



isec

Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

Autor

Nuno Filipe Soares da Costa

Orientadores

Professora Doutora Rita Manuela Fonseca Monteiro Pereira

Professor Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira

Coimbra, dezembro de 2022



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

Nuno Filipe Soares da Costa

Orientadores

Professora Doutora Rita Manuela Fonseca Monteiro Pereira

Professor Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira

AGRADECIMENTOS

Um trabalho desta dimensão leva-nos a necessitar de todo o apoio dos nossos familiares e amigos e o meu caso não foi diferente de tantos outros, pelo qual quero aqui prestar os meus sinceros agradecimentos.

Quero agradecer à Ana, Afonso e Inês, respetivamente a minha esposa e filhos, todo o apoio e paciência para que eu atingisse este objetivo traçado. Posso afirmar, sem sombras de dúvidas, que tiveram um papel preponderante e que o apoio e compreensão deles, foi um fator importante para que eu atingisse este objetivo.

Aos meus pais e irmão o apoio e motivação que sempre tive nos meus projetos, também à restante família que me apoiou, quero deixar os meus agradecimentos.

Agradecer aos meus pilares, no que toca ao desenvolvimento académico intrínseco neste trabalho, à professora Doutora Rita Manuela da Fonseca Monteiro Pereira e ao Professor Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira, meus orientadores de projeto e que foram fundamentais para atingir este objetivo. As suas disponibilidades, apoios e motivações foram um fator preponderante no meu percurso académico.

Ao Rui e Mónica Gonçalves, donos da instalação, o meu muito obrigado pela confiança depositada para desenvolver este projeto, para implementação na sua habitação.

Ao Arquiteto Samuel Marques a sua prontidão e disponibilidade em fornecer as telas finais da habitação alvo de estudo, para implementação do sistema solar.

Agradecer a todos os professores, e funcionários do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra a demais importância no meu percurso académico. Foram sem dúvida uma parte de mim ao longo destes anos, sendo mesmo a minha segunda casa e segunda família.

Aos meus colegas de curso, alguns que se tornaram grandes amigos, e, que sem eles nada faria sentido e certamente o caminho teria sido mais triste e penoso.

Por último e não menos importante, queria deixar uma palavra de agradecimento ao Professor Doutor Mário Velindro, Presidente do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, pela sua entrega e verdadeiro exemplo para todos os que por esta ilustre Instituição passam.

A todos o meu muito obrigado.

Bem hajam...

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto no âmbito do Projeto, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, do ramo de Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Baseia-se no desenvolvimento de uma Unidade de Produção de Auto Consumo, (UPAC), com vista a aumentar a sustentabilidade de uma determinada habitação, assim como mitigar problemas com a disponibilidade da Rede Elétrica de Serviços Públicos, (RESP).

Neste trabalho serão elencadas as tecnologias de produção de energia elétrica renovável, com recurso à maior fonte de energia conhecida- *o Sol*. A produção de energia elétrica, através de um sistema fotovoltaico, é a espinha dorsal deste trabalho, e, todos os desenvolvimentos serão em torno desta importante tecnologia de produção de energia, através de fontes renováveis.

Será apresentada a sua história e evolução ao longo dos anos, até ao início deste século, para um conhecimento geral de como foram desenvolvidos todos estes sistemas que hoje são fundamentais para uma maior sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

Será realizado um enquadramento geral desta tecnologia, o seu regime jurídico em vigor em Portugal, assim como todas as tecnologias desenvolvidas, em torno desta fonte de energia, para realizar o seu aproveitamento e produzir energia elétrica a partir do mesmo.

Será ainda demonstrado o processo de cálculo, escolha de material a usar e a implementação estimada de um sistema híbrido de energia solar fotovoltaica, para instalar em habitação particular, transformando-a numa habitação mais sustentável. O uso de armazenamento, para um melhor aproveitamento desta energia, será uma mais-valia do sistema, mitigando problemas de disponibilidade de potência, fornecida pela RESP. O uso de veículos elétricos associados a esta tecnologia, também será um fator para potenciar o sistema e rentabilizar o investimento efetuado.

Palavras-Chave: Armazenamento de Energia Solar; Auto Consumo; Dimensionamento de Sistema Solar; Eficiência Energética; Energia Fotovoltaica; Energias Renováveis; Sustentabilidade, UPAC.

ABSTRACT

This work aims to develop a project within the scope of the Project, of the Master in Electrical Engineering Degree, in the field of Automation and Communications in Energy Systems, of the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

It points to the development of a Self-Consumption Production Unit, (UPAC), based to increase the sustainability of a given dwelling, as well as mitigating problems with the availability of the Electricity Grid of Public Services, (RESP).

In this work, the technologies for the production of renewable electricity will be listed, using the largest known source of energy - the Sun. The production of electrical energy, through a photovoltaic system, is the backbone of this work, and all developments will be around this important technology of energy production, from renewable sources.

Its history and evolution will be presented over the years, until the beginning of this century, for a general knowledge of how all these systems were developed, which today are fundamental for a greater sustainability of the use of natural resources.

A general framework of this technology will be carried out, its legal regime in force in Portugal, as well as all the technologies developed around this energy source, to carry out its use and produce electrical energy from it.

It will also be demonstrated the calculation process, choice of material to use and the estimated implementation of a hybrid photovoltaic solar energy system, to be installed in a private home, transforming it into a more sustainable home. The use of storage, for a better use of this energy, will bring an added potential to the system, mitigating problems of power availability, provided by RESP. The use of electric vehicles associated with this technology will also be a factor in enhancing the system and maximizing the investment made.

Palavras-Chave: Solar Energy Storage; Auto Consumption; Solar System Sizing; Energy Efficiency; Photovoltaics; Renewable Energy; Sustainability.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2	MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS	7
1.3	ESTRUTURA DO RELATÓRIO DO PROJETO.....	7
2	HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR.....	9
3	ENERGIA SOLAR E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS.....	17
3.1	ENERGIA SOLAR.....	17
3.2	REGULAÇÃO JURÍDICA EM PORTUGAL	23
3.3	CÉLULA SOLAR (FOTOVOLTAICA)	24
3.4	PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS	28
3.5	INVERSORES SOLARES - CC-CA	31
3.6	SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	34
4	CASO DE ESTUDO	36
4.1	APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	36
4.2	INSTALAÇÃO E DIAGRAMA DE CARGAS	37
4.3	CONCEITO DESENVOLVIDO	40
4.4	IMPLEMENTAÇÃO FÍSICA DO SISTEMA SOLAR.....	41
4.5	INTEGRAÇÃO ELÉTRICA DO SISTEMA SOLAR	44
4.6	CABLAGEM DA INSTALAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO GERAL DA RESP	44
4.7	ESCOLHA DOS INVERSORES	49
4.8	ESCOLHA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E CÁLCULO DAS SUAS MATRIZES	50
4.9	SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA	54
4.10	SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PREVISTA.....	55
4.11	AVALIAÇÃO ECONÓMICA DO SISTEMA SOLAR PROJETADO.....	57
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXO- A (Auto Cad's Esquemas Elétricos Quadros).....	70
	ANEXO- B (Projeto EPLAN Sistema Solar)	74
	ANEXO- C (Inversor Híbrido SPF 5000 ES)	82
	ANEXO- D (Painel Fotovoltaico JAM72S20).....	83
	ANEXO- E (Armazenamento - Módulos Baterias).....	86
	ANEXO- F (Relatório Estimativas Software PSSyst V7.2.16)	88
	ANEXO- G (Estimativas Simulador On-line PVGIS-SARAH2)	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Emissões vs Target de Quioto (American Action, 2016).	2
Figura 1.2 - Redução de emissões vs Target de Quioto (Circular Ecology, 2015).	2
Figura 1.3- Previsão de aumento da temperatura global (BBC News, 2018).	3
Figura 1.4- Capacidade de Energia Solar Instalada Mundial (OurWorldinData, 2022).	4
Figura 1.5- Produção Energia Solar Portugal - 22/02/2022 (REN Data Hub, 2022).	5
Figura 1.6- Diagrama de Cargas Português - 22/02/2022 (REN Data Hub, 2022).	6
Figura 1.7- Sharp EL-8026 (The Wall Street Journal, 2016).	6
Figura 2.1-Alexandre-Edmond Becquerel (Sudarshan, 2022).	9
Figura 2.2 - Método da Experiência do Alexandre-Edmond Becquerel (Sudarshan, 2022). ...	10
Figura 2.3 - Patente 389.125 - Edward Weston (Elizabeth Chu et al, 2022).	11
Figura 2.4 - Calvin Fuller (APS physics, 2009).	12
Figura 2.5 - Calvin Fuller, Daryl Chapin e Gerald Pearson (Eric Wesoff 2014).	12
Figura 2.6 - Primeira Célula Solar- Bell Labs (CleanTechnica, 2014).	13
Figura 2.7 - Dr. Karl Böer nas suas pesquisas no IEC (UDaily staff, 2018).	14
Figura 2.8 - Solar One, primeiro projeto doméstico com energia solar (UDaily staff, 2018)..	15
Figura 2.9 - Presidente Carter na Casa Branca (ONIT Home, 2021).	16
Figura 3.1- Mix Energético Mundial - Ano 2019 (Our World in Data, 2022).	17
Figura 3.2- Consumo de eletricidade per capita por fonte-1991 (Hannah Ritchie et al, b2021).	18
.....	18
Figura 3.3- Consumo de eletricidade per capita por fonte-2021 (Hannah Ritchie et al, 2020).	19
.....	19
Figura 3.4- Quota de energias Renováveis na UE, 2005-2017 (TCE, 2019).	19
Figura 3.5- Consumo e metas da UE e dos seus estados-membros (Eurostat, 2022).	21
Figura 3.6- Produção de eletricidade por fonte – Portugal (Our World in Data, 2022).	22
Figura 3.7- Potência instalada em Portugal, por região (DGEG, 2022).	22
Figura 3.8- Células e Módulos Mono e Policristalinos (AE-Solar, 2022).	26
Figura 3.9- Célula Silício Amorfo (RS, 2022).	27
Figura 3.10- Célula GaAs (Mark Hutchins, 2019).	27
Figura 3.11- Módulo solar CdTe (PHYSORG, 2011).	28
Figura 3.12- Módulo solar CIS/CGIS (ITWissen, 2022).	28
Figura 3.13- Vista por camadas de um Painel Solar (Portal Solar, 2022).	29
Figura 3.14- Esquema de ligação de células e díodos num painel fotovoltaico (energysage,	31
2018).	31
Figura 3.15- Exemplo de um esquema com recurso a micro inversores (Cyanergy, 2022).	32
Figura 3.16- Exemplo de um esquema com recurso a inversores de string (Utsho Arefin et al,	33
2016).	33
Figura 3.17- Micro inversor VS Inversor de string (SolarReviews, 2021).	33
Figura 3.18- Sistema solar híbrido (Cyanergy, 2022).	33
Figura 3.19- Curva I-V de um sistema solar (renvu, 2022).	34
Figura 3.20- Vários tipos de racks de baterias (PV Magazine, 2022).	35
Figura 4.1- Foto aérea da habitação caso de estudo.	36
Figura 4.2- Valores de tensão extraídos com recurso a um analisador de energia.	38
Figura 4.3- Consumos da instalação, em amperes, coincidentes com horário da figura 4.2.	38
Figura 4.4- Consumos de corrente cruzados com valores de tensão.	39
Figura 4.5- Implementação da moradia unifamiliar.	42
Figura 4.6- Imagem representativa da integração do sistema solar (componentes).	43

Figura 4.7- Integração dos painéis fotovoltaicos, inclinações e possíveis sombreamentos.	43
Figura 4.8- Esquema de alteração do cabo de alimentação geral.	45
Figura 4.9- Dados do fator de potência da análise realizada.	47
Figura 4.10- Inversor Growatt SPF 3500-5000 ES (Growatt, 2022).....	50
Figura 4.11- Imagem do modelo escolhido (Datasheet).....	51
Figura 4.12- Sistema de armazenamento de energia (Growatt, 2022).	54
Figura 4.13- Estimativa de produção anual -PVGIS.	56
Figura 4.14- Estimativa PVGIS com otimização de orientação e inclinação.....	56
Figura 4.15- Hora legal de inverno/verão para tarifários diários e bi-horário em regime de baixa tensão menor que 41.4 kVA (ERSE, 2022).	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4. 1- Estimativa de produção com diferentes inclinações.....	57
Tabela 4. 2- Consumos do ano civil 2021.	58
Tabela 4. 3- Valores pagos no ano 2021 vs poupança estimada.	59
Tabela 4. 4- Período de Recuperação de Investimento.	60
Tabela 4. 5- Valores de poupança com veículos de combustão interna.	61
Tabela 4. 6- Período de Recuperação de Investimento, com mobilidade elétrica.....	62

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

AQS – Águas Quentes Sanitárias;

CA – Corrente Alternada;

CC – Corrente Contínua;

CER – Comunidades de Energia Renovável;

CQNUMC – Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança Climática;

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos;

EUA – Estados Unidos da América;

FP – Fator de Potência;

GEE – Gases de Efeito de Estufa;

IEC – Instituto de Conversão de Energia;

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra;

IU – Instalações de Utilização;

kW – Kilowatt;

kWh – Kilowatt hora;

MW – Megawatt;

MWh – Megawatt hora;

NDCs – Contribuições Determinadas Nacionalmente ;

°C – Graus Celsius;

PERC – Emissor Passivo e Contacto Traseiro (Passivated Emitter and Rear Contact);

PRI – Período de Recuperação de Investimento;

QD – Quadro de Distribuição;

RESP – Rede Elétrica de Serviço Público;

RTIEBT – Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão;

STC – Condições de Teste Standard (Standard Test Conditions);

TCE – Tribunal de Contas Europeu

UE – União Europeia;

UPAC – Unidade de Produção para Auto Consumo;

UPP – Unidades de Pequena Produção;

V_{mp} – Tensão Máxima;

V_{oc} – Tensão em Circuito Aberto;

W – Watt;

Wh – Watt hora;

β_{voc} – Coeficiente de Temperatura da Tensão em Circuito Aberto;

1 INTRODUÇÃO

O presente documento, assumindo a forma de relatório de projeto e no âmbito de obter o Grau de Mestre, referente ao Mestrado em Engenharia Eletrotécnica no ramo de Automação e Comunicações em Sistemas de Energia do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, enquadra o desenvolvimento de um projeto, no sentido de suprimir necessidades elétricas de uma determinada instalação elétrica doméstica particular, dando ênfase ao uso de energia renovável, nomeadamente da Energia Solar para produção de Energia Elétrica.

Neste capítulo contextualiza-se o uso da Energia Solar para produção de Energia Elétrica, os motivos que levaram à escolha do projeto, os objetivos pressupostos para a sua realização e ainda a estrutura deste documento.

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Atualmente a agenda mundial está direcionada para a redução das emissões de gases de efeito de estufa, os quais maioritariamente são provocados pelo mix energético mundial, isto é, a necessidade de energia elétrica, para movimentar toda a máquina mundial é produzida em grande parte a partir de combustíveis fósseis e, conseqüentemente o uso destes combustíveis são os responsáveis pela libertação dessas mesmas emissões de gases de efeito de estufa.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança Climática, (CQNUMC), foi o aglomerar de eventos iniciados no final da década de 80 e, eventos estes, que se traduziram em preocupações ambientais, nomeadamente o aquecimento global do planeta Terra. Estas iniciativas culminaram na elaboração de um protocolo, o qual foi discutido e negociado em Quioto no Japão, em 1997. Este protocolo ficou conhecido como o – Protocolo de Quioto, e entrou em vigor em 2005, após ser assinado por 55 países, que juntos produziam 55% das emissões mundiais.

O Protocolo de Quioto propôs um calendário para os países membros, com obrigações e metas na redução da emissão de gases de efeito de estufa. As metas não são homogêneas para todos os signatários, diferenciando-os. Numa primeira fase, os países signatários, (principalmente os mais desenvolvidos), deveriam reduzir 5.2% das suas emissões, em relação aos valores de 1990, num período compreendido entre 2008 e 2012, período também chamado de primeiro período de compromisso. Para alguns países e, nomeadamente os países da União Europeia (UE), estes valores estiveram 15% abaixo dos valores esperados para 2008.

Para muitos críticos os resultados não foram os esperados, embora algumas metas tenham sido atingidas, conforme se pode comprovar pelos gráficos da Figura 1.1, assim como da Figura 1.2.

A Europa conseguiu reduzir as suas emissões abaixo da meta traçada, que está representada a tracejado, já os outros países representados no gráfico não atingiram as metas. Estes podem ser divididos em dois grupos, os que não atingiram, mas que baixaram significativamente a emissão de gases e os que aumentaram as suas emissões, tendo uma queda pouco significativa entre 2009 e 2012.

Estas reduções deveriam acontecer em vários ramos de atividades económicas e, as de maior destaque para o tema deste trabalho, refletem-se na reforma dos setores da energia e transporte, assim como na promoção da utilização das energias renováveis.

O Protocolo de Quioto expirou em 2012 e, embora os países desenvolvidos tenham reduzido as suas emissões, as emissões globais aumentaram em cerca de 25%, no período compreendido entre 1997 e 2006. Um segundo período de compromisso foi acordado em 2012 para estender o acordo, conhecido como Emenda de Doha ao Protocolo de Quioto. Alguns dos países signatários do primeiro período não ratificaram e abandonaram este protocolo, como foram os casos dos EUA e Rússia, (Jonathan Kuyper, et al, 2018).

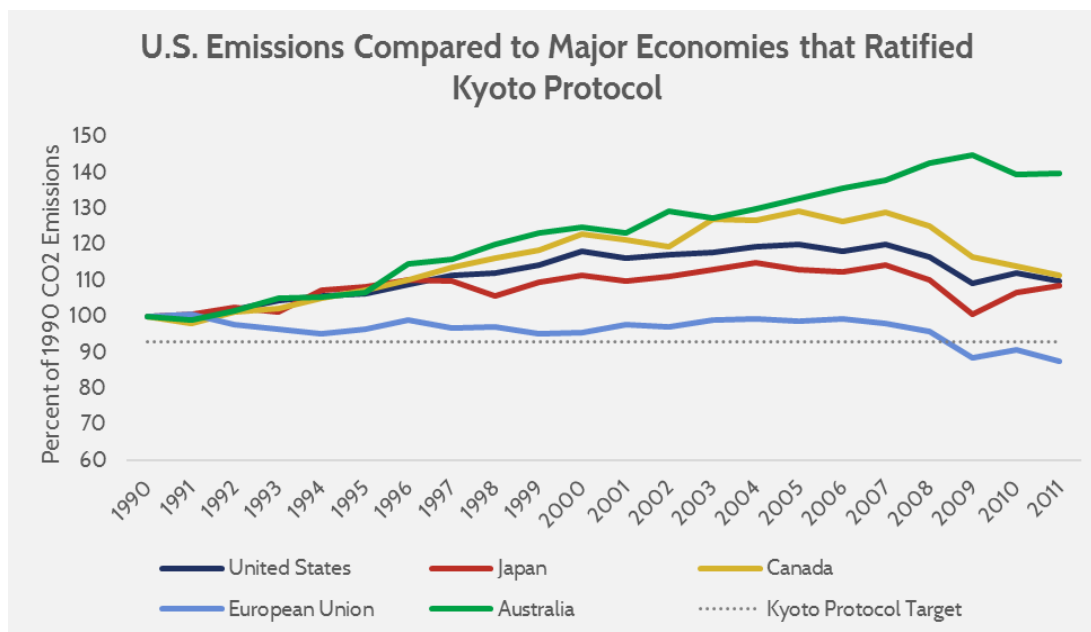


Figura 1.1 - Emissões vs Target de Quioto (American Action, 2016).

