Principais Fabricantes e Soluções Comerciais	20
2.3	Métodos e Ferramentas para Estudos de Viabilidade	22
2.3.1	Modelos de Análise Técnico-Económica	22
2.3.2	Softwares e Ferramentas Existentes para Estudo de Viabilidade*	24
2.4	Conclusão	24
3	Desenvolvimento da Ferramenta	26
3.1	Objetivos e Funcionalidades	26
3.2	Diagrama de Estrutura da Ferramenta	27
3.3	Funcionamento da Ferramenta	28
3.3.1	Estrutura e Secções	28
3.4	Conclusão	36
4	Caso de Estudo	38
4.1	Dados Introduzidos na Ferramenta	38
4.2	Simulação sem Baterias	39
4.3	Simulação com Baterias	42
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	48
5.1	Conclusões	48
5.2	Limitações e Trabalhos Futuros	49

Referências	50
A Fichas Técnicas utilizadas no Caso de Estudo	56
B Fichas Técnicas utilizadas para o desenvolvimento da ferramenta	61

Lista de Figuras

1	ODS indicadas - Adaptado de [1]	iii
2.1	Junção p-n [9]	6
2.2	Células monocristalina, policristalina e de filme fino, respetivamente [12]	7
2.3	Processo de descarga de Bateria Chumbo-Ácido[38]	12
2.4	Esquema representativo de uma Bateria Chumbo-Ácido[39]	12
2.5	Esquema representativo do funcionamento de uma bateria Níquel-Hidreto Metálico [41]	13
2.6	Esquema representativo do funcionamento de uma bateria de iões de lítio [43]	14
2.7	Esquema representativo do funcionamento de uma bateria de fluxo redox de vanádio [43]	15
2.8	Preços do mercado de energia português (17/06/2025) [58]	19
2.9	Representação gráfica de <i>Peak Shaving</i> [60]	20
2.10	LUNA2000-7/14/21-S1 [64]	21
2.11	BYD HVM 11.0 [65]	21
3.1	Diagrama de funcionamento da ferramenta	28
3.2	Página do Menu principal	29
3.3	Página Dados PV	30
3.4	Estrutura de introdução de dados PV	31
3.5	Página Dados Inversor	31
3.6	Escolha de marca	32
3.7	Escolha de modelo	32
3.8	Fórmula para filtragem	33
3.9	Lista suspensa de baterias	34
3.10	Parâmetros a introduzir	34
3.11	Análise de autoconsumo	35
3.12	Análise financeira	35
3.13	Gráfico representativo do estado de carga	36
4.1	Produção e consumo (1 de julho de 2024)	39
4.2	Valores de produção e consumo, mensais e anuais	40
4.3	Gráfico representativo do consumo e produção ao longo do ano (Wh)	40
4.4	Valores de excesso e défice, mensais e anual	41
4.5	Valores de autoconsumo, mensais e anual	41
4.6	Valores mensais de taxa de autoconsumo	42
4.7	Taxa de autoconsumo anual	42
4.8	Lista de baterias compatíveis	42
4.9	Comparação de retornos entre baterias compatíveis	43

4.10	Melhores resultados por critério (<i>Payback</i> , Aumento de Autoconsumo, Wh/€) . .	43
4.11	Comparação de autoconsumo mensal	44
4.12	Comparação de taxa de autoconsumo mensal	44
4.13	Comparação de taxa de autoconsumo anual	45
4.14	Parâmetros a introduzir pelo utilizador	45
4.15	Parâmetros que provêm da bateria	46
4.16	Indicadores financeiros	46
4.17	Representação gráfica do <i>payback</i>	46
4.18	Estado de carga ao longo do mês de dezembro	47
A.1	Ficha técnica — Página 1 do inversor Huawei SUN2000-60KTL-M0	57
A.2	Ficha técnica — Página 2 do inversor Huawei SUN2000-60KTL-M0	58
A.3	Ficha técnica — Página 1 da bateria Huawei LUNA2000-200KWH-2H1	59
A.4	Ficha técnica — Página 2 da bateria Huawei LUNA2000-200KWH-2H1	60
B.1	Ficha técnica — Página 1 das baterias Huawei LUNA2000-5/10/15-S0	62
B.2	Ficha técnica — Página 2 das baterias Huawei LUNA2000-5/10/15-S0	63
B.3	Ficha técnica — Página 1 das baterias Huawei LUNA2000-7/14/21-S1	64
B.4	Ficha técnica — Página 2 das baterias Huawei LUNA2000-7/14/21-S1	65
B.5	Ficha técnica — Página 1 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1	66
B.6	Ficha técnica — Página 2 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1	67
B.7	Ficha técnica — Página 3 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1	68
B.8	Ficha técnica — Página 4 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1	69
B.9	Ficha técnica — Página 5 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1	70
B.10	Ficha técnica — Página 1 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM	71
B.11	Ficha técnica — Página 2 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM	72
B.12	Ficha técnica — Página 1 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVL	73
B.13	Ficha técnica — Página 2 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVL	74
B.14	Ficha técnica — Página 1 de Inversores compatíveis com baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM	75
B.15	Ficha técnica — Página 2 de inversores compatíveis com baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM	76
B.16	Ficha técnica — Inversores compatíveis com baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVL	77

Lista de Tabelas

2.1	Principais características de diferentes baterias Li-ion - adaptado de [44]	14
2.2	Principais características de diferentes baterias de fluxo - adaptado de [44]	15
2.3	Principais características de diferentes baterias de sódio - adaptado de [44]	16

List of Acronyms

AC	Alternating Current
BYD	Build Your Dreams
CER	Comunidades de Energia Renovável
C-Rate	Capacity Rate
CSV	Comma Separated Values
DC	Direct Current
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DoC	Depth of Charge
DoD	Depth of Discharge
EMS	Energy Management System
FV	Fotovoltaico
IP	Ingress Protection
LCOE	Levelized Cost of Energy
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PV	Photovoltaic
RFB	Redox Flow Battery
SoC	State of Charge
TIR	Taxa Interna de Retorno
TOU	Time of Use
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidade de Pequena Produção
VAL	Valor Atual Líquido
VBA	Visual Basic for Applications
VRLA	Valve Regulated Lead Acid

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

A crescente preocupação com as alterações climáticas, a limitação dos recursos fósseis e a necessidade de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa têm levado a mudanças importantes no setor da energia, resultando numa maior procura de produção e consumo de energia de forma mais sustentável. Neste cenário, as fontes renováveis, especialmente a energia solar fotovoltaica, têm vindo a ganhar destaque pelo facto de permitir reduzir a dependência de combustíveis fósseis e contribuir para a descarbonização do sistema energético [2].

Como é referido em [3], o crescimento da energia solar fotovoltaica tem sido acompanhado por um aumento do interesse pelo autoconsumo, no qual os consumidores produzem e consomem a sua própria energia. No entanto, como a produção fotovoltaica depende da radiação solar, e uma vez que esta nem sempre coincide com os períodos de maior consumo, torna-se difícil maximizar o aproveitamento direto da energia gerada. Esta limitação evidencia a importância das soluções de armazenamento de energia, como as baterias, que permitem guardar o excedente produzido para utilização em momentos posteriores. Assim, é possível aumentar a taxa de autoconsumo e reduzir a dependência da rede elétrica, conforme é explicado em [4].

Contudo, a decisão de integrar baterias em sistemas fotovoltaicos existentes levanta diversas questões técnicas e económicas, tais como:

- Qual a capacidade ideal a instalar?
- Qual a bateria ideal a instalar?
- Qual o retorno do investimento?
- Que impacto terá no autoconsumo?

Estas perguntas tornam-se particularmente relevantes para empresas que já dispõem de sistemas fotovoltaicos instalados, mas procuram melhorar a sua eficiência energética e reduzir custos operacionais.

Neste sentido, surge a motivação para o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão que, com base em dados reais de consumo e produção de energia, permita simular a integração de baterias num sistema fotovoltaico e analisar o seu impacto em termos energéticos e económicos. Assim sendo, esta ferramenta visa responder de forma prática e acessível às necessidades das empresas e contribuir para uma utilização mais inteligente e eficiente da energia solar.

1.2 Contexto empresarial

A Ecoinside é uma empresa portuguesa fundada em janeiro de 2006 como a primeira spin-off do curso de empreendedorismo da Universidade do Porto. Especializa-se em energias renováveis, sustentabilidade ambiental, mobilidade elétrica e eficiência energética, oferecendo soluções que abrangem desde o desenvolvimento até à operação e manutenção de projetos.

Tem como missão projetar soluções e tecnologias inovadoras que potenciem o desenvolvimento inteligente das empresas e das cidades, que contribuam para a descarbonização da economia, para a transição energética e para mitigar as alterações climáticas.

Para além disso, tem um conjunto de valores e princípios que devem ser salientados, como o respeito pelas partes interessadas e pelo ambiente, a igualdade e não discriminação, a conciliação, o foco na satisfação dos clientes, a qualidade, a transparência e conduta ética, a responsabilidade e proatividade, a qualificação contínua, o profissionalismo e competência, o desenvolvimento sustentável, o empreendedorismo e por fim a inovação [5].

1.3 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é desenvolver uma ferramenta de apoio ao estudo da viabilidade da instalação de baterias em sistemas fotovoltaicos em operação. Esta ferramenta permitirá o dimensionamento adequado das soluções de armazenamento, considerando todas as variáveis que influenciam o perfil de consumo de uma comunidade de energia. Para atingir este objetivo, é necessário realizar um estudo aprofundado sobre o estado da arte dos sistemas fotovoltaicos com armazenamento, incluindo a análise de casos práticos e revisão da literatura técnica. Para além disso, será fulcral o levantamento e a análise de dados de centrais solares implementadas, utilizando diversas plataformas de monitorização. Outro passo fundamental será a familiarização com o código existente da Ecoinside, que está escrito em Visual Basic for Applications (VBA), garantindo assim uma integração eficiente do novo algoritmo na ferramenta de dimensionamento.

A ferramenta será desenvolvida em Excel com suporte de programação em VBA, e será estruturada para permitir a introdução de diferentes parâmetros de entrada, como o consumo energético da instalação, a capacidade instalada do sistema fotovoltaico, o perfil de produção e consumo ao longo do tempo e a regulamentação aplicável. Deste modo, o algoritmo de dimensionamento criado terá como principal objetivo otimizar o uso das baterias, garantindo um equilíbrio entre a

maximização do autoconsumo e a viabilidade económica do investimento. Além disso, serão realizadas simulações de diferentes cenários, ajustando variáveis como tarifas energéticas e padrões de consumo.

Após a implementação do algoritmo, a ferramenta será submetida a uma fase de testes e calibração utilizando dados reais de centrais solares. Estes testes serão fundamentais para validar os resultados obtidos e assegurar que a ferramenta apresenta um desempenho adequado, fornecendo informações fiáveis para a tomada de decisão sobre a instalação de baterias em sistemas fotovoltaicos já existentes. Importa destacar que, com esta abordagem, pretende-se desenvolver uma solução robusta e eficiente, capaz de contribuir para a otimização do armazenamento de energia em comunidades de autoconsumo e promover uma melhor gestão dos recursos energéticos.

Para atingir este objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Revisão das soluções tecnológicas mais relevantes aplicáveis em sistemas de autoconsumo;
- Identificação do enquadramento regulatório aplicável ao autoconsumo e ao armazenamento;
- Desenvolvimento de um estudo de conceção e dimensionamento de soluções para uma aplicação específica;
- Desenvolvimento de um algoritmo específico para o dimensionamento de uma solução de autoconsumo envolvendo a utilização de soluções de armazenamento de energia e comunidades de energia renovável;
- Integração do algoritmo desenvolvido na ferramenta de dimensionamento de centrais fotovoltaicas da Ecoinside e realização de testes para verificação do seu desempenho.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos principais que acompanham de forma lógica e progressiva o desenvolvimento do trabalho, desde a contextualização do problema até à aplicação prática da solução proposta.

O Capítulo 1 apresenta o enquadramento geral do tema, destacando a crescente relevância da energia solar fotovoltaica e a necessidade de soluções de armazenamento energético para maximizar o autoconsumo. São ainda identificados os principais objetivos da dissertação, a metodologia utilizada e a motivação que sustenta o desenvolvimento da ferramenta.

O Capítulo 2 é constituído pela revisão bibliográfica, abordando os princípios fundamentais da conversão fotovoltaica, os diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos, a integração de baterias de armazenamento e as respetivas tecnologias, bem como os métodos e ferramentas mais comuns para a análise da viabilidade técnico-económica em sistemas de energia. Este capítulo tem como objetivo estabelecer a base teórica que sustenta o desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 3, é descrito o processo de desenvolvimento da ferramenta em Excel criada no âmbito desta dissertação. São apresentadas as secções funcionais da ferramenta, os dados de

entrada necessários, os algoritmos e cálculos implementados, bem como a lógica que permite simular e comparar cenários com e sem armazenamento, incluindo a análise económica associada.

O Capítulo 4 é dedicado à aplicação prática da ferramenta através de um caso de estudo real. Utilizando dados concretos de consumo e produção de uma empresa com sistema fotovoltaico instalado, demonstra-se a aplicabilidade da ferramenta no apoio à tomada de decisão sobre a instalação de baterias, analisando os resultados energéticos e financeiros obtidos.

A dissertação termina com o capítulo 5 com a apresentação das conclusões gerais, os principais contributos do trabalho, as limitações identificadas e sugestões para desenvolvimento futuro.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Energia Solar Fotovoltaica e Autoconsumo

2.1.1 Fundamentos da Conversão Fotovoltaica

A conversão fotovoltaica, que tem por base o efeito fotovoltaico descoberto por Alexandre Edmond Becquerel em 1839 [6], é o processo pelo qual a energia radiante proveniente do sol é diretamente transformada em eletricidade, recorrendo a dispositivos semicondutores, denominados por células fotovoltaicas, como é detalhado em [7].

De forma a entender o panorama da conversão fotovoltaica, é necessário primeiramente compreender a estrutura de uma célula fotovoltaica, bem como o processo de absorção de energia. Neste sentido, importa destacar que a célula fotovoltaica é a unidade fundamental dos sistemas solares fotovoltaicos [8]. Esta é responsável pela conversão direta da radiação solar em eletricidade, sendo composta por várias camadas funcionais. Na superfície encontra-se uma camada antirreflexo, cuja função é minimizar as perdas de luz por reflexão, maximizando assim a absorção fotónica. Diretamente abaixo, situa-se a junção p-n, formada por duas regiões de silício com dopagens distintas, como é possível observar na figura 2.1. No caso da dopagem tipo p, adicionam-se átomos trivalentes, como o boro, que possuem três eletrões de valência. Como o silício precisa de quatro ligações para completar a sua estrutura, a introdução do boro cria uma lacuna, ou seja, uma ausência de eletrão. No que toca à dopagem tipo n, esta consiste na introdução de átomos com cinco eletrões de valência num semicondutor puro, como o silício, que tem quatro eletrões de valência. Quando um átomo de fósforo substitui um átomo de silício na rede cristalina, quatro dos seus eletrões formam ligações com os átomos vizinhos de silício, e o quinto eletrão fica livre para se mover no material. Este eletrão livre atua como portador de carga negativa, aumentando a condutividade elétrica do semicondutor. Por fim, a célula possui contactos metálicos frontais e posteriores, que permitem a extração e condução da corrente elétrica gerada [7].

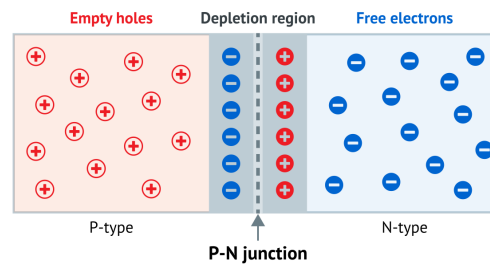


Figura 2.1: Junção p-n [9]

2.1.2 Tipos de Painéis Fotovoltaicos

2.1.2.1 Silício Monocristalino (Mono-Si)

Os módulos monocristalinos são produzidos a partir de um único cristal de silício de elevada pureza. Este tipo de painel é facilmente reconhecido pelas suas células com cantos arredondados e coloração uniforme escura. Apresentam, em geral, maiores eficiências de conversão e melhor desempenho em condições de baixa radiação ou temperaturas elevadas. No entanto, apresentam custos de produção elevados devido aos processos de fabrico, como o método Czochralski [10].

2.1.2.2 Silício Policristalino (Poly-Si)

Os módulos policristalinos são formados por múltiplos cristais de silício fundidos num mesmo lingote. Esta estrutura granular é visível na superfície das células, apresentando um aspeto azulado e irregular [10]. Embora tenham uma eficiência ligeiramente inferior à dos módulos monocristalinos, são mais económicos e apresentam um processo de fabrico menos intensivo em termos de energia [11].

2.1.2.3 Painéis de Filme Fino (Thin-Film)

Os painéis de filme fino utilizam materiais semicondutores depositados em camadas muito finas sobre substratos flexíveis ou rígidos. Dentro deste tipo de painel, existem 3 tecnologias mais comuns:

- Silício amorfo (a-Si);
- Telureto de cádmio (CdTe);
- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS).

Estes módulos são geralmente mais leves e flexíveis, mas apresentam eficiências mais baixas e uma maior degradação ao longo do tempo [10].



Figura 2.2: Células monocristalina, policristalina e de filme fino, respetivamente [12]

2.1.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

• *On-grid*

Os sistemas *on-grid*, também conhecidos como sistemas ligados à rede, são os mais utilizados em contextos urbanos e industriais. Estes sistemas operam em paralelo com a rede elétrica pública e não necessitam, obrigatoriamente, de sistemas de armazenamento. A energia produzida pelos painéis solares é utilizada para o autoconsumo, sendo o excedente injetado na rede. Assim sendo, quando a produção é inferior ao consumo, é a rede que fornece a energia em falta [13].

A principal vantagem dos sistemas *on-grid* reside na sua simplicidade e no menor custo de instalação, uma vez que não requerem baterias para armazenar a produção excedente. Para além disso, podem beneficiar de mecanismos de compensação de energia, como a injeção com remuneração ou a compensação por balanço energético. No entanto, ficam sujeitos a interrupções em caso de falhas na rede, visto que, se a tensão da rede faltar, os sistemas fotovoltaicos devem ser automaticamente desligados por ação do inversor, evitando a injeção de energia nessas circunstâncias [14].

• *Off-grid*

Os sistemas fotovoltaicos *off-grid*, também designados por sistemas autónomos, ao contrário dos *on-grid*, são instalações de produção de energia solar que funcionam de forma completamente independente da rede elétrica pública. Estes sistemas são concebidos para fornecer energia em locais isolados ou remotos, onde o acesso à rede elétrica é inexistente, tecnicamente inviável ou economicamente desvantajoso [15].

A principal característica de um sistema *off-grid* é a sua capacidade de operar de forma autónoma, sendo necessário garantir o equilíbrio entre produção, consumo e armazenamento de energia. Para tal, estes sistemas integram, além dos painéis fotovoltaicos, baterias de armazenamento, aumentando a sua complexidade e custo [14].

• Híbrido

Os sistemas fotovoltaicos híbridos representam uma solução energética que combina diferentes fontes de energia para assegurar um fornecimento contínuo de eletricidade. Estes sistemas, para além de utilizarem painéis fotovoltaicos, baterias de armazenamento e uma ligação à rede elétrica pública, integram ainda geradores auxiliares, como geradores a diesel ou eólicos [16].

Um sistema híbrido é muito vantajoso em relação aos sistemas anteriormente referidos, uma vez que a complementação entre os sistemas FV e os geradores é altamente eficiente, permitindo uma menor dependência da rede, caso exista insuficiência de produção solar ou armazenamento [16], [17].

2.1.4 O Papel dos Inversores nos Sistemas Fotovoltaicos

Nos sistemas fotovoltaicos, os inversores assumem um papel fundamental ao converterem a corrente contínua (DC), produzida pelos módulos solares, em corrente alternada (AC) [18]. Para além desta função principal, os inversores modernos desempenham um papel cada vez mais abrangente, integrando funcionalidades avançadas de monitorização, controlo do sistema e, em vários casos, gestão da energia em conjunto com sistemas de armazenamento. Todavia, é importante destacar que a escolha do tipo de inversor depende da escala da instalação, da configuração do sistema e da necessidade de integração com baterias, existindo 4 tipos de inversores utilizados para satisfazer tais necessidades [19].

2.1.4.1 Inversores Centrais

Os inversores centrais são utilizados principalmente em instalações fotovoltaicas de grande escala, como por exemplo centrais solares ou parques industriais. Nestes sistemas, várias *strings* de painéis convergem para um único inversor de elevada potência, centralizando em um único ponto a conversão da energia de corrente contínua para corrente alternada [20].

Estes inversores são utilizados por norma em potências superiores a 100 kW, podendo atingir valores na ordem dos MW. O facto da sua conversão ser concentrada num só equipamento, permite a redução dos custos por kW instalado, simplifica a manutenção e melhora a eficiência global do sistema. No entanto, essa mesma concentração de conversão, faz com que um único ponto de falha possa comprometer o sistema total [21].

2.1.4.2 Inversores de *String*

Na atualidade, os inversores de *string* são os mais utilizados em instalações fotovoltaicas residenciais e comerciais de pequena a média dimensão [22]. Neste tipo de arquitetura, cada grupo de painéis solares é ligado diretamente a uma ou mais entradas do inversor, realizando a conversão da energia de corrente contínua para corrente alternada de forma descentralizada, mas ainda concentrada a nível da instalação [23].