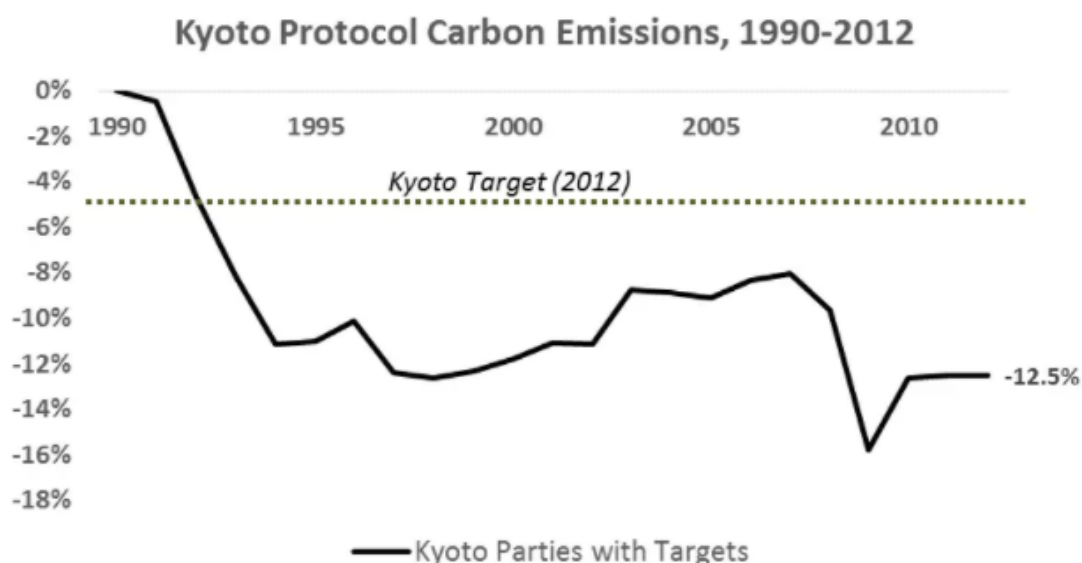
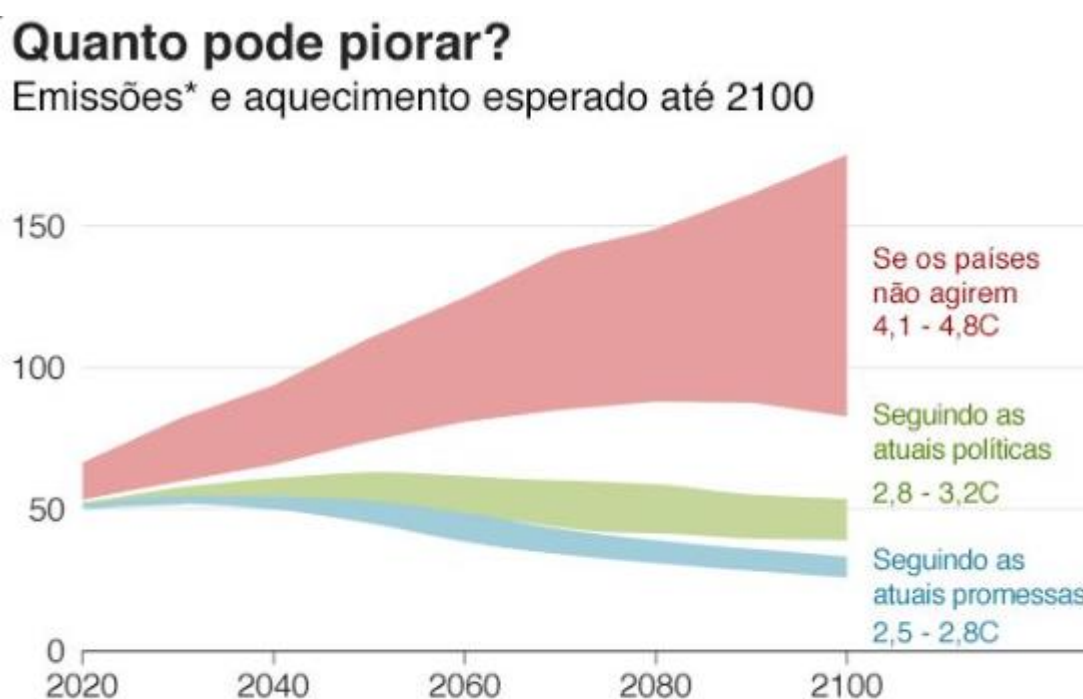


Figura 1.2 - Redução de emissões vs Target de Quioto (Circular Ecology, 2015).

Em 2015 foi adotado o Acordo de Paris, com a mesma missão do anterior protocolo - redução dos gases de efeito de estufa, com missão de mitigar as alterações climáticas. Aberto para assinaturas a 22 de abril de 2016, entra em vigor a partir de novembro do mesmo ano, este acordo não segue a mesma linha condutora para atingir objetivos, pelo que se rege por metas de redução do aumento médio das temperaturas globais. Cada país que ratifique o acordo deverá reduzir substancialmente as emissões, sem que sejam estabelecidas metas, mas sim ir mais além das metas atingidas anteriormente. O objetivo comum será mitigar o aumento da temperatura global, ficando abaixo de 1,5° Celsius, para isso será necessário reduzir em 50% o valor das emissões mundiais. Na Figura 1.3 pode ser analisada uma previsão para o aumento da temperatura global, em linha com as medidas tomadas (BBC News, 2018).



*As emissões estão em gigatoneladas de CO2 equivalente

Figura 1.3- Previsão de aumento da temperatura global (BBC News, 2018).

Uma componente fundamental do *Acordo de Paris* é o *Stocktake*. O seu objetivo pretende estabelecer a ponte entre as metas do acordo e as Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDCs), com o objetivo de aumentar a ambição climática. Estruturado em três fases, o Stocktake, numa primeira fase compilará informações retiradas das NDCs assim como de outras partes interessadas não governamentais, efetuando uma síntese. Numa segunda fase serão realizadas avaliações para alavancar o progresso coletivo na implementação do Acordo de Paris, fazendo com que se realizem diálogos técnicos, para discutir as informações compiladas da primeira fase. Na fase 3 serão divulgados os relatórios com resultados das avaliações, dando o seu seguimento para o processo político, com o objetivo de apoiar as partes do Acordo de Paris e promover a cooperação internacional.

Concluindo este tema é perceptível a necessidade urgente pela procura de alternativas à produção de energia elétrica, numa iniciativa de redução das emissões dos gases de efeito de

estufa. A Energia Solar poderá ter um papel preponderante no mix energético mundial, de forma a mitigar o aquecimento global. A sua taxa de emissões será de zero não tendo em conta a produção de materiais para promover esta fonte de energia renovável. Os processos industriais terão de ser melhorados, para ir de encontro aos objetivos globais.

Atualmente o investimento nas energias renováveis e, nomeadamente na Energia Solar tem sido exponencial por todo o mundo, em linha com as preocupações ambientais, conforme se pode analisar no gráfico da Figura 1.4, que reflete o aumento da capacidade instalada dos últimos 25 anos.

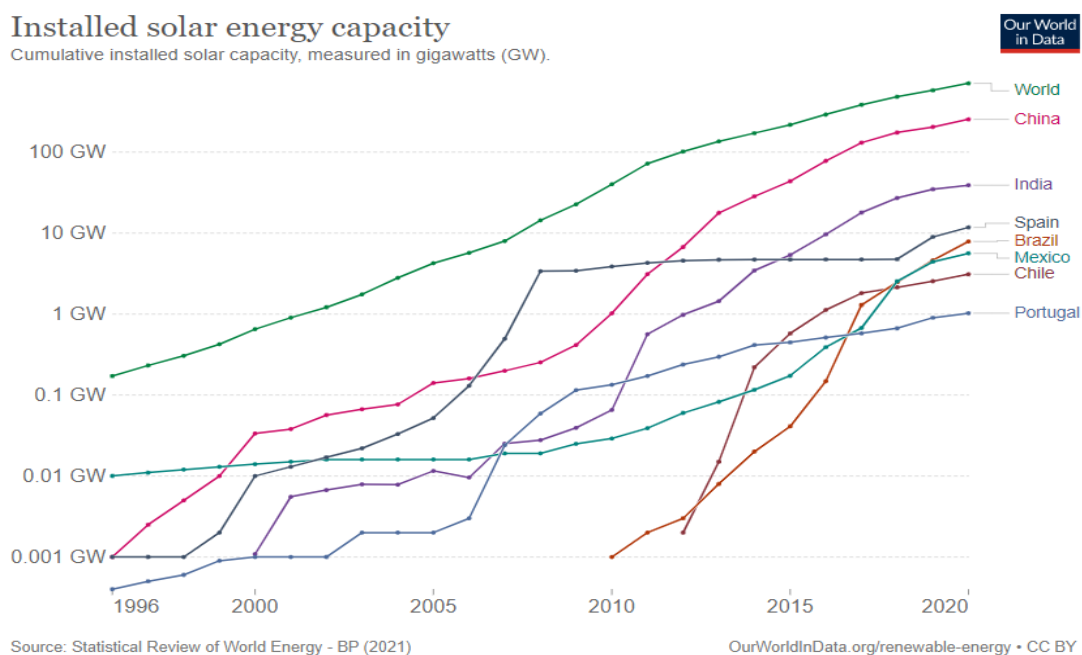


Figura 1.4- Capacidade de Energia Solar Instalada Mundial (OurWorldinData, 2022).

O recurso a combustíveis fósseis, fonte de energia muito utilizada para a produção de energia elétrica, está a cair em desuso, tanto pelas necessidades ambientais, assim como no uso de reservas finitas destes mesmos combustíveis. Perante todas estas vicissitudes, estes investimentos assumem um lugar de destaque na sustentabilidade do planeta, com o uso dos recursos naturais a ser realizado de forma sustentável, em detrimento de combustíveis altamente poluentes.

Além das preocupações ambientais também o uso de uma energia proveniente de uma fonte de energia inesgotável será certamente uma aposta ganha. Se outrora o retorno do investimento para esta tecnologia era pouco interessante para os stakeholders, os desenvolvimentos em pesquisa conduziram a benefícios, tornando o investimento nesta tecnologia mais interessante. Os investimentos realizados na pesquisa de novos materiais mais eficientes, tecnologias associadas desenvolvidas e a sua produção em massa traduziram-se num melhor desempenho energético e financeiro destes sistemas, tornando-se mais atrativos para investimentos, por parte dos stakeholders dos mercados de energia mundiais.

A volatilidade dos mercados energéticos leva os stakeholders mundiais dos mercados de energia a procurar fontes alternativas e renováveis. Neste campo existem várias dinâmicas a seguir, na parte ambiental e pelas necessidades anteriormente elencadas pelos protocolos e/ou acordos já realizados, mas também devido à geopolítica mundial e à dependência dos poucos produtores mundiais dos combustíveis, com maior quota na produção de energia no

mix de energia mundial. Um exemplo muito atual é a Guerra na Ucrânia, que provocou aumentos exponenciais nos preços dos combustíveis de energia primária, que se traduziram em fortes aumentos nos mercados de energia elétrica, por motivos correlacionados.

Mesmo com todos estes aspetos suprarreferidos, a produção de energia elétrica com recurso a combustíveis fósseis ainda é a mais económica, do ponto de vista dos investidores e o seu retorno de investimento. Para combater essa falta de competitividade das fontes de energia renovável e no seu ainda elevado custo de produção, a União Europeia implementou medidas para “incentivar” o atingir das metas de redução do gases de efeito de estufa (GEE) previstas, que são a de total descarbonização até 2050 e uma redução dos GEE em 55% até 2030. A obrigação, desde 2013, de comprar licenças de emissão para todos os produtores de eletricidade veio trazer essa mesma competitividade ao mercado, mas aumentando o custo final da eletricidade para o consumidor final (European Commission, 2022).

- **Licença de Emissão** – *“Permite a emissão de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente durante um determinado período. A obtenção de licenças de emissão é feita, por regra, através de leilão. As receitas geradas pelos leilões das licenças de emissão atribuídas a Portugal integram o Fundo Ambiental”* (APA, 2021).

Para este efeito foi criado o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), que é o mecanismo de regulação das GEE que é responsável por regular atividades responsáveis por libertação de GEE, onde se inclui a produção de energia elétrica.

Em Portugal a capacidade de Energia Solar instalada também tem sido uma prioridade do governo e têm sido efetuados leilões com vista a instalação de mais Centrais Fotovoltaicas. Ainda carece de valores instalados com maior representação no mix energético português, mas certamente será um caminho a ser tomado de futuro. Para perceção da potência instalada em Portugal, no passado dia 22 de fevereiro de 2022, a produção de energia solar fotovoltaica atingiu novo recorde com a produção de 1110 MWh, entre as 13 horas e as 14 horas do dia suprarreferido (REN Data Hub, 2022). Na Figura 1.5 e na Figura 1.6, pode ser observada a produção para o dia 22/02/2022, assim como o diagrama de cargas, com a representatividade da Energia Solar e outras, no Sistema Elétrico Português.

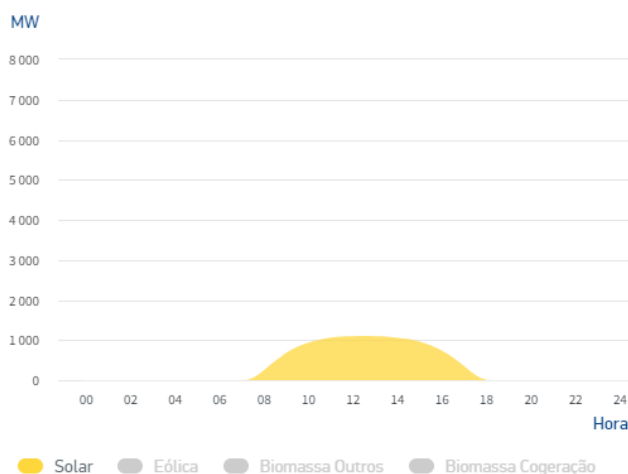


Figura 1.5- Produção Energia Solar Portugal - 22/02/2022 (REN Data Hub, 2022).

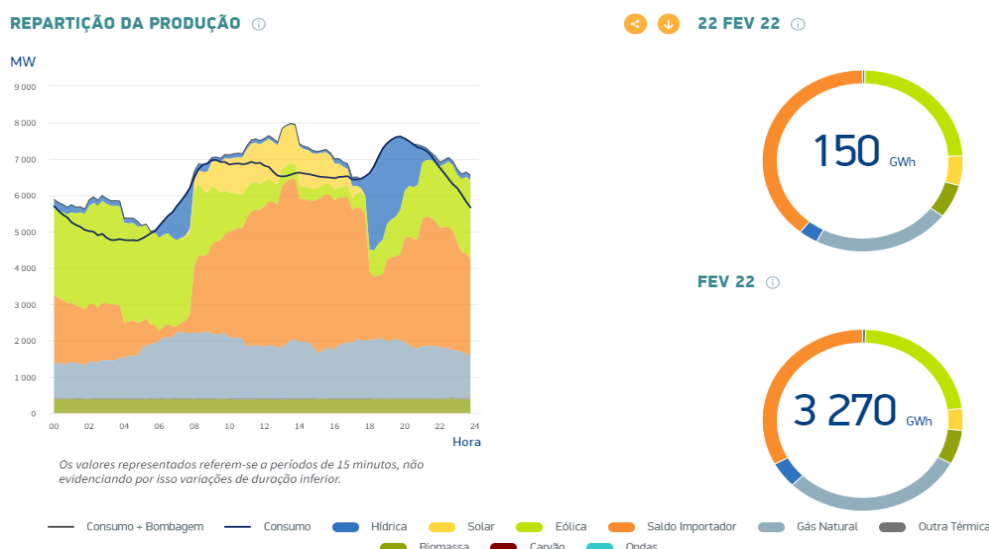


Figura 1.6- Diagrama de Cargas Português - 22/02/2022 (REN Data Hub, 2022).

Além do uso da Energia Solar nas grandes Centrais de Produção, existe o uso mais doméstico, por assim dizer. Quem não se lembra de uma pequena calculadora que não necessita de pilhas, por ter na sua constituição, uma pequena célula solar que fornece energia? Em 1976, a Sharp lançava a primeira calculadora alimentada exclusivamente por uma Célula Solar (Figura 1.7) (Global.Sharp, 2022).

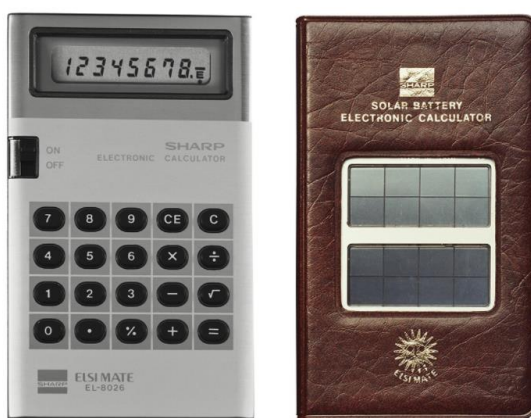


Figura 1.7- Sharp EL-8026 (The Wall Street Journal, 2016).

Este é um exemplo, mas outros pequenos utensílios foram sendo desenvolvidos neste sentido, embora de pequena eficiência e para pequenos usos, como por exemplo um carregador para pequenos aparelhos eletrônicos ou mesmo alguma pequena iluminação.

No âmbito de capacitar o sistema energético mundial de energia solar também foram lançadas uma série de iniciativas para a produção de energia autoconsumo, em pequenas instalações particulares. Estas instalações também podem fornecer energia ao sistema elétrico, mas a sua maior funcionalidade será a de diminuir a necessidade de acesso à rede elétrica em termos de potência, produzindo a sua própria energia e usando a rede somente em alturas com pouco ou sem sol ou ainda para complementar consumo remanescente.

1.2 MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS

A escolha de um projeto, quando a experiência profissional já existe, parece a escolha acertada para pôr em prática todo o conhecimento e valências adquiridas durante o percurso académico, realizando uma agregação à experiência profissional. É com base nestes objetivos que se aclara a preferência pela realização de um projeto em detrimento de uma dissertação ou mesmo um estágio, que por razões profissionais seria impossível de realizar.

As desvantagens de realizar um projeto ou dissertação em detrimento de um estágio são factualizadas pelo trabalho ser mais “solitário”, como o seria em caso de estágio. Qualquer das formas também será um agente alavancador para um aumento de independência profissional, encontrando e desenvolvendo as soluções para as necessidades do projeto.

Como objetivo definido para este trabalho está o desenvolvimento de um estudo de implementação de um sistema solar fotovoltaico, numa habitação particular e com vista a mitigar problemas de disponibilidade de potência por parte de RESP.

Este estudo permite desenvolver capacidades de superação em certas dificuldades, produzidas em casos de implementação destes sistemas em IU já existentes. Realizar este estudo de integração desenvolve capacidades técnicas, através de resiliência para ultrapassar os obstáculos impostos pela própria instalação já existente. Vai permitir estar mais assertivo no encontro de soluções para os problemas que naturalmente existem por motivos óbvios. As formas encontradas para projetar um sistema, que cumpra todas as regras de segurança e seja benéfico, quer do ponto de vista de utilização quer do económico, certamente vai desenvolver capacidades técnicas com intuito de complementar a formação académica.

1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO DO PROJETO

A constituição deste trabalho é estruturada em cinco capítulos, onde essa estrutura define, por etapas, o desenvolvimento de todo o processo dos objetivos alcançados.

No Primeiro Capítulo é feita uma nota introdutória, seguida de um enquadramento geral ao tema e estabelecendo as motivações, objetivos e a estrutura do relatório de projeto.

No Segundo Capítulo é realizada uma breve história dos desenvolvimentos da tecnologia estudada, desde a descoberta da célula solar até ao início deste século. Foram apontados os maiores feitos e objetivos alcançados, pelos cientistas ao longo dos anos e por ordem cronológica.

No Terceiro Capítulo é abordada a tecnologia da energia solar assim como as suas tecnologias associadas. Em destaque a importância que esta tecnologia tem para alavancar a descarbonização mundial, alvo de protocolos e acordos realizados por todos os países, uma amostragem da regulação jurídica em vigor em Portugal também é abordada neste capítulo. Ainda foi realizado uma apresentação das tecnologias envolvidas, para a realização de um sistema solar fotovoltaico, elencando e descrevendo cada componente, pertencente a um sistema solar.

O Quarto Capítulo descreve o Caso de Estudo, alvo das maiores averiguações deste relatório. Foram descritos os objetivos do sistema solar e todas as anotações que levaram ao resultado final. A importância de descrever, da melhor e mais célere maneira as formas encontradas para mitigar as fraquezas da instalação e apresentar soluções potenciadoras para o

mais correto uso deste sistema numa integração na instalação, foi planificado neste mesmo capítulo.

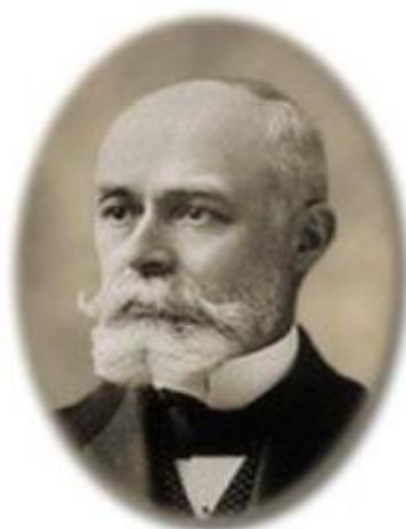
O Quinto Capítulo é a conclusão do trabalho, realizando uma pequena análise dos objetivos atingidos e alguns temas que podem ser retificados de futuro, com vista a melhorar o sistema solar projetado.

2 HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR

Para uma percepção mais abrangente dos conceitos apresentados neste trabalho, será importante uma retrospectiva da história da produção de energia elétrica através de painéis solares fotovoltaicos, ou seja, a conversão da luz solar em energia elétrica.

Homenageando o físico e químico Alessandro Volta (1745-1827), esta célula solar foi nomeada de célula fotovoltaica e é o termo técnico mais usado atualmente, para referência a esta tecnologia.

A primeira observação da conversão da energia solar em energia elétrica foi obtida pelo físico Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891), em 1839 (Figura 2.1).



**Alexandre Edmond Becquerel
(1820-1891)**

Figura 2.1-Alexandre-Edmond Becquerel (Sudarshan, 2022).

Com apenas 19 anos, o físico francês realizou uma experiência com cloreto de prata, mergulhado numa solução ácida exposta à luz solar que gerou uma tensão e uma corrente, descobrindo assim o princípio de funcionamento da célula solar (Figura 2.2). A este efeito foi dado o nome de Efeito Becquerel, honrando o nome do físico, que foi ainda apelidado pai da Energia Fotovoltaica.

Em 1989 a Comissão Europeia instituiu um prémio de nome “Alexandre Edmond Becquerel” para homenagear o mérito científico, técnico ou de gestão no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica. Foi instituído em 1989 para assinalar o 150º aniversário da descoberta do Efeito Fotovoltaico, “Efeito Becquerel” (Becquerel Prize, 2022).

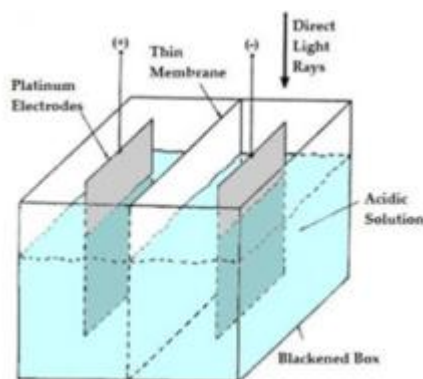


Figura 2.2 - Método da Experiência do Alexandre-Edmond Becquerel (Sudarshan, 2022).