Por norma, este tipo de inversor é mais económico e versátil, visto que, é possível uma melhor organização, permitindo uma segmentação da produção por orientação dos módulos ou por zonas de sombreamento, especialmente em modelos com vários Maximum Power Point Trackers (MPPT) [23]. Contudo, apesar das suas vantagens, os inversores de *string* são sensíveis a perdas causadas por sombreamento dentro de cada *string*, uma vez que o desempenho da série é limitado pelo módulo com menor produção [22]–[24].

2.1.4.3 Microinversores

Os microinversores são dispositivos que realizam a conversão de corrente contínua para corrente alternada ao nível de cada módulo fotovoltaico individual, ou seja, cada painel solar é equipado com o seu próprio inversor, funcionando de forma independente dos restantes. Esta abordagem traz vantagens como uma maior flexibilidade na instalação e maior resiliência ao sombreamento, porém, existem certas limitações, como maior custo por watt instalado e uma instalação mais complexa [22].

2.1.4.4 Inversores Híbridos

Os inversores híbridos representam uma evolução dos inversores tradicionais, combinando a função de conversão DC/AC com a gestão integrada de sistemas de armazenamento de energia. Estes são projetados para operar em sistemas fotovoltaicos com autoconsumo, permitindo alternar ou combinar fontes de energia, de forma automática e eficiente [25].

A principal característica destes inversores é a capacidade de gerir fluxos de energia bidirecionais, ou seja, permitir, durante o dia, o fornecimento direto da energia solar aos consumos e, simultaneamente, o carregamento da bateria com o excedente, e durante a noite ou em períodos de menor produção, o descarregamento da bateria para alimentar os consumos [26].

2.1.5 Enquadramento Legal e Económico

A produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos tem vindo a desempenhar um papel fulcral na transição energética, sendo o autoconsumo um dos maiores focos [27]. Deste modo, é essencial compreender os principais instrumentos legislativos, os modelos de autoconsumo permitidos e os aspetos económicos associados à instalação de sistemas fotovoltaicos.

2.1.5.1 Legislação em Vigor

O enquadramento legal da produção descentralizada de energia elétrica, nomeadamente através de sistemas solares fotovoltaicos para autoconsumo, é regulado pelo Decreto-Lei n.º 15/2022. Este diploma estabelece o regime jurídico aplicável ao exercício das atividades de produção, armazenamento, autoconsumo e comercialização de eletricidade [28].

Entre os principais objetivos do Decreto-Lei n.º 15/2022 [28] destacam-se:

- Simplificação dos procedimentos administrativos associados à instalação de unidades de produção;
- Promoção do autoconsumo coletivo e das comunidades de energia;
- Facilitação da integração de sistemas de armazenamento;

- Reforço do papel do consumidor como agente ativo na produção e gestão da sua própria energia.

Neste decreto são reconhecidos os diferentes tipos de unidades de produção, como a unidade de produção para autoconsumo (UPAC) e a unidade de pequena produção (UPP) [28]. Importa destacar que a UPAC é destinada a satisfazer prioritariamente as necessidades de consumo do produtor, enquanto que a UPP é orientada para a injeção total na rede, com potência até 1 MW e sujeita a registo ou leilão, dependendo da potência [29]. Consoante a potência instalada e a tensão de ligação à rede, as UPACs estão sujeitas a diferentes níveis de formalidade [30]:

- Até 30 kW é necessária comunicação prévia junto da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) e registo na plataforma de Sistema de Registo da Unidade de Produção (SERUP);
- Entre 30 kW e 1 MW é necessário registo prévio obrigatório;
- Acima de 1 MW é obrigatório um licenciamento completo, incluindo avaliação ambiental e pareceres técnicos das entidades competentes.

2.1.5.2 Modelos de Autoconsumo

O autoconsumo pode assumir várias formas [31]:

- Autoconsumo individual: uma instalação de produção associada a um único ponto de consumo;
- Autoconsumo coletivo: uma instalação partilhada por vários consumidores próximos, com repartição da energia com base em regras acordadas;
- Comunidades de energia renovável (CER): estruturas organizadas que permitem a partilha de energia entre membros (residenciais, empresariais, municipais), promovendo a descentralização da produção e o envolvimento local.

2.2 Armazenamento de Energia em Sistemas Fotovoltaicos

2.2.1 Tipos de Baterias Aplicadas a Sistemas Fotovoltaicos

O armazenamento de energia em sistemas fotovoltaicos desempenha um papel essencial na gestão da variabilidade da produção solar, permitindo uma maior autonomia energética e otimização do autoconsumo. Com o crescimento expedito do mercado solar, a procura por novos tipos de baterias mais eficientes e económicas também aumentou. À escala comercial, as tecnologias mais utilizadas no setor da energia elétrica compreendem baterias de chumbo-ácido, baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH), baterias de iões de lítio (Li-ion), baterias de sódio-enxofre (NaS), baterias de fluxo redox (RFB) e baterias de estado sólido.[32].

Nos últimos anos, as baterias de íons de lítio têm assumido um papel dominante no setor energético, no entanto, o crescimento expedito da transição energética impõe a necessidade de soluções mais avançadas no domínio do armazenamento, contexto em que tecnologias emergentes baseadas em químicas alternativas ao lítio têm vindo a ganhar relevância, como baterias de níquel-cádmio, metal-íão, fluxo redox, metal-ar e baterias aquosas[33].

2.2.1.1 Baterias Chumbo-Ácido

As baterias de chumbo-ácido, inventadas em 1859 pelo físico Gaston Planté, são os dispositivos eletroquímicos recarregáveis mais antigos e amplamente utilizados [34]. Este tipo de bateria é composto, no estado carregado, por elétrodos de chumbo metálico e de óxido de chumbo, imersos num eletrólito constituído por ácido sulfúrico a cerca de 37% (5,99 molar), 2.4. No estado descarregado, ambos os elétrodos se transformam em sulfato de chumbo, enquanto o eletrólito perde o seu conteúdo de ácido sulfúrico dissolvido, tornando-se maioritariamente água [32]. Esta bateria é caracterizada pelas equações 2.1 e 2.2, (figura 2.3) [35].

No ânodo (elétrodo positivo):



No cátodo (elétrodo negativo):



Existem dois tipos típicos de baterias de chumbo-ácido, mais concretamente, as baterias inundadas (flooded lead-acid) e as baterias seladas reguladas por válvula (VRLA – Valve-Regulated Lead-Acid). As baterias inundadas representam a opção mais económica entre as duas. No entanto, estas requerem, normalmente, manutenção mensal, nomeadamente a verificação e reposição de água destilada no eletrólito. Adicionalmente, a sua operação deve ocorrer em locais ventilados, dado que produzem gases inflamáveis durante os ciclos de carga. Por outro lado, as baterias VRLA apresentam uma solução de menor manutenção, recorrendo a uma válvula que reduz a perda de água ao permitir a recombinação interna de hidrogénio e oxigénio, diminuindo assim a emissão de gases e a necessidade de intervenção periódica [35].

No que diz respeito às principais vantagens da utilização de baterias de chumbo-ácido, estas residem na sua elevada eficiência energética, baixa taxa de autodescarga e reduzido custo inicial. Contudo, este tipo de bateria enfrenta limitações técnicas evidentes, entre as quais se destacam a reduzida profundidade de descarga (<20%), baixa vida útil, baixa densidade energética e taxa de carregamento lenta [36]. Atualmente, as baterias de chumbo-ácido continuam a ser utilizadas sobretudo em cenários onde a relação custo-benefício, a fiabilidade e a tolerância a condições adversas são fatores determinantes, sendo a densidade energética e a longevidade aspetos de menor relevância [37].

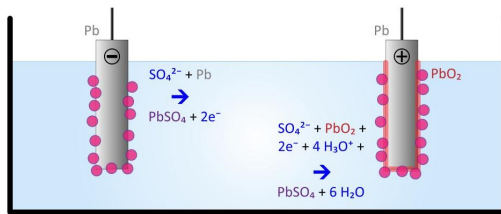


Figura 2.3: Processo de descarga de Bateria Chumbo-Ácido[38]

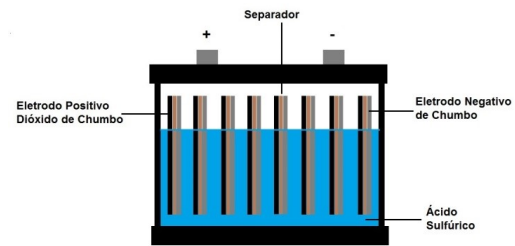


Figura 2.4: Esquema representativo de uma Bateria Chumbo-Ácido[39]

2.2.1.2 Baterias Níquel-Hidreto Metálico(NiMH)

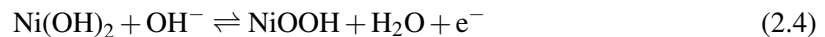
A bateria NiMH é constituída por um elétron positivo de hidróxido de níquel e um elétron negativo de hidreto metálico (MH). Estes dois elétrons são eletricamente isolados por um separador embebido em eletrólito de hidróxido de potássio (KOH), que assegura a condutividade iônica entre os elétrons.[40]

As reações eletroquímicas que ocorrem durante o funcionamento da célula NiMH podem ser descritas pelas expressões 2.3 a 2.5 e pela figura 2.5:

Reação global:



No elétron positivo (oxidação):



No elétron negativo (redução):



As baterias NiMH destacam-se pela elevada capacidade de armazenamento, bom desempenho em ciclos de carga e descarga e reduzido impacto ambiental. No entanto, também enfrentam diversas limitações técnicas, incluindo uma elevada taxa de autodescarga, vida útil limitada e baixa eficiência coulômbica (cerca de 65%), tal como uma baixa capacidade de suportar sobrecargas [32].

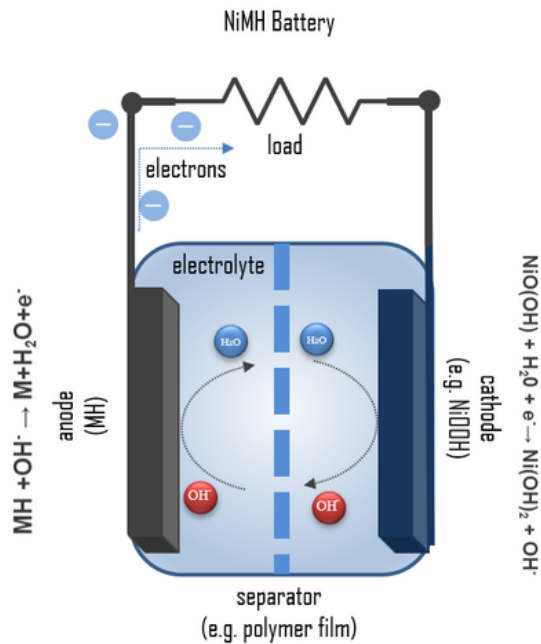


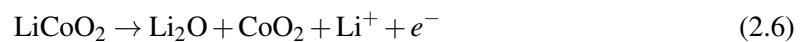
Figura 2.5: Esquema representativo do funcionamento de uma bateria Níquel-Hidreto Metálico [41]

2.2.1.3 Baterias de Íons de Lítio

A bateria de íons de lítio é uma bateria recarregável avançada, desenvolvida comercialmente pela primeira vez pela Sony no início da década de 1990 [32]. O princípio de funcionamento das baterias de íons de lítio baseia-se nos processos de intercalação e desintercalação, que consistem, respetivamente, na inserção e remoção reversível de íons de lítio na estrutura cristalina dos materiais que compõem os eletrodos. Durante o carregamento, os íons de lítio são removidos do ânodo e transferidos para o cátodo, onde se inserem na sua estrutura. Durante a descarga, este processo é invertido, ou seja, os íons de lítio saem do cátodo e migram de volta para o ânodo [42].

As reações eletroquímicas podem ser descritas pelas expressões 2.6 e 2.7 e esquematicamente pela figura 2.6:

No cátodo (descarga):



No ânodo (carga):



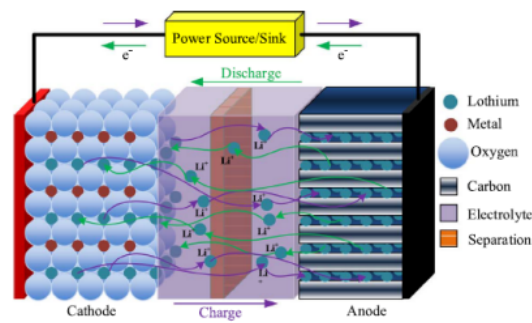


Figura 2.6: Esquema representativo do funcionamento de uma bateria de íons de lítio [43]

Os sistemas de baterias de íons de lítio dominam as aplicações de armazenamento de energia em larga escala nas redes elétricas, graças à diversidade de composições químicas disponíveis, conforme comparado quantitativamente na Tabela 2.1 [44].

Tabela 2.1: Principais características de diferentes baterias Li-ion - adaptado de [44]

Composição Química	Densidade Energética (Wh/kg)	Densidade de Potência (W/kg)	Ciclo de Vida	Eficiência (%)	Custo (\$/kWh)
NMC	150-220	500-2000	2000-3000	85-95	200-400
LFP	90-120	300-1500	3000-5000	90-95	200-350
LTO	70-100	200-1000	5000-7000	92-96	400-600
NCA	200-260	500-2500	1500-2500	85-90	300-500

Comparadas com outros tipos de baterias, as baterias de íons de lítio apresentam vantagens como elevada densidade de energia, elevada eficiência, longa vida útil em ciclos de carga e descarga e maior compatibilidade ambiental [32].

2.2.1.3 Baterias de Fluxo Redox

A bateria de fluxo redox (RFB) foi desenvolvida pela NASA em 1970, sendo que, a sua primeira versão utilizava ferro-cromo. Esta apresentava uma rápida perda de capacidade, devido à contaminação cruzada de íons ativos entre os eletrólitos positivo e negativo, além de uma geração excessiva de hidrogénio no eletrodo negativo durante o processo de carga. Desde então, o desenvolvimento das baterias de fluxo redox progrediu significativamente, sendo criadas várias soluções com composições químicas distintas, como é possível observar na tabela 2.2 [44].

Tabela 2.2: Principais características de diferentes baterias de fluxo - adaptado de [44]

Composição Química	Densidade Energética (Wh/kg)	Densidade de Potência (W/kg)	Ciclo de Vida	Eficiência (%)	Custo (\$/kWh)
Redox de Vanádio (VRFB)	20-40	100-200	>1200	68-75	300-800
Zinco-Bromo (Zn-Br)	30-85	50-150	1000-2000	65-75	200-400
Ferro-Crômio (Fe-Cr)	15-25	80-120	>5000	70-80	150-300
Bateria de Fluxo Redox Orgânica (ORFB)	10-30	50-100	500-2000	60-75	100-300

No entanto, as baterias de fluxo redox de vanádio (VRFB) são destacadas como a solução mais consolidada na atualidade [44]. Estas armazenam energia através do uso de pares redox de vanádio, dissolvidos em soluções de ácido sulfúrico diluído que funcionam como eletrólitos. Durante os ciclos de carga e descarga, os íons de hidrogénio são trocados entre os dois tanques de eletrólito através de uma membrana polimérica [35].

As reações envolvidas são representadas pelas expressões 2.8 e 2.9 e em termos esquemáticos pela figura 2.7

No elétrodo positivo:



No elétrodo negativo:

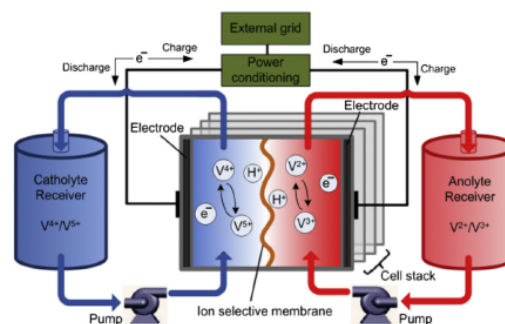


Figura 2.7: Esquema representativo do funcionamento de uma bateria de fluxo redox de vanádio [43]

Dado o seu custo global reduzido, elevada densidade energética nos elétrodo e eletrólitos altamente estáveis, esta tecnologia é apresentada como uma solução ideal de armazenamento quando combinada com fontes de energia renovável intermitente, como a eólica e a solar. No entanto, não se encontra plenamente apta para uma aplicação comercial de grande escala, devido à sua densidade energética reduzida [45].

2.2.1.4 Baterias à Base de Sódio

A bateria de sódio-enxofre (NaS) foi desenvolvida pela Ford Motor Company com o objetivo de alimentar os primeiros modelos de carros elétricos na década de 1960. Desde 2002, este tipo de bateria tem sido comercializado e, gradualmente transformado em uma opção viável no mercado de armazenamento de energia [32].

Os sistemas à base de sódio destacam-se pelo seu baixo custo, uma vantagem que tem vindo a ser reforçada por pesquisas que exploram o uso de carvões duros obtidos a partir de biomassa. Esses materiais, produzidos a partir de resíduos agrícolas através de tratamentos hidrotermais, apresentam desempenhos semelhantes aos dos materiais tradicionais, com a vantagem adicional de reduzirem de forma significativa o impacto ambiental. Uma vez que, a segurança é um fator importante na escolha de uma bateria, é de salientar que um estudo comparativo feito entre eletrólitos de iões de sódio e de lítio permitiu evidenciar que os eletrólitos de iões de sódio possuem uma maior estabilidade térmica, consequentemente resultando em um menor risco de incêndio [44].

Tal como nos outros tipos de baterias previamente referidos, este tipo de bateria também dispõe de várias composições químicas, todas elas com vantagens diferentes, como está evidenciado na tabela 2.3 [44].

Tabela 2.3: Principais características de diferentes baterias de sódio - adaptado de [44]

Composição Química	Densidade Energética (Wh/kg)	Densidade de Potência (W/kg)	Ciclo de Vida	Eficiência (%)	Custo (\$/kWh)
Sódio-ião (Na-ião)	80-150	200-500	2000-4000	85-90	150-400
Sódio-Enxofre (Na-S)	150-240	150-300	2500-4500	75-85	300-500
Sódio-Antimónio-Bismuto (Na-Sb-Bi)	90-130	100-250	1000-2000	70-80	250-450
Na-metal a temperatura ambiente	100-150	150-400	500-1500	80-85	200-400

2.2.1.5 Baterias de Estado Sólido

Relativamente às baterias de estado sólido, existem 3 tipos, mais especificamente, bateria totalmente de estado sólido, na qual os eletrólitos são completamente sólidos, bateria quase de estado sólido, que se refere a sistemas em que a fração de eletrólito líquido é inferior a 5% do peso total e, por fim, bateria semi-estado sólido, que corresponde a configurações em que a fração de líquido ronda os 10% do peso total [46].

Estes tipos de baterias apresentam diversas vantagens em relação aos tipos de baterias que envolvem eletrólitos líquidos. Uma vez que os eletrólitos sólidos são muito menos propensos a combustão, o risco de incendiarem é menor. Para além disso, as baterias de estado sólido apresentam uma maior longevidade e eficiência, tal como, a capacidade de serem carregadas quatro a seis vezes mais rápido [46]. No entanto, devido ao facto de o eletrólito perfeito ainda não ter sido desenvolvido, as baterias de estado sólido consequentemente sofrem grandes desafios a nível interfacial [47], nomeadamente, a formação de dendrite de lítio durante o carregamento e a delaminação interfacial que reduz o desempenho e a vida útil da bateria [46], [47]. Ademais, a complexidade associada à fabricação, manuseamento e produção das baterias de estado sólido eleva significativamente os custos e dificulta a produção em massa e a integração deste tipo de baterias no mercado [46].

2.2.2 Desempenho e Fatores Críticos na Operação de Baterias

Um armazenamento de energia baseado em baterias depende da química e da estrutura eletroquímica que lhe está subjacente, bem como de aspetos operacionais que influenciam diretamente a eficiência, o tempo de vida e a fiabilidade. A ponderação destes fatores permitirá o dimensionamento e a gestão adequada das baterias em aplicações fotovoltaicas [48].

2.2.2.1 Ciclos e Profundidade de Carga e Descarga

A longevidade e o desempenho de uma bateria estão fortemente condicionados pelo número de ciclos de carga e descarga que esta suporta ao longo da sua vida útil [34]. Cada ciclo completo, consiste numa descarga até certo nível, seguida de uma recarga. Estas limitações no descarregamento e carregamento são designadas por profundidade de descarga (DoD) e profundidade de carga (DoC). Estes indicam a percentagem de capacidade total que a bateria em questão pode ser tanto carregada como descarregada, de forma a maximizar a vida útil da bateria [49]. Por exemplo, se uma bateria for limitada a um DoC de 0.9, significa que a bateria só poderá atingir 90% da sua capacidade total [50].

2.2.2.2 Eficiência Energética

A eficiência energética de uma bateria corresponde ao rácio entre a energia realmente extraída durante a descarga e a energia necessária para a carregar. Este parâmetro é fundamental na avaliação da eficiência real de um sistema de armazenamento, uma vez que revela as perdas internas causadas por fenómenos eletroquímicos, resistências elétricas e dissipações térmicas [51].

As baterias quando são expostas no mercado, apresentam um valor de capacidade, no entanto, é necessário calcular a capacidade útil através da expressão 2.10 de eficiência energética [52]:

$$\eta = \frac{E_{\text{descarga}}}{E_{\text{carga}}} \times 100\% \quad (2.10)$$

Onde:

- E_{descarga} é a energia fornecida ao sistema durante o processo de carregamento;
- E_{carga} é a energia útil extraída durante o processo de descarga.

2.2.2.3 Temperatura e Taxa de Carga/Descarga

As baterias são altamente sensíveis à temperatura. Temperaturas elevadas aceleram reações indesejadas, levando à degradação química, enquanto que temperaturas muito baixas reduzem a mobilidade iónica e a capacidade de entrega de corrente. De forma a mitigar os efeitos das variações térmicas, é alterada a taxa de carga e descarga (C-rate) da bateria, que define a rapidez com que uma bateria é carregada ou descarregada [53].

2.2.3 Estratégias de Gestão da Utilização de Baterias

A utilização eficiente de baterias em sistemas fotovoltaicos é um aspeto crítico para garantir a sustentabilidade e estabilidade do sistema elétrico. Vários modelos de operação e controlo são utilizados de forma a ajustar o comportamento das baterias face às necessidades energéticas específicas, características da instalação e condições do mercado de eletricidade. Desta forma, destacam-se as seguintes estratégias [54]:

2.2.3.1 Maximização do Autoconsumo

Uma das estratégias mais relevantes em instalações residenciais e comerciais é a maximização do autoconsumo. Esta consiste no armazenamento do excedente da energia produzida, para que seja utilizada posteriormente quando necessário. Desta forma, é possível aumentar a taxa de autoconsumo, reduzindo a dependência da rede elétrica e minimizando os custos provenientes da eletricidade. Este tipo de estratégia de gestão, é vantajoso em contextos de tarifas de compra de eletricidade elevados, tal como em situações no qual não é possível a injeção de energia na rede [55].

2.2.3.2 Time-of-Use

A estratégia *Time-of-Use* (TOU) baseia-se no aproveitamento da variação tarifária da energia ao longo do dia. Deste modo, este modelo explora os períodos de menor custo, por norma durante a noite ou em momentos de menor irradiância solar, para carregar a bateria, reservando a energia acumulada para ser utilizada durante os períodos tarifários de ponta [56]. Este procedimento permite uma otimização económica, no entanto, requer um sistema de controlo inteligente capaz de antecipar os perfis de carga e de geração fotovoltaica, bem como as flutuações nos preços da eletricidade [57].

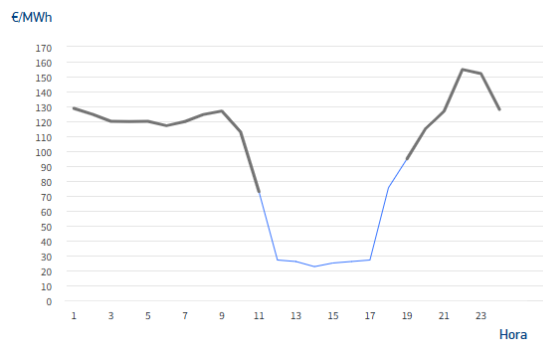


Figura 2.8: Preços do mercado de energia português (17/06/2025) [58]

2.2.3.3 Peak Shaving

A estratégia *peak shaving*, tal como o nome indica, consiste em reduzir os picos de carga, ou seja, consiste em utilizar a energia armazenada na bateria para cobrir, total ou parcialmente, os picos momentâneos de carga elétrica. Desta forma, o sistema consegue aplanar o perfil de consumo, mantendo a procura de potência dentro de limites economicamente vantajosos [59]. Esta técnica é particularmente relevante em instalações comerciais e industriais, onde os contratos de fornecimento energético incluem penalizações associadas à potência de ponta ou tarifas baseadas em máximos de consumo registados. Para além da redução de custos, o *peak shaving* contribui para a estabilidade da rede elétrica ao reduzir cargas abruptas e imprevisíveis. Tal como outros métodos de gestão de baterias, este necessita de um sistema de monitorização em tempo real e algoritmos preditivos capazes de identificar antecipadamente os momentos de maior carga para uma implementação eficaz [59], (figura 2.9).

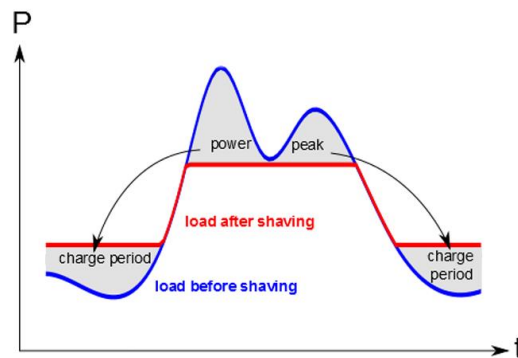


Figura 2.9: Representação gráfica de *Peak Shaving* [60]

2.2.4 Principais Fabricantes e Soluções Comerciais

Com a crescente adoção de sistemas fotovoltaicos em contextos residenciais, comerciais e industriais, o mercado de baterias de armazenamento tem vindo a expandir-se significativamente no que toca a diversidade tecnológica, destacando-se marcas como Huawei e BYD [61].

A Huawei, empresa amplamente reconhecida pela sua presença no setor das telecomunicações, tem vindo a consolidar a sua posição no domínio das energias renováveis, nomeadamente através da sua divisão Huawei Digital Power. Esta unidade estratégica concentra-se no desenvolvimento de soluções inteligentes para produção, gestão e armazenamento de energia, com particular ênfase em tecnologias associadas à produção fotovoltaica e ao armazenamento energético [62].

No contexto do armazenamento, destaca-se a linha de baterias Huawei Luna2000, figura 2.10, projetada para aplicações tanto residenciais como comerciais. Trata-se de uma solução concebida para garantir uma integração eficiente com os restantes componentes do ecossistema solar da marca, nomeadamente os inversores da série SUN2000 [62].

Dentro da linha de baterias Luna2000 existem vários modelos com capacidades diferentes, de forma a satisfazer as necessidades energéticas específicas de cada instalação, nomeadamente [62]:

- LUNA2000-5/10/15-S0;
- LUNA2000-5/10/15-E0;
- LUNA2000-7/14/21-S1;
- LUNA2000-97-1H1;
- LUNA2000-129/161/200-2H1.

Para além das qualidades técnicas, estas baterias distinguem-se por vários fatores que reforçam a sua adaptabilidade e facilidade de utilização, [62] tais como :

- Integração nativa com sistemas fotovoltaicos da Huawei, que inclui não apenas os inversores e optimizadores de potência, mas também sistemas de gestão de energia (EMS);

- Monitorização em tempo real através da aplicação FusionSolar, que oferece ao utilizador um controlo simples e intuitivo sobre o consumo, produção e estado do sistema.

A Build Your Dreams (BYD) tem vindo a consolidar a sua posição como uma das referências mundiais no setor das baterias e da mobilidade elétrica. Com uma forte presença global e uma aposta contínua em investigação e desenvolvimento, a empresa tem-se destacado também no setor das energias renováveis, em particular através das suas soluções de armazenamento estacionário de energia, que visam apoiar a transição para um modelo energético mais sustentável e descentralizado [63].

No contexto dos sistemas solares fotovoltaicos, a BYD oferece uma gama de produtos altamente adaptável e tecnologicamente robusta, figura 2.11. Um dos destaques da marca é a linha Battery-Box Premium, concebida para se adaptar a diferentes necessidades e escalas de utilização, desde pequenas instalações residenciais até aplicações comerciais e industriais de maior escala. Importa salientar que existem as seguintes gamas de modelos [63]:

- HVS 5.1/7.7/10.2/12.8;
- HVM 8.3/11.0/13.8/16.6/19.3/22.1;
- HVL 12.0/16.0/20.0/24.0/28.0/32.0;

As baterias BYD caracterizam-se pela sua versatilidade, dado que, possuem uma compatibilidade alargada com inversores de diversos fabricantes, permitindo uma integração simples em diferentes tipologias de projeto, independentemente das marcas previamente instaladas ou preferidas pelo integrador [63].



Figura 2.10: LUNA2000-7/14/21-S1 [64]



Figura 2.11: BYD HVM 11.0 [65]

2.3 Métodos e Ferramentas para Estudos de Viabilidade

2.3.1 Modelos de Análise Técnico-Económica

A avaliação da viabilidade de sistemas fotovoltaicos com ou sem armazenamento depende da análise conjunta de fatores técnicos e económicos. Para efetuar uma análise técnico-económica, é essencial recorrer a modelos que quantifiquem não apenas os custos e os benefícios associados ao investimento, como também o seu desempenho ao longo da vida útil do sistema. Assim, é essencial serem referidos os principais indicadores utilizados em estudos de viabilidade, destacando-se o tempo de retorno do investimento (*payback*), o valor atual líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o custo nivelado da eletricidade (LCOE) [66].

2.3.1.1 Tempo de Retorno do Investimento (*Payback*)

O *payback* representa o período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial através das poupanças geradas pelo sistema. Embora seja um indicador simples e amplamente utilizado, não considera a desvalorização temporal do dinheiro nem os custos de operação e manutenção futuros [67]. Este indicador depende tanto do valor inicialmente investido como do valor estimado de poupança anual, representando-se pela expressão 2.11 [68]:

$$Payback = \frac{\text{Custo Inicial}}{\text{Poupado Anualmente}} \quad (2.11)$$

2.3.1.2 Valor Atual Líquido

O VAL é um dos indicadores mais robustos na análise de investimentos, correspondendo à soma dos fluxos de caixa projetados ao longo da vida útil do sistema, descontados a uma taxa de juro representativa do custo de oportunidade do capital [69]. Um VAL positivo indica que o projeto é economicamente viável [70], sendo este calculado pela expressão 2.12 [69]:

$$VAL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (2.12)$$

Onde:

- FC_t = fluxo de caixa no ano t ;
- I_0 = investimento inicial;
- r = taxa de desconto;
- n = número de anos de vida útil;

2.3.1.3 Taxa Interna de Rentabilidade

A taxa interna de rentabilidade é um dos principais indicadores financeiros utilizados na análise de projetos de investimento. Este indicador representa a taxa de desconto que anula o VAL, ou seja, o valor que torna economicamente neutro o investimento. O TIR é obtido a partir da expressão 2.13 [69]:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + \text{TIR})^t} - I_0 \quad (2.13)$$

Onde:

- FC_t = fluxo de caixa no ano t ;
- I_0 = investimento inicial;
- n = número de anos de vida útil;

2.3.1.4 Custo Nivelado da Eletricidade

O custo nivelado da eletricidade é um indicador frequentemente utilizado para comparar diferentes soluções de geração de energia. Este representa o custo médio de produção de cada unidade de eletricidade ao longo do ciclo de vida útil do sistema, considerando todos os custos, e é calculado pela expressão 2.14 [71]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (2.14)$$

Onde:

- C_t = custo total no ano t ;
- E_t = energia gerada no ano t ;
- r = taxa de desconto;
- n = número de anos de vida útil;

2.3.1.5 Outros Indicadores Relevantes

Para além dos indicadores previamente referidos, existem outros parâmetros que fornecem uma visão mais abrangente do desempenho e eficácia dos sistemas, tais como, taxa de autoconsumo e taxa de autosuficiência. A taxa de autoconsumo representa a percentagem da energia produzida que é consumida pelo próprio sistema. Este indicador é crucial para avaliar a eficiência do sistema e permite estudar a dependência da rede. A taxa de autossuficiência, indica a fração do consumo total de energia que é satisfeita através da produção solar local, independentemente da fonte de energia utilizada para tal. Este indicador reflete a capacidade do sistema em suprir a totalidade das necessidades energéticas da instalação [72].

2.3.2 Softwares e Ferramentas Existentes para Estudo de Viabilidade*

O PVSOL é uma ferramenta projetada para instalações de pequena a média escala. Esta ferramenta permite a simulação detalhada de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, com ou sem baterias, integrando perfis de consumo reais, tarifas elétricas e dados meteorológicos [73]. As suas funcionalidades incluem [73]:

- Cálculo da energia produzida, consumida, injetada e armazenada;
- Simulação de diferentes cenários de dimensionamento;
- Estimativas económicas (*payback*, TIR, VAL);
- Visualização gráfica e relatório técnico detalhado;
- Base de dados integrada de painéis, inversores e baterias.

O PVSYS é uma ferramenta apontada para a modelação e simulação de sistemas fotovoltaicos, sendo muito utilizada em projetos de grande escala e na investigação académica. Esta ferramenta permite uma simulação detalhada da produção energética com base em dados meteorológicos de diversas fontes, e inclui modelos avançados de perdas, sombreamento, comportamento térmico e envelhecimento dos componentes [74].

Para além de certas funcionalidades referidas anteriormente, esta ferramenta oferece ainda as seguintes capacidades de análise [74]:

- Estudos de viabilidade de centrais solares;
- Modelação de perdas e desempenho a longo prazo;
- Análise detalhada da orientação, inclinação e configurações elétricas;
- Comparação entre diferentes topologias de sistema.

Por fim, apesar de não ser uma ferramenta já desenvolvida para este tipo de análises, o Microsoft Excel continua a ser um software frequentemente utilizado para desenvolver ferramentas personalizadas de análise de viabilidade, especialmente quando se pretende adaptar os cálculos a casos concretos, como perfis de consumo diários, tarifários específicos ou tecnologias muito recentes. Deste modo, juntamente com a linguagem de programação disponível no Microsoft Excel, VBA, esta torna-se ideal para a construção de ferramentas personalizadas e interativas.

2.4 Conclusão

Neste capítulo, foi realizada uma análise abrangente dos principais conceitos e tecnologias associados aos sistemas fotovoltaicos e ao armazenamento de energia, com foco na sua aplicação em contextos de autoconsumo. Foram também explorados os fundamentos da conversão fotovoltaica,

os diferentes tipos de painéis e inversores disponíveis no mercado, bem como os diversos sistemas de configuração (*on-grid*, *off-grid* e híbridos).

De seguida foram exploradas as tecnologias de baterias mais relevantes, abordando as suas características técnicas, vantagens, limitações e aplicabilidades. Esta análise permitiu compreender o papel determinante que o armazenamento energético desempenha na maximização do autoconsumo e na gestão eficiente da energia.

Por fim, foram abordados os modelos técnico-económicos utilizados na avaliação de viabilidade de projetos com armazenamento, destacando os principais indicadores de rentabilidade (*payback*, VAL, TIR e LCOE) e as ferramentas atualmente disponíveis no mercado para apoiar esta análise.

Esta revisão forneceu, assim, uma base sólida de conhecimento para o desenvolvimento da ferramenta proposta, assegurando que o trabalho realizado esteja alinhado com as melhores práticas e soluções tecnológicas disponíveis no setor, sendo estas as baterias de lítio de Huawei e BYD.

Capítulo 3

Desenvolvimento da Ferramenta

3.1 Objetivos e Funcionalidades

A crescente adoção de sistemas fotovoltaicos por parte de empresas, aliada à volatilidade dos preços da eletricidade e à descida do custo das tecnologias de armazenamento, tem levado muitos consumidores a ponderar a instalação de baterias, como forma de aumentar o autoconsumo e a autonomia energética. Neste contexto, torna-se essencial disponibilizar uma ferramenta que permita analisar a viabilidade técnica e económica da integração de sistemas de armazenamento em instalações já existentes. Assim sendo, foi desenvolvida uma ferramenta que, com base nos dados de produção e consumo e os inversores instalados, permite a obtenção dos seguintes resultados:

- **Perfil de consumo com e sem baterias** – A inclusão de uma secção dedicada à comparação entre o perfil de consumo com e sem bateria é fundamental para ilustrar o impacto real da instalação de um sistema de armazenamento. Esta funcionalidade permite ao utilizador visualizar, com recurso a ilustrações gráficas, como a bateria altera os fluxos energéticos ao longo do tempo, nomeadamente na redução da dependência da rede elétrica e no aumento do autoconsumo.
- **Capacidade pico de armazenamento** – O cálculo da capacidade pico de possível armazenamento de energia é uma componente essencial da ferramenta, pois permite dimensionar corretamente o sistema de baterias com base nos excedentes reais de produção fotovoltaica. Esta funcionalidade identifica, ao longo do tempo, qual o volume máximo de energia que poderia ser armazenado, evitando tanto o subdimensionamento como o sobredimensionamento.
- **Lista de baterias compatíveis** – A verificação da compatibilidade entre baterias e inversores é uma funcionalidade crucial da ferramenta, uma vez que nem todos os equipamentos disponíveis no mercado podem operar de forma integrada e eficiente. Esta validação técnica assegura que a bateria escolhida é eletricamente e funcionalmente compatível com os inversores existentes no sistema.

- **Comparação financeira entre baterias** – A inclusão de cálculos financeiros, como o *Pay-back* e o TIR, é essencial para garantir uma avaliação económica completa de cada cenário analisado pela ferramenta. Estes indicadores permitem quantificar, de forma objetiva, o retorno associado à instalação de uma bateria em diferentes configurações.

3.2 Diagrama de Estrutura da Ferramenta

A Figura 3.1 apresenta um diagrama que ilustra visualmente o funcionamento da ferramenta, por ordem de execução, começando com a introdução dos dados necessários. É de notar que, existem vários caminhos no fluxograma, pois não é necessário passar por todas as secções da ferramenta para obter os resultados finais.

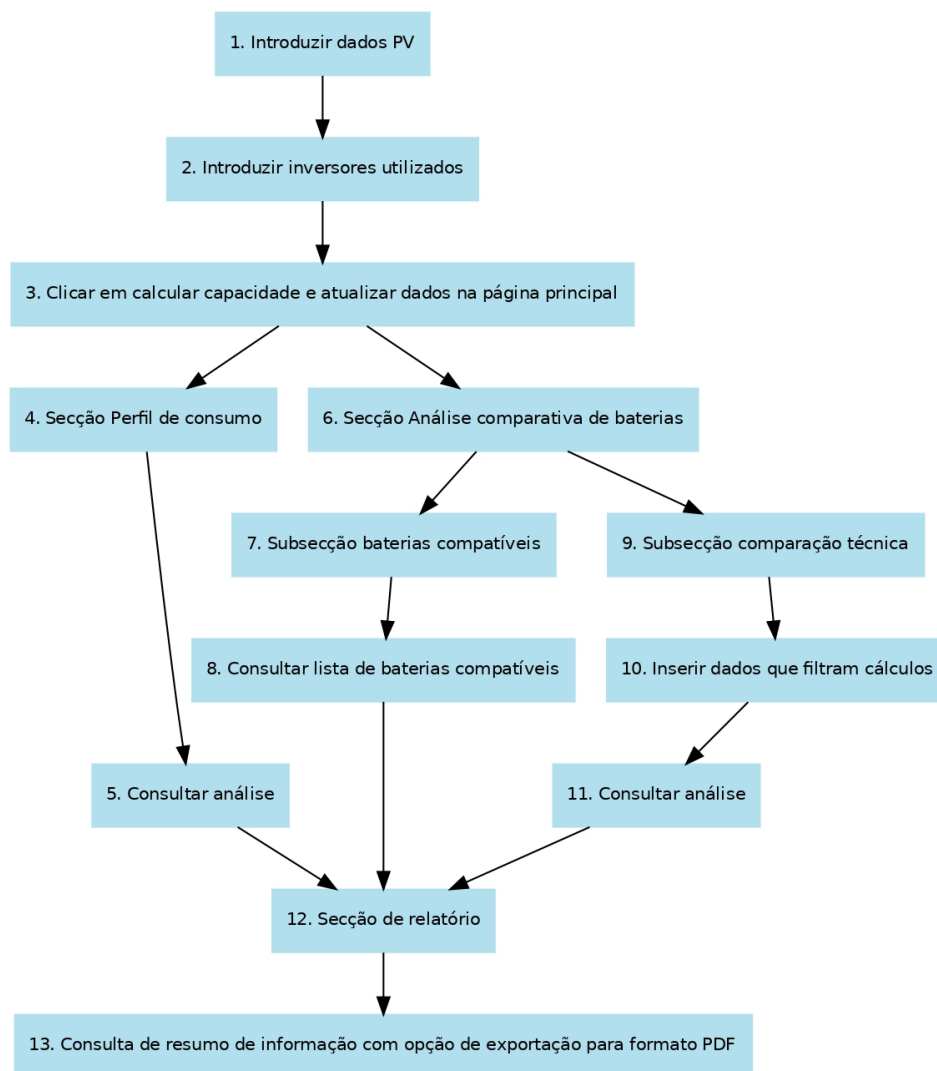


Figura 3.1: Diagrama de funcionamento da ferramenta

3.3 Funcionamento da Ferramenta

Nesta secção será descrito o funcionamento da ferramenta, explicando cada secção e os seus resultados ao pormenor.

3.3.1 Estrutura e Secções

3.2.1.1 Menu Principal

A primeira secção a ser descrita corresponde ao menu principal, sendo importante salientar que este representa o ponto de entrada de navegação da ferramenta. O acesso ao menu é feito através de um botão identificado com o logótipo da Ecoinside, assumindo simultaneamente uma função visual de identificação da empresa, bem como um papel funcional na estrutura da interface. Nesta secção, encontram-se dois botões principais, mais concretamente, um que permite calcular a capacidade pico de possível armazenamento de energia, sendo esta uma funcionalidade essencial para o correto dimensionamento das baterias. Já o outro botão serve para atualizar os dados globais da ferramenta, garantindo que qualquer alteração efetuada pelo utilizador nas secções de entrada de dados se reflete de forma coerente em todos os cálculos e gráficos gerados.