Sucinta descrição da experiência da Figura 2.2:

- A primeira célula fotovoltaica desenvolvida foi através desta experiência. Num recipiente preto, foi colocada uma solução ácida, (eletrólito), contendo dois elétrodos, separados por uma fina membrana e ligados a um circuito elétrico externo. O revestimento preto foi usado no sentido de captar a luz e os dois elétrodos foram revestidos com Cloreto de Prata, (AgCl) e Brometo de Prata (AgBr). Quando a luz incidia nos elétrodos foi observada uma corrente a percorrer o circuito elétrico externo. Além da luz solar o cientista fez incidir luz azul e luz ultravioleta. Esta experiência foi considerada como o desenvolvimento da primeira célula fotovoltaica.

Algumas décadas depois, em 1873, um engenheiro eletrotécnico inglês, Willoughby Smith (1828-1891), descobre a fotocondutividade do selénio, enquanto testava materiais para cabos telegráficos submarinos.

Em 1883, o inventor americano Charles Fritts (1850-1903) criou a primeira célula solar, revestindo selénio com ouro, que exposto à luz solar produziu uma corrente contínua constante e de valor considerável. A sua taxa de conversão era muito baixa, cerca de 1% a 2%, diferente das atuais que atingem uma eficiência de 15% a 20%, existem ainda células solares com eficiência de até 28 por cento, fabricadas de arseneto de gálio, onde o seu alto custo limita a sua produção para o uso da indústria espacial. Charles Fritts julgou ser possível competir com as Centrais de Carvão de Edison através da produção de energia a partir destas células, mas a sua eficiência não era suficiente para alcançar este objetivo.

Apenas alguns anos depois da descoberta de Fritts, em 1888, o inventor Edward Weston (1850-1936), patenteou um protótipo que se propunha transformar a energia radiante derivada do sol em energia elétrica (Figura 2.3). O método seria focar a energia solar através de uma lente na célula solar, aquecendo-a. Esta célula solar é um dispositivo eletrónico que converte calor em energia elétrica, composta por barras de metais diferentes. Ao ser aquecida provoca o movimento de eletrões e conseqüentemente uma corrente elétrica. Este caso pode ser comparado à lâmpada incandescente no seu inverso, isto é, no caso da lâmpada incandescente a energia elétrica gera calor que por sua vez gera luz, no caso da célula suprarreferida será a luz a gerar calor, que por sua vez gera energia elétrica.

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

(No Model.)

E. WESTON.

ART OF UTILIZING SOLAR RADIANT ENERGY.

No. 389,125.

Patented Sept. 4, 1888.

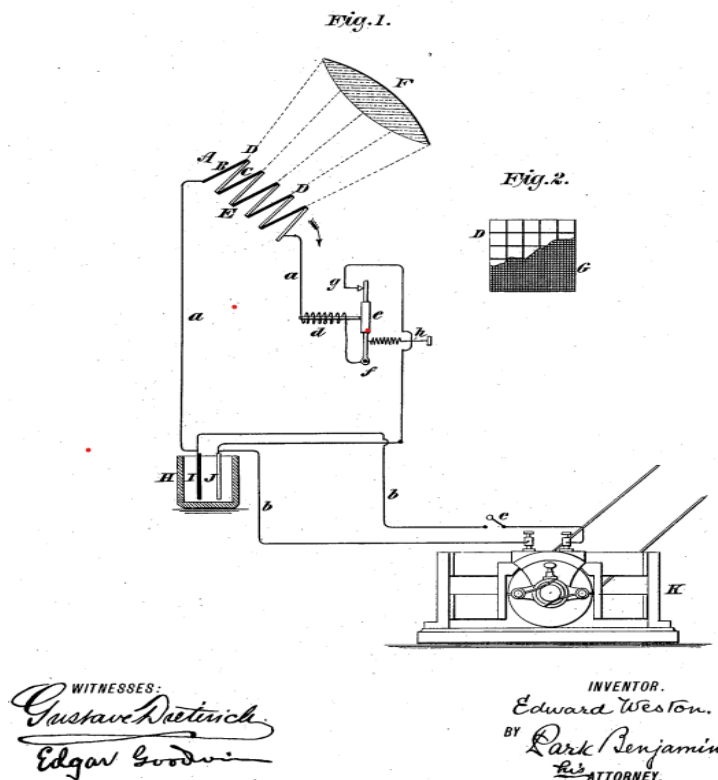


Figura 2.3 - Patente 389.125 - Edward Weston (Elizabeth Chu et al, 2022).

O uso de selênio na produção de células solares foi sendo desenvolvido, durante os anos que se seguiram e várias aplicações foram encontradas, sem que fossem usadas em grande escala.

O próximo grande avanço da tecnologia das células solares só voltou a ser dado em 1940, por Russell Schoemaker Ohl (1898-1987), engenheiro norte americano e pesquisador na Bell Labs. O engenheiro norte americano, durante as suas pesquisas usando silício, notou que numa amostra que tinha uma fissura a corrente circulava através desta quando exposta à luz. Esta fissura, que provavelmente se formou quando a amostra foi feita, na verdade marcou o limite entre regiões, de modo que um dos lados foi dopado positivamente e o outro negativamente, criando assim uma junção PN. Esta junção PN, com um dos lados com excesso de carga positiva e outro de cargas negativas e criando um campo elétrico, ao ser exposta à luz, inicia o fluxo de corrente, assim que um fóton provoca o impulso de um elétron. Esta célula só atingia 1% de eficiência e Russell Ohl patenteou a sua invenção.

Treze anos mais tarde, cientistas que também trabalhavam na Bell Labs, criaram a primeira célula prática de silício.

Em 1953 Daryl Chapin (1906-1995), Figura 2.4, físico norte americano, pesquisava a possibilidade de criar fontes alternativas de energia para alimentar sistemas telefônicos, principalmente os sistemas localizados em zonas húmidas e remotas, onde as baterias secas se degradavam muito rapidamente. A sua tentativa de atingir os seus objetivos incidiu sobre a

pesquisa sobre células solares de selénio, o que o levou a abandonar esta mesma tentativa, pela pouca eficiência das células de selénio.



Figura 2.4 - Calvin Fuller (APS physics, 2009).

Enquanto isso Calvin Fuller (1902-1994), físico e Gerald Pearson (1905-1987), químico, ambos norte americanos, desenvolviam pesquisas no controlo das propriedades dos semicondutores, introduzindo impurezas. Fuller desenvolveu uma amostra de silício contendo impurezas de gálio, Pearson mergulhou esta amostra em lítio, criando uma junção PN. A amostra, ao ser iluminada e ligada a um amperímetro, revelou um fluxo de corrente significativo.

Gerald Pearson, amigo de Chapin e que conhecia as suas pesquisas, incentivou-o a substituir o selénio por silício. Chapin aceitou o desafio do seu amigo e, juntamente com ele e Fuller, criaram um grupo de trabalho para desenvolverem este tema, Figura 2.5.



Figura 2.5 - Calvin Fuller, Daryl Chapin e Gerald Pearson (Eric Wesoff 2014).

Durante vários meses desenvolveram pesquisas com o intuito de melhorar a junção PN, melhorando as suas propriedades para obterem melhores contactos eléctricos. Outro problema que encontraram foi que, à temperatura ambiente, o lítio migrava através do silício, afastando a junção PN da luz solar. Para tentarem obter melhores resultados neste campo, tentaram diferentes impurezas, nomeadamente o arsénico e o boro, conseguindo que a junção PN ficasse mais perto da superfície. Esta descoberta levou ainda a um melhor desempenho nos contactos eléctricos, outra das dificuldades sentidas pelos 3 cientistas. Desenvolvendo várias melhorias significativas no design, eles ligaram um conjunto de células solares, criando a primeira matriz de células solares, e ao qual chamaram “Bateria Solar”.

Em 2008 foram empossados no National Inventors Hall of Fame, pelos seus feitos pela ciência e, nomeadamente, pela excelência no desenvolvimento da célula solar.

A 25 de abril de 1954 em Murray Hill, New Jersey a *Bell Labs* anunciou a invenção do painel solar, usando-o para alimentar uma pequena roda gigante de brincar e ainda um transmissor de rádio, movido a energia solar (Figura 2.6). A célula tinha apenas 2 cm² de área, gerava 5 mW de potência e apresentava 6% de eficiência (Ambiente Brasil, 2021).

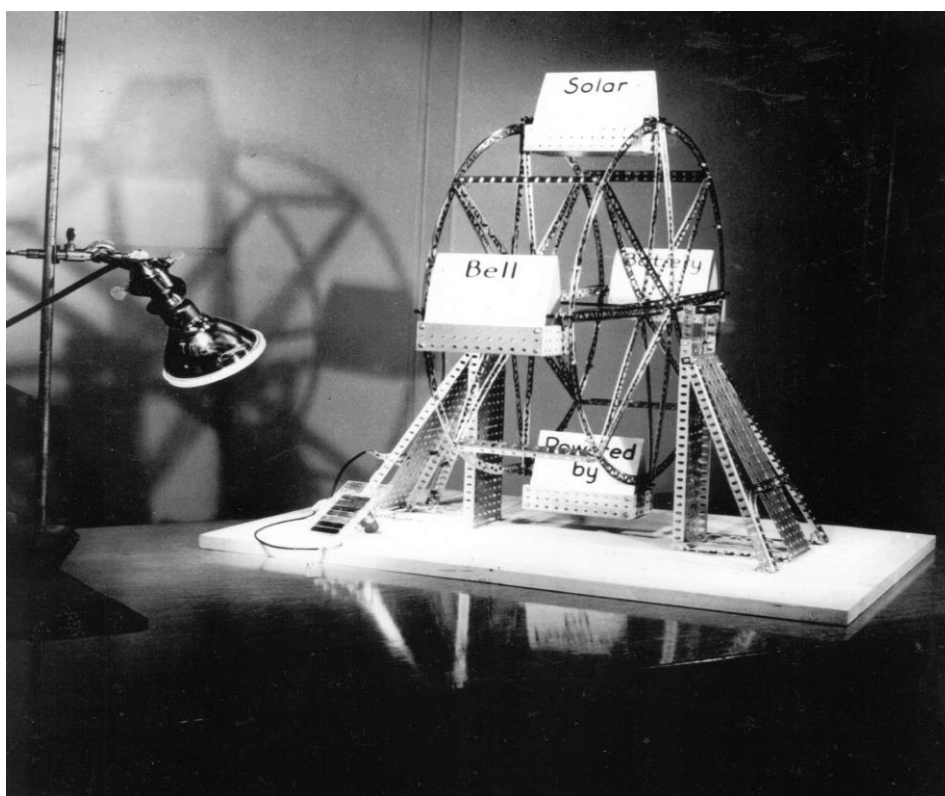


Figura 2.6 - Primeira Célula Solar- Bell Labs (CleanTechnica, 2014).

No dia seguinte à demonstração, o *New York Times* afirmou que a invenção da *Bell Labs* marcou o “início de uma nova era, levando à realização de um dos sonhos mais queridos da humanidade – o aproveitamento da energia quase ilimitada do sol para os usos da civilização”. Embora o preços de produção deste tipo de célula fossem proibitivos para a altura, foi um forte impulso para os dias atuais e a produção de energia a partir da Energia Solar.

Os elevados custos fizeram divergir as sinergias do seu desenvolvimento para uso doméstico, sendo o seu maior desenvolvimento direcionado para a investigação na área espacial e suas necessidades de energia.

Durante a década de 70 novos movimentos foram criados para desenvolver as energias alternativas, nomeadamente a conversão de energia solar em energia elétrica. Para financiar estes movimentos nas suas investigações foi criado um Instituto - Instituto de Conversão de Energia (IEC).

O professor Karl Böer (1926-2018), físico alemão e professor na Universidade de Delaware, juntamente com os colegas do corpo docente da Universidade, vinham desenvolvendo este tema (Figura 2.7). Esta parceria e dinâmica levou à criação do IEC a qual consequentemente levou a conseguirem financiamento, para levar a cabo uma investigação mais aprofundada, com vista a melhorar o desempenho das células solares, que na altura tinham uma eficiência inferior a 7% (IEC, 2018).

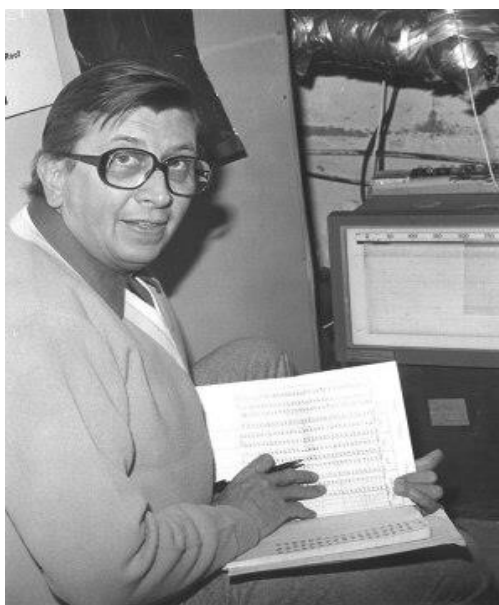


Figura 2.7 - Dr. Karl Böer nas suas pesquisas no IEC (UDaily staff, 2018).

Em 1973 SOLAR ONE – a primeira casa a converter diretamente a luz solar em calor e eletricidade para uso doméstico. Construída na Universidade de Delaware com o apoio da Delmarva Power and Light Co., a SOLAR ONE, conforme Figura 2.8, foi projetada como uma estrutura experimental para adquirir dados do seu sistema de captação de energia solar (IEC, 2018).

Esta habitação tornou-se um centro de pesquisa, sendo destaque em muitas revistas científicas. Por ser pioneira e pela sua importância foi declarada como edifício histórico, pelo departamento de Energia dos EUA.

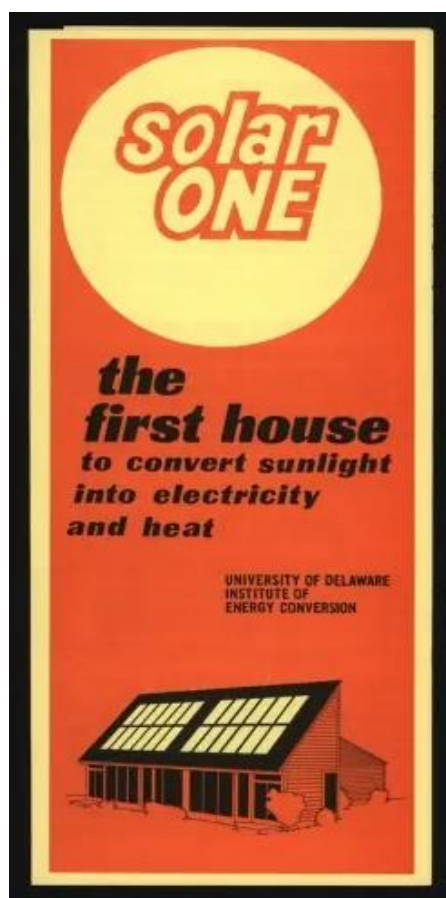


Figura 2.8 - Solar One, primeiro projeto doméstico com energia solar (UDaily staff, 2018).

A década de 70 é marcada por estes desenvolvimentos que são alavancados por uma crise energética, que foi instituída pelo embargo ao petróleo árabe. A crise do petróleo, como vulgarmente conhecida, impulsionou a procura por outras fontes de energia e a fotovoltaica não foi exceção. No final desta década o IEC, resultante das pesquisas realizadas, atinge novos valores de eficiência - 10% (IEC, 2018).

Além de financiamentos para continuar as pesquisas para uma fonte de energia a partir da energia solar, ainda durante a década de 70, os EUA, pelo seu Congresso, aprovou a Lei de Políticas Regulatórias de Utilidade Pública, que, entre outras coisas, lançou bases para futuras políticas de clusters de energia renovável, assim como a obrigatoriedade de o Operador de Mercado comprar energia às instalações de produção de energia através da energia solar. Estas políticas foram implementadas na administração de Jimmy Carter, onde o mesmo voltou a incentivar a produção de energia solar, através de créditos fiscais comerciais e residenciais. A mesma administração aprovou um ato de Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração de Energia Solar, ordenando o Departamento de Energia a efetuar um plano de marketing internacional de sistemas fotovoltaicos. Apesar de tudo o compromisso do governo americano, estas ações não se traduziram num aumento significativo do uso dos sistemas fotovoltaicos. O presidente Jimmy Carter fez o que estava ao seu alcance para incentivar o uso desta fonte de energia, que embora fosse pouco eficiente e de custo elevado seria uma boa fonte para explorar para um futuro próximo. Inclusive mandou instalar painéis solares nas instalações da Casa Branca (Figura 2.9).

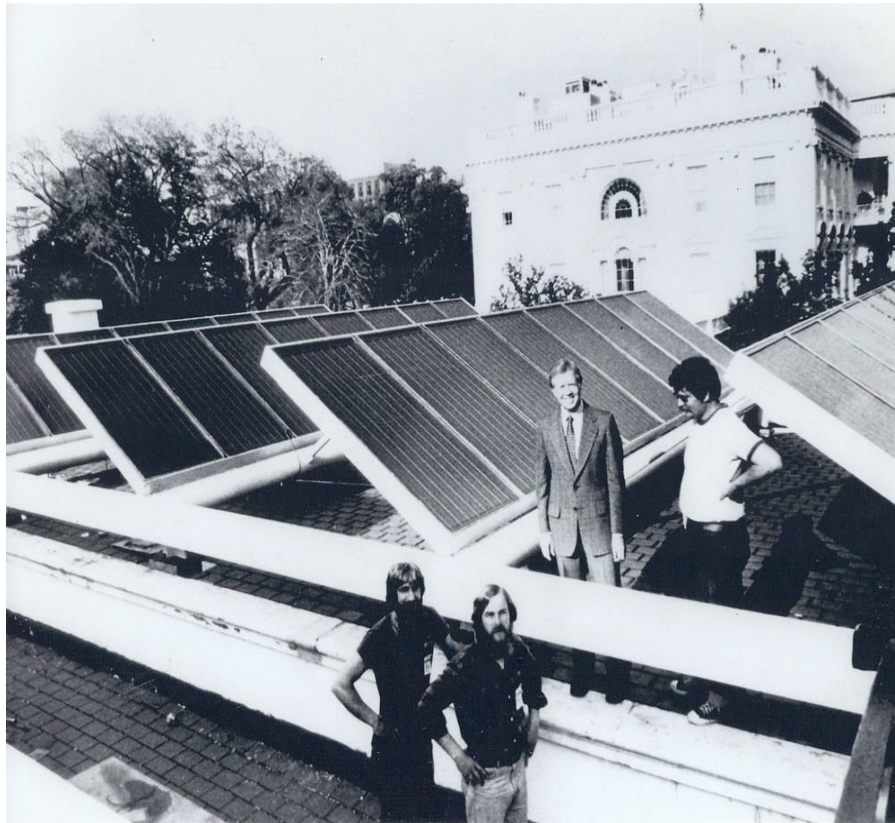


Figura 2.9 - Presidente Carter na Casa Branca (ONIT Home, 2021).

Na administração Reagan o mesmo não sucedeu, mais próximo da indústria do petróleo, Reagan tornou-se mais cético perante esta tecnologia e não seguiu as mesmas linhas orientadoras da era Carter, que é considerado por muitos como um visionário para as energias renováveis. Nas administrações seguintes já existiram outras envolvências, alavancadas pela prioridade mundial e redução dos níveis de emissão de carbono.

3 ENERGIA SOLAR E TECNOLOGIAS ASSOCIADAS

Este capítulo apresenta aspetos associados à Energia Solar Fotovoltaica, destacando a sua posição nos Mix's Energéticos Mundiais, no desenvolvimento das tecnologias associadas à produção de energia elétrica, tipologias de grandes e pequenas centrais.

Apresenta ainda uma abordagem à legislação vigente em Portugal, referindo alguns aspetos do regime jurídico publicado no Diário da República.

3.1 ENERGIA SOLAR

A Energia Solar atualmente é uma das grandes impulsionadoras do aumento da Energia Renovável no Mix Energético Mundial, outra, como a Energia Eólica também continua em franca expansão. A Energia Hídrica é também um grande contributo na produção de energia elétrica, com recurso a uma fonte renovável e que já detém uma representação significativa. A procura por dotar este Mix de energias de “*Low Carbon*” é fundamental para um uso sustentável dos recursos naturais. Como se pode ver na Figura 3.1 a dependência dos combustíveis fósseis ainda está em valores bastante elevados para o objetivo da descarbonização desejada e necessária, para uma sustentabilidade dos recursos mundiais e para deixarmos um planeta mais verde para as futuras gerações.