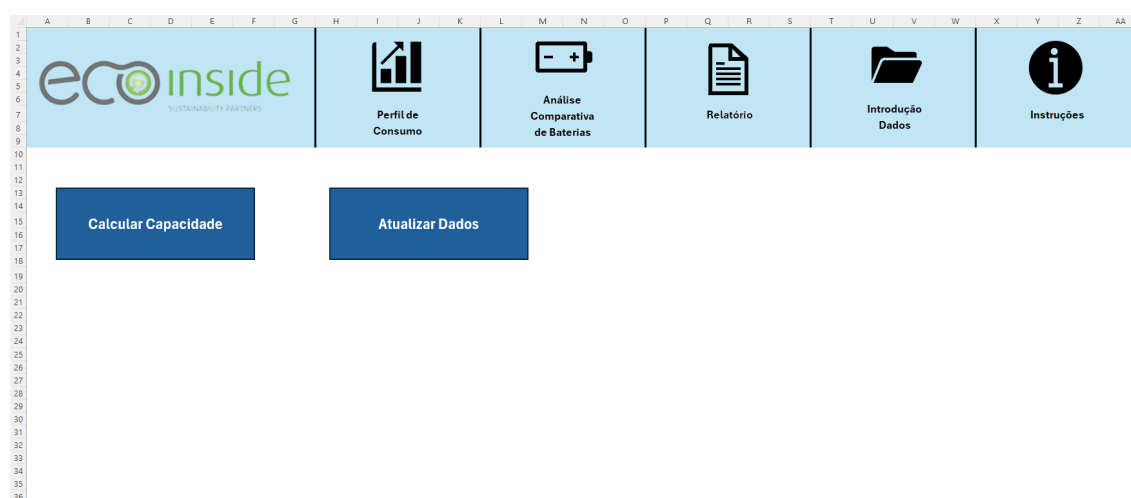


Figura 3.2: Página do Menu principal

Como é possível observar na figura 3.2, existem várias secções presentes na ferramenta, para além do Menu principal, mais concretamente:

- Perfil de Consumo;
- Análise Comparativa de Baterias;
- Relatório;
- Introdução de Dados;
- Instruções.

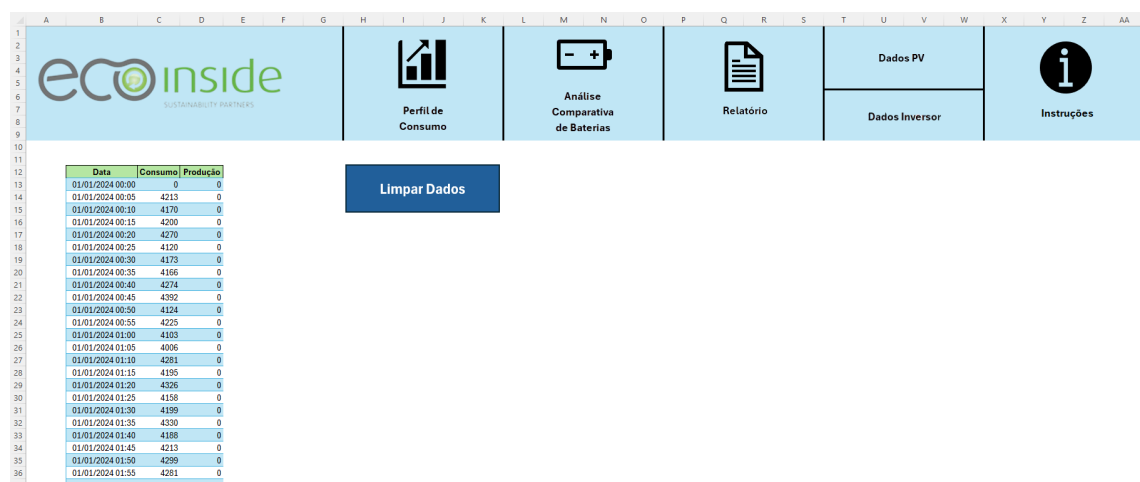
Todas as secções referidas incluem subsecções, que contêm tanto pontos de introdução de dados essenciais para o funcionamento da ferramenta, como resultados.

3.2.1.2 Introdução de Dados

A secção "Introdução de Dados" constitui um dos pilares centrais da ferramenta, permitindo ao utilizador inserir as variáveis do sistema fotovoltaico em análise, sendo que estas variáveis

são fundamentais para o funcionamento da ferramenta. Importa destacar que esta secção está organizada em duas subsecções distintas, mais especificamente, "Dados PV" e "Dados Inversor", de forma a facilitar a introdução estruturada e intuitiva da informação.

- **Dados PV:** Nesta subsecção, o utilizador deve introduzir os dados referentes à produção fotovoltaica e ao consumo elétrico da instalação. Esta informação é essencial para que a ferramenta possa simular o comportamento energético do sistema ao longo do tempo. Todavia, para garantir um funcionamento correto da simulação, os dados devem ser submetidos num formato pré-estabelecido, constituído por três colunas dispostas sequencialmente: Data/Hora, Consumo (Wh) e Produção (Wh). É importante salientar que a ferramenta foi concebida para operar com dados precisos, sendo preferencialmente recomendada uma resolução temporal de 15 minutos ou, idealmente, de 5 minutos. Esta periodicidade permite uma representação mais realista dos perfis de carga e geração, assegurando maior rigor no cálculo da energia autoconsumida, excedente e armazenada. Para além da tabela de dados, existe também um botão presente, para limpar os dados da tabela, simplificando o processo de introdução de dados.



Data	Consumo	Produção
01/01/2024 00:00	0	0
01/01/2024 00:05	4213	0
01/01/2024 00:10	4170	0
01/01/2024 00:15	4200	0
01/01/2024 00:20	4270	0
01/01/2024 00:25	4120	0
01/01/2024 00:30	4173	0
01/01/2024 00:35	4166	0
01/01/2024 00:40	4271	0
01/01/2024 00:45	4302	0
01/01/2024 00:50	4124	0
01/01/2024 00:55	4225	0
01/01/2024 01:00	4103	0
01/01/2024 01:05	4006	0
01/01/2024 01:10	4281	0
01/01/2024 01:15	4195	0
01/01/2024 01:20	4326	0
01/01/2024 01:25	4159	0
01/01/2024 01:30	4199	0
01/01/2024 01:35	4330	0
01/01/2024 01:40	4188	0
01/01/2024 01:45	4213	0
01/01/2024 01:50	4299	0
01/01/2024 01:55	4281	0
01/01/2024 02:00	4372	0

Figura 3.3: Página Dados PV

Dados Inversor	
Marca	
Modelo	Huawei SOLAX Solis SMA Growatt Fronius GoodWe Viessmann KOSTAL Sungrow GE KACO

Figura 3.6: Escolha de marca

Dados Inversor	
Marca	Huawei
Modelo	SUN2000-100KTL-M1 SUN2000-60KTL-M0 SUN2000-50KTL-M2 SUN2000-40KTL-M3 SUN2000-30KTL-M3 SUN2000-36KTL-M3 SUN2000-20KTL-M5 SUN2000-17KTL-M1 SUN2000-17KTL-M5 SUN2000-10KTL-M1 SUN2000-8KTL-M1

Figura 3.7: Escolha de modelo

É de salientar que, mediante a escolha da marca do inversor que se pretende inserir, apenas aparecerão os modelos referentes à marca escolhida, como é possível observar nas figuras 3.6 e 3.7.

3.2.1.3 Perfil de Consumo

A secção de "Perfil de Consumo" tem como principal objetivo permitir ao utilizador visualizar e comparar o comportamento energético da instalação em dois cenários distintos: sem bateria e com bateria integrada. Esta análise é fundamental para perceber o impacto real do armazenamento no aumento do autoconsumo e na redução da dependência da rede elétrica. Com base nos dados introduzidos previamente, a ferramenta calcula a energia autoconsumida, injetada e armazenada, tal como a energia que provém da rede e da bateria. Nesta secção são gerados gráficos comparativos que facilitam a interpretação dos resultados. A visualização gráfica do perfil de consumo permite identificar padrões de utilização e momentos de maior excedente.

3.2.1.4 Análise Comparativa de Baterias

A secção de análise comparativa de baterias divide-se em duas subsecções:

- **Lista de Baterias:** Esta funcionalidade tem como objetivo restringir a análise apenas às soluções tecnicamente viáveis, garantindo que o utilizador apenas considera baterias que sejam compatíveis com os inversores selecionados previamente. Para cada bateria compatível apresentada na lista, são disponibilizadas informações essenciais, nomeadamente: o nome do modelo, a capacidade útil de armazenamento (kWh), o preço estimado de aquisição e o respetivo grau de Ingress Protection (IP). Para além dos dados técnicos fornecidos,

é também calculado o tempo estimado de retorno e o aumento da taxa de autoconsumo para a instalação de cada bateria.

Neste sentido, é importante explicar o método utilizado para a filtragem automática das baterias compatíveis no Excel, nomeadamente as funções e lógicas aplicadas. Primeiramente, foi construída uma base de dados de inversores e uma de baterias. De seguida, foram associados a cada bateria os inversores compatíveis, ou seja, numa tabela com todas as baterias, foram colocados na célula adjacente de cada bateria os inversores compatíveis. É de salientar que esta compatibilidade foi confirmada através da *datasheet* de cada bateria, de forma a serem obtidos dados fiáveis. Por fim, foi utilizada a função *filter* juntamente com outras funções, com vista a aparecerem somente as baterias compatíveis quando inseridos os inversores desejados.

`=FILTER(H6:L32;ISNUMBER(SEARCH($N$8;K6:K32)))`

Figura 3.8: Fórmula para filtragem

Como é possível observar na figura 3.8, existem três funções combinadas que permitem a filtragem:

- **Filter**– Filtra dinamicamente uma tabela ou intervalo com base em um ou mais critérios;
 - **Search**– Procura um texto dentro de outro e devolve a posição onde começa;
 - **Isnumber**– Verifica se um valor é numérico.
- **Análise Técnica:** Esta subsecção, foi concebida para permitir ao utilizador uma análise aprofundada e personalizada do desempenho de uma bateria específica no contexto da instalação fotovoltaica em estudo. O processo é iniciado com a seleção da bateria a analisar, através de uma lista suspensa, que apresenta unicamente os modelos previamente identificados como compatíveis na subsecção anterior, (figura 3.9).

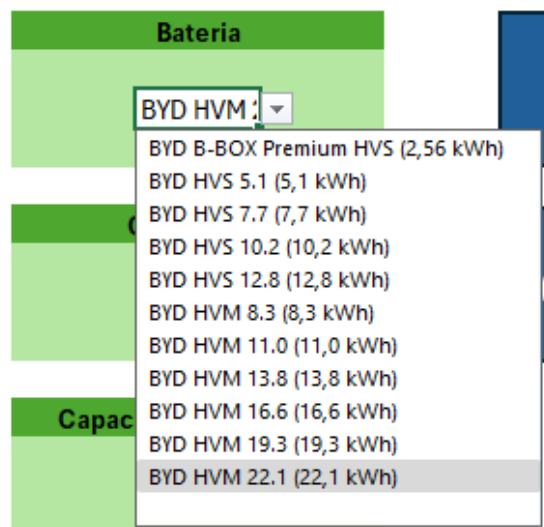


Figura 3.9: Lista suspensa de baterias

Após essa escolha, o utilizador deve introduzir parâmetros, como o número de unidades a instalar, os valores de DoC e DoD, o custo da energia, bem como o custo de instalação por unidade. De forma a orientar a decisão, a interface exibe também a capacidade pico de armazenamento calculada anteriormente com recurso a um código de VBA inserido na parte de *developer* do excel, permitindo ao utilizador ajustar o dimensionamento ao potencial energético identificado, (figura 3.10).

Figura 3.10: Parâmetros a introduzir

Com base nestes dados, a ferramenta calcula e apresenta indicadores energéticos, nomeadamente, o autoconsumo com e sem bateria, bem como o respetivo aumento percentual na taxa

de autoconsumo. Estes valores são apresentados mensalmente e anualmente, sendo acompanhados por gráficos circulares que facilitam a interpretação comparativa dos cenários, (figura 3.11).

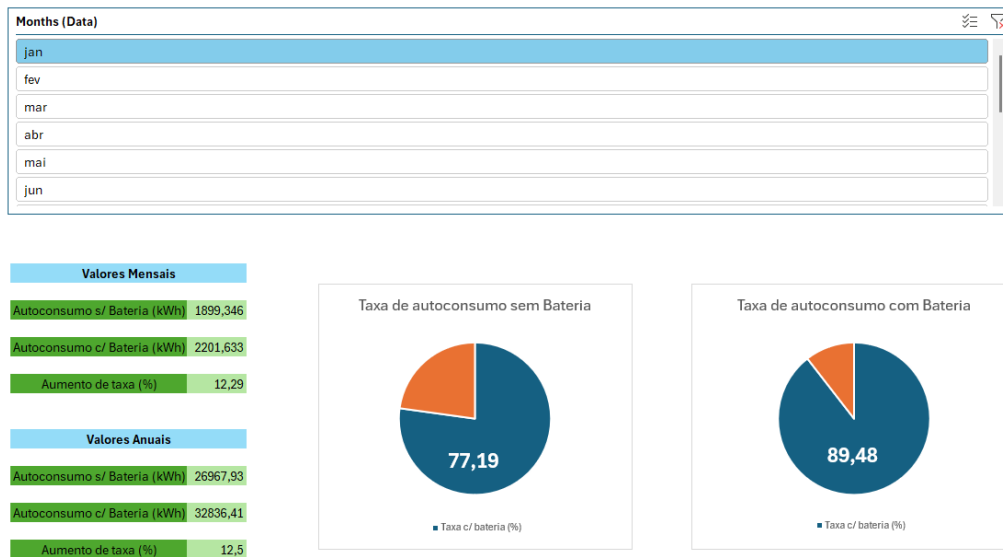


Figura 3.11: Análise de autoconsumo

Seguidamente, é disponibilizada uma análise económico-financeira, onde o utilizador pode consultar o investimento total, a capacidade útil instalada e os principais indicadores financeiros, sendo estes o *payback*, o TIR, o VAL e o LCOE. Esta informação é complementada por um gráfico ilustrativo da evolução do *payback* ao longo do tempo, permitindo visualizar o ponto de equilíbrio do investimento, (figura 3.12).

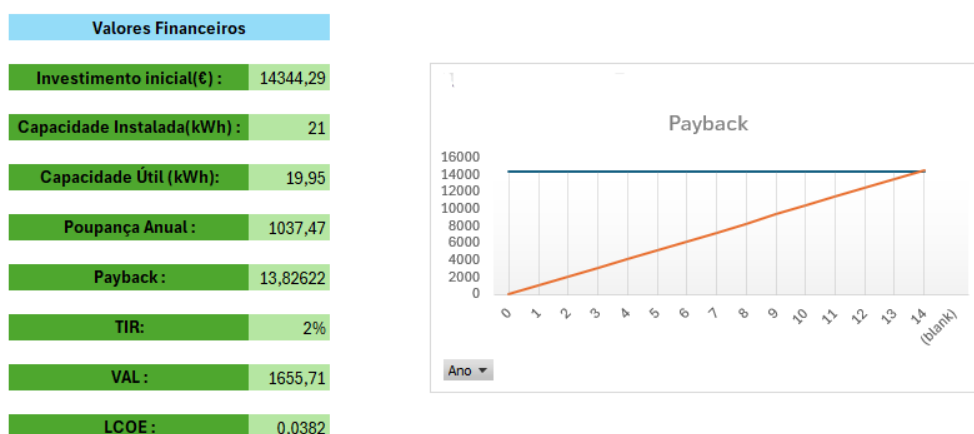


Figura 3.12: Análise financeira

Por fim, a subsecção inclui uma análise do estado de carga da bateria. Esta análise mostra

um gráfico que representa a variação diária de carregamento em cada mês em watts por hora. Esta funcionalidade permite ao utilizador compreender o grau de utilização da bateria ao longo do ano, detetando períodos de subutilização ou de sobrecarga, e avaliando a consistência operacional do sistema, (figura 3.13).

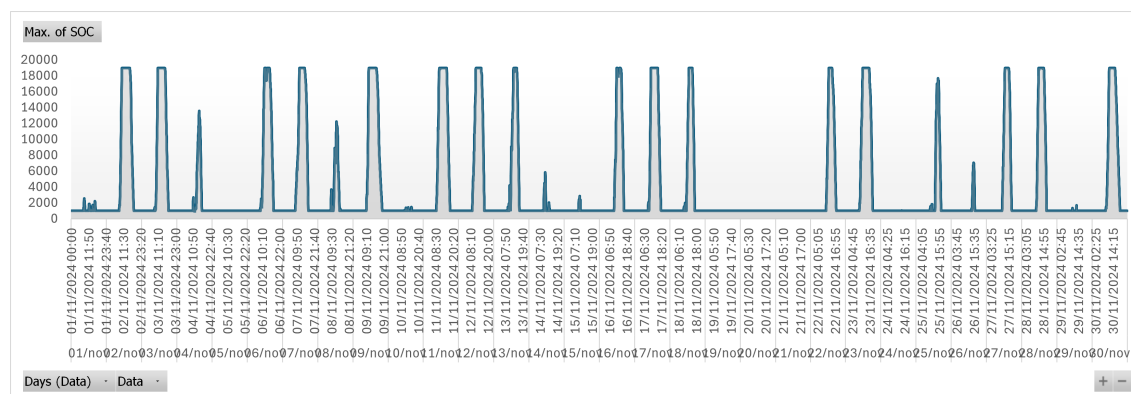


Figura 3.13: Gráfico representativo do estado de carga

3.2.1.5 Relatório

A secção de "Relatório" reúne, de forma organizada e automatizada, os principais resultados da análise realizada pela ferramenta, permitindo ao utilizador obter uma visão global e sintética do desempenho energético e económico do sistema fotovoltaico, com e sem bateria. Esta secção compila os dados mais relevantes de cada etapa, desde os parâmetros introduzidos até aos indicadores de viabilidade calculados. Através de um botão programado, é possível exportar para PDF, de forma a que os dados possam ser apresentados num formato de fácil leitura, podendo ser diretamente utilizados em propostas técnicas ou relatórios internos da empresa.

3.2.1.6 Instruções

A secção de "Instruções" foi concebida para fornecer ao utilizador um conjunto de instruções e esclarecimentos úteis sobre o funcionamento da ferramenta. Esta secção explica passo a passo como efetuar a introdução correta de dados e a interpretação dos resultados.

3.4 Conclusão

O terceiro capítulo centrou-se na descrição detalhada do processo de desenvolvimento da ferramenta criada no âmbito desta dissertação. Através da plataforma Microsoft Excel, com recurso à linguagem de programação VBA, foi concebida uma solução que permite simular, de forma prática e personalizada, o impacto da instalação de baterias em sistemas fotovoltaicos já existentes.

Foram descritas as funcionalidades principais da ferramenta, incluindo a introdução de dados de consumo e produção, a identificação dos equipamentos existentes, a análise gráfica de perfis de consumo com e sem bateria, bem como o cálculo de indicadores técnico-económicos. A ferramenta permite ainda ao utilizador realizar comparações entre diferentes cenários de capacidade de armazenamento, facilitando a identificação da solução mais vantajosa em termos de retorno financeiro ou maximização de autoconsumo.

A estrutura modular da ferramenta torna-a particularmente útil para empresas que pretendem avaliar a viabilidade de investimento em armazenamento de energia, com base em dados reais e ajustados às suas condições específicas. O desenvolvimento desta ferramenta representa, portanto, um contributo relevante para a promoção da eficiência energética e da autonomia nas instalações com produção fotovoltaica.

Capítulo 4

Caso de Estudo

Com o objetivo de validar a utilidade prática da ferramenta desenvolvida, este capítulo apresenta a sua aplicação a um caso de estudo real, representativo de uma instalação fotovoltaica empresarial. Através da introdução de dados técnicos e operacionais, pretende-se demonstrar o funcionamento da ferramenta, bem como a sua capacidade para apoiar decisões relacionadas com o dimensionamento e viabilidade económica da instalação de baterias em sistemas de armazenamento.

O caso de estudo selecionado corresponde a uma empresa com sistema fotovoltaico já instalado e em operação, que apresenta excedentes de produção em determinadas alturas do dia, no entanto, não tem a possibilidade de injeção na rede.

Desta forma, este capítulo visa não só testar a coerência e aplicabilidade do modelo proposto, como também evidenciar, de forma objetiva, o seu potencial para auxiliar empresas na tomada de decisões informadas relativamente à integração de baterias nos seus sistemas fotovoltaicos.

Para garantir uma simulação precisa e tecnicamente válida, foi necessário identificar quais os inversores instalados no sistema fotovoltaico da empresa. Esta etapa revelou-se essencial, uma vez que a compatibilidade entre os inversores e os diferentes modelos de baterias disponíveis no mercado pode condicionar fortemente a viabilidade técnica da integração de sistemas de armazenamento. Através da análise técnica da instalação e da documentação fornecida, foi possível recolher a informação necessária sobre os equipamentos existentes, permitindo que a ferramenta filtrasse automaticamente as baterias compatíveis com os inversores em uso.

4.1 Dados Introduzidos na Ferramenta

Os dados de produção fotovoltaica e de consumo elétrico fornecidos pelas empresas analisadas são geralmente disponibilizados em ficheiros mensais separados, habitualmente em formato Excel ou CSV. Para permitir uma análise completa e contínua ao longo do período de tempo desejado, foi necessário proceder à consolidação de todos os ficheiros mensais num único conjunto de dados estruturado. Esta tarefa foi realizada através de uma ferramenta integrada no Excel, denominada por "*Power Query*", que permite importar, transformar e combinar automaticamente múltiplos

ficheiros com o mesmo formato. Desta forma, obtém-se uma base de dados única e coerente, com os registos organizados e formatados de forma a ser possível a sua introdução na secção de dados da ferramenta.