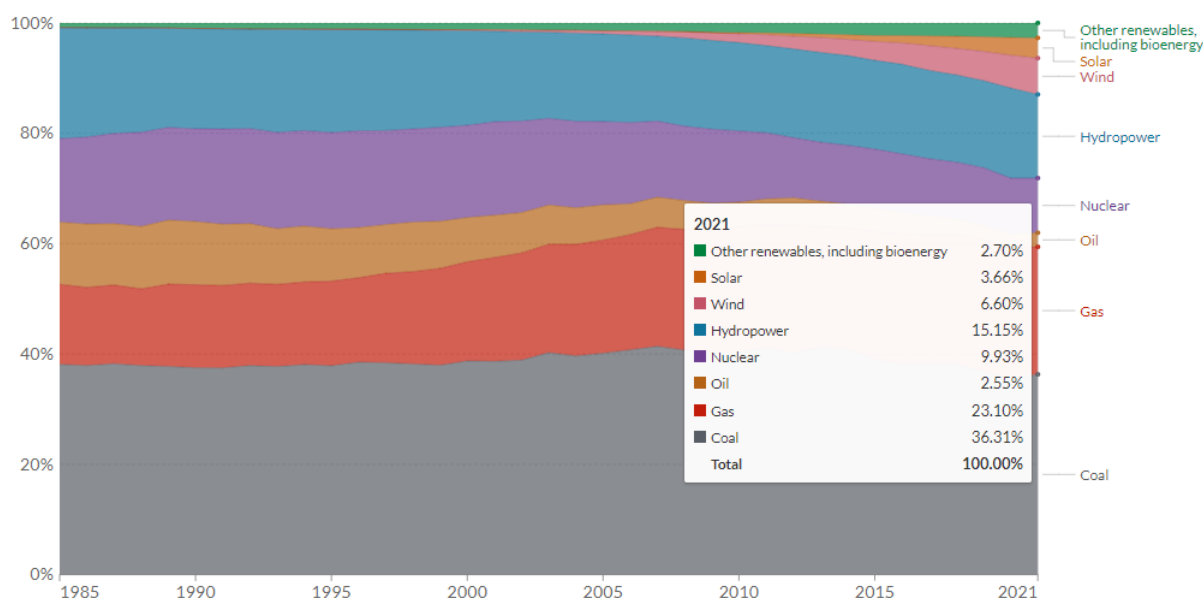


Figura 3.1- Mix Energético Mundial - Ano 2019 (Our World in Data, 2022).

Cada vez mais vivemos num planeta onde a energia é um bem primário e essencial para a nossa vida, quer profissional, familiar e de lazer. O consumo mantém uma curva exponencial de crescimento e consequentemente a geração de forma a ir de encontro a esse mesmo consumo. As economias emergentes são as maiores participantes nesta subida do consumo e terão a responsabilidade de implementar medidas e sinergias vinculadoras da produção às energias renováveis, para conseguirem atingir o objetivo da descarbonização.

Contudo muitos países têm feito grandes investimentos nesta descarbonização ao longo das últimas décadas, a produção da energia a partir de fontes renováveis têm tido um incremento importante, embora ainda não como o desejado.

Na Figura 3.2 e na Figura 3.3 podem ser analisados os dados, de alguns países num intervalo de tempo entre 1991 e 2021, relativos aos combustíveis usados para a produção de energia elétrica. A transformação é notória no sentido de substituir as energias, com recurso a combustíveis fósseis, por energias provenientes de fontes de energia renovável. Esta terá de ser a linha mestra do futuro para uma maior sustentabilidade do planeta que habitamos.

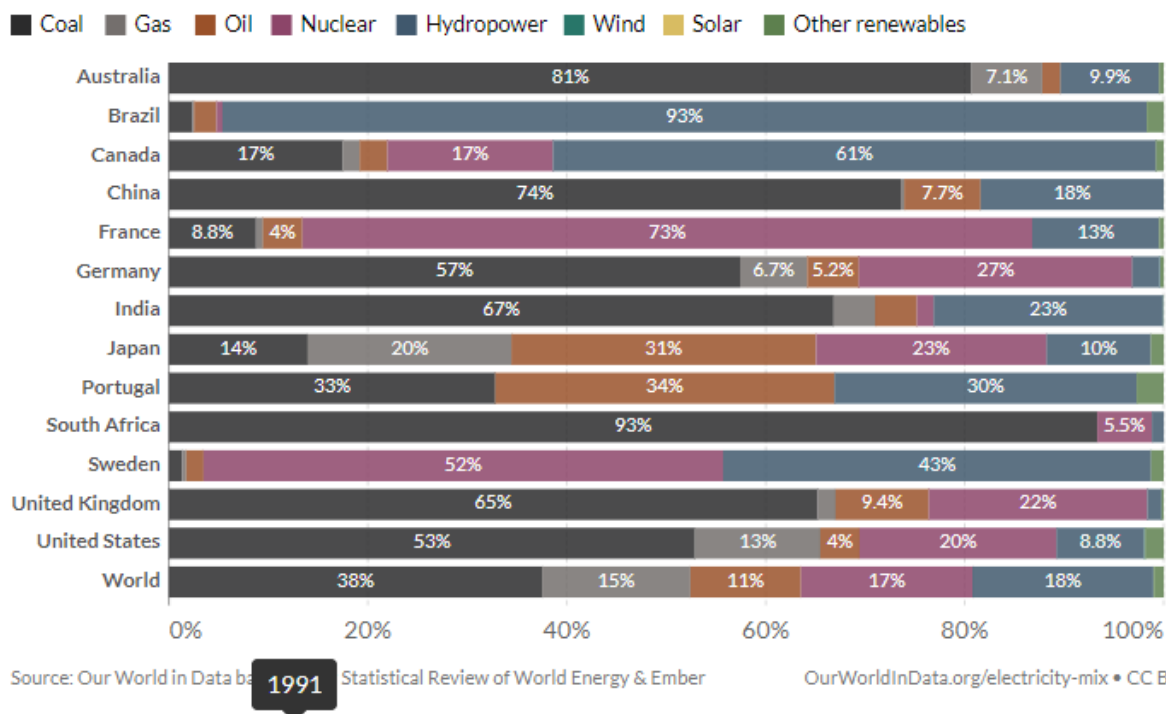


Figura 3.2- Consumo de eletricidade per capita por fonte-1991 (Hannah Ritchie et al, b2021).

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

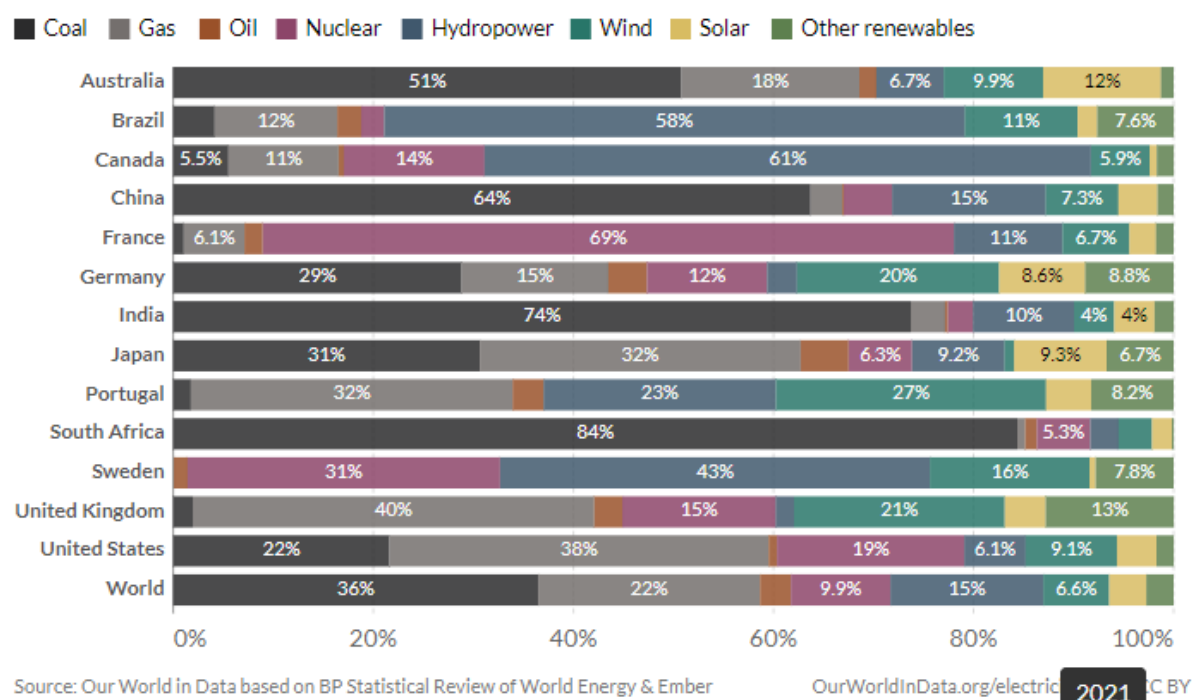


Figura 3.3- Consumo de eletricidade por fonte-2021 (Hannah Ritchie et al, 2020).

Na Europa entre 2005 e 2017, a quota de energias renováveis na produção de energia elétrica mais que duplicou, passando de cerca de 15% para 31%, onde os agentes catalisadores foram a Energia Solar e a Energia Eólica (Figura 3.4) (TEC, 2019).

Quota de energias renováveis na produção de eletricidade na UE, 2005-2017

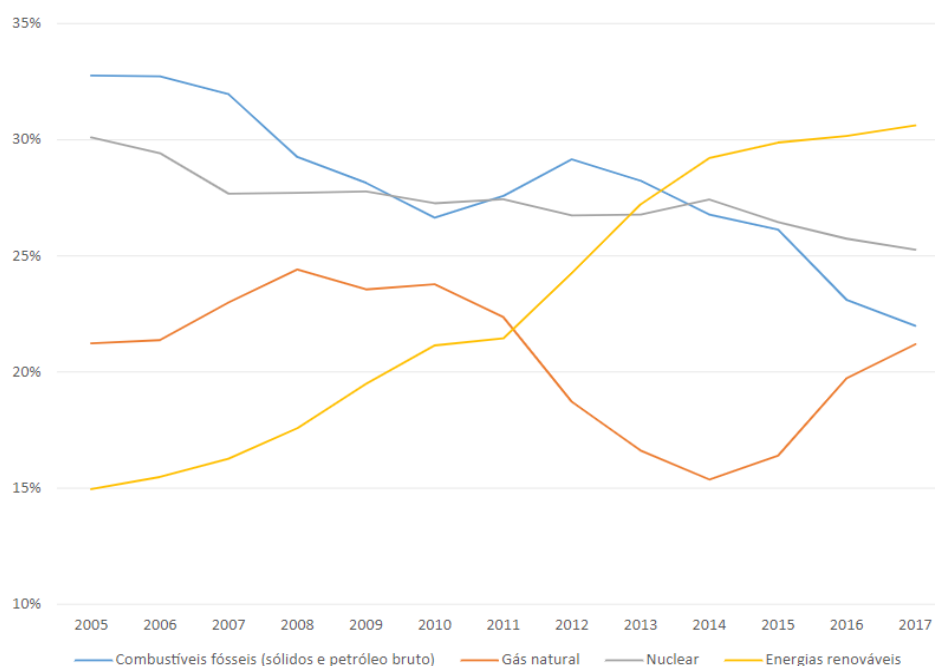


Figura 3.4- Quota de energias Renováveis na UE, 2005-2017 (TCE, 2019).

A União Europeia aprovou uma diretiva relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis com vista a atingir uma meta de 20%, até ao final de 2020, do uso de energias renováveis no consumo final bruto de energia, o qual foi alcançado. A implementação destas tecnologias foi alvo de apoios por parte da EU e teve o seu maior desenvolvimento entre 2005 e 2014. Após este período existiu um desacelerar do investimento, provocado por metas atingidas em alguns estado-membros e onde outros estados-membros ficaram aquém das suas metas nacionais, sendo um desafio que exigirá mais esforços comuns.

Numa auditoria, dirigida pelo Tribunal de Contas Europeu, foi constatado o facto que os regimes dos apoios iniciais, atribuíam subsídios excessivos à implementação das energias Eólica e Solar, mas que a diminuição destes apoios dissuadia potenciais investidores.

Findo que estava realizado o período das referidas metas, novas foram implementadas e agora com uma data de prescrição para 2030. Para isso a União Europeia deliberou uma nova diretiva, designada como a RED II com uma meta vinculativa de 32% para o uso de energias renováveis até 2030 e com uma cláusula para uma revisão em alta em 2023. Esta meta, juntamente com outras iniciativas contidas na RED II devem permitir reduzir em 55% as emissões de gases de efeito de estufa (TCE, 2019).

Na Figura 3.5 podem ser observadas as metas dos países europeus, assim como a percentagem de energias provenientes de fontes renováveis, atingidas no consumo final de energia. Somente a França ficou abaixo das metas estipuladas e todos os outros países igualaram ou ultrapassaram os objetivos.

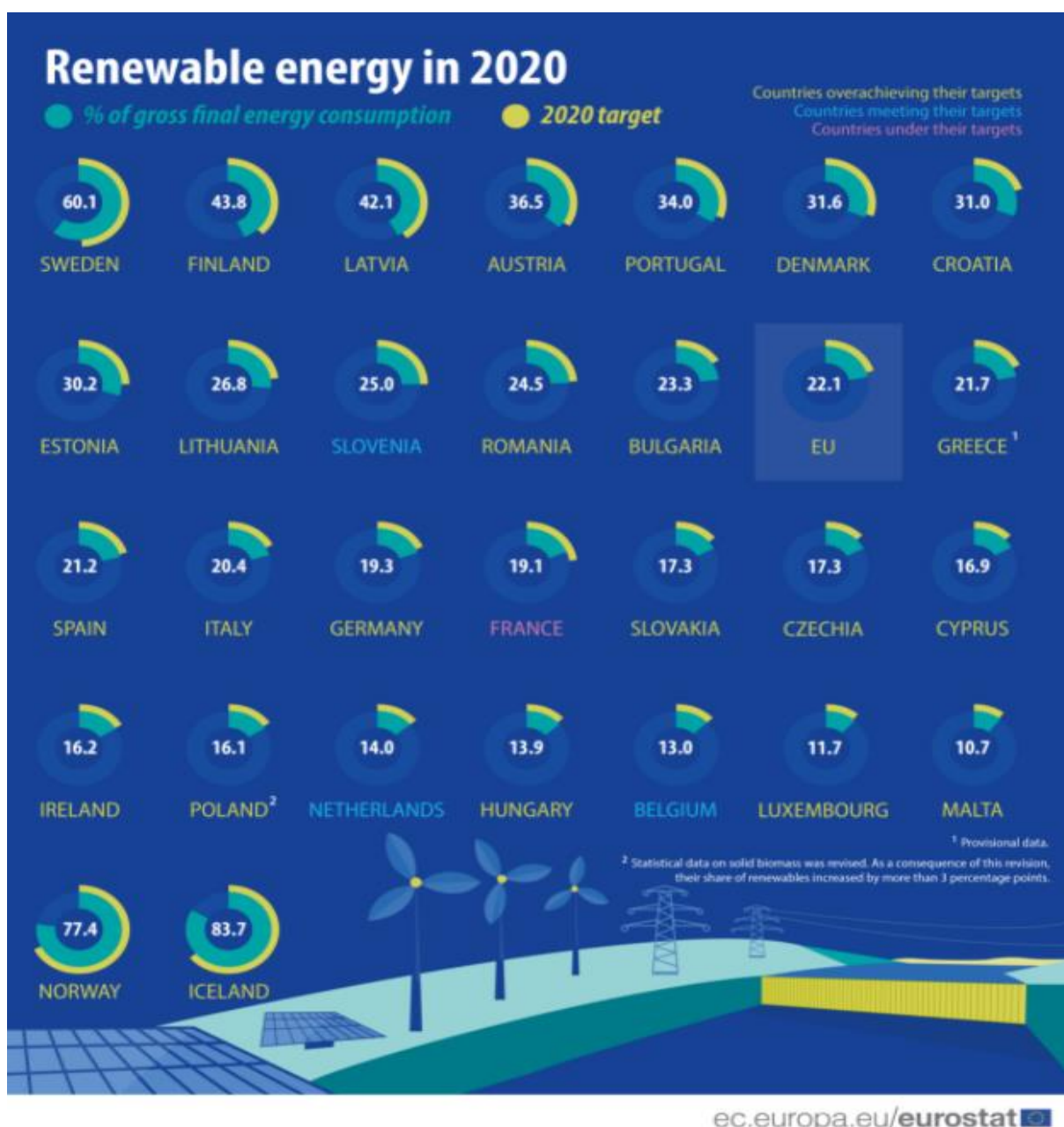


Figura 3.5- Consumo e metas da UE e dos seus estados-membros (Eurostat, 2022).

Portugal, em linha com estas sinergias mundialmente desenvolvidas e, fundamentalmente pela União Europeia, também tem aumentado a sua produção de Energia Elétrica, através das Energias Renováveis. Na Figura 3.6 pode ser observado esse mesmo facto. Observando a subida de produção com recurso à Energia Solar, esta tecnologia cresceu na última década, atingindo uma produção de 2.04 TWh, no final de 2021 (Our World in Data, 2021).

Produção de eletricidade por fonte, Portugal

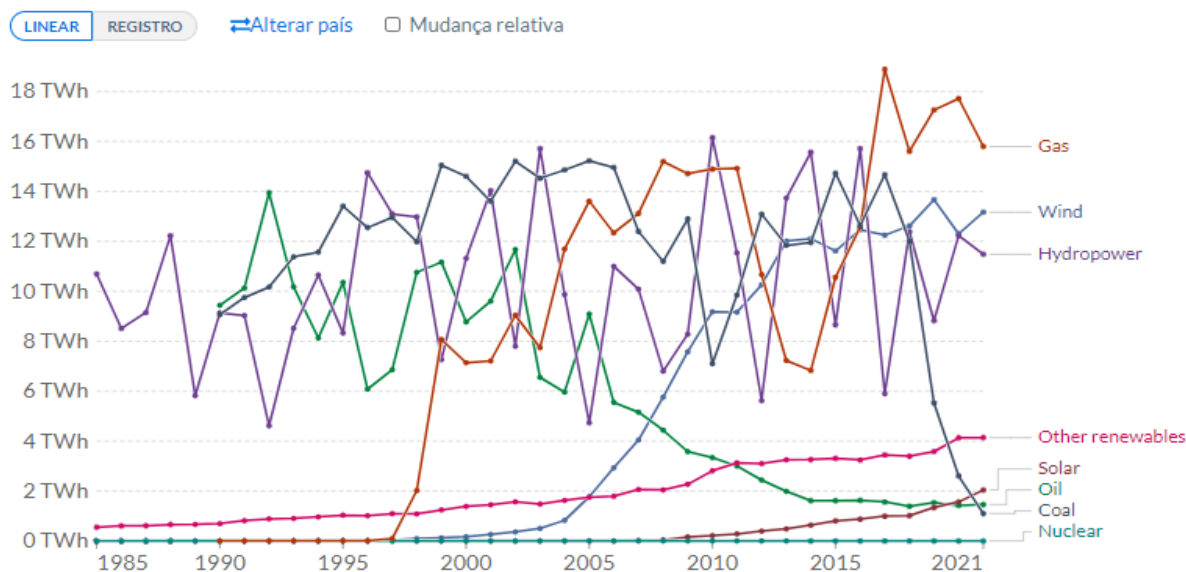


Figura 3.6- Produção de eletricidade por fonte – Portugal (Our World in Data, 2022).

Pode-se afirmar que esta produção está muito aquém das capacidades de Portugal, embora acima da meta estipulada. Segundo a Diretiva Europeia para o uso de energias a partir de fontes renováveis, Portugal deveria, até ao final de 2020, atingir os 30% de energias renováveis, meta que foi ultrapassada atingindo um valor de 34%, conforme se pode constatar pela Figura 3.5 (TCE, 2019).

Atualmente Portugal tem uma potência instalada que permite produzir cerca de 2330 GWh, dividido pelas várias regiões do país. O alentejo tem um papel preponderante na capacidade instalada, sendo responsável por cerca de 53% da produção fotovoltaica em Portugal (Figura 3.7) (DGEG, 2022).

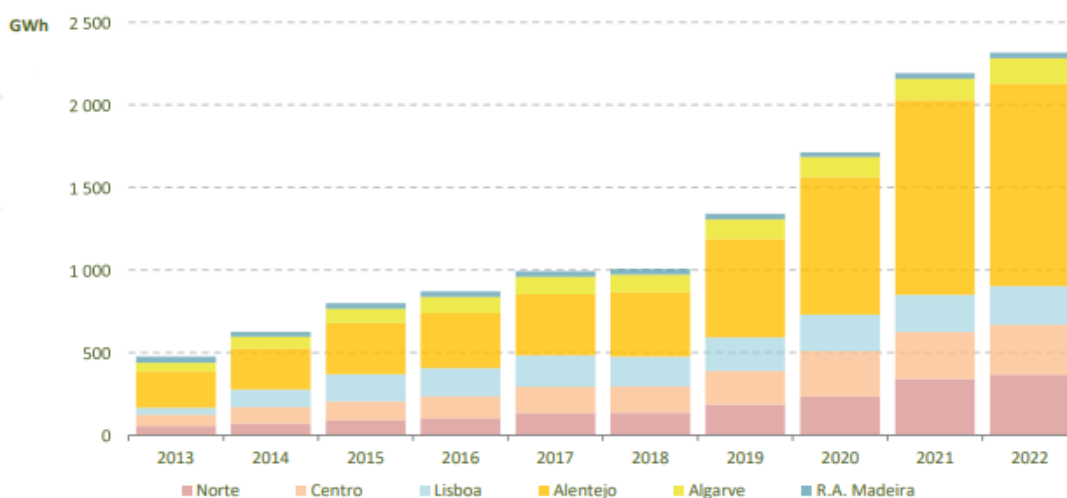


Figura 3.7- Potência instalada em Portugal, por região (DGEG, 2022).