Através da análise dos dados de consumo e produção fotovoltaica, verificou-se que a empresa apresenta consumos significativos ao longo de todo o dia. Contudo, a produção fotovoltaica regista valores superiores ao consumo entre as 11:00 e as 17:00, período correspondente às horas de maior radiação solar. Esta sobreposição parcial entre produção e consumo resulta, consequentemente, num desperdício considerável de energia durante o período de pico solar, visto que a empresa em estudo não tem a possibilidade de injetar o excedente para a rede. Este desfasamento evidencia a existência de excedentes energéticos que, se armazenados adequadamente, poderiam ser utilizados em momentos de maior consumo, aumentando assim o autoconsumo e a eficiência global do sistema.

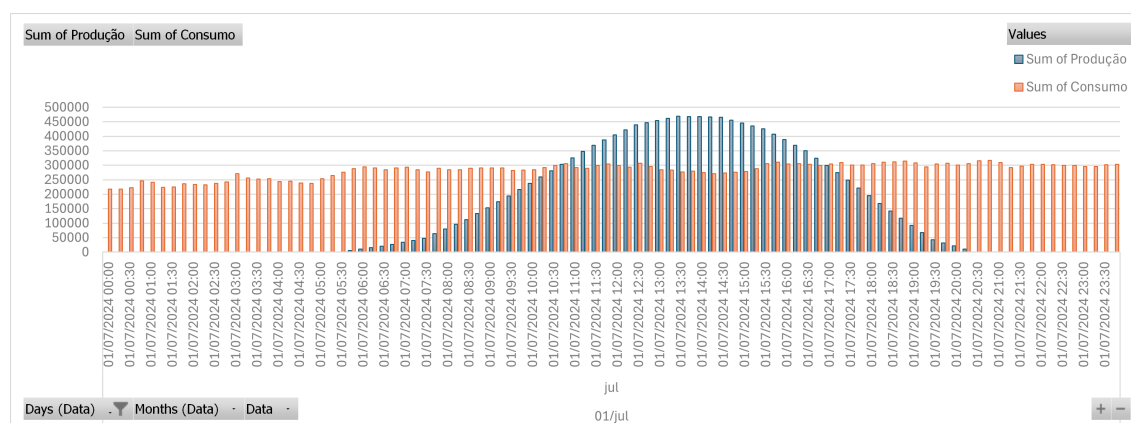


Figura 4.1: Produção e consumo (1 de julho de 2024)

4.2 Simulação sem Baterias

Nesta fase inicial da análise, a ferramenta foi utilizada para simular o comportamento energético da instalação fotovoltaica da empresa sem a presença de um sistema de armazenamento. Esta simulação tem como principal objetivo quantificar o grau de autoconsumo atual, identificando os momentos de défice e excesso energético, fornecendo assim uma linha de base sobre a qual será posteriormente avaliado o impacto da introdução de baterias.

Com base nos dados reais de produção e consumo recolhidos ao longo de um período representativo de 1 ano, foi possível determinar os valores anuais e mensais para a energia autoconsumida, a energia excedente e o défice de consumo coberto pela rede elétrica, bem como a produção e o consumo.

O autoconsumo sem baterias é calculado como o valor mínimo entre a produção e o consumo em cada instante. Importa destacar que a energia excedente corresponde à diferença entre a produção e o consumo sempre que a produção for superior. Já o défice energético corresponde à energia que teve de ser fornecida pela rede, nos períodos em que o consumo foi superior à produção.

Para a produção e consumo, foram obtidos valores anuais de 3896,91 MWh e 8320,38 MWh, respetivamente, (figura 4.2). Enquanto que, em termos de valores mensais, foram obtidos os valores destacados nas figuras 4.2 e 4.3. É de salientar que todos os valores apresentados estão em Wh de forma a obter cálculos mais precisos.

Mês	Excesso (Wh)	Défice (Wh)
jan	13123528,35	597573277,91
fev	21088929,06	532912093,93
mar	40993691,00	524836936,77
abr	71171250,83	465879932,06
mai	81977652,88	485091001,18
jun	85576938,04	461934068,78
jul	105970239,88	484426051,77
ago	285721828,75	208453847,51
set	114412106,66	400894854,71
out	45924477,09	470298231,63
nov	18002249,23	507765939,59
dez	92661249,96	260022588,03
Total	976624141,73	5400088823,87

Figura 4.2: Valores de produção e consumo, mensais e anuais

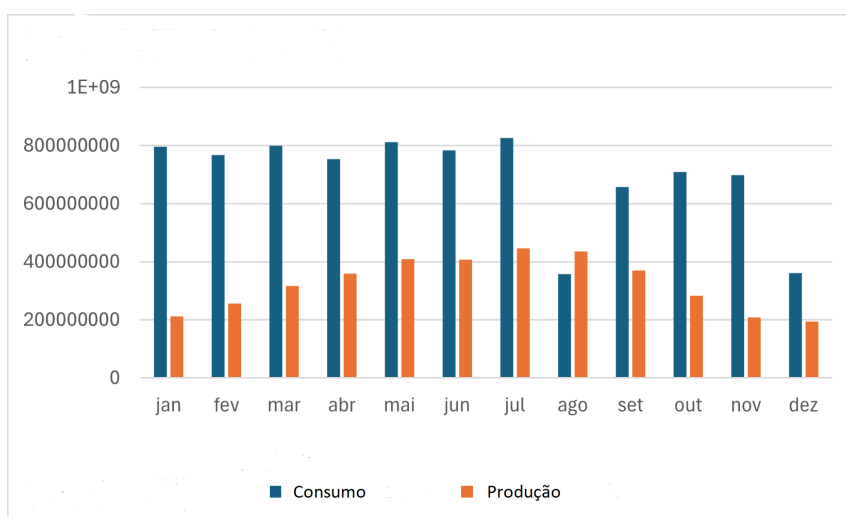


Figura 4.3: Gráfico representativo do consumo e produção ao longo do ano (Wh)

No que toca aos valores de défice e excesso, foram registados os seguintes valores mensais e anuais presentes na figura 4.4.

Mês	Excesso	Défice
jan	13123528,35	597573277,91
fev	21088929,06	532912093,93
mar	40993691,00	524836936,77
abr	71171250,83	465879932,06
mai	81977652,88	485091001,18
jun	85576938,04	461934068,78
jul	105970239,88	484426051,77
ago	285721828,75	208453847,51
set	114412106,66	400894854,71
out	45924477,09	470298231,63
nov	18002249,23	507765939,59
dez	92661249,96	260022588,03
Total	976624141,73	5400088823,87

Figura 4.4: Valores de excesso e déficit, mensais e anual

Por fim, foi feita a análise do autoconsumo, que permite compreender tanto a quantidade como a percentagem de energia produzida que é utilizada para autoconsumo. Posto isto, obteve-se os seguintes valores mensais de autoconsumo, que somados equivalem ao valor anual de autoconsumo, (figura 4.5).

Mês	Autoconsumo (Wh)
jan	199128722,09
fev	235054656,07
mar	274744063,23
abr	287809317,94
mai	326102248,82
jun	321382931,22
jul	341025448,23
ago	149418402,49
set	256084145,29
out	237740268,37
nov	190531310,41
dez	101269161,97
Total	2920290676,13

Figura 4.5: Valores de autoconsumo, mensais e anual

Assim, através dos valores de autoconsumo e produção, foi possível calcular a taxa de autoconsumo para cada mês e para o ano inteiro, (figuras 4.6 e 4.7).

Mês	Taxa de autoconsumo (%)
jan	93,82
fev	91,77
mar	87,02
abr	80,17
mai	79,91
jun	78,97
jul	76,29
ago	34,34
set	69,12
out	83,81
nov	91,37
dez	52,22

Figura 4.6: Valores mensais de taxa de autoconsumo

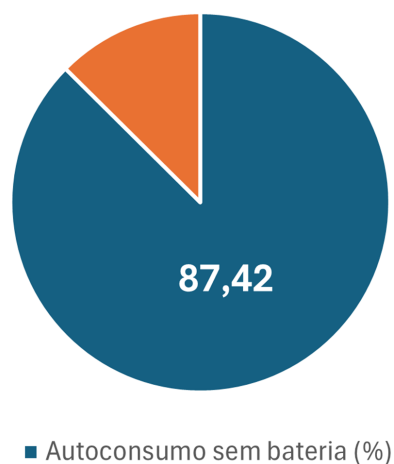


Figura 4.7: Taxa de autoconsumo anual

4.3 Simulação com Baterias

Após a análise do desempenho do sistema sem armazenamento, procede-se à avaliação do impacto da integração de baterias no sistema fotovoltaico em questão.

Primeiramente, foram inseridos, na secção de introdução de inversores da ferramenta, os inversores utilizados no sistema fotovoltaico. Neste caso, o modelo utilizado é o HUAWEI SUN2000-60KTL-M0. Apesar de não ser um inversor híbrido, este pode ser integrado com sistemas de baterias LUNA2000.

Deste modo, verificou-se quais as baterias compatíveis, sendo possível observar os resultados na figura 4.8.

Bateria	Preço (€)	Capacidade (kWh)	Ligação
LUNA2000-97KWH-1H1	25 000,00 €	96,8	AC (via E
LUNA2000-129KWH-2H1	33 247,00 €	129,0	AC (via E
LUNA2000-161KWH-2H1	40 000,00 €	161,3	AC (via E
LUNA2000-200KWH-2H1	45 000,00 €	193,5	AC (via E
LUNA2000-215-2S10	50 000,00 €	215,0	AC (via E

Figura 4.8: Lista de baterias compatíveis

Dada a filtragem de quais baterias seriam indicadas para instalar, procede-se a análise de qual bateria teria o melhor retorno de investimento, melhor aumento de autoconsumo e melhor retorno de investimento em relação ao aumento de autoconsumo. Desta forma, conclui-se que todas as baterias da lista apresentam retornos similares, (figura 4.9). No entanto, a bateria que obteve melhor rácio entre retorno e aumento de autoconsumo foi a bateria LUNA2000-200KWH-2H1, (figura 4.10).

Bateria	Preço (€)	Capacidade (kWh)	Ligação	Poupança anual (€)	Payback (anos)
LUNA2000-97KWH-1H1	25 000,00 €	96,8	AC (via ESS)	3272,96	7,64
LUNA2000-129KWH-2H1	33 247,00 €	129,0	AC (via ESS)	4339,03	7,66
LUNA2000-161KWH-2H1	40 000,00 €	161,3	AC (via ESS)	5394,92	7,41
LUNA2000-200KWH-2H1	45 000,00 €	193,5	AC (via ESS)	6431,90	7
LUNA2000-215-2S10	50 000,00 €	215,0	AC (via ESS)	7115,38	7,03

Figura 4.9: Comparação de retornos entre baterias compatíveis

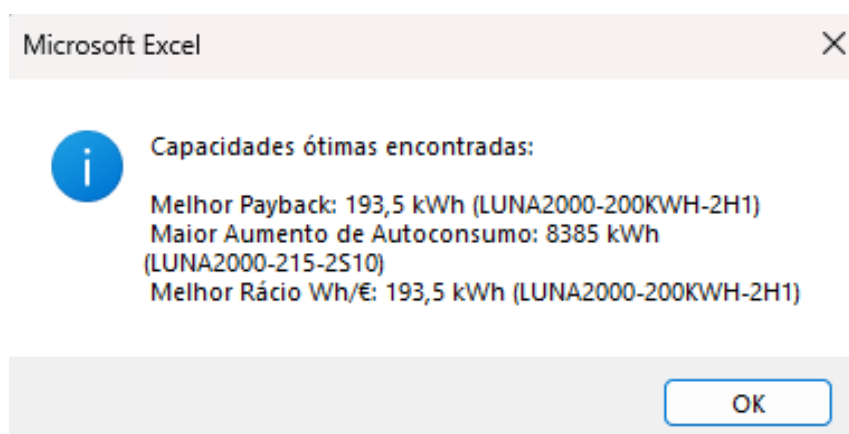


Figura 4.10: Melhores resultados por critério (*Payback*, Aumento de Autoconsumo, Wh/€)

Assim sendo, dada a escolha da bateria ideal, realizou-se a simulação e análise detalhada do sistema, considerando a instalação desta bateria como solução de armazenamento.

O processo de análise teve início com a avaliação dos níveis de autoconsumo, tanto numa perspetiva mensal como anual. Como é possível observar nas figuras 4.11 e 4.12, verificou-se um aumento de autoconsumo todos os meses e, conseqüentemente, da taxa de autoconsumo.

Mês	Autoconsumo (Wh)		Incremento
	Sem Bateria	Com Bateria	
jan	199128722,09	200798292,69	1669570,60
fev	235054656,07	239973145,28	4918489,21
mar	274744063,23	280443719,57	5699656,34
abr	287809317,94	293324067,94	5514750,00
mai	326102248,82	331800823,82	5698575,00
jun	321382931,22	326954800,16	5571868,94
jul	341025448,23	346724023,23	5698575,00
ago	149418402,49	155116977,49	5698575,00
set	256084145,29	261598895,29	5514750,00
out	237740268,37	243438843,37	5698575,00
nov	190531310,41	192582225,20	2050914,78
dez	101269161,97	106006681,36	4737519,39
Total	2920290676,13	2978762495,38	58471819,25

Figura 4.11: Comparação de autoconsumo mensal

Mês	Taxa de autoconsumo (%)		Incremento
	Sem Bateria	Com Bateria	
jan	93,82	94,60	0,79
fev	91,77	93,69	1,92
mar	87,02	88,82	1,81
abr	80,17	81,71	1,54
mai	79,91	81,31	1,40
jun	78,97	80,34	1,37
jul	76,29	77,57	1,27
ago	34,34	35,65	1,31
set	69,12	70,61	1,49
out	83,81	85,82	2,01
nov	91,37	92,35	0,98
dez	52,22	54,66	2,44

Figura 4.12: Comparação de taxa de autoconsumo mensal

Para além disso, constatou-se que, em termos anuais, a implementação do sistema de armazenamento aumentou o autoconsumo em 58,47 MWh e a taxa de autoconsumo em 1,50%, (figuras 4.11 e 4.13).

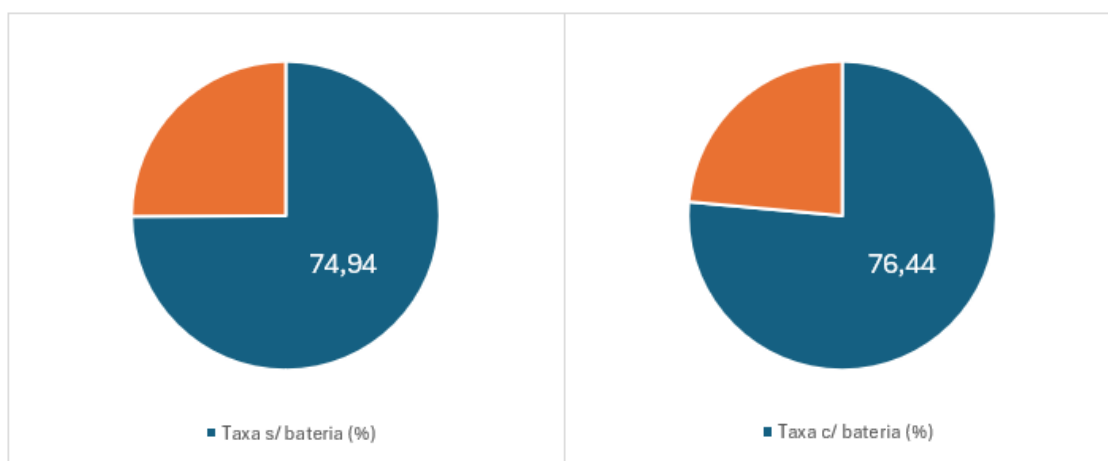


Figura 4.13: Comparação de taxa de autoconsumo anual

De seguida, foi realizada a análise financeira, com o intuito de avaliar a viabilidade económica da solução proposta. Neste segmento de análise, são salientados valores de investimento inicial e capacidade útil, que são definidos pela bateria escolhida. Também existem valores deixados à descrição do utilizador, como o preço de energia, devido ao facto de mudar ao longo do tempo, e do DoD e DoC, pois são parâmetros que afetam o tempo de vida do sistema de armazenamento, deixando assim o perfil de risco como decisão do utilizador. Existe ainda um terceiro parâmetro alterável, sendo este o custo de instalação. No entanto, para que a análise financeira refletisse apenas o impacto da bateria no sistema, considerou-se o custo de instalação como 0.

Através dos valores referidos e com recurso a um algoritmo de cálculo, é possível obter parâmetros como o período de retorno do investimento (*Payback*), o VAL, o TIR e o LCOE.

Foi então definido o preço de energia como 110 €/MWh, o DoD como 95%, de forma a nunca descarregar a bateria por completo, o DoC como 100%, pois por norma as baterias da atualidade não sofrem perdas de eficiência com cargas completas, e o custo de instalação como 0, pelos motivos referidos anteriormente, (figura 4.14).

DoC	DoD
100%	95%
Preço Energia (MWh/€)	Custo Instalação (€)
110	0

Figura 4.14: Parâmetros a introduzir pelo utilizador

Visto que a bateria escolhida foi a LUNA2000-200KWH-2H1, o valor de investimento inicial ficou definido como o preço da bateria, sendo este de 45000 €, e o valor de capacidade útil como a capacidade máxima referida na *datasheet* da bateria em questão, (figura 4.15).

Investimento inicial(€) :	45000
Capacidade Instalada(kWh) :	193,50
Capacidade Útil (kWh):	193,50

Figura 4.15: Parâmetros que provêm da bateria

Os resultados financeiros obtidos são os valores presentes na figura 4.16.

Poupança Anual :	6431,9
Payback :	7,00
TIR:	12%
VAL :	51478,50
LCOE :	0,0008

Figura 4.16: Indicadores financeiros

Para que a análise financeira seja verdadeiramente compreensiva e fundamentada, é essencial a explicação dos valores obtidos para cada indicador utilizado:

- **Payback** – Para este indicador, foi obtido o valor de 7 anos, o que significa que em 7 anos o investimento inicial será completamente saldado, figura 4.17.

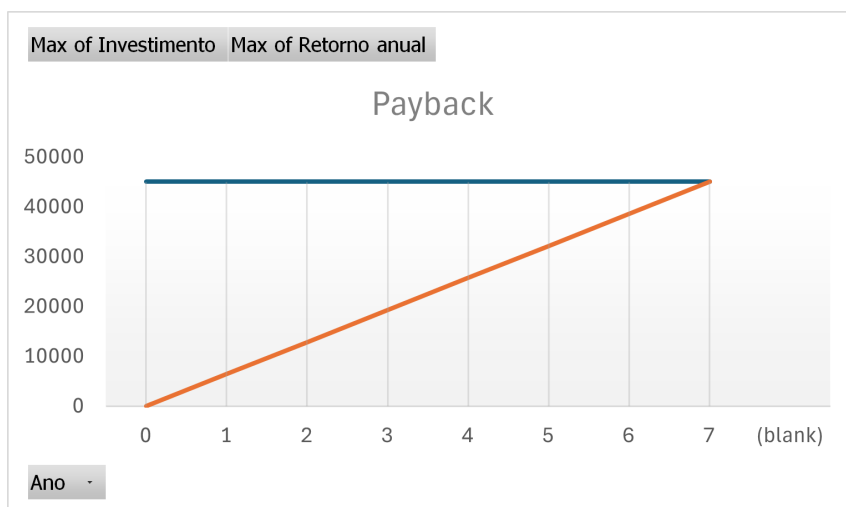


Figura 4.17: Representação gráfica do *payback*

- **VAL** – No que toca a este parâmetro, foi obtido o valor de 51478,50 €. Neste caso, visto que para os cálculos foi assumido 15 anos de vida útil de bateria, este valor representa o lucro obtido nos 15 anos em que a bateria estará em operação.
- **TIR** – A obtenção TIR de 12% indica que o investimento na instalação do sistema de armazenamento apresenta uma rentabilidade anual média de 12% ao longo da sua vida útil, neste caso 15 anos. Com este valor de TIR, é possível concluir que o investimento é economicamente viável, pois por norma um TIR entre 6-8% já é considerado um investimento atrativo.
- **LCOE** – Por fim, um LCOE de 0,0008 reflete um valor baixo de custo nivelado de energia, demonstrando uma elevada eficiência económica do sistema.

Por fim, é analisado o estado de carga da bateria ao longo de cada mês. Deste modo, é possível concluir que existem dias em que o sistema de armazenamento poderia armazenar mais do que está definido como limite. No entanto, existem dias em que a carga completa não é possível devido aos elevados consumos e produções insuficientes, como por exemplo no mês de dezembro, (figura 4.18).

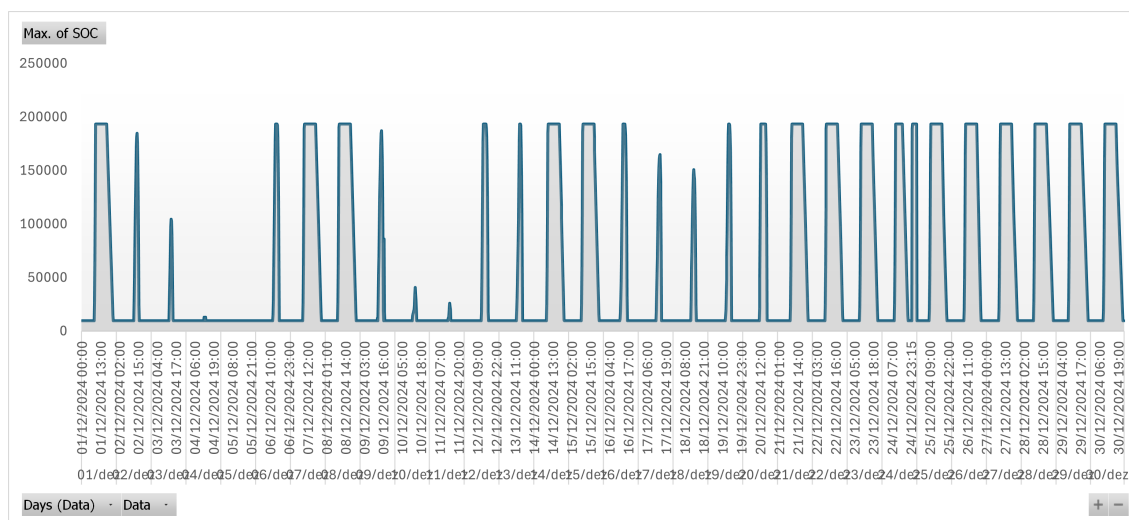


Figura 4.18: Estado de carga ao longo do mês de dezembro

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusões

A presente dissertação teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta prática, baseada em Microsoft Excel com suporte em VBA, que auxiliasse a análise da viabilidade técnica e económica da instalação de sistemas de armazenamento em instalações fotovoltaicas existentes. Numa fase inicial, foram estudados os fundamentos da conversão fotovoltaica, os diferentes tipos de sistemas e baterias, os modelos económicos mais relevantes, e as estratégias de otimização do autoconsumo. Este enquadramento teórico sustentou o desenvolvimento metodológico da ferramenta e a sua posterior aplicação num caso de estudo real.

A ferramenta criada permite ao utilizador introduzir dados reais de consumo e produção, bem como características técnicas dos inversores e baterias, gerando de forma automática simulações comparativas entre o cenário sem bateria e com diferentes capacidades de armazenamento. São também apresentados indicadores-chave de desempenho técnico, como a taxa de autoconsumo e o perfil do estado de carga, bem como indicadores financeiros como o *Payback*, o VAL, o TIR e o LCOE.

A sua aplicação prática num caso de estudo empresarial revelou-se esclarecedora. Após análise das condições do sistema fotovoltaico da empresa e dos perfis de consumo, verificou-se que a bateria Huawei LUNA2000-200KWH-2H1, compatível com o inversor SUN2000-100KTL-M1, foi a solução que apresentou melhor desempenho técnico e económico. A instalação desta bateria permitiu aumentar substancialmente o autoconsumo, com um impacto direto na redução da dependência da rede elétrica e na poupança energética anual. Do ponto de vista económico, o sistema apresentou um *Payback* inferior ao tempo de vida útil da bateria, uma TIR de 12%, e um LCOE de 0,0008 €/kWh, validando a viabilidade da instalação.

É importante referir ainda a capacidade da ferramenta para identificar automaticamente a capacidade ideal da bateria a instalar com base em diferentes critérios (mínimo *payback*, máximo autoconsumo ou equilíbrio entre ambos), considerando múltiplas configurações possíveis e limitações reais como o DoD e a eficiência da bateria. Esta funcionalidade destaca o potencial da

ferramenta para ser aplicada em múltiplos contextos empresariais, contribuindo para uma análise mais rigorosa e informada sobre a adoção de soluções de armazenamento energético.

5.2 Limitações e Trabalhos Futuros

A principal limitação presente durante a dissertação, foi a falta de informação sobre a instalação e compatibilidade de baterias, que gerou dificuldades no desenvolvimento da ferramenta.

No que toca a trabalhos futuros, o trabalho desenvolvido abre caminho a diversos desenvolvimentos a realizar, tanto no aperfeiçoamento da ferramenta como na exploração de novas vertentes de análise, nos quais se destacam:

- A inclusão de tarifas reais com diferenciação horária, que permitiria uma simulação mais próxima da realidade, com impactos diretos no cálculo das poupanças e na estratégia de carregamento das baterias;
- A consideração da degradação da bateria ao longo do tempo, permitindo previsões mais realistas do desempenho energético e económico durante a vida útil da instalação;
- A melhoria da interface e visualização dos resultados;
- A expansão para outros tipos de utilização de baterias como *peak shaving* e *time-of-use*.

Estas extensões contribuirão para transformar a ferramenta desenvolvida num instrumento mais adaptável e alinhado com as exigências de um setor energético em constante transformação.

Referências

- [1] United Nations, *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, <https://sdgs.un.org/2030agenda>, Acesso em junho de 2025, 2015.
- [2] Portugal Global. «Transição Energética,» Portugal Global. (2025), URL: <https://www.portugalglobal.pt/internacionalizacao/sustentabilidade/temas/transicao-energetica/> (acedido em 28/06/2025).
- [3] Iberdrola. «Autoconsumo remoto de energia elétrica,» Iberdrola. (2025), URL: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nosso-modelo-inovacao/autoconsumo-remoto-de-energia-eletrica> (acedido em 29/06/2025).
- [4] EDP - Energias de Portugal. «Armazenar energia com baterias para painéis solares,» EDP. (2025), URL: <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/armazenar-energia-com-baterias-para-paineis-solares/> (acedido em 29/06/2025).
- [5] Ecoinside. «Sobre nós,» Ecoinside. (2025), URL: <https://www.ecoinside.pt/sobre-nos/> (acedido em 24/07/2025).
- [6] EDP Soluções. «Origem da energia solar,» EDP Soluções. (2025), URL: <https://solucoes.edp.com.br/blog/origem-da-energia-solar/> (acedido em 29/06/2025).
- [7] Iberdrola. «Células fotovoltaicas fotoelétricas,» Iberdrola. (2025), URL: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nosso-modelo-inovacao/celulas-fotovoltaicas-fotoeletricas> (acedido em 29/06/2025).
- [8] Repsol. «Célula fotovoltaica: tudo o que precisa de saber,» Repsol. (2025), URL: <https://www.repsol.pt/particulares/assessoramento/celula-fotovoltaica-tudo-o-que-precisa-de-saber/> (acedido em 29/06/2025).
- [9] Energy Encyclopedia – Simopt s.r.o. «Glossário: P-N junction,» Energy Encyclopedia. (2025), URL: <https://www.energyencyclopedia.com/en/glossary/p-n-junction> (acedido em 29/07/2025).
- [10] J. L. Morais, *Sistemas Fotovoltaicos da Teoria à Prática*. PUBLINDUSTRIA, 2009.
- [11] EnergySage, *Monocrystalline vs. Polycrystalline Solar Panels*, <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2024.
- [12] sunflower-solar. URL: <http://www.sunflower-solar.com>.
- [13] A. M. R. Nogueira, «ENERGIA FOTOVOLTAICA: SISTEMA ON GRID - SISTEMA CONECTADO À REDE ELÉTRICA,» *Recima21*, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v3i1.2365>. URL: https://www.researchgate.net/publication/365698236_ENERGIA_FOTOVOLTAICA_SISTEMA_ON_GRID_SISTEMA_CONECTADO_A_REDE_ELETRICA.

- [14] BYD Energia. «Energia Solar,» BYD Energia. (2025), URL: <https://bydenergia.com/energia-solar/> (acedido em 30/06/2025).
- [15] WEG Solar. «Sistema Fotovoltaico on-grid e off-grid: saiba as diferenças e as vantagens de cada tipo,» WEG. (2025), URL: <https://www.weg.net/solar/blog/sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid-saiba-as-diferencas-e-as-vantagens-de-cada-tipo/> (acedido em 30/06/2025).
- [16] SolarPower Europe, «Embracing the benefits of hybrid PV systems for Europe's energy transition,» SolarPower Europe, Briefing Paper, mar. de 2025, ISBN: 9789464669275; acesso em 2025-06-30. URL: https://api.solarpowereurope.org/uploads/0525_SPE_Hybrid_PV_report_hr_10_53895d7972.pdf.
- [17] M. Uddin, G. M. Shafiullah, H. Mo, M. Atef, M. M. Rana e M. R. Sarkar, «A review on hybrid photovoltaic – Battery energy storage system: Current status, challenges, and future directions,» *Journal of Energy Storage*, vol. 44, p. 104 597, 2022. DOI: 10.1016/j.est.2022.104597.
- [18] Fox-Power. «The role of inverters: key components in photovoltaic systems,» Fox-Power. (2024), URL: <https://xn--foxpower-cn3d.com/the%E2%80%91role%E2%80%91of%E2%80%91inverters%E2%80%91key%E2%80%91components%E2%80%91in%E2%80%91photovoltaic%E2%80%91systems/> (acedido em 24/07/2025).
- [19] Otovo Portugal. «Inversor solar: o que é e como funciona,» Otovo Portugal. (2024), URL: <https://www.otovo.pt/blog/sistemas-fotovoltaicos/inversor-solar-o-que-e-como-funciona/> (acedido em 24/07/2025).
- [20] Energy Theory. «O Que É um Inversor Central?» Acedido em: 29 de junho de 2025. (2024), URL: <https://energytheory.com/pt/what-is-a-central-inverter/>.
- [21] Pyron Solar. «String Inverter vs Central Inverter: vantagens e desvantagens,» Pyron Solar. (2024), URL: <https://pyronsolar.com/solar-inverters/string-inverter-vs-central-inverter/> (acedido em 29/07/2025).
- [22] Beny New Energy. «String Inverter vs Microinverter: advantages and disadvantages,» Beny New Energy. (2023), URL: <https://www.beny.com/microinverter-vs-string-inverter/> (acedido em 29/07/2025).
- [23] Sunplus Energy. «String Inverters: Advantages and Disadvantages Explained,» Sunplus Energy. (2024), URL: <https://www.sunplusenergy.com/news/string-inverters-advantages-and-disadvantages-explained.html> (acedido em 29/07/2025).
- [24] PVsyst SA. «Electrical Shading Mismatch Loss,» PVsyst SA. (2025), URL: <https://www.pvsyst.com/help/project-design/shadings/calculation-and-model/electrical-shading-mismatch-loss.html> (acedido em 29/07/2025).
- [25] Huawei Technologies Co., Ltd. «The Complete Guide to Solar Hybrid Inverters,» Huawei Solar. (2024), URL: <https://solar.huawei.com/en/blog/2024/solar-hybrid-inverters/> (acedido em 29/07/2025).
- [26] SMA Solar Technology AG. «Hybrid Inverters: functions, benefits and products at a glance,» SMA Solar Technology AG. (2025), URL: <https://www.sma.de/en/products/hybrid-inverters> (acedido em 29/07/2025).

- [27] Agência Portuguesa do Ambiente, «Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030),» APA, Relatório técnico, 2024. URL: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Planeamento/20241030_pnec2030_maen.pdf (acedido em 29/07/2025).
- [28] República Portuguesa, «Decreto-Lei n.º15/2022, de 14 de janeiro – Regime jurídico da produção de eletricidade de fontes renováveis, autoconsumo e armazenamento,» Diário da República, rel. téc., 2022, Atualizado por diplomas posteriores até 2024. URL: <https://dre.pt/application/conteudo/118848763>.
- [29] Laboratório Industrial da Qualidade, *UPAC e UPP*, <https://liq.pt/energia-e-seguranca/upac-e-upp/>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2025.
- [30] Direção-Geral de Energia e Geologia, *Alterações de UPAC*, <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energia-eletrica/producao-de-energia-eletrica/producao-descentralizada-autoconsumo-e-upp-mp-mn/autoconsumo-e-cer/2-alteracoes-de-upac/>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2025.
- [31] Direção-Geral de Energia e Geologia, *Autoconsumo e Comunidades de Energia Renovável*, <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energia-eletrica/producao-de-energia-eletrica/producao-descentralizada-autoconsumo-e-upp-mp-mn/autoconsumo-e-cer/>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2025.
- [32] X. H. C. Z. C. Z. Y. Li, «Technological Developments in Batteries: A Survey of Principal Roles, Types, and Management Needs,» *IEEE Power and Energy Magazine*, ago. de 2017, ISSN: 1558-4216. DOI: 10.1109/MPE.2017.2708812. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3570927>.
- [33] A. Arruebo, «SolarPower Europe (2025): European Market Outlook for Battery Storage 2025-2029,» SolarPower Europe, rel. téc., 2025. URL: https://api.solarpowereurope.org/uploads/SPE_European_Battery_Outlook_2025_62b89db476.pdf?updated_at=2025-05-05T09:16:53.946Z.
- [34] D. Linden e T. B. Reddy, *Handbook of Batteries*, 3rd. McGraw-Hill, 2002, Inclui informação histórica e técnica sobre baterias de chumbo-ácido, incluindo a invenção por Gaston Planté em 1859, ISBN: 9780071359788.
- [35] H. C. T. N. C. W. Y. C. T. Y. L. Y. Ding, «Progress in electrical energy storage system: A critical review,» *ELSEVIER*, jul. de 2009. DOI: 10.1016/j.pnsc.2008.07.014.
- [36] A. B. Alonso, Y. Amara, A. Haddar e P. Lanassee, «Battery Storage Technologies for Electrical Applications: Impact in Stand-Alone Photovoltaic Systems,» *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, n.º 28, pp. 17 431–17 441, 2017, Acedido em 25 de julho de 2025. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.04.120. URL: https://www.researchgate.net/publication/320585643_Battery_Storage_Technologies_for_Electrical_Applications_Impact_in_Stand-Alone_Photovoltaic_Systems.
- [37] Amp Nova / Solar Battery Manufacturer, *Bateria de substituição de chumbo-ácido*, <https://solarbatterymanufacturer.com/pt/baterias-de-substituicao-de-chumbo-acido/>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2025.
- [38] M.-C. de engenharia. URL: <https://munin.pt/prov/bateria.html>.

- [39] Rontek. URL: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-em-geral/informacoes-basicas/a-historia-das-baterias>.
- [40] A. L. B. E. J. B. A. A. P. S. G. Lindbergh, «Gas Phase composition of a NiMH battery during a work cycle,» *RSC Advances*, mai. de 2024.
- [41] E. -. Magnetism. URL: <https://www.electricity-magnetism.org/electric-battery/nickel-metal-hydride-battery-how-it-works/>.
- [42] M. H. R. H. M. J. M. R. I. F. N. H. M. Mofijur, «Advancing energy storage: The future trajectory of lithium-ion battery technologies,» *Elsevier*, abr. de 2025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.116511>.
- [43] Y. L. Daniel Akinyele Juri Belikov, «Battery Storage Technologies for Electrical Applications: Impact in Stand-Alone Photovoltaic Systems,» *energies*, 2017. URL: <https://doi.org/10.3390/en10111760>.
- [44] M. T. T. N. S. S. H. A. A. S. Shojaeiyan, «Electrochemical storage systems for renewable energy integration: A comprehensive review of battery technologies and grid-scale applications,» *ELSEVIER*, mai. de 2025.
- [45] W. Sharmoukh, «Redox flow batteries as energy storage systems: materials, viability, and industrial applications,» *RSC Advances*, mai. de 2025. URL: <https://doi.org/10.1039/D5RA00296F>.
- [46] A. A. M. K. K. S. M. Ismail, «Solid-state batteries, their future in the energy storage and electric vehicles market,» *ELSEVIER*, 2024. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sctalk.2024.100382>.
- [47] C. W. X. Sun, «The Promise of Solid-State Batteries for Safe and Reliable Energy Storage,» *ELSEVIER*, 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.10.008>.
- [48] A. desconhecido, «Energy efficiency of lithium-ion batteries: Influential factors and long-term degradation,» *Journal of Energy Storage*, vol. 74, p. 109 386, 2023, Explora os efeitos de temperatura, corrente de descarga e tensão limite na eficiência ao longo do tempo. DOI: [10.1016/j.est.2023.109386](https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109386).
- [49] C. Honsberg e S. Bowden, *Battery Charging and Discharging Parameters*, <https://www.pveducation.org/pvcdrom/battery-characteristics/battery-charging-and-discharging-parameters>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2025.
- [50] EnergySage, *O que é a profundidade de descarga (DoD)?* Acedido em 25 de julho de 2025, 2025. URL: <https://www.energysage.com/energy-storage/depth-of-discharge/>.
- [51] HuntKey, *Eficiência das Baterias*, <https://www.huntkeyenergystorage.com/pt/battery-efficiency/>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2025.
- [52] Galooli, *Como Calcular a Eficiência Energética*, Acedido em 25 de julho de 2025, 2022. URL: <https://galooli.com/blog/calculate-energy-efficiency/>.
- [53] Battery University (Cadex), *What Is C-Rate?* <https://batteryuniversity.com/article/bu-402-what-is-c-rate>, Acedido em 25 de julho de 2025, 2025.
- [54] Y. Yang, S. Bremner, C. Menictas e M. Kay, «Modelling and optimal energy management for battery energy storage systems in renewable energy systems: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 167, p. 112 671, 2022. DOI: [10.1016/j.rser.2022.112671](https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112671).

- [55] R. M. d. Barros, «Sistema de Gestão de Armazenamento de Energia em Baterias: Uma abordagem focada na maximização do autoconsumo fotovoltaico e redução de custos,» tese de mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2022.
- [56] EnergySage, *Understanding Time-of-Use Rates*, <https://www.energysage.com/electricity/understanding-time-of-use-rates/>, Acessado em 25 de julho de 2025, 2023.
- [57] M. Azaroual, M. Ouassaid e M. Maaroufi, «Optimal energy management of grid-connected photovoltaic-wind-battery system under Time-of-Use tariffs,» *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 12, pp. 11 448–11 460, 2022, Aborda estratégias TOU de carregamento/descarregamento em sistemas PV-bateria com controlo inteligente.
- [58] R. D. Hub. URL: <https://datahub.ren.pt/pt/eletricidade/mercado/>.
- [59] S. S. H. Rizvi, K. T. Chaturvedi e M. L. Kolhe, «A review on peak shaving techniques for smart grids,» *AIMS Energy*, vol. 11, n.º 4, pp. 723–752, 2023. DOI: 10.3934/energy.2023036.
- [60] batteryblokk. URL: <https://www.batteryblokk.com/peak-shaving/>.
- [61] H. E. Storage, *Top 10 Household Energy Storage Manufacturers in China*, Acessado em 25 de julho de 2025, 2023. URL: <https://www.huntkeyenergystorage.com/pt/top-10-household-energy-storage-manufacturers-in-china/>.
- [62] Huawei Technologies Co., Ltd., *Huawei Solar – Soluções Fotovoltaicas e de Armazenamento de Energia*, <https://solar.huawei.com/pt>, Acessado em 25 de julho de 2025, 2025.
- [63] BYD Energy do Brasil, *BYD Energia – Soluções em Energia Solar e Armazenamento*, Acessado em 25 de julho de 2025, 2025. URL: <https://bydenergia.com/>.
- [64] Huawei. URL: <https://solar.huawei.com>.
- [65] Senetic. URL: <https://www.senetic.pt>.
- [66] S. G. Simões, J. Barbosa, P. Oliveira, P. Patinha, L. Quental e outros, «Perspectivas de Penetração da Energia Solar Fotovoltaica e Viabilidade Económica do PV Descentralizado em Portugal,» Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), rel. téc. Relatório Técnico, 2019, Analisa a competitividade económica de sistemas fotovoltaicos descentralizados com indicadores como payback, VAL/TIR e LCOE :contentReference[oaicite:1]index=1. URL: <https://repositorio.lneg.pt/entities/publication/233bfe3c-56eb-40fb-b896-33d496c087f3>.
- [67] S. Luthra, S. K. Mangla e R. K. Kharb, «Sustainable assessment in energy planning and management in Indian perspective,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 47, pp. 58–73, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.007.
- [68] Salesforce Staff, *Payback period: definição e fórmulas*, <https://www.salesforce.com/br/blog/payback/>, Acessado em 25 de julho de 2025, 2024.
- [69] Universidade de Évora, «Bloco9 – Análise de Investimentos: VAL, TIR, Tempo de Recuperação, Rácio Benefício–Custo,» Universidade de Évora, rel. téc., 2024, Acessado em 25 de julho de 2025. URL: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/6309/11/BLOCO9.pdf>.

- [70] Associação Comercial e Industrial de Arcos de Valdevez e Ponte da Barca (ACIAB), *VAL (Valor Atual Líquido): o que é, fórmula e como calcular*, https://www.aciab.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=10311&lang=es, Acessado em 25 de julho de 2025, 2022.
- [71] E. Nantzarakis, D. Koulouriotis e S. Karellas, «Evaluation of future sustainable electricity generation alternatives,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 903–923, 2018, Utiliza avaliação multicritério (PROMETHEE II) para comparar mix de geração sustentável :contentReference[oaicite:1]index=1. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.033.
- [72] nPro.energy, *Self-sufficiency (autarky) and self-consumption rate*, <https://www.npro.energy/main/en/help/self-sufficiency-rate>, Acessado em 25 de julho de 2025, 2024.
- [73] Valentin Software, *PV*SOL – Software para Simulação e Dimensionamento Fotovoltaico com Armazenamento*, <https://pvsol.software/en/>, Acessado em 25 de julho de 2025, 2025.
- [74] PVsyst SA, *PVsyst – Software de Simulação, Dimensionamento e Análise de Sistemas Fotovoltaicos*, <https://www.pvsyst.com/>, Acessado em 25 de julho de 2025, 2025.