3.2 REGULAÇÃO JURÍDICA EM PORTUGAL

Existem três tipologias de produção de energia solar:

- **Ligados à rede (on grid):** sistemas que operam simultaneamente ligados à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). Podem ser dimensionados de forma a diminuir ou eliminar o consumo da RESP e devem ser dimensionados para uma potência aproximada da potência contratada pelo consumidor, conforme Decreto-Lei n.º 162/2019.
- **Isolados da rede (off grid):** sistemas que operam em locais onde não exista possibilidade de ligação à RESP. Estes sistemas surgem como uma ótima opção para locais remotos onde é impossível ou muito dispendioso fazer chegar à RESP e assim satisfazer as necessidades de energia elétrica. Por exemplo uma bomba de água em local remoto que poderá ser operada a partir da energia gerada por estes sistemas, acumulando em reservatórios para posterior uso.
- **Híbridos:** são sistemas que podem operar on grid ou off grid conforme a necessidade, servem, por exemplo, para colmatar as necessidades de energia elétrica onde a RESP não consegue disponibilizar a mesma. Método usado com ligação a uma ou mais racks de baterias onde armazena energia para uso em alturas de maior necessidade e onde a RESP não consegue disponibilizar energia. Esta não disponibilização de energia pode ser por falta de potência disponível ou em interrupções de serviço por parte da RESP.

Em Portugal estão considerados e legisladas dois sistemas para instalação de sistemas solares fotovoltaicos.

- Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC);
- Unidades de Pequena Produção (UPP), que aglomeraram as antigas Microprodução e Miniprodução.

As UPAC são sistemas para autoconsumidores, individuais ou coletivos, como as Comunidades de Energia Renovável (CER), onde o autoconsumidor tem o direito de produzir energia numa ou mais UPAC e para uma ou mais Instalações de Utilização (IU). Neste sistema a energia remanescente do autoconsumo pode ou não ser transacionada em mercado organizado ou bilateral, incluindo através de contrato de aquisição de energia renovável, através do participante no mercado contra o pagamento de um preço acordado entre as partes, ou ainda por um facilitador de mercado. Estas unidades regem-se por um regime jurídico, que obriga a determinadas deliberações, conforme a potência instalada.

Regido pelo [Decreto-Lei n.º 162/2019](#) , alterado pelo [Decreto-Lei n.º 15/2022](#) em alguns artigos, as unidades com potências:

- **UPAC < 700 W** – não carecem de registo ou controlo prévio;
- **700 W < UPAC < 30 kW** – está sujeita a mera comunicação prévia;

- **30 kW < UPAC < 1 MW** – está sujeita a registo prévio para a instalação da UPAC e a certificado de exploração, nos termos dos números 2, 3, 4, 5 e 9 do artigo 27.º-B e do artigo 27.º-C do [Decreto-Lei n.º 172/2006](#), de 23 de agosto, na sua redação atual, devendo o despacho a que se refere o artigo 27.º-B do mesmo decreto-lei conter as especificidades decorrentes do regime objeto do presente decreto-lei;
- **UPAC > 1 MW** – está sujeita a atribuição de licença de produção e de exploração, nos termos dos artigos 8.º e seguintes do [Decreto-Lei n.º 172/2006](#), de 23 de agosto, na sua atual redação.

As UPP são sistemas para produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renovável, baseada numa só tecnologia, onde delas podem usufruir particulares, condomínios e empresas. Podem ter uma potência instalada até 1 MW e são destinadas à venda total de energia à RESP e para poderem operar terão de se sujeitar a um registo prévio conjuntamente com uma obtenção de licença de exploração. O seu regime jurídico está estabelecido pelo [Decreto-Lei n.º 76/2019](#).

3.3 CÉLULA SOLAR (FOTOVOLTAICA)

Uma célula solar, também conhecida como célula fotovoltaica, onde “foto” vem do grego (phos), que significa luz e “volt” a unidade de força eletromotriz, que por sua vez provem do sobrenome do físico-químico Alessandro Volta, inventor da pilha.

É um dispositivo que converte diretamente a energia da luz solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico. Embora a sua eficiência seja baixa, tem sido significativamente melhorada e os custos associados à sua produção reduzidos, fatores importantes para se tornar numa fonte de energia mais atrativa para os investidores.

A célula solar de silício cristalino é usada na maior parte dos tipos de células solares disponíveis no mercado, representando cerca de 90% da produção mundial (Tatsuo Saga 2010).

O silício é material mais comum usado na sua construção, embora de três distintas formas:

- Células de silício monocristalino – constituídas por um único cristal de silício, normalmente fabricada com recurso ao processo Czocharlski. São mais eficientes, mas necessitam de uma considerável quantidade de energia para o seu processo de fabricação, o que as torna mais dispendiosas em relação às policristalinas (Figura 3.8 – (b) e (d));
- Células de silício policristalino – constituídas por um conjunto de cristais de silício, com um rendimento inferior às células monocristalinas, devido ao maior número de impurezas. O seu processo de fabricação é mais simples e menos dispendioso o que leva a uma maior utilização no mercado das energias renováveis. Nos últimos anos as evoluções nos processos de fabrico levaram a uma aproximação ao desempenho das

células monocristalinas, tornando-as as de maior representação nos mercados internacionais (Figura 3.8 – (a) e (c));

- Células de silício amorfo – embora sejam as mais baratas de produzir a sua eficiência é muito baixa e facilmente deterioradas pela constante exposição solar, são vulgarmente usadas em pequenos aplicativos solares como relógios ou calculadoras (Figura 3.9);
- Células solares PERC “Passivated Emitter and Rear Contact” que significa “emissor passivo e contacto traseiro” ou “célula traseira” são células que vieram potenciar as células tradicionais de silício. A aditivação de uma camada adicional na parte traseira das células permite que mais luz seja capturada e transformada em eletricidade, tornando-as mais eficientes em relação às células tradicionais. Esta camada de passivação dielétrica vai potenciar a eficiência das células solares, através da reflexão da luz não absorvida, para uma segunda tentativa de absorção desta mesma luz. Além deste fenómeno, esta camada adicional também reflete comprimentos de onda que acumulam calor, que têm como objetivo baixar a temperatura das células e, conseqüentemente, melhorar a eficiência destas.
- Esta tecnologia vem aumentar a competitividade da energia solar. A sua construção, por parte dos fabricantes não requer grandes investimentos em alteração à produção das células tradicionais, visto que no processo de fabrico só existirá o incremento de adicionar mais uma camada de material dielétrico, o qual não trará grandes investimentos (EcoGreenEnergy, 2021);
- Células solares half-cut (meio cortadas, tradução direta), assim como as células PERC esta técnica veio como melhoria para as células tradicionais, com intuito de aumentar a eficiência alguns pontos percentuais. As células meio cortadas são mesmo o que o nome sugere e são fisicamente cortadas ao meio com recurso a um laser. Ao serem cortadas reduzem o seu tamanho para metade que melhora a durabilidade, devido a uma menor probabilidade de rachadelas ao longo do tempo. Esta técnica permite ainda aumentar a eficiência no campo resistivo, isto é, ao reduzir para metade o seu tamanho, também reduzem o fluxo de corrente que por elas circula para metade, esta ação melhora as condições resistivas e logo melhor desempenho nas perdas resistivas. Também conseguem melhorar o desempenho no sombreamento parcial de um painel fotovoltaico, ou seja, se existir um sombreamento em algumas células de um painel, estas não irão conseguir produzir e conseqüentemente todas as que estiverem ligadas em série com essas mesmas células. Ao reduzir o tamanho a fiação também é alterada, num esquema série-paralelo que reduz significativamente a redução drástica de produção em caso de um sombreamento parcial de um painel.
 - Um exemplo: um painel de 60 células solares ligadas em grupos de 20 células em série e um paralelo dos 3 grupos de 20 células, se uma dessas células for sombreada, toda a sua série, (total de 20 em 60) ficará sem produzir, o que será uma perda significativa de produção, cerca de 33.(3)%. No caso das células “half cut” este mesmo exemplo passaria a ter o dobro das células (120) e o dobro das ligações em paralelo (6), assim o sombreamento de uma célula só provocaria a perda de produção em uma string de 20 células em 120 existentes, o que seria uma redução de 16.(6)% de produção.



Figura 3.8- Células e Módulos Mono e Policristalinos (AE-Solar, 2022).

- Legenda da Figura 3.8:
 - a) Célula Solar Policristalina;
 - b) Célula Solar Monocristalina;
 - c) Módulo Solar Policristalino;
 - d) Módulo Solar Monocristalino.

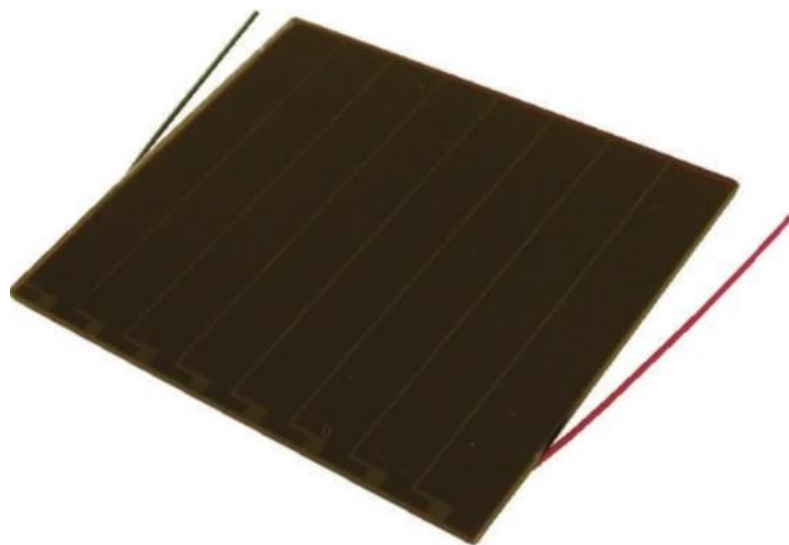


Figura 3.9- Célula Silício Amorfo (RS, 2022).

- Alguns outros materiais e técnicas usadas são o arsenieto de gálio (GaAs). O arsenieto de gálio é altamente eficaz como semicondutor, traduzindo-se numa boa eficiência energética, pese o facto de que a sua produção é bastante cara e ainda traria problemas ambientais, devido ao arsénico e as suas propriedades venenosas (Figura 3.10).

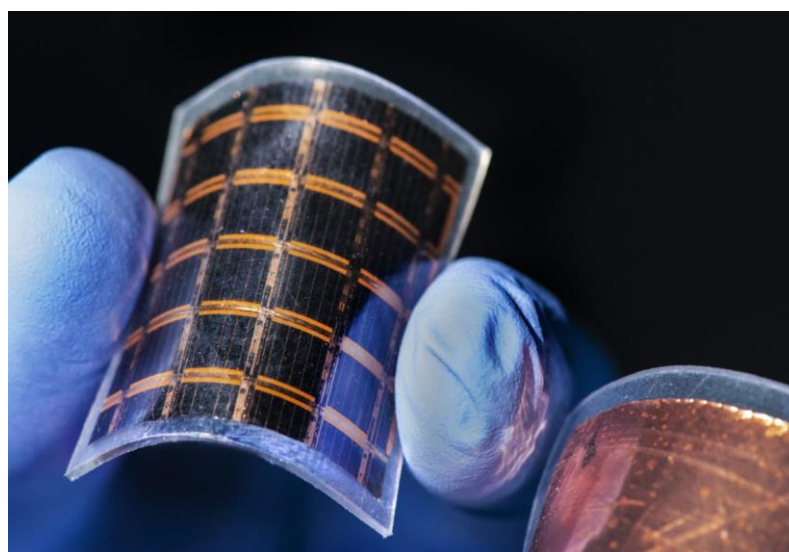


Figura 3.10- Célula GaAs (Mark Hutchins, 2019).

- O telureto de cádmio (CdTe) é outra técnica disponível e desenvolvida em filme fino, onde um dos elementos, o cádmio também gera preocupações ambientais devido às suas propriedades tóxicas. Estas preocupações poderiam ser mitigadas através da reciclagem dos seus módulos no final do seu ciclo de vida. A sua produção é relativamente barata e requer um processo industrial de fabricação mais simples e menos poluente, o que coloca esta tecnologia como uma das com menor pegada de carbono no seu ciclo de vida (Figura 3.11).

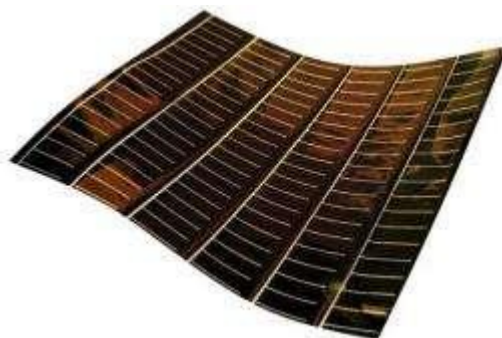


Figura 3.11- Módulo solar CdTe (PHYSORG, 2011).

- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CGIS), tecnologia que recorre também ao filme fino e que contém menos cádmio, (elemento tóxico). Estes painéis melhoram a eficiência em relação aos de telureto de cádmio (Figura 3.12).

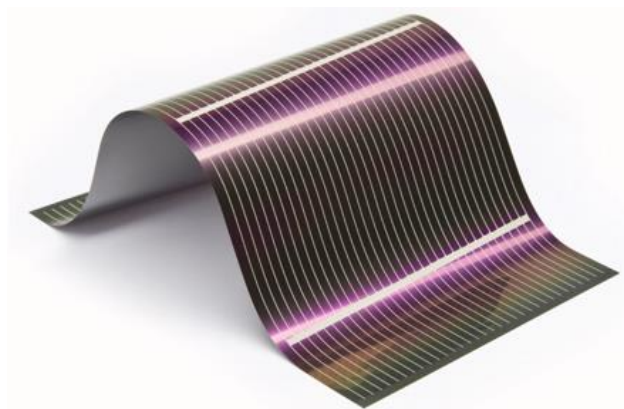


Figura 3.12- Módulo solar CIS/CGIS (ITWissen, 2022).

3.4 PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Um painel fotovoltaico passa por vários processos individuais, utilizando vários materiais até à sua completa montagem. A parte mais importante e dispendiosa, (cerca de 60%) de um painel fotovoltaico é a célula solar e são usadas várias em série para obter a tensão e potências desejadas. Os mais usuais são compostos por 36, 60 ou 72 células em série (strings). Visto que uma célula tem uma queda de tensão de cerca de 0.5 V, a tensão nominal de cada tipologia será o produto do número de células pela tensão de cada célula, ou seja, de 18, 30 ou 36 V, respetivamente. Estes valores podem variar de fabricante para fabricante e cada um destes terá de apresentar os dados técnicos dos seus equipamentos.

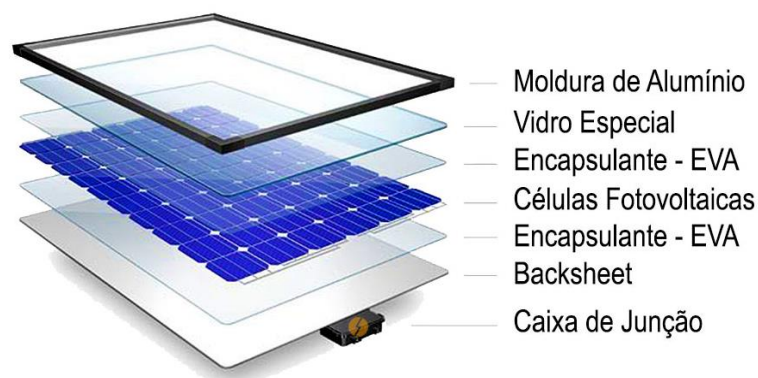


Figura 3.13- Vista por camadas de um Painel Solar (Portal Solar, 2022).

Na Figura 3.13 pode ser observado um painel fotovoltaico tradicional, composto por células solares de silício e todos os seus principais componentes.

Legenda da Figura 3.13:

- Moldura de Alumínio - À volta de um painel fotovoltaico é colocada um aro em alumínio anodizado especialmente desenvolvido para adicionar propriedades mecânicas, que através de uma sólida robustez garante a integridade do painel solar nas mais adversas situações. Este aro representa cerca de 8% do valor final de um painel solar;
- Vidro Especial - O vidro usado na construção de um painel s fotovoltaico não é um vidro comum, é um vidro especial, ultra puro e com baixo teor de ferro, desenvolvido especialmente para evitar a reflexão e garantir a entrada da maior quantidade de luz possível. É um vidro temperado com 3, 2 a 4 mm de espessura revestido com uma substância anti refletiva. São construídos de forma a resistir às mais fortes chuvas e inclusive granizo. Este elemento representa cerca de 10% do custo final do painel fotovoltaico;
- Encapsulante (EVA) - O encapsulante é um filme que envolve as células solares, atuando como um selante com o intuito de as proteger contra o envelhecimento causado pelos raios ultra violeta, temperaturas extremas e humidade, assegurando que o máximo de luz visível atinga as células solares. É tradicionalmente conhecido com o EVA e é composto por acetato-vinilo de etileno, (que deriva do inglês: Ethylene Vinyl Acetat). Aproximadamente 8% do custo final de um painel fotovoltaico é associado a este componente;
- Células Fotovoltaicas - Elemento fundamental de um painel fotovoltaico, onde os outros componentes, pertencentes à composição de um painel, são projetados para proteger e potenciar estas. São muito frágeis e precisam de ser manuseadas com extremo cuidado;

- Backsheet - De composição robusta em forma de filme feita de plástico com a função principal de agir como isolante elétrico e ainda ajudar na proteção das células solares. O seu peso no preço final de um painel fotovoltaico é de 8%;
- Caixa de Junção - A caixa de junção vai servir para receber a fiação proveniente das strings de células solares e servir de interligação com outros painéis fotovoltaicos. Fica localizada na parte de trás do painel, onde normalmente é colada e fixa com silicone ou fita de dupla face. Possui díodos bypass que vão garantir a segurança e o bom funcionamento do painel fotovoltaico. Possuem ainda cabos com conectores para realizar interligação com outros painéis e realizar a string de painéis que serão ligados ao inversor. Nesta caixa de junção é onde são normalmente instalados os díodos bypass. Devido à sua exposição à intempérie, devem ter um grau de proteção mínimo de IP65, embora o ideal é que seja superior para uma maior durabilidade (Portal Solar, 2022).
- Díodo by-pass - Um dos problemas que afetam o rendimento dos painéis fotovoltaicos na sua utilização é o sombreamento provocado por elementos naturais e/ou elementos físicos artificiais, existentes e/ou instalados perto da instalação desta tecnologia. Elementos naturais ou não como árvores, linhas de média/alta tensão, antenas, outros edifícios ou mesmo a própria geografia do local podem provocar este sombreamento e retirar eficiência ao sistema solar implementado. Os painéis fotovoltaicos são sensíveis ao sombreamento e além do rendimento, pode mesmo provocar a sua destruição. Num exemplo, para melhor perceção do tema é esquematizado na Figura 3.14, um painel com 60 células solares ligadas em 3 grupos de uma série de 20 onde existir sombreamento numa só célula, essa mesma célula irá deixar de produzir, assim como toda a série de 20 células onde está inserida. Além do rendimento perdido, existe outro fenómeno que será o que poderá acelerar e/ou provocar mesmo a destruição do painel. Este fenómeno conhecido como *ponto quente* é provocado pela polarização inversa da célula sombreada. Para evitar este fenómeno são instalados díodos de by-pass. O ideal seria um díodo por célula, mas seria muito dispendioso, sendo assim são colocados em conjuntos de células. Os díodos by-pass permitem que a corrente das células não sombreadas contorne as células sombreadas, evitando os pontos quentes que se possam criar, protegendo assim as células de destruição e minimizando a perda de eficiência por sombreamento.

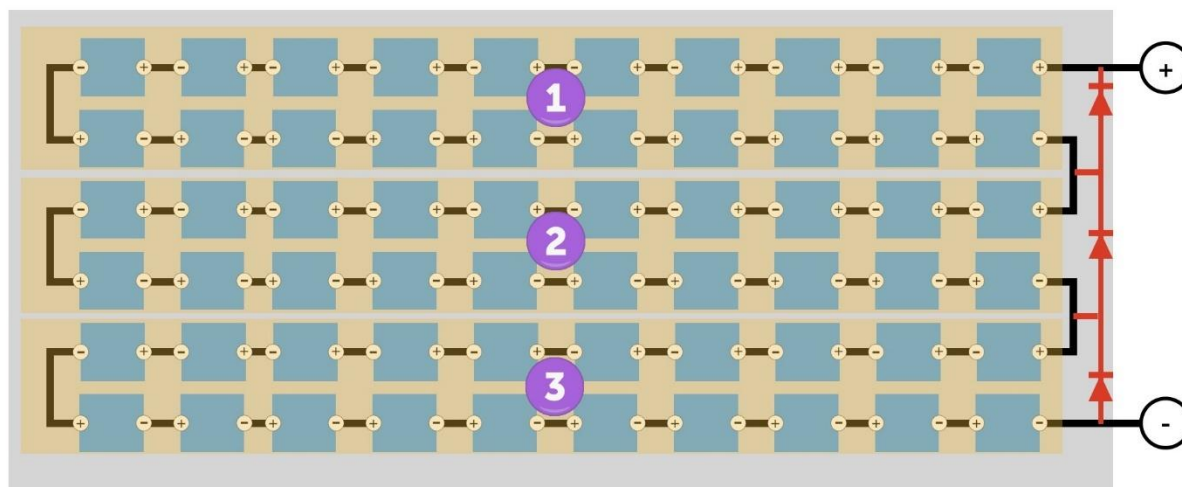


Figura 3.14- Esquema de ligação de células e díodos num painel fotovoltaico (energysage, 2018).