Anexo A

Fichas Técnicas utilizadas no Caso de Estudo

SUN2000-60KTL-M0 Smart String Inverter



6
MPP Trackers



98.9%
Max. Efficiency



String-level
Management



Smart I-V Curve
Diagnosis Supported



Residual Current
Monitoring Integrated



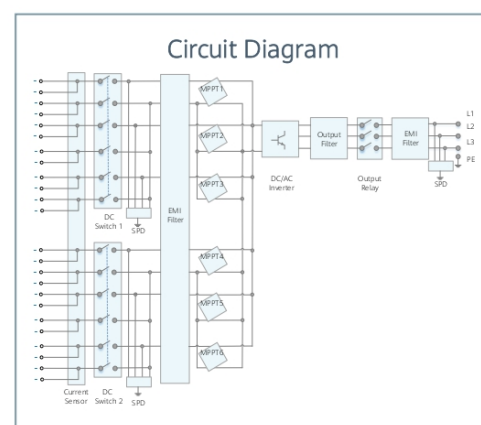
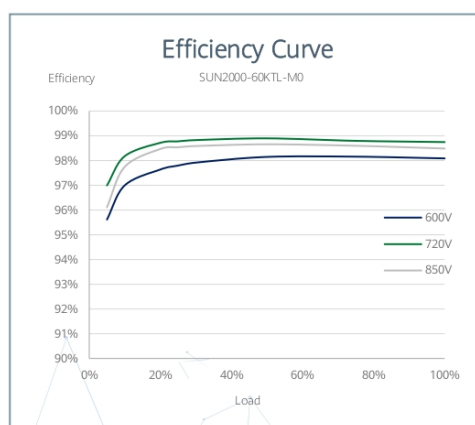
Fuse Free
Design



Surge Arresters for
DC & AC



IP65
Protection



SOLAR.HUAWEI.COM

Figura A.1: Ficha técnica — Página 1 do inversor Huawei SUN2000-60KTL-M0

SUN2000-60KTL-M0

Technical Specifications

Efficiency	
Max. Efficiency	98.9%
European Efficiency	98.7%
Input	
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	720 V
Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
Output	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	72.2 A
Max. Output Current	79.4 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%
Protection & Feature	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth/WLAN + APP
USB	Yes
RS485	Yes
MBUS	Yes
General	
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inch)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol Helios H4
AC Connector	Cable Gland + OT Terminal
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificates	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 62910, IEC 60068, IEC 61683, IEC 61727, G59/3, VDE 4105/0126, EN 50438, Philippine Resolution No. 07, PO 12.9, AS/NZS 4777.2, DEWA, NRS 097-2-1, IEEE 1547, ABNT, PEA, MEA, NB/T 32004

SOLAR.HUAWEI.COM

Figura A.2: Ficha técnica — Página 2 do inversor Huawei SUN2000-60KTL-M0

LUNA2000-200KWH-2H1
Smart String ESS



More Energy



Simple O&M



Safe & Reliable

Energy Storage System Parameters	
Battery Configuration	12S1P
Maximum battery capacity of the energy storage system	193.5 kWh
Rated Power	100 kW
Dimensions (W x H x D), including DC/DC and PCS	2570mm×2135mm×1200mm
Dimensions (W x H x D)	1810mm×2135mm×1200mm
Weight (including the battery module)	≤2950kg
Weight (without the battery module)	≤1070kg
Operating temperature range	-30 °C ~ 55 °C
Storage temperature range	-40 °C ~ 60 °C
Operating humidity range	0 ~ 100% (non-condensing)
Maximum operating altitude	4,000 m
Installation Environment Requirement	Outdoor installation
Battery temperature control mode	Industrial-grade air conditioner
Fire suppression of energy storage system	YES
Auxiliary Power Supply	220Vac, ≤4.2kW
Communication port	Ethernet / SFP
Communication protocol	Modbus TCP
Protection degree	IP55
EMC Protection Rating	ClassA
DC Lightning Protection	Type II
Standards	
Environment	RoHS6
Certification Standards	GBT 36276-2018; IEC62619; UL9540A; UN38.3

SOLAR.HUAWEI.COM

Figura A.3: Ficha técnica — Página 1 da bateria Huawei LUNA2000-200KWH-2H1

Battery Pack & Smart Rack Controller
Smart String ESS



Battery Pack	
General	
Cell Material	LFP
Nominal Capacity	16.13kWh
Supported Charge & Discharge Rate	≤ 0.5 C
Weight	≤ 140 kg
Dimensions (W x H x D)	442 x 308 x 660 mm



Smart Rack Controller	
Efficiency	
Max. Efficiency	≥ 98.5.0%
Battery Side	
Rated Voltage	691.2@280Ah
Operating Voltage Range	40 V ~ 1,050 V
Min. Start Voltage	350 V
Bus Side	
Max. DC Voltage	1,100 V
Rated Voltage	665 V
Rated Current	76.3 A
General	
Dimensions (W x H x D)	600 x 820 x 270 mm
Weight	≤ 90 kg
Cooling Method	Smart Air Cooling
Protection Degree	IP66



SOLAR.HUAWEI.COM

Figura A.4: Ficha técnica — Página 2 da bateria Huawei LUNA2000-200KWH-2H1

Anexo B

Fichas Técnicas utilizadas para o desenvolvimento da ferramenta



The image is a technical sheet for the Huawei LUNA2000-5/10/15-S0 Smart String Energy Storage System. It features the Huawei logo at the top left. The title "SMART STRING ENERGY STORAGE SYSTEM" is prominently displayed in green, with the model name "Model: LUNA2000-5/10/15-S0" below it. In the center, four white, modular battery units of different sizes are shown. Below the units, six key features are listed in a grid, each with a green icon: "More Usable Energy" (100% Depth of Discharge and Pack-Level Energy Optimization), "Flexible Investment" (5 kWh Modular Design, Scalable from 5 to 30 kWh), "Safe & Reliable" (5-layer Safety Protection IP66), "Easy Installation" (12 kg Power Module, 50 kg Battery Module), "Quick Commissioning" (Automatic Device Discovery by the App), and "Perfect Compatibility" (Compatible to Single & Three Phase Inverters). The version number "Version No.: 01-202411" is at the bottom right.

HUAWEI

SMART STRING ENERGY STORAGE SYSTEM

Model: LUNA2000-5/10/15-S0

More Usable Energy
100% Depth of Discharge and
Pack-Level Energy Optimization

Flexible Investment
5 kWh Modular Design,
Scalable from 5 to 30 kWh

Safe & Reliable
5-layer Safety Protection
IP66

Easy Installation
12 kg Power Module
50 kg Battery Module

Quick Commissioning
Automatic Device
Discovery by the App

Perfect Compatibility
Compatible to Single & Three
Phase Inverters

Version No.: 01-202411

Figura B.1: Ficha técnica — Página 1 das baterias Huawei LUNA2000-5/10/15-S0

LUNA2000-5/10/15-S0 Technical Specification

	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Technical Specification			
Performance			
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module capacity	5 kWh		
Number of battery modules	1	2	3
Battery usable capacity ¹	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10s	7 kW, 10s	7 kW, 10s
Nominal voltage (single-phase system)	450 V		
Operating voltage range (single-phase system)	350–560 V		
Nominal voltage (three-phase system)	600 V		
Operating voltage range (three phase system)	600–980 V		
Communication			
Display	SOC status indicator, LED indicator		
Communication	RS485/CAN (only for parallel operation)		
General Specification			
Dimensions (W x D x H)	670 mm x 150 mm x 600 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 23.6 in.)	670 mm x 150 mm x 960 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 37.8 in.)	670 mm x 150 mm x 1320 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 60.0 in.)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Power module dimension (W x D x H)	670 mm x 150 mm x 240 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 9.4 in.)		
Power module weight	12 kg (26.5 lb)		
Battery module dimensions (W x D x H)	670 mm x 150 mm x 360 mm (26.4 in. x 5.9 in. x 14.0 in.)		
Battery module weight	50 kg (110.2 lb) ²		
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	–20°C to +55°C (–4°F to +131°F) ³		
Max. operating altitude	4,000 m (13,123 ft.) (Derated above 2,000 m)		
Environment	Outdoor/Indoor ⁴		
Relative humidity	5%–95% RH		
Cooling	Natural convection		
IP rating	IP 66		
Noise emission ⁵	< 29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Compatible inverters ⁶	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-8/10K-LC0 SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1, SUN2000-12/15/17/20/25K-MB0 SUN2000-5/6/8/10/12K-MAP0, SUN5000-8/12K-MAP0, SUN5000-17/25K-MB0		
Standards Compliance (More Available Upon Request)			
Certificates	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3		
Ordering and Deliverable Part			
Available for ordering ⁷	LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket		

¹ Test conditions: 100% depth of discharge (DoD), 0.2C rate charge & discharge at 25°C, at the beginning of life. If no PV modules are installed or the system has not detected sunlight for at least 24 hours, the minimum end-of-discharge SOC is 15%.

² The weight of the battery modules varies with products, with a tolerance of ±3%.

³ Refer to battery warranty letter for conditional application.

⁴ Outdoor installation is recommended. For indoor installation, refer to the user manual for instruction.

⁵ Noise level (typical): < 29 dB(A) @1 m, 30°C, power on and run stably for 2 hours

⁶ Please contact a local engineer for compatibility information.

⁷ The power module and battery modules of the storage system are separately ordered in the required quantity.

Disclaimer: The preceding values are measured by an internal laboratory of Huawei in a specific environment. The actual values may vary with products, software versions, usage conditions, and environmental factors.

Version No.: 01-202411

Figura B.2: Ficha técnica — Página 2 das baterias Huawei LUNA2000-5/10/15-S0



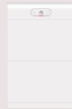
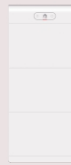
The advertisement features the Huawei logo at the top left. The main title 'SMART STRING ENERGY STORAGE SYSTEM' is in large green letters. Below it, the model 'LUNA2000-7/14/21-S1' is listed. In the center, three white battery modules are shown in a staggered arrangement. The bottom section contains six feature boxes, each with an icon and text:

- Flexible Capacity**
6.9 kWh per Battery Module
Scalable from 6.9 kWh to 20.7 kWh per Group
Max. 4 Groups with 82.8 kWh for an Inverter⁸
- More Usable Energy**
Module+ Architecture, Built-in Energy Optimizer
Ultra-long Service Time
100% Depth of Discharge
- 5-layer Safety Protection**
Cell-level, Electrical-level, Structural-level
Active Protection, Emergency Protection
- Ultimate Use Experience**
-20°C to +55°C Operating Temperature
Max 10.5 kW Charging & Discharging Power per Group
Super Quiet Operation
- Easy Installation**
Cable Free Connection Between Modules
Horizontal Adjustment Design
Quick Commissioning
- Aesthetically Pleasing Design**
Breathing Star Ring Display
Silky Curve Design
Simplistic and Borderless

Version No.: 01-202411

Figura B.3: Ficha técnica — Página 1 das baterias Huawei LUNA2000-7/14/21-S1

LUNA2000-7/14/21-S1 Technical Specification

	LUNA2000-7-S1	LUNA2000-14-S1	LUNA2000-21-S1	
Technical Specification				
	Performance			
	Power module	LUNA2000-10KW-C1		
	Number of power modules	1		
	Battery module	LUNA2000-7-E1		
	Battery module capacity	6.9 kWh		
	Number of battery modules	1	2	3
	Battery usable energy ¹	6.9 kWh	13.8 kWh	20.7 kWh
	Max. charging & discharging power	3.5 kW	7 kW	10.5 kW
	Operating voltage range (single-phase system)	350–560 V		
Operating voltage range (three phase system)	600–980 V			
Communication				
Display	SOC status indicator, LED indicator			
Communication ²	RS485/FE/CAN			
General Specification				
Dimensions (W x D x H)	590 mm x 255 mm x 510 mm	590 mm x 255 mm x 870 mm	590 mm x 255 mm x 1230 mm	
Weight (Floor stand toolkit included)	80 kg	148 kg	216 kg	
Power module dimensions (W x D x H)	590 mm x 255 mm x 150 mm			
Power module weight	10 kg			
Battery module dimensions (W x D x H)	590 mm x 255 mm x 360 mm			
Battery module weight ³	68 kg (110.2 lb) ²			
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)			
Operating temperature ⁴	–20°C to +55°C (–4°F to +131°F)			
Max. operating altitude ⁵	4,000 m (13,123 ft.) (Derated above 2,000 m)			
Environment ⁶	Outdoor / Indoor			
Relative humidity	5%–95%			
Cooling	Natural convection			
IP rating	IP 66			
Noise emission	< 29 dB ⁷			
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO ₄)			
Scalability ⁸	Max.4 systems in parallel operation			
Compatible inverters ⁹	SUN2000-12/15/17/20/-25K-MB0, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 SUN2000-5/6/8/10/12K-MAP0, SUN2000-8/10K-LC0, SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1 SUN5000-8/12K-MAP0, SUN5000-17/25K-MB0			
Standards Compliance (More Available Upon Request)				
Certificates	CE, RCM, CEC, VDE2510-50, IEC62619, IEC 60730, UN38.3, ISO13849, REACH, RoHS			
Ordering and Deliverable Part				
Available for ordering ¹⁰	LUNA2000-7-E1, LUNA2000-10KW-C1, Wall Mounting Bracket for LUNA2000-7/14/21-S1			

¹ Test conditions: 100% depth of discharge (DoD), 0.2C rate charge & discharge at 25°C, at the beginning of service life.

² CAN is for communication between ESSs in parallel scenarios only. The launch time of the FE communication version is to be determined. Please confirm with your local product manager of Huawei for information about the final version.

³ The weight of the battery modules varies with products, with a tolerance of ±3%.

⁴ The output power may be affected by temperature. Please refer to the output derating curve for details.

⁵ The output power may be affected by altitude. Please refer to the output derating curve for details.

⁶ Outdoor installation is recommended. For indoor installation instructions, please refer to the user manual.

⁷ The data is from Huawei lab, and the test condition is 1m distance and typical working voltage.

⁸ Only SUN2000-12/15/17/20/25K-MB0 supports 4 energy storage systems in parallel operation.

⁹ For details on the timetable of compatibility with SUN2000-8/10K-LC0 and SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, please confirm with your local product manager of Huawei for final version.

¹⁰ The power module and battery modules of the storage system are separately ordered in the required quantity.

Disclaimer: The preceding values are measured by an internal laboratory of Huawei in a specific environment. The actual values may vary with products, software versions, usage conditions, and environmental factors.

Version No.: 01-202411

Figura B.4: Ficha técnica — Página 2 das baterias Huawei LUNA2000-7/14/21-S1

LUNA2000 - 200/161/129KWH-2H1
LUNA2000 - 97KWH-1H1
Smart String ESS



More Energy



Simple O&M



Safe & Reliable

Energy Storage System Parameters				
Model Type	LUNA2000-200KWH-2H1	LUNA2000-161KWH-2H1	LUNA2000-129KWH-2H1	LUNA2000 - 97KWH-1H1
Battery Configuration	12S1P	10S1P	8S1P	6S1P
Maximum battery capacity of the energy storage system	193.5kWh	161.3kWh	129.0kWh	96.8kWh
Max. Charging Power	≤100 kW			
Max. Discharging Power	≤100 kW	≤100 kW	≤100 kW	≤92 kW
Dimensions (W x H x D)	1810mm×2135mm×1200mm			
Dimensions (W x H x D) , including Smart Rack Controller and Smart PCS	2570mm x 2135mm x 1200mm			
Weight (including the battery pack)	≤2950kg	≤2690kg	≤2430kg	≤2170kg
Weight (without the battery pack)	≤1070kg	≤1070kg	≤1090kg	≤1130kg
Operating temperature range	-30 °C ~ 55 °C			
Storage temperature range	-40 °C ~ 60 °C			
Operating humidity range	0 ~ 100% (non-condensing)			
Maximum operating altitude	4,000 m			
Installation Environment Requirement	Outdoor installation			
Battery temperature control mode	Industrial-grade air conditioner			
Fire suppression of energy storage system	YES			
Auxiliary Power Supply	220Vac, ≤4.2kW			
Communication port	Ethernet / SFP			
Communication protocol	Modbus TCP			
Protection degree	IP55			
EMC Protection Rating	ClassA			
DC Lightning Protection	Type II			
Standards				
Environment	RoHS			
Certification Standards	GB/T 36276-2018; GB/T 33582; UL9540A; UN38.3; ISO 9227:2017; IEC 60529; IEC/EN 62477-1 IEC/EN 62040-1; IEC/EN 61000-6-2; IEC/EN 61000-6-4; EN 55011;			

Note: In case the LUNA2000-100KTL-M1 PCS is used in conjunction with LUNA2000 - 97KWH-1H1 Smart String ESS, the Max Discharging Power is 92 kW.

SOLAR.HUAWEI.COM

Figura B.5: Ficha técnica — Página 1 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1

Battery Pack & Smart Rack Controller
Smart String ESS



Battery Pack		
General		
Model Type	LUNA2000-200KWH-2H1	LUNA2000 - 161/129KWH-2H1 LUNA2000 - 97KWH-1H1
Cell Material	LFP	
Nominal Capacity	16.13 kWh	
Supported Charge & Discharge Rate	≤0.5C	≤1C
Weight	≤ 140 kg	
Dimensions (W x H x D)	442 x 308 x 660 mm	



Smart Rack Controller	
Efficiency	
Max. Efficiency	≥ 98.5%
Battery Side	
Rated Voltage	691.2 V
Operating Voltage Range	40 V ~ 1,050 V
Min. Start Voltage	350 V
Bus Side	
Max. DC Voltage	1,100 V
Rated Voltage	665 V
Rated Current	152.6 A
General	
Dimensions (W x H x D)	600 x 820 x 270 mm
Weight	≤ 90 kg
Cooling Method	Smart Air Cooling
Protection Degree	IP66



SOLAR.HUAWEI.COM

Figura B.6: Ficha técnica — Página 2 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1

LUNA2000-100KTL-M1 Smart PCS



Surge Arresters for
DC & AC



Modular Design



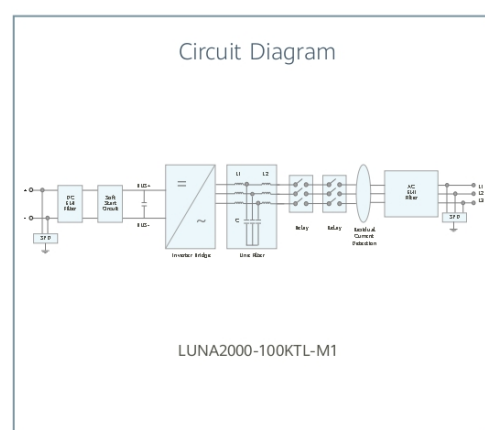
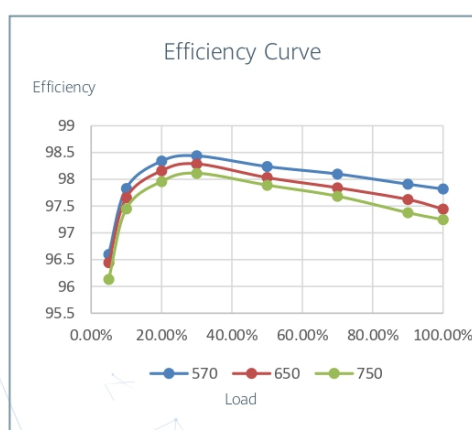
IP66 Protection



Ethernet
Communication



Smart Grid
Algorithm



SOLAR.HUAWEI.COM

Figura B.7: Ficha técnica — Página 3 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1

LUNA2000-100KTL-M1

Technical Specifications



Efficiency	
Max. Efficiency	98.4%
DC Side	
Rated DC Voltage	645 V
Max. DC Voltage	1,100 V
Operating DC Voltage Range	570 V ~ 1100 V
Max. DC Current	215.8 A
Max. Number of Inputs	1
AC Side	
Rated AC Active Power	100k W @40°C
Rated AC Voltage	380 Vac / 400 Vac / 440 Vac
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Max. AC Current	139.8 A (LUNA2000 - 97KWH-1H1) / 173.2 A (LUNA2000 - 129/161KWH-2H1)
Adjustable Power Factor Range	-1 ... +1
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Protection	Yes
DC Surge Protection	Type II
AC Surge Protection	Type II
Communication	
Display	LED Indicators, WLAN + APP
Networking Mode	Ethernet, CAN
General	
Dimensions (W x H x D)	875 x 820 x 365 mm
Weight	< 95 kg
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (Derating above 40°C)
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	OT/DT Terminal
AC Connector	OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless

SOLAR.HUAWEI.COM

Figura B.8: Ficha técnica — Página 4 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1



Typical System Configurations

Energy Volume kWh (Up to 3,870 kWh)	Recommended Combination of Models				
967.5					12 * 5p
935.3					12 * 4p + 10
903.0					12 * 4p + 8
870.8					12 * 4p + 6
838.5					12 * 3p + 8 * 2p
806.3					12 * 3p + 8 + 6
774.0				12 * 4p	
741.8				12 * 3p + 10	
709.5				12 * 3p + 8	
677.3				12 * 3p + 6	
645.0				12 * 2p + 8 * 2p	
612.8				12 * 2p + 8 + 6	
580.5			12 * 3p		
548.3			12 * 2p + 10		
516.0			12 * 2p + 8		
483.8			12 * 2p + 6		
451.5			12 + 8 * 2p		
419.3			12 + 8 + 6		
387.0		12 * 2p			
354.8		12 + 10			
322.5		12 + 8			
290.3		12 + 6			
258.0		8 * 2p			
225.8		8 + 6			
193.5	12				
161.3	10				
129.0	8				
96.8	6				
Power (Up to 2000kW)	100 kW	200 kW	300 kW	400 kW	500 kW
Smart String ESS (Up to 20x)	1x	2x	3x	4x	5x

Note

1. The four capacity models can be used together. A maximum of 20 ESSs can be connected in parallel. This table only demonstrates the scenario where 5 or less ESSs are connected in parallel.
2. When different capacity models are connected in parallel, each ESS is charged and discharged according to its respective actual C rate.
3. 6, 8, 10 and 12 refer to the number of battery packs contained in different models, that is, LUNA2000-97KWH-1H1, LUNA2000-129KWH-2H1, LUNA2000-161KWH-2H1, LUNA2000-200KWH-2H1.
4. LUNA2000-161/129KWH-2H1, LUNA2000-97KWH-1H1 are not launched in Chinese Mainland and Japan.