A eficiência do painel fotovoltaico é uma medida da irradiação que incide na superfície do painel que é convertida em energia elétrica. Devido aos desenvolvimentos dos últimos anos a eficiência média de um painel aumentou consideravelmente e é calculada com recurso à seguinte fórmula:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{P_{\text{máx}}}{\text{Área} \cdot 1000 \text{ W/m}^2} * 100 \quad (3.1)$$

Para o correto uso temporal desta tecnologia será necessário calcular também a degradação dos painéis fotovoltaicos ao longo do tempo do seu ciclo de vida. Neste campo as taxas de degradação serão diferentes nas várias tecnologias, assim como os locais de instalação também serão parte integrante desta mesma degradação. Os valores são residuais, mas convém ter em conta, a BELL Solar & Electric Systems, baseada em estudos realizados pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos EUA, estabelece um valor compreendido entre 0.5 a 0.8% ao ano. Certamente que este não vai ser um fator impeditivo para aquisição destes sistemas, pois a maioria dos fabricantes dão garantias de pelo menos 25 anos onde garantem que os seus painéis ainda mantêm cerca de 80% da sua eficiência. Além da degradação ao longo dos anos, também deve ser considerada a degradação induzida pela luz, que ocorre quando o revestimento de boro dos painéis oxida, criando um embaciamento parcial que pode ir 1 a 3% de perda na eficiência dos painéis. Esta perda dá-se nas primeiras horas de exposição solar dos painéis e não progride além desse ponto (Alexia Cooper, 2020).

3.5 INVERSORES SOLARES - CC-CA

Os inversores usados nos sistemas solares fotovoltaicos têm um papel preponderante, nestes mesmos sistemas de energia, quase tanto como os próprios painéis fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos produzem energia em corrente contínua (CC) que precisa de ser

convertida em corrente alternada (CA), assim como ajustar a frequência, em compatibilidade com o sistema elétrico onde vão ser instalados. Ou seja, usando Portugal e a sua RESP como referência, o inversor terá de converter a corrente contínua produzida pelos painéis para uma tensão simples de 230 V e/ou composta de 400 V, conforme as instalações sejam monofásicas ou trifásicas, a uma frequência de 50 Hz.

Existem vários tipos de inversores para acoplar ao tipo de sistema solar desejado e/ou necessário:

- Inversor “On-Grid” – para sistemas conectados à RESP;
- Inversor “Off-Grid” – para sistemas desconectados total ou parcialmente da RESP.

Dentro destas tipologias e, para o método de utilização que vai ser usado no sistema fotovoltaico a instalar, existem várias variantes de inversores. Os mais usados:

- Micro inversores – podem ser aplicados diretamente nos painéis fotovoltaicos, onde será instalado um inversor por painel. Este método poderá aumentar a eficiência, mas também aumenta o custo de instalação, o que se revela uma desvantagem. Tem vantagens no aspeto da eficiência porque, se por algum motivo um painel estiver com uma produção reduzida ou mesmo nula, somente a potência de geração deste será uma perda no sistema, enquanto num inversor com ligação a uma ou mais strings isto não acontecerá (Figura 3.15).

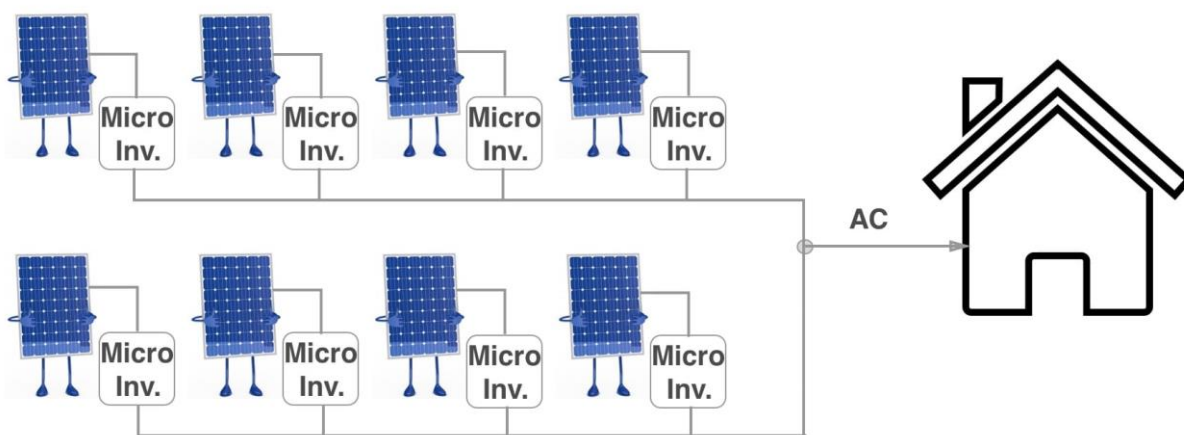


Figura 3.15- Exemplo de um esquema com recurso a micro inversores (Cyanergy, 2022).

- Inversor de string – são equipamentos destinados a “receber” uma ou mais ligações a strings de painéis fotovoltaicos, adequando à potência da(s) string(s) à potência que o inversor pode suportar (Figura 3.16). Este tipo de inversor poderá ficar menos dispendioso que a conjugação de micro inversores por painel, o que é uma vantagem, mas tem como desvantagem o facto de que se um painel estiver com problemas técnicos ou de sombreamento, a eficiência baixa em toda a string onde esse painel estiver alocado, representando uma perda de eficiência significativa (Figura 3.17).

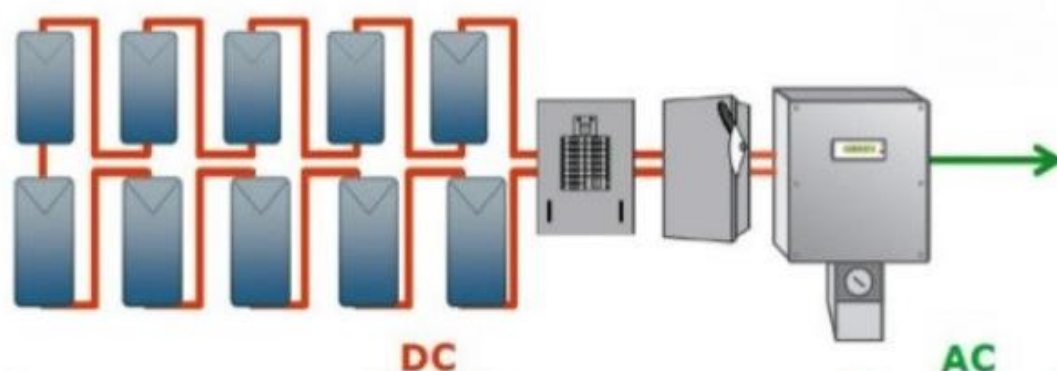


Figura 3.16- Exemplo de um esquema com recurso a inversores de string (Utsho Arefin et al, 2016).

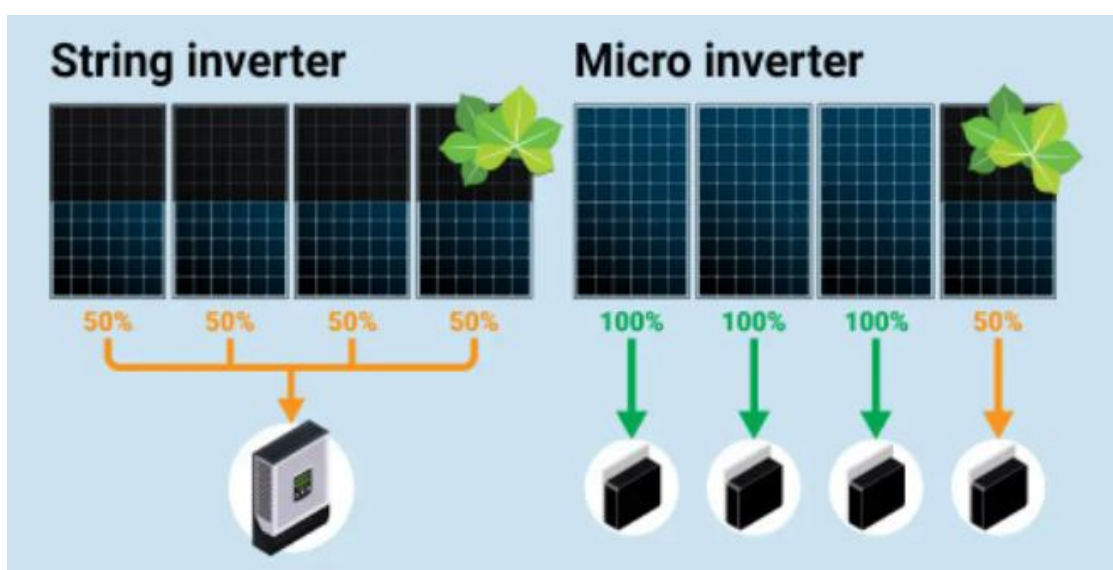


Figura 3.17- Micro inversor VS Inversor de string (SolarReviews, 2021).

- Inversor híbrido – este tipo de inversor permite, além da ligação de strings de painéis fotovoltaicos, a ligação de racks de baterias para armazenamento de energia. Tem a vantagem de dar a possibilidade de sobre dimensionar o sistema solar, com vista ao armazenamento de energia para uma utilização posterior à produção.



Figura 3.18- Sistema solar híbrido (Cyanergy, 2022).

Os inversores possuem um ou mais controladores CC-CC para melhorar a eficiência do sistema solar, o MPPT, que vem do inglês “Maximum Power Point Tracking”, é um sistema de rastreamento do ponto de potência máxima. É um controlador de carga que otimiza a ligação entre os painéis fotovoltaicos e a bateria e/ou a rede elétrica. É o ponto, na curva da corrente e tensão que cruza os dois valores para que o seu produto seja o maior valor absoluto possível, que é a potência que será transmitida ao sistema solar (Figura 3.19). O MPPT irá monitorizar os painéis fotovoltaicos para este ponto de potência máxima e regulará a tensão e/ou a corrente de forma a manter a maior potência possível para o sistema onde está integrado.

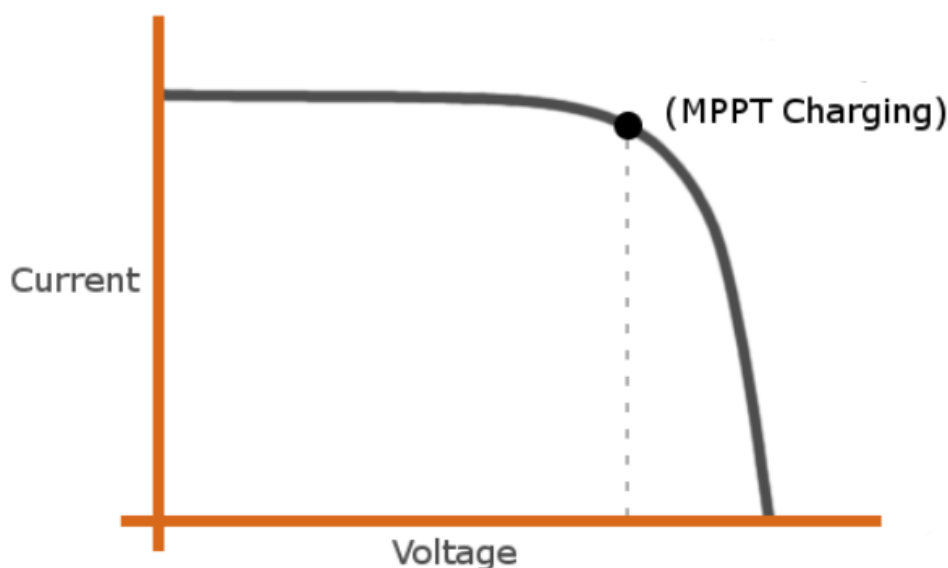


Figura 3.19- Curva I-V de um sistema solar (renvu, 2022).

3.6 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Um dos problemas da energia solar é que a sua produção só pode ser efetuada nos períodos em que há sol e por vezes existe excedente que não é aproveitado, reduzindo assim a eficiência do sistema solar. Existem vários cenários em que a inclusão de baterias num sistema solar pode ser vantajoso ou mesmo a única maneira de operar o mesmo, isto é, por exemplo numa zona remota em que é necessária energia elétrica para iluminação, durante a produção do sistema a energia produzida não é necessária, mas será durante a noite. Neste caso a produção realizada durante o dia pode ser armazenada em baterias e consumida no período da noite. Também poderão ser vantajosas num sistema híbrido, em que o dono da instalação não pretenda vender o excedente ao comercializador de rede, pode realizar este armazenamento do excedente durante as horas de produção para consumir fora delas.

A instalação de baterias para armazenamento tem crescido como parte integrante destes sistemas, devido ao seu melhor desempenho, durabilidade e competitividade económica. Para se conseguir rentabilizar um sistema solar a escolha das baterias é fundamental, mas o que é uma boa escolha de baterias? Para se obter uma resposta a esta pergunta, têm de se avaliar certos aspetos:

- Ser tolerante a carregamentos intermitentes;

- Boa taxa de durabilidade (número de ciclos elevado);
- Com um potência considerável;
- Seguras;
- Robustas e compactas;
- Economicamente viáveis.

Para chegarem a este ponto, as baterias ainda têm de ser mais desenvolvidas, do que atualmente estão, embora a sua tecnologia tenha sido amplamente desenvolvida nas últimas décadas e em linha com novas sinergias mundiais. Qualquer das formas, hoje em dia e num sistema solar doméstico de auto consumo, tendo por exemplo, ainda será bastante dispendioso e terá um período de recuperação de investimento muito longo e pouco atrativo.

Existem vários tipos de baterias:

- Baterias de chumbo-ácido – uma das mais antigas tecnologias de baterias que têm como vantagens o seu custo, resistência a cargas de grande potência, resistentes ao frio e seguras. Tem como desvantagens a seu baixo ciclo de vida, não suporta carregamentos rápidos, pouco compactas, pesadas e com baixa tolerância a carregamentos/descarregamentos intermitentes.
- Baterias de íões de lítio – uma tecnologia mais recente que chegou aos mercados por volta dos anos 90. Como vantagens têm o facto de terem uma grande capacidade de armazenamento, toleram carregamentos/descarregamentos intermitentes, fornecem potência considerável, leves e tolerantes a altas temperaturas, embora menos tolerantes a baixas temperaturas. A sua vida útil é boa com desempenhos entre os 5 - 6 mil ciclos de carga/descarga.

Dentro da tipologia de baterias apresentadas ainda existem variantes que obtêm melhores valores em alguns aspetos e piores noutros. Também existem outros tipos de baterias em desenvolvimento para instalar e adicionar valor aos sistemas solares.

As baterias, devido à sua construção, ao seu tamanho e à sua potência são assembladas em racks com vários módulos e elementos (Figura 3.20).



Figura 3.20- Vários tipos de racks de baterias (PV Magazine, 2022).

4 CASO DE ESTUDO

Neste capítulo apresentam-se as necessidades e desenvolvem-se soluções para o caso em estudo que é o cerne do projeto. As necessidades passam por dotar de um aumento de potência disponível, as instalações da habitação por impossibilidade por parte da RESP. Além desta necessidade e, paralelamente, dotar as instalações de energias renováveis, para diminuição da fatura da energia elétrica da habitação suprarreferida, tornando assim a habitação mais sustentável e viável a nível financeiro.

4.1 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A instalação em estudo é uma habitação residencial particular de tipologia M4, moradia unifamiliar isolada (Figura 4.1).

Com uma potência instalada de 6.9 kVA, em regime monofásico. A potência instalada é a máxima disponibilizada pelo distribuidor de rede para o local e a qual está abaixo das necessidades de consumo do consumidor em questão.

A habitação é a última fração a ser alimentada pelo troço de distribuição disponível, e, consequentemente a que mais dista do Posto de Transformação que alimenta aquela zona.

O consumidor requereu um aumento de potência e a possibilidade de alterar a instalação para trifásica, a qual foi indeferida por impossibilidade da distribuição de potência disponível no local.



Figura 4.1- Foto aérea da habitação caso de estudo.

Se existe uma desvantagem na produção da energia elétrica através da Energia Solar, por parte de consumidores particulares e, nomeadamente para as suas habitações, ela é a de quando há sol e a consequente produção de energia, a necessidade de consumo é muito menor, ou quase nula, em relação a períodos fora dos picos de produção. A habitação em estudo não é diferente e tem um diagrama de cargas, com consumos registados, diferentes dos períodos de possível produção por parte de um sistema solar fotovoltaico.

A solução para tentar mitigar a necessidade de potência elétrica, será um sistema solar híbrido, dotando as instalações com racks de baterias para armazenamento de energia. Assim, durante o horário de produção, as baterias farão o armazenamento de energia, energia esta que poderá ser usada nos períodos com maior necessidade de consumo.

4.2 INSTALAÇÃO E DIAGRAMA DE CARGAS

Sendo uma habitação não consumidora de gás, todos os equipamentos consumidores de energia, são alimentados por energia elétrica. Para as águas quente sanitárias (AQS), a habitação está equipada com uma instalação de coletores térmicos (energia solar térmica) com apoio elétrico e a climatização é efetuada através de aparelhos de ar condicionado, do tipo multisplit.

Equipamentos elétricos com maior relevo de consumo:

- Forno elétrico – 3380 W;
- Placa de indução – 2*2300 W;
- Apoio elétrico AQS – 2000 W;
- Bombas elevatórias de águas residuais – 2*1500 W;
- Veículos elétricos – capacidade útil das baterias – 1*75 kW e 1*50 kW;
- Aparelhos de ar condicionado – 2*11200 W.

Para obter um perfil de consumo da habitação, foi inserido na instalação um analisador de rede elétrica, gentilmente cedido pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC).

Os dados extraídos datam do dia 28 de janeiro de 2022 ao dia 7 de fevereiro do mesmo ano. Realizando uma análise centrada nos dias 29 e 30, podem ser constatados factos das dificuldades de um bom indicador de qualidade de energia.

Na Figura 4.2 constata-se que a linha do valor de tensão tem muitos picos de queda de tensão, para valores fora do ideal de alimentação de uma instalação elétrica desta tipologia. Embora o valor médio esteja em valores dentro de recomendado, as quedas de tensão chegaram a atingir um mínimo de 207.8 V, o que está bastante abaixo dos valores ideais.

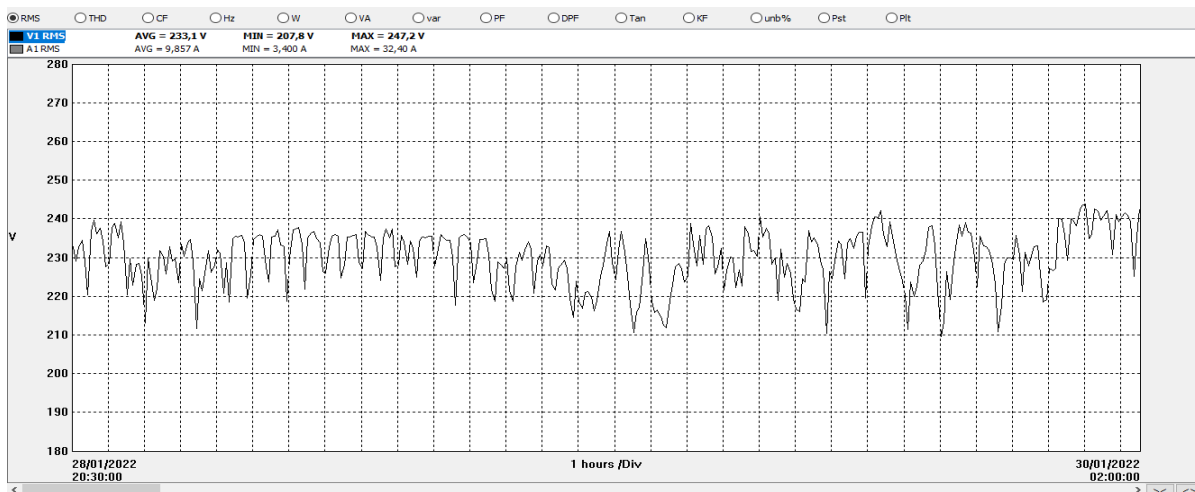


Figura 4.2- Valores de tensão extraídos com recurso a um analisador de energia.

Estas quedas de tensão devem-se ao perfil de consumo e estão inversamente proporcionais às variações de consumo da instalação, ou seja, quando o consumo da instalação aumenta significativamente, a tensão baixa para valores fora do ideal (Figura 4.3). Como o aumento desta potência está dentro dos limites de potência contratada, só pode ser constatado o facto de que a RESP não tem disponibilidade para fornecer potência à instalação, dentro de valores aceitáveis e daí estar abaixo dos indicadores de qualidade exigidos. Não centrado o tema nesta questão, pois não é o tema deste trabalho, foi fundamental processar e analisar estes factos para dimensionar o sistema solar, de forma a mitigar estes problemas de fornecimento de energia, por parte do distribuidor da RESP.

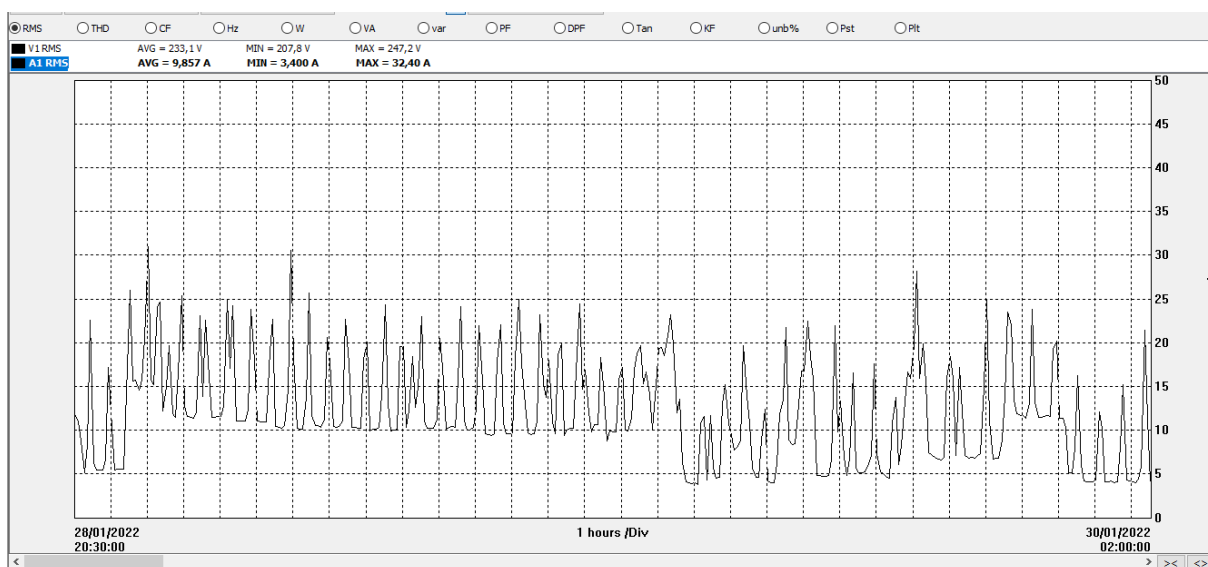


Figura 4.3- Consumos da instalação, em amperes, coincidentes com horário da figura 4.2.

Ao sobrepor estas duas imagens (Figura 4.2 e Figura 4.3) numa só Figura 4.4, cruzando os valores da corrente consumida e tensão de alimentação, podem ser observados os factos supra referenciados, de, quando o consumo aumenta, a tensão cai.

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

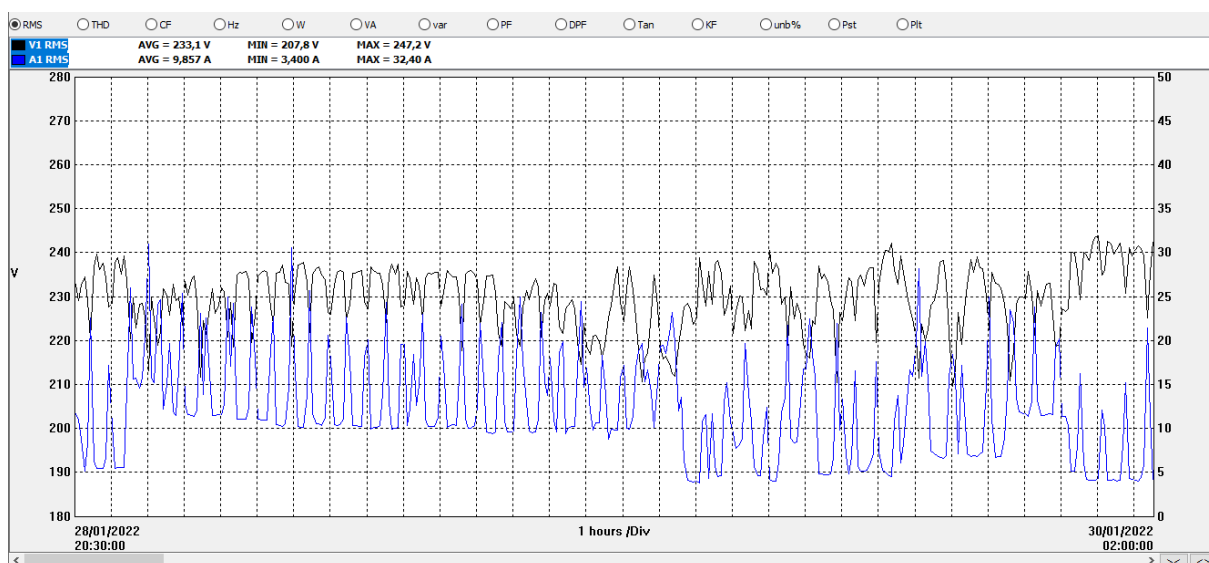


Figura 4.4- Consumos de corrente cruzados com valores de tensão.

Devido a estes acontecimentos, e, se fosse analisado um determinado equipamento elétrico, certamente iria ter, para uma linha de potência constante, diferentes valores de corrente.

Exemplo:

Pela fórmula da potência:

$$P = VI \cos \varphi \quad [\text{W}] \quad (4.1)$$

- Um equipamento com uma potência de 2300 W, com $\cos \varphi = 1$:

$$2300 = VI;$$

- Para uma tensão de 230 V:

$$2300 = 230I \Leftrightarrow I = \frac{2300}{230} \Leftrightarrow I = 10 \text{ A};$$

- Para uma tensão de 210 V:

$$2300 = 210I \Leftrightarrow I = \frac{2300}{210} \Leftrightarrow I = 11 \text{ A};$$

Numa primeira análise e pensando em termos de corrente consumida poderia levar a uma ideia de que a fatura da energia poderia ter alteração devidos a este fenómeno. Isso não acontecerá, porque a energia é faturada com base na potência, e, neste exemplo em concreto e se o aparelho, (hipoteticamente e para facilitar a análise), funcionasse durante uma hora, iria consumir em ambos os casos 2.3 kWh e seria esse o valor a considerar para faturação.

Para alguns equipamentos pode não ser muito relevante este facto mas para outros, estes fenómenos podem causar danos irreversíveis nos mesmos. Um exemplo são os equipamentos de refrigeração, como por exemplo arcaas, frigoríficos e aparelhos de ar condicionado, que estas flutuações de tensão são pouco saudáveis. Atualmente alguns destes equipamentos estão munidos de sistemas de proteção contra estes fenómenos e desligam-se quando a tensão é inferior a um determinado valor. Esta ação por um lado é satisfatória pois previne danos, mas por outro lado, sendo o rearme manual, causa algum transtorno aos utilizadores. Um exemplo do referido pode ser dado por uma noite de inverno, com os

aparelhos de ar condicionado ligados para aquecimento da habitação, a tensão desce e os aparelhos vão ser desligados por proteção, os habitantes estão a dormir e não vão fazer o rearme manual, levando a uma descida da temperatura da habitação, provocando desconfortos desnecessários. No caso de frigoríficos e arcas que não estão protegidas contra estes fenómenos, é garantido que a sua vida útil será reduzida consideravelmente. No caso da habitação alvo deste estudo ainda existem carros elétricos e seus respetivos carregadores. Para conseguir um carregamento com a potência disponível, muitas das vezes precisa de uma noite inteira ou mais, conforme nível de descarga das baterias. No caso de uma queda de tensão abaixo de valores aceitáveis o carregador provoca uma paragem, só rearmando automaticamente passadas algumas horas (3 a 4 horas), causando transtornos graves por não carregar a bateria do veículo. Esta ação poderá ser melhorada nos seus tempos por uma ação manual do utilizador, mas como o carregamento é noturno grande parte das vezes essa mesma ação não será possível de ser realizada manualmente.

Concluindo este subcapítulo, um dado adquirido é que a instalação necessita de uma maior potência de alimentação para fazer frente à potência de instalada. Não considerando as vantagens e obrigações de consumo de energia renovável, por uma maior sustentabilidade dos recursos naturais, a instalação de um sistema solar trará certamente vantagens de mitigação dos problemas de fornecimento de energia, por parte da RESP, e, obviamente uma redução significativa na fatura da eletricidade. Também terá um papel preponderante na estabilização da tensão, algo que será abordado mais à frente neste trabalho, no subcapítulo 4.6.

4.3 CONCEITO DESENVOLVIDO

O conceito desenvolvido para a implementação deste sistema solar passou por várias etapas e baseia-se fundamentalmente na tentativa de mitigar algumas lacunas da instalação elétrica.

Os problemas de falta de potência disponível por parte da RESP alavancou algumas alterações, nomeadamente alterações com vista a mitigar esta mesma falta de potência disponível. A potência projetada para a instalação, assim como a capacidade do armazenamento de energia teve em conta fatores de falta de potência sentidos pelos utilizadores, evidenciados e analisados por equipamento próprio. Os utilizadores têm de manter uma forma de uso da potência disponível diferente da que realmente necessitam para usufruir de conforto desejado. Ou seja, muitas das vezes têm de abdicar de certos equipamentos elétricos, em prol dos mais importantes, causando desconfortos e transtornos, principalmente sendo uma família que detém ambos os veículos elétricos e que precisam de potência disponível, para serem carregados e fazerem face ao dia a dia dos mesmos.

Inicialmente foi ponderada uma maior potência instalada de painéis fotovoltaicos, a qual foi abandonada pelo facto de que este mesmo dimensionamento deve ter em conta a potência contratada e essa é baixa. No [Decreto-Lei n.º 162/2019](#) está referenciado o facto de que uma UPAC deve ter em conta a potência contratada para o seu dimensionamento, este facto foi decisivo para abandonar a potência inicialmente ponderada, que rondaria entre os 15 e 20 kW.

Além de todas as vantagens de uma instalação para produção de energia elétrica, a partir de uma fonte de energia produzida através de recursos naturais e inesgotáveis – o sol, o conceito assenta numa base de mitigação de problemas com a potência disponibilizada pela RESP.

Para esta instalação, além da resolução de alguns problemas de falta de potência também foram analisados os dados económicos e de investimento por parte do dono de obra. Será um trabalho a realizar e analisar, considerando somente a energia produzida, cruzando com dados de consumos para encontrar o Ponto de Recuperação de Investimento (PRI). Estes valores serão certamente um fator preponderante no investimento realizado. Atualmente as instalações de sistemas solares em habitações familiares deixam, no ponto de vista do autor deste trabalho, algumas lacunas indesejáveis. A produção da energia fora de horas de maior necessidade é a lacuna destes sistemas instalados e que levam a um desperdício de energia produzida e não utilizada. Existe a possibilidade de injetar na rede a energia produzida e não utilizada, obtendo dividendos dessa mesma energia, mas onde os valores são pouco interessantes. Esta possibilidade não melhora significativamente o plano de recuperação de investimento, sendo uma interação abandonada por grande parte dos investidores destes sistemas. Este sistema será desenvolvido somente para autoconsumo, abandonando qualquer iniciativa de injetar energia produzida na RESP.

A instalação de um sistema de armazenamento de energia, com recurso a baterias melhoram significativamente estes sistemas, podendo armazenar a energia produzida fora de horas do consumo da habitação, para posterior uso quando realmente é necessária. Este sistema terá implementado um sistema de armazenamento que, embora aumente significativamente o investimento inicial, conduzirá a uma redução do período de recuperação do investimento, tornando-se um investimento atrativo.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO FÍSICA DO SISTEMA SOLAR

A implementação de sistema solar carece de alguma atenção ao local a instalar por diversas adversidades, embora padeça das possibilidades envolventes aos espaços físicos existentes. Este sistema será instalado num anexo – a garagem (a amarelo na Figura 4.5).



Figura 4.5- Implementação da moradia unifamiliar.

Dentro das disponibilidades existentes de instalação foram efetuados estudos com vista a potenciar ao máximo a eficiência do sistema solar, sendo certo que, não sendo o ideal, é muito próximo da melhor disposição que pode ser efetuada.

Os painéis fotovoltaicos serão instalados a uma altura consideravelmente baixa, o que torna a sua instalação e futura manutenção acessível. Serão instalados na cobertura da garagem, de tipologia platibanda e com cerca de 60 m² de área, conforme Figura 4.6. A orientação para a instalação destes equipamentos estará próxima do ângulo perfeito - 180° em relação ao norte, com um azimute estimado de 153°. A escolha desta orientação foi realizada com recurso à orientação da garagem e para um melhor aproveitamento da área disponível. Visto serem muitas unidades e existir pouca área disponível, para orientar da melhor forma os painéis, serão realizados testes durante a instalação, para potenciar a mesma, dentro das hipóteses disponíveis para o efeito.

Sendo um sistema a integrar numa platibanda, onde serão montados em suportes, o arejamento natural irá melhorar a sua eficiência, devido à menor temperatura que os painéis fotovoltaicos atingirão. Por norma será mais fácil de obter melhores índices de não sombreamento nos sistemas montados em telhados, mas a temperatura que atingem é uma desvantagem, por perdas devido à temperatura elevada a que ficam expostos. Como anteriormente referido, os painéis podem ficar expostos a temperaturas próximas dos 70°C, com estas temperaturas os semicondutores não conseguem o mesmo rendimento, oferecendo uma maior resistência ao fluxo de energia que os percorre e este fenómeno levará a uma diminuição do rendimento do sistema solar. Ao usar suportes, que aumentam a distância a outra qualquer superfície, este rendimento não será tão afetado, melhorando significativamente as perdas de eficiência do sistema solar, alocadas a estes fenómenos de temperatura excessiva.

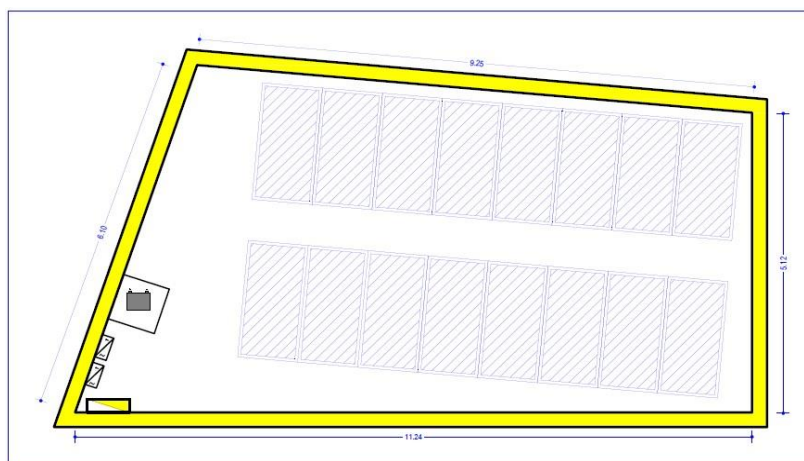


Figura 4.6- Imagem representativa da integração do sistema solar (componentes).

Para aproximar da mais correta orientação geográfica (sul) e, durante a instalação, serão realizados ajustes, onde os mesmos também terão de ter em conta outros fatores como o ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaicos em relação ao plano horizontal, evitar sombreamentos provocados de painéis para painéis e ainda o afastamento ou sobreposição dos muretes limitadores da cobertura, pelo mesmo motivo de sombreamento (Figura 4.7).

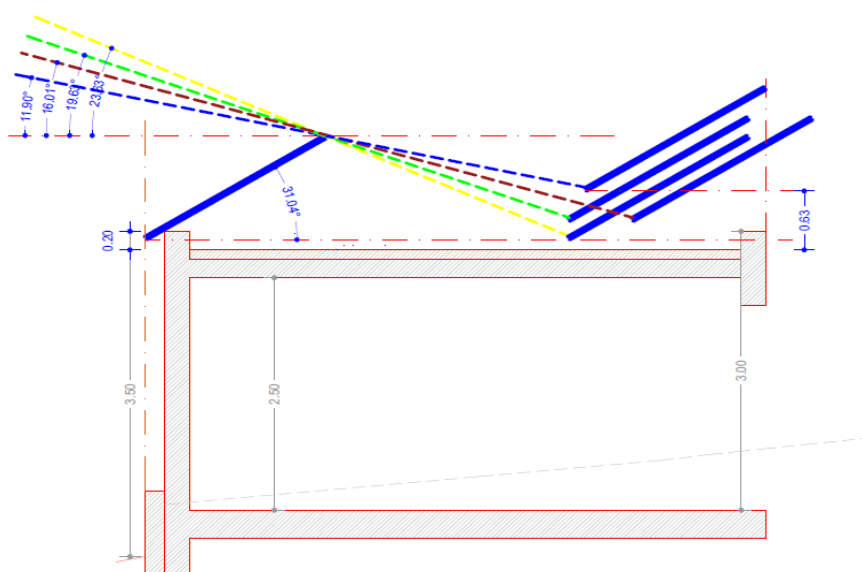


Figura 4.7- Integração dos painéis fotovoltaicos, inclinações e possíveis sombreamentos.

O sistema solar e os seus componentes de maior relevo ficarão instalados com muita proximidade uns dos outros, o que aumentará a eficiência (Figura 4.6). As menores distâncias de cabos de interligação entre todo o sistema farão com que não existam grandes perdas por efeito de joule, assim como quedas de tensão acentuadas, provocadas pelas distâncias da cablagem, o que levaria a uma necessidade de aumento de secção dos cabos para corrigir este fator, algo que levaria a um maior custo nas cablagens do sistema. Uma grande parte da potência necessária para a habitação será para os carregadores de veículos elétricos e estes também estarão próximos ao quadro elétrico de distribuição do sistema solar.

4.5 INTEGRAÇÃO ELÉTRICA DO SISTEMA SOLAR

Para realizar a integração do sistema solar na instalação elétrica já existente, foram feitas várias considerações e escolhas de tipologia dos equipamentos integrantes do sistema solar. Ou seja, visto a escolha do sistema a usar seja de autoconsumo – UPAC, nem todos são iguais e têm diferentes tipologias e formas de instalação, como analisado em capítulos anteriores.

Este projeto incidiu sobre um sistema solar com recurso a armazenamento, sendo assim necessário o ajuste dos inversores para integração deste sistema de armazenamento. Foram projetados inversores híbridos, capazes de integrar estes sistemas. Para se entender a sua instalação, em detrimento de uma instalação “convencional” de um sistema solar, composto somente por painéis fotovoltaicos e inversores, teremos de ter em conta que os inversores terão de ter a capacidade de “receber” a energia dos painéis e das baterias em CC, onde no caso dos painéis a circulação e energia será somente de “receber” unidireccionalmente, com um sentido de circulação, dos painéis para o inversor. No caso das baterias, será uma circulação de corrente bidireccional, conforme for o caso de carga ou descarga das baterias, isto é, as baterias poderão estar num ciclo de carga, através de energia fornecida pelo inversor, ou poderão estar num ciclo de descarga, onde estarão a fornecer energia elétrica aos inversores, que por sua vez e, através da instalação, fornecerão energia elétrica aos equipamentos, existentes na habitação.

Em várias pesquisas realizadas a esta tipologia de sistema solar com armazenamento, encontram-se vários autores a alocar os mesmos a sistemas “off-grid”, ou seja, desligados da rede ou ligados à mesma somente para injetar energia na rede, ora não é a situação deste projeto. Neste projeto o inversor será inserido “on-line” com a alimentação geral da habitação, centralizando nos inversores toda a distribuição de energia da habitação. Assim, ao fazer esta integração do sistema, a alimentação geral proveniente da RESP e após sistema de contagem, será ligada aos inversores que farão a centralização e distribuição de toda a energia consumida, produzida ou obtida da RESP. Neste sentido o desafio será potenciar esta integração, de forma a obter a melhor eficiência e o melhor conforto, a um baixo custo económico-sustentável da energia elétrica.

Para a realização do projeto foram desenvolvidos dois processos, em diferentes softwares, para guiar a instalação física do sistema solar. Também servirão de apoio ao aprovisionamento de material, para proceder à sua implementação. Foi feito um levantamento dos quadros elétricos existentes e onde seria instalado o quadro que servirá o interface com o sistema solar, nomeadamente com os inversores. Assim no ANEXO- A estão os documentos de levantamento e conceção de quadros elétricos e no ANEXO- B está o esquema elétrico do Sistema Solar integrado nas IU.

4.6 CABLAGEM DA INSTALAÇÃO DE ALIMENTAÇÃO GERAL DA RESP

Ao colocar os inversores como “centro de distribuição” de energia elétrica da habitação, foi necessário projetar alterações ao cabo de alimentação da habitação, nomeadamente o cabo que, após contagem, alimenta a habitação.

Este cabo, em conduta subterrânea e que atualmente alimenta a habitação, passará a alimentar o Quadro de Distribuição instalado na garagem, também por conduta subterrânea. Este Quadro de Distribuição (QD), por sua vez, alimentará os inversores, receberá a energia proveniente dos mesmos e realizará toda a distribuição da habitação e anexos (Figura 4.8).

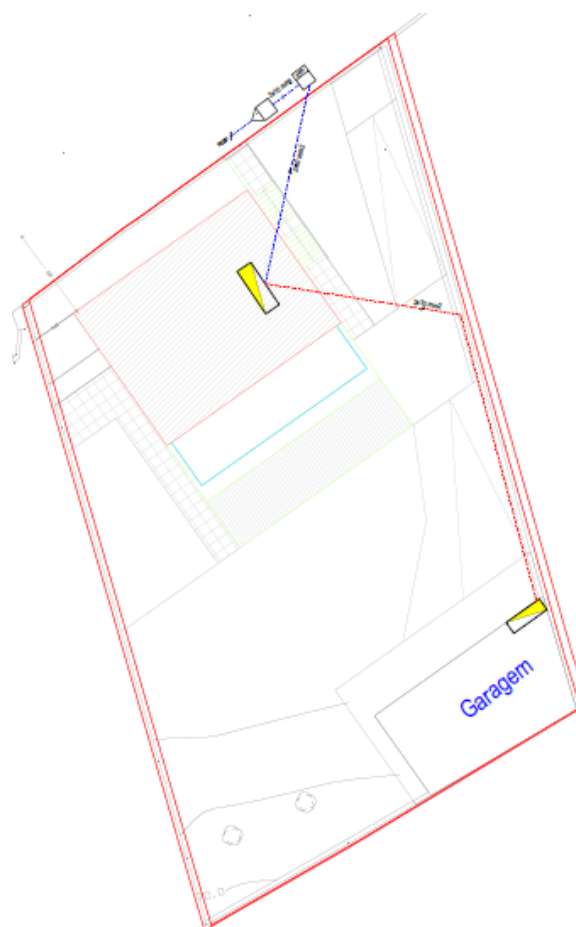


Figura 4.8- Esquema de alteração do cabo de alimentação geral.