SOLAR.HUAWEI.COM

Figura B.9: Ficha técnica — Página 5 das baterias Huawei LUNA2000-97KWH-1H1/LUNA2000-129/161/200KWH-2H1

BATTERY-BOX PREMIUM HVS / HVM

- Capable of High-Powered Emergency-Backup and Off-Grid Functionality
- Highest Efficiency Thanks to a Real High-Voltage Series Connection
- The Patented Modular Plug Design Requires no Internal Wiring and Allows for Maximum Flexibility and Ease of Use
- Cobalt Free Lithium Iron Phosphate (LFP) Battery: Maximum Safety, Life Cycle, and Power
- Compatible with Leading 1 and 3 Phase High Voltage Battery Inverters
- Two Distinct Modules to Cover the Complete Range of System Sizes
- Highest Safety Standards like VDE 2510-50



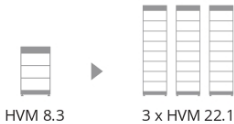
BATTERY-BOX PREMIUM HVS

One Battery-Box Premium HVS is composed of 2 to 5 HVS battery modules that are connected in series to achieve a usable capacity of 5.1 to 12.8 kWh. Additionally, direct parallel connection of up to 3 identical Battery-Box Premium HVS allows a maximum capacity of 38.4 kWh. Ability to scale by adding HVS modules or parallel HVS stacks later.



BATTERY-BOX PREMIUM HVM

One Battery-Box Premium HVM is composed of 3 to 8 HVM battery modules that are connected in series to achieve a usable capacity of 8.3 to 22.1 kWh. Additionally, direct parallel connection of up to 3 identical Battery-Box Premium HVM allows a maximum capacity of 66.2 kWh. Ability to scale by adding HVM modules or parallel HVM stacks later.



FLEXIBLE, EFFICIENT, SIMPLE

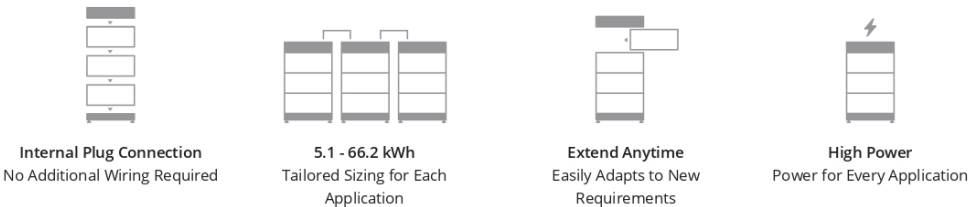


Figura B.10: Ficha técnica — Página 1 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM

TECHNICAL PARAMETERS PREMIUM HVS / HVM

				
	HVS 5.1	HVS 7.7	HVS 10.2	HVS 12.8
Battery Module	HVS (2.56 kWh, 102.4 V, 38 kg)			
Number of Modules	2	3	4	5
Usable Energy [1]	5.12 kWh	7.68 kWh	10.24 kWh	12.8 kWh
Max Output Current [2]	25 A	25 A	25 A	25 A
Peak Output Current [2]	50 A, 5 s	50 A, 5 s	50 A, 5 s	50 A, 5 s
Nominal Voltage	204 V	307 V	409 V	512 V
Operating Voltage	160–230 V	240–345 V	320–460 V	400–576 V
Dimensions (H/W/D)	712x585x298 mm	945x585x298 mm	1178x585x298 mm	1411x585x298 mm
Weight	91 kg	129 kg	167 kg	205 kg

						
	HVM 8.3	HVM 11.0	HVM 13.8	HVM 16.6	HVM 19.3	HVM 22.1
Battery Module	HVM (2.76 kWh, 51.2 V, 38 kg)					
Number of Modules	3	4	5	6	7	8
Usable Energy [1]	8.28 kWh	11.04 kWh	13.80 kWh	16.56 kWh	19.32 kWh	22.08 kWh
Max Output Current [2]	50 A	50 A	50 A	50 A	50 A	50 A
Peak Output Current [2]	75 A, 5 s	75 A, 5 s	75 A, 5 s	75 A, 5 s	75 A, 5 s	75 A, 5 s
Nominal Voltage	153 V	204 V	256 V	307 V	358 V	409 V
Operating Voltage	120–173 V	160–230 V	200–288 V	240–345 V	280–403 V	320–460 V
Dimensions (H/W/D)	945 x 585 x 298 mm	1178 x 585 x 298 mm	1411 x 585 x 298 mm	1644 x 585 x 298 mm	1877 x 585 x 298 mm	2110 x 585 x 298 mm
Weight	129 kg	167 kg	205 kg	243 kg	281 kg	319 kg
Short Circuit Current	2300A	2300A	2300A	2300A	2300A	2300A
Rated Power	7.65 kW	10.2 kW	12.8 kW	15.35 kW	17.9kW	20.45 kW

HVS & HVM

Operating Temperature	-10 °C to +50°C
Battery Cell Technology	Lithium Iron Phosphate (cobalt-free)
Communication	CAN/RS485
Enclosure Protection Rating	IP55
Round-trip Efficiency	≥96%
Certification	VDE2510-50 / IEC62619 / CEC / CE / UN38.3
Applications	ON Grid / ON Grid + Backup / OFF Grid
Warranty [3]	10 Years
Compatible Inverters	Refer to BYD Battery-Box Premium HVS / HVM Compatible Inverter List

[1] DC Usable Energy, Test conditions: 100% DOD, 0.2C charge & discharge at + 25 °C. System Usable Energy may vary with different inverter brands

[2] Charge derating will occur between -10 °C and +5 °C

[3] Conditions apply. Refer to BYD Battery-Box Premium Limited Warranty Letter.



BYD Company Limited
www.bydbatterybox.com
Global Sales: batteryboxgrp@byd.com
Global Service: bboxeservice@byd.com

Battery-Box EU Service Partner
EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de
service@eft-systems.de

Battery-Box AU Service Partner
Alps Power Pty Ltd
www.alpspower.com.au
service@alpspower.com.au

Battery-Box US Service Partner
EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de/us
USservice@eft-systems.de

V1.1



Figura B.11: Ficha técnica — Página 2 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM

BATTERY-BOX PREMIUM HVL (US)

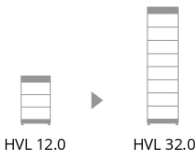
- Capable of High-Powered Emergency-Backup and Off-Grid Functionality
- Highest Efficiency Thanks to a Real High-Voltage Series Connection
- The Patented Modular Plug Design Requires no Internal Wiring and Allows for Maximum Flexibility and Ease of Use
- Cobalt Free Lithium Iron Phosphate (LFP) Battery: Maximum Safety, Life Cycle, and Power
- Compatible with Leading High Voltage Battery Inverters
- Highest Safety Standards



BATTERY-BOX PREMIUM HVL

One Battery-Box Premium HVL is composed of 3 to 8 HVL battery modules that are connected in series to achieve a usable capacity of 12 to 32 kWh.

Ability to scale by adding HVL modules later.



FLEXIBLE, EFFICIENT, SIMPLE

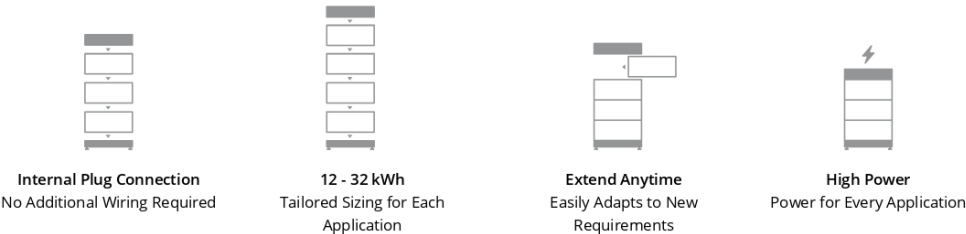


Figura B.12: Ficha técnica — Página 1 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVL

TECHNICAL PARAMETERS **PREMIUM HVL**

						
	HVL 12.0	HVL 16.0	HVL 20.0	HVL 24.0	HVL 28.0	HVL 32.0
Battery Module	HVL (4 kWh, 51.2 V, 99.2 lb)					
Number of Modules	3	4	5	6	7	8
Usable Energy [1]	12 kWh	16 kWh	20 kWh	24 kWh	28 kWh	32 kWh
Max Output Current [2]	50 A	50 A	50 A	50 A	50 A	50 A
Peak Output Current [2]	75 A, 3 s	75 A, 3 s	75 A, 3 s	75 A, 3 s	75 A, 3 s	75 A, 3 s
Nominal Voltage	153.6 V	204.8 V	256 V	307.2 V	358.4 V	409.6 V
Operating Voltage	120~172.8 V	160~230.4 V	200~288 V	240~345.6 V	280~403.2 V	320~460.8 V
Dimensions (H/W/D)	39.2 x 23.0 x 11.7 inch	48.3 x 23.0 x 11.7 inch	57.5 x 23.0 x 11.7 inch	66.7 x 23.0 x 11.7 inch	75.9 x 23.0 x 11.7 inch	85.0 x 23.0 x 11.7 inch
Weight	330.7 lb	429.9 lb	529.1 lb	628.3 lb	727.5 lb	826.7 lb
Operating Temperature	14 °F to 122 °F					
Battery Cell Technology	Lithium Iron Phosphate (cobalt-free)					
Communication	CAN/RS485					
Enclosure Protection Rating	IP55					
Round-trip Efficiency	≥96%					
Certification	UL1973 / IEC62619 / FCC / UN38.3					
Applications	ON Grid / ON Grid + Backup / OFF Grid					
Warranty [3]	10 Years					
Compatible Inverters	Refer to BYD Battery-Box Premium HVL Compatible Inverter List					

[1] DC Usable Energy, Test conditions: 100% DOD, 0.2C charge & discharge at 77 °F. System Usable Energy may vary with different inverter brands
[2] Charge derating will occur between 14 °F and 41 °F
[3] Conditions apply. Refer to BYD Battery-Box Premium Limited Warranty Letter.



BYD Company Limited
www.bydbatterybox.com
Global Sales: batteryboxgrp@byd.com
Global Service: bboxeservice@byd.com

Battery-Box EU Service Partner
EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de
service@eft-systems.de

Battery-Box AU Service Partner
Alps Power Pty Ltd
www.alpspower.com.au
service@alpspower.com.au

Battery-Box US Service Partner
EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de/us
USservice@eft-systems.de

V1.3US



Figura B.13: Ficha técnica — Página 2 das baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVL

BYD BATTERY-BOX PREMIUM HVS&HVM COMPATIBLE INVERTER LIST – V2.10

[DE] BYD Battery-Box Premium HVS / HVM compatible Wechselrichterliste

[ES] Lista de Inversores Compatibles con Battery-Box Premium HVS/HVM

[IT] Lista di Configurazione Minima e degli Inverter Compatibili con BYD Battery-Box Premium HVS/HVM



Inverter [DE] Wechselrichter [ES] Inversores [IT] Inverter		Module Quantity [DE] Modulanzahl [ES] Cantidad de módulo [IT] Quantità moduli		Minimum Firmware Version					
				Single Tower			Parallel Connection		
				[DE] Einzelturm / [ES] torre única / [IT] torre singola			[DE] Parallelschaltung / [ES] conexión paralela / [IT] connessione parallela		
				Inverter		Battery-Box		Inverter	
BMU	BMS	BMU	BMS						
Fronius	Symo Hybrid	-	3-8	1.16.6-1	3.13	3.19	1.16.7-1	3.14	3.20
	Symo GEN24 Plus	2-4	4-8	1.9.7-0	3.13	3.19	1.10.5-0	3.14	3.20
	Primo GEN24 Plus	2-3	4-7	1.11.6-0	3.15	3.21	same as single tower		
	Note: Parallel connection is not possible for Fronius inverters in the configuration: 3 x HVM 22.1 [DE] Parallelschaltung ist mit Fronius Wechselrichtern nicht möglich für die Konfiguration: 3 x HVM 22.1 [ES] La conexión en paralelo no es posible para los inversores Fronius en la configuración: 3 x HVM 22.1 [IT] Il collegamento in parallelo non è possibile per gli inverter Fronius nella configurazione: 3 x HVM 22.1								
GoodWe	ET/BT	2-5	4-8	ARM 11	3.13	3.19	same as single tower		
	EH/BH	2-4	3-8						
	EHB	2-4	3-8		3.18	3.26			
Viessmann	A3	2-5	4-8	ARM 11	3.13	3.19	same as single tower		
KOSTAL	Plenticore Plus 3.0	2-5	4	01.42	3.13	3.19	same as single tower		
	Plenticore Plus 4.2/5.5/7.0/8.5/10.0	2-5	4-8						
	Plenticore BI 5.5-13/ 5.5-26	2-5	5-8						
	Plenticore BI 10.0-26	3-5	5-8						
	Piko MP Plus 1.5-1/2.0-1/ 2.5-1	2-3	3-4	PU-APP 3.7.0, KSEM 1.2.0.	3.13	3.19			
	Piko MP Plus 3.0-1, 3.0-2, 3.5-1, 3.5-2, 4.6-2, 5.0-2	2-5	3-8						
	PIKO 6.0 BA / 8.0 BA / 10 BA	2-4	4-8	2.32	3.16	3.24			
SMA	Sunny Boy Storage 2.5	2-4	-	3.11.06R	3.15	3.21	same as single tower		
	Sunny Boy Storage 3.7/5.0/6.0	2-4	3-8	For HVS: 3.11.03R For HVM: 3.11.10R	3.13	3.19	-		
	STP 5.0-10.0 SE	2-5	4-8	3.00.02.R	3.16	3.24	same as single tower		
	Note: For SBS 3.7 / 5.0 / 6.0 no parallel connection - check inverter manual how to connect up to three batteries [DE] Für SBS 3.7 / 5.0 / 6.0 keine Parallelschaltung - siehe Wechselrichterhandbuch, wie man bis zu drei Batterien anschließt [ES] Para SBS 3.7 / 5.0 / 6.0 sin conexión en paralelo disponible: consulte el manual del inversor sobre cómo conectar hasta tres baterías [IT] Per SBS 3.7 / 5.0 / 6.0 nessuna connessione parallela è disponibile - controllare il manuale dell'inverter come collegare fino a tre batterie								
Sungrow	SH5.0/6.0/8.0/10RT	2-5	4-8	ARM, V11_V01_B MDSP, V11_V01_B	3.13	3.19	same as single tower		
	SH3.0/3.6/4.0/5.0/6.0RS	2-4	3-8	ARM, 01011.02.16 MDSP, 03011.02.15	3.16	3.24			
KACO	Blueplanet hybrid 6.0- 10.0 TL3	2-4	3-8	5.8.6.3.7	3.13	3.19	same as single tower		
Ingeteam	ISS 1Play 3TL M / 6TL M	2-4	3-8	ABH1007_F	3.15	3.22	same as single tower		
Note: Only compatible with BCU produced since 1st October, 2020. [DE] Nur kompatibel mit BCU, die seit dem 1. Oktober 2020 produziert wurden [ES] Solo compatible con BCU fabricados desde el 1 de octubre de 2020. [IT] Compatibile solo con BCU prodotte dal 1 ottobre 2020.									
Solis	RHI-3P(5-10)K-HVES-5G	2-5	4-8	V090037	3.16	3.22	V090037	3.16	3.24



BYD Company Limited
www.bydbatterybox.com
batteryboxgrp@byd.com
bboxeservice@byd.com

Battery-Box EU Service Partner
EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de
service@eft-systems.de

Battery-Box AU Service Partner
Alps Power Pty Ltd
www.alpspower.com.au
service@alpspower.com.au

Battery-Box South Africa Service Partner
AFRIPLUS ENERGY GROUP (PTY) LTD
support@afriplusenergy.co.za

V2.10
2023-01-30
BATTERY
BOX

Figura B.14: Ficha técnica — Página 1 de Inversores compatíveis com baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM

BYD BATTERY-BOX PREMIUM HVS&HVM COMPATIBLE INVERTER LIST – V2.10

[DE] BYD Battery-Box Premium HVS / HVM kompatible Wechselrichterliste

[ES] Lista de Inversores Compatibles con Battery-Box Premium HVS/HVM

[IT] Lista di Configurazione Minima e degli Inverter Compatibili con BYD Battery-Box Premium HVS/HVM



Inverter [DE] Wechselrichter [ES] Inversores [IT] Inverter		Module Quantity [DE] Modulanzahl [ES] Cantidad de módulo [IT] Quantità moduli		Minimum Firmware Version					
				Single Tower			Parallel Connection		
				[DE] Einzelturm / [ES] torre única / [IT] torre singola			[DE] Parallelschaltung / [ES] conexión paralela / [IT] connessione parallela		
				Inverter	Battery-Box		Inverter	Battery-Box	
		HVS	HVM		BMU	BMS		BMU	BMS
GE	GEH5.0/8.6/10-1U-10	2-4	3-8	000019	3.17	3.24	same as single tower		
Canadian Solar	CSI-TE Series	2-5	4-8	ARM 11	3.18	3.26	same as single tower		
	CSI-HE Series	2-4	3-8						
	CSI-BHE Series	2-4	3-8						
Deye	SUN-(5-20)K-SG01HP3-EU-AM2	2-5	4-8	2001-C016	3.19	3.26	Same as single tower		

Note:

- Always install the latest firmware on the Battery-Box!
- Requirements for Parallel Connection: Maximum three battery systems could be connected in parallel; HVS system CANNOT be connected in parallel with HVM system; Every tower connected in parallel requires the same module quantity;

[DE] Bemerkung:

- Installieren Sie immer die neueste Firmware auf der Battery-Box!
- Anforderungen an Parallelschaltung: Es dürfen maximal drei Batteriesysteme parallel geschaltet werden; Ein HVS-System kann NICHT mit einem HVM-System kombiniert werden; Jeder parallel geschaltete Turm benötigt die gleiche Modulanzahl

[ES] Nota:

- ¡Instale siempre el firmware más reciente en la Battery-Box!
- Requisitos para la conexión en paralelo: se pueden conectar en paralelo un máximo de tres sistemas de baterías; El sistema HVS NO PUEDE conectarse en paralelo con el sistema HVM; Cada torre conectada en paralelo requiere la misma cantidad de módulos por torre;

[IT] Nota:

- Installare sempre l'ultimo firmware sul Battery-Box!
- Requisiti per il collegamento in parallelo: è possibile collegare in parallelo un massimo di tre sistemi di batterie; Il sistema HVS NON può essere collegato in parallelo al sistema HVM; Ogni torre collegata in parallelo richiede la stessa quantità di moduli per torri;

The information in this document is subject to change without notice. Please take the latest version of this document at our websites into account.

[DE] Die Informationen in diesem Dokument können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Bitte berücksichtigen Sie die neueste Version dieses Dokuments auf unseren Websites.

[ES] La información de este documento está sujeta a cambios sin previo aviso. Tenga en cuenta la última versión de este documento en nuestros sitios web.

[IT] Le informazioni contenute in questo documento sono soggette a modifiche senza preavviso. Si prega di prendere in considerazione l'ultima versione di questo documento sui nostri siti web.



BYD Company Limited
www.bydbatterybox.com
batteryboxgrp@byd.com
bboxservice@byd.com

Battery-Box EU Service Partner
EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de
service@eft-systems.de

Battery-Box AU Service Partner
Alps Power Pty Ltd
www.alpspower.com.au
service@alpspower.com.au

Battery-Box South Africa Service Partner
AFRIPLUS ENERGY GROUP (PTY) LTD
support@afriplusenergy.co.za



Figura B.15: Ficha técnica — Página 2 de inversores compatíveis com baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVS/HVM



BYD BATTERY-BOX PREMIUM HVL COMPATIBLE INVERTER LIST – V1.4

Inverter		Module Quantity	Minimum Firmware Version					
			Single Tower			Parallel Connection		
			Inverter	Battery-Box		Inverter	Battery-Box	
BMU	BMS	BMU		BMS				
SMA	SBSE 3.8/ 4.8/ 5.8/ 7.7	3-8	1.00.00.R	3.22	3.27	1.00.00.R	3.22	3.27
Solis	S6-EH1P(3.8-11.4)K-H-US	3-8	A2	3.22	3.27	A2	3.22	3.27
GoodWe	A-ES Series	3-8	V17	3.16	3.23	V17	3.16	3.23
	A-BP Series	3-8	V17	3.16	3.23	V17	3.16	3.23

- Note:**
- Installation before official release is not allowed.
 - Always install the latest firmware on the Battery-Box!
 - Requirements for Parallel Connection: Maximum three battery systems could be connected in parallel; Every tower connected in parallel requires the same module quantity.

The Information in this document is subject to change without notice. Please take the latest version of this document at our websites into account.

Figura B.16: Ficha técnica — Inversores compatíveis com baterias BYD BATTERY BOX PREMIUM HVL