Ao alterar esta alimentação surge um problema a considerar e que já é um dos problemas a mitigar pelo sistema solar – Quedas de Tensão. Ou seja, devido a uma alimentação com falta de disponibilidade de potência, algo que surgiu foi que a tensão tem tendência a cair inversamente e proporcionalmente com o consumo, isto é, sempre que o consumo aumenta a tensão cai para valores não aceitáveis, foi comprovado na análise da instalação, com recurso ao analisador de rede. Assim, a alteração do comprimento do cabo de alimentação para valores mais elevados vai acentuar a situação, algo que terá de ser absorvido por outras ações de melhoria.

- Analisando esta alteração com recurso às RTIEBT:
 - Cabo a instalar: $2 \times 10 \text{ mm}^2$, XLPE;
 - Corrente de serviço – I_s (contratada): 30 A;
 - Método de instalação: Método D (conduta subterrânea);

Em termos de corrente:

- Conforme Quadro 53-C30 e de acordo com o Quadro 52H:
 - Secção nominal dos condutores – 10 mm^2 ;
 - Número de condutores carregados e natureza de isolamento – 2, XLPE;
 - Corrente admissível (I_z) = 104 A;

- Este valor apurado terá de ser atualizado com vários fatores de correção, conforme as RTIEBT:
- Cabo enterrado e colocado dentro de tubos, (Quadro 53-C30):
 - $F_c=0.8 \rightarrow I_z = 104 \times 0.8 = 83.2 \text{ A}$
- Temperatura do solo, (Quadro 52-D2):
 - $F_c=1 \rightarrow I_z = 83.2 \times 1 = 83.2 \text{ A}$
- Agrupamento de cabos, (Quadro 52-E2):
 - $F_c=0.85 \rightarrow I_z = 83.2 \times 0.85 = 70.7 \text{ A}$
- Cabos enterrados em função da resistividade térmica do solo, (Quadro 52-E6):
 - $F_c=1.05 \rightarrow I_z = 70.72 \times 1.05 = 74.3 \text{ A}$

Em termos de quedas de tensão:

Usando a fórmula:

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{U \cdot \% \Delta U} \quad [\text{mm}^2] \quad (4.2)$$

Em que:

S = Secção do cabo;

ρ = Resistividade do material do condutor;

L = Comprimento do cabo;

I = Corrente estipulada para o cabo;

$\cos \varphi$ = Fator de potência da instalação;

U = Tensão da instalação;

$\% \Delta U$ = percentagem da queda de tensão.

- Antes de usar a fórmula (4.2) deve ser corrigida a resistividade do condutor em função da temperatura. Através da fórmula:

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{\text{máx}} - \theta_0) \cdot \left(\frac{I}{I_{\text{máx}}} \right)^2 \quad (4.3)$$

Em que:

θ = Temperatura real estimada no condutor;

θ_0 = Temperatura ambiente do condutor sem carga;

$\theta_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima admissível para o condutor em função do seu isolamento;

I = Corrente prevista para o condutor;

$I_{\text{máx}}$ = Corrente admissível, calculada anteriormente.

Logo:

$$\theta = 20 + (90 - 20) * \left(\frac{20}{74.3}\right)^2 = 38.8^\circ\text{C} \quad (4.4)$$

Como a resistividade à temperatura θ responde à expressão:

$$\rho_\theta = \rho_{20} * [1 + \alpha * (\theta - 20)] \quad (4.5)$$

ρ_θ = Resistividade a uma temperatura θ ;

ρ_{20} = Resistividade a 20°C;

α = Coeficiente de temperatura do material;

θ = Temperatura real estimada no condutor.

Logo:

$$\rho_\theta = \frac{1}{56} * [1 + 0.00392 * (38.8 - 20)] = 0.0192 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \quad (4.6)$$

Assim, usando a fórmula 4.2:

$$10 = \frac{2 * 0.0192 * 40 * 30 * 1}{230 * \% \Delta U} = 2 \% \quad (4.7)$$

NOTA: subindo a secção do cabo de alimentação, a queda de tensão seria atenuada, a escolha da secção de 10 mm² foi com base no cabo já existente na baixada da habitação.

Para a realização dos cálculos foi usado um fator de potência de valor igual a um, embora a instalação não tenha esse valor no uso normal da mesma. Na análise realizada com o analisador de energia elétrica, obtemos um gráfico, para o fator de potência, conforme se pode observar na Figura 4.9.

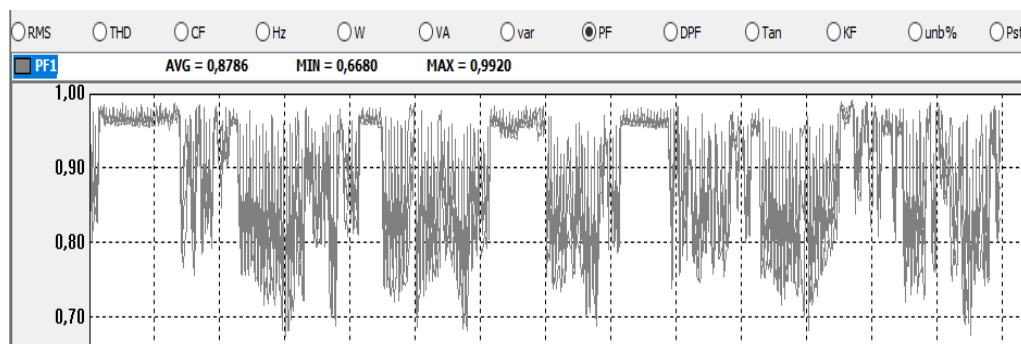


Figura 4.9- Dados do fator de potência da análise realizada.

A alimentação elétrica por parte da RESP será feita diretamente aos inversores, os quais farão a correção do valor da tensão, visto estarem “on-line” na instalação. Ou seja, como a saída de todo o consumo é realizado através dos inversores e, estes têm a capacidade de corrigir os valores de tensão, os próprios fornecerão energia dentro dos valores corretos da mesma. Serão o centro de distribuição de energia, visto receberem energia de todas as fontes existentes, distribuindo para os pontos de consumo e/ou armazenamento das IU. Segundo o manual de instruções têm a possibilidade de realizar uma tensão de saída a 230 V ou 240 V,

conforme seleção do utilizador. Esta valência será algo significativo para mitigar problemas de alimentação, como quedas de tensão acentuadas registadas em análise realizada.

Neste caso teremos de analisar outra fração da instalação e, nomeadamente, a alimentação da habitação. Esta será alimentada a partir do QD instalado na garagem e distará com valores de relevo, onde será necessário calcular as quedas de tensão provocadas pelo cabo de alimentação.

O cabo a usar terá uma secção de 10 mm^2 (igual ao anteriormente usado) e a distância será de 30 m aproximadamente, mas, devido à existência de maior potência disponível por parte do sistema solar, a corrente de serviço poderá aumentar até 40 A.

A sua queda de tensão também terá um valor de 2%:

$$10 = \frac{2 * 0.0192 * 30 * 40 * 1}{230 * \% \Delta U} = 2 \% \quad (4.8)$$

Esta queda pode ser compensada pelas opções disponíveis dos inversores, ou seja, se na saída dos inversores estiver uma tensão de 240 V, os valores de tensão da habitação estarão com um valor acima dos 230 V.

Calculando:

Para uma saída dos inversores de 230 V:

$$\Delta U = 230 * 2\% = 4.6V \rightarrow 230 - 4.6 = 225.4 V \quad (4.9)$$

Para uma saída dos inversores de 240 V:

$$10 = \frac{2 * 0.0192 * 30 * 40 * 1}{240 * \% \Delta U} = 1.9 \%$$

$$\Delta U = 240 * 1.9\% = 4.6V \rightarrow 240 - 4.6 = 235.4 V$$

A escolha deste modelo para implementação para o valor de tensão de saída dos inversores terá de ser testado e monitorizado, pois os valores das quedas foram calculados para uma corrente de uso de 30 A, o que não será o habitual das IU. Terá de ser implementado o melhor modelo para obter os melhores valores médios de tensão, ou seja, perto dos 230 V.

As escolhas da secção do cabo, além das necessidades de corrente, tiveram em consideração as tubagens existentes. Para consideração, uma das soluções para as quedas de tensão seria subir a secção do cabo, esta hipótese traria problemas ao nível das tubagens existentes que levaria a uma necessidade de alteração da sua dimensão. Algo que seria bastante complicado e dispendioso, devido à edificação existente. Os problemas passam por soluções e as elencadas acima foram desenvolvidas para mitigação deste problema, de uma forma célere e dentro de padrões de segurança razoáveis.

4.7 ESCOLHA DOS INVERSORES

Neste subcapítulo serão abordados os motivos da escolha dos inversores a usar na instalação, além das características técnicas, a escolha também recaiu sobre fatores logísticos assim como económicos.

Anteriormente já foi referido que a escolha recaiu sobre uma tipologia de inversores híbrida devido às necessidades suprarreferidas. A necessidade de correção de falta de potência disponível por parte da RESP, levou ao uso de inversores híbridos, levando a uma adaptação dos mesmos aos problemas elencados. Assim, além da tipologia, também foi considerada a potência contratada da instalação – 6.9 kVA. Visto ser a máxima potência disponibilizada pelo distribuidor de rede, recairá uma esperança de melhorias locais da RESP e que possa ser aceite o pedido de aumento de potência por parte do requerente, dono da instalação em estudo. Em linha com estas considerações, a escolha da potência dos inversores recaiu sobre 10 kW, 5 kW cada inversor. A escolha também poderia ter sido num só inversor com a potência desejada e, assim diminuir a quantidade de equipamentos e talvez de custos - hipótese descartada.

Ao dividir a potência desejada por dois inversores, deixa em aberto uma situação que, em caso de melhoria da RESP e um possível aumento de potência contratada, possa ser inserido mais um inversor, passando a instalação para trifásica com um inversor por fase. Os inversores escolhidos têm a hipótese de ser utilizados nesta modalidade, um por fase em regime trifásico. Isto levaria a um aumento da instalação do sistema solar para 15 kW possíveis, contra os atuais 10 kW possíveis.

Após estas considerações e, cruzando com o regime jurídico em Portugal, a instalação de um sistema solar, tipo UPAC, deve ter em conta a potência contratada e deve ser próxima da mesma. Isso levou a uma redução do número de painéis fotovoltaicos, estando em linha com essas mesmas considerações e aproximando a potência instalada à potência contratada. Este tema será novamente abordado mais à frente, no cálculo da potência das matrizes de painéis a instalar.

A escolha do modelo e marca a aplicar também teve em conta fatores económicos e prazos de entrega, onde este último aspeto é algo que, atualmente, condiciona bastante os mercados e a obtenção, dentro de prazos aceitáveis, este tipo de produtos. A escolha recaiu sobre um equipamento da marca Growatt, híbrido, com uma potência de 5 kW, 10000 VA de potência de pico, com 6000 W de potência máxima de matrizes de painéis fotovoltaicos, com um MPPT compreendido entre 120 e 430 VCC - Modelo SPF 5000 ES (Figura 4.10).



Figura 4.10- Inversor Growatt SPF 3500-5000 ES (Growatt, 2022).

Além de ter um prazo de entrega com disponibilidade imediata, o preço também está dentro dos parâmetros estabelecidos pelo investidor e dono da instalação em análise. Todas as suas especificações técnicas estão documentadas no sítio da internet do fabricante, com o caminho - [Technical Documentation](#), as características de maior relevo estão no ANEXO- C.

4.8 ESCOLHA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E CÁLCULO DAS SUAS MATRIZES

Os painéis fotovoltaicos, como equipamentos preponderantes do sistema solar, também tiveram algumas considerações para a sua escolha. Além dos prazos de entrega, problema transversal a equipamentos de tecnologia dos dias de hoje, a sua tecnologia, eficiência e preço foi considerada.

A escolha recaiu num Modelo JAM72S20 da JA Solar, monocristalino, PERC, Half-Cut e com 450 W de potência, estas são as características de maior relevo (Figura 4.11). Este documento poderá ser analisado no ANEXO- D deste relatório. Este modelo oferece uma maior potência de saída, devido à tecnologia PERC e uma maior resistência aos sombreamentos, baixando a probabilidade de criação de pontos quentes, algo que é realizado através da tecnologia Half-Cut, estes temas foram abordados anteriormente neste trabalho (Capítulo 3). A eficiência dos módulos JAM72S20, declarada pelo fabricante, é de 20.3 %, o que demonstra um valor bastante aceitável, dentro das atuais tecnologias e modelos existentes.



Figura 4.11- Imagem do modelo escolhido (Datasheet).

Após a escolha do modelo a usar na implementação do sistema solar fotovoltaico será necessário realizar cálculos para compilar toda a informação e designar o tamanho das matrizes a realizar, garantindo a segurança, normas e regime jurídico em vigor.

Para definir o número de painéis fotovoltaicos a instalar foram tidas duas considerações – a potência dos inversores e o seu MPPT e ainda o regulamento jurídico em vigor.

- Pela potência dos inversores, (5000 W), onde poderão ser instalados um máximo de 6000 W nas matrizes de painéis fotovoltaicos, (conforme ficha técnica) e ainda pela potência contratada, seriam possíveis instalar:

- $$N_{PV} = \frac{P_{PVmáx}}{P_{PS}} = \frac{6000}{450} = 13. (3) \text{ Painéis Fotovoltaicos (por Inversor); } (4.10)$$

- N_{PV} – número de painéis fotovoltaicos;
- $P_{PVmáx}$ – potência máxima permitida por inversor;
- P_{PS} – potência unitária de cada painel fotovoltaico.

- $$N_{PV} = \frac{P_{contratada}}{P_{PS}} = \frac{6900}{450} = 15. (3) \text{ Painéis Fotovoltaico (Total); } (4.11)$$

- N_{PV} – número de painéis fotovoltaico;
- $P_{contratada}$ – potência contratada;
- P_{PS} – potência unitária de cada painel fotovoltaico.

Para calcular o número de painéis fotovoltaicos por string para o inversor terá de se ter em conta os dados das fichas técnicas do inversor assim como dos painéis.

Os dados técnicos importantes para estes cálculos são:

- Inversor:
 - Número de MPPT – 1;

- Intervalo de tensões do MPPT – 120~430 V;
- Corrente máxima MPPT – 100 A.
- Painel Solar:
 - Tensão em circuito aberto (V_{oc}) – 49.7 V;
 - Corrente máxima – 10.84 A;
 - Coeficiente de temperatura ($\beta_{V_{oc}}$) – -0.272 %/°C;
 - Tensão máxima (V_{mp}) – 41.52 V;
 - Potência máxima – 450 W.

Terá de ser calculado o número de painéis fotovoltaicos mínimo por inversor e para isso tem de se ter em conta o valor de tensão mais baixo no intervalo de tensões do MPPT do inversor, esse valor é de 120 V. As tensões mínimas dos painéis fotovoltaicos ocorrem quando a temperatura a que estão expostos é mais alta, ou seja, no verão. Um painel fotovoltaico exposto ao sol pode atingir temperaturas perto dos 70 °C, valor que será considerado nos cálculos.

Assim tem de ser feita a correção da tensão dos painéis fotovoltaicos para a temperatura máxima a que estão expostos, visto que o valor apresentado na ficha técnica é para valores standard onde são usados 25 °C para o efeito, logo, corrigindo através da fórmula 4.12:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad V_{mp70^{\circ}C} &= V_{mp} * \left(1 + \frac{(70^{\circ}C - 25^{\circ}C) * \beta_{V_{oc}}}{100} \right) = & (4.12) \\
 &= 41.52 * \left(1 + \frac{(70^{\circ}C - 25^{\circ}C) * (-0.272)}{100} \right) = 36.44 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Calculando o número mínimo de painéis fotovoltaicos (N_{PSmin}):

$$\bullet \quad N_{PSmin} = \frac{120}{36.44} = \mathbf{3.3 \text{ painéis solares}} \quad (4.13)$$

Em linha com os cálculos anteriores, o cálculo do número máximo de painéis fotovoltaicos também terá de ser realizado, tendo em conta a temperatura mínima a que os painéis poderão estar expostos. Para a zona onde serão instalados, serão considerados 0 °C, que certamente será o pior dos cenários possíveis (foram consultados vários sítios da internet com dados e quase todos dão temperaturas mínimas superiores à que será usada). A ter em conta que as temperaturas mínimas são atingidas pela madrugada e não quando os painéis fotovoltaicos são usados, que já estará de dia e, consequentemente mais quente.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad V_{oc0^{\circ}C} &= V_{oc} * \left(1 - \frac{(0^{\circ}C - 25^{\circ}C) * \beta_{V_{oc}}}{100} \right) = & (4.14) \\
 &= 49.7 * \left(1 - \frac{(0^{\circ}C - 25^{\circ}C) * (-0.272)}{100} \right) = 46.32 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Calculando o número máximo de painéis solares (N_{PSmax}):

$$\bullet \quad N_{PSmax} = \frac{430}{46.32} = \mathbf{9.3 \text{ painéis solares}} \quad (4.15)$$

Encontrados que estão os números mínimo e máximo de painéis fotovoltaicos possíveis a instalar por inversor, poderão ser calculados os números totais a adquirir. Anteriormente e, por potência contratada, foi concluído que seriam até 15.(3) painéis que se

poderiam usar, assim e com base nos cálculos anteriores, o número de painéis por string e que serão colocados em série em cada inversor, será de 8 painéis.

Concluindo, os números finais serão:

- Tensão mínima a que estará sujeito o MPPT dos inversores:
 - $8 * 36.44 = 291.5 \text{ V}$;
- Tensão máxima a que estará sujeito o MPPT dos inversores:
 - $8 * 46.32 = 370.6 \text{ V}$;
- Corrente máxima de cada string:
 - Visto serem colocados em série a corrente será igual a 10.84 A;
- Potência instalada por inversor:
 - $8 * 450 \text{ W} = 3600 \text{ W}$;
- Potência total instalada:
 - $2 * 3600 \text{ W} = 7200 \text{ W}$;
- Número total de painéis fotovoltaicos:
 - $2 * 8 = 16$ painéis fotovoltaicos.

Os painéis fotovoltaicos são uma fonte de energia e conseqüentemente começam a produzir energia assim que recebam qualquer radiação solar. Os cabos pertencentes ao painel fotovoltaico ficam logo energizados assim que recebam radiação solar, que, caso não estejam protegidos e com fichas adequadas, podem causar curto-circuitos, danos nos painéis ou mesmo contactos diretos em pessoas, que os manipulem, provocando danos físicos ou mesmo a morte.

Analisando os dados específicos dos painéis usados neste caso de estudo, podem ser analisados os valores de tensão e corrente que estes cabos circularão logo que expostos à radiação solar. Um painel isolado, terá nos seus terminais, quando colocado sobre radiação solar, uma tensão compreendida entre valores de 36.44 a 46.32 V e um corrente de 10.84 A. Da forma que foi idealizada a matriz de painéis deste sistema e, quando estiverem interligados em série, estes cabos aos seus terminais terão uma tensão compreendida entre os 291.5 e 370.6 V, com uma corrente de 10.84 A. Estes valores são consideráveis e capazes de provocar graves danos físicos e materiais se não for salvaguardado este facto e tomadas as medidas apropriadas, para evitar que algo de trágico aconteça.

Para abrir o circuito entre esta fonte de produção de energia e o inversor, terão de ser instalados dispositivos de proteção e corte. Neste caso foi estabelecido efetuar este corte através de um interruptor fusível em ambos os condutores, negativo e positivo. Assim é garantida a proteção da instalação e/ou em qualquer intervenção técnica a realizar. Os fusíveis a usar são do Tipo gPV, adequados a tensões de corrente contínua assim como a aplicações deste tipo de sistemas fotovoltaicos. Visto a distância ser pequena, entre os painéis e o inversor, cerca de 3m, não será necessário duplicar estes dispositivos, colocando-os junto aos painéis assim como dos inversores. Se esta distância, entre painéis e inversor fosse considerável, seria prudente colocar imediatamente à saída dos painéis e junto aos inversores, não correndo o risco, em caso de necessidade, de ficar com uma grande extensão de cabos energizados sem proteção pelos respetivos dispositivos de proteção.

Os painéis fotovoltaicos são compostos por uma estrutura metálica e colocados, normalmente, em lugares altos e que conseqüentemente ficarão expostos aos fenómenos atmosféricos. Para uma melhor proteção do sistema está prevista e será instalada uma

proteção contra sobretensões, no circuito dos painéis fotovoltaicos. Desta forma serão instalados descarregadores de sobretensão, no circuito elétrico e imediatamente a jusante do interruptor fusível instalado no circuito elétrico que interliga os painéis fotovoltaicos aos inversores. Esta medida terá como compromisso proteger a instalação contra sobretensões, nomeadamente contra fenómenos atmosféricos adversos.

4.9 SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de armazenamento para integrar este sistema recaiu sobre uma escolha de um modelo do fabricante Growatt. ARK LV BATTERY SYSTEM foi uma escolha com base numa relação preço/custo e é um sistema de fácil instalação, com um design moderno e com uma flexibilidade de capacidade compreendida entre os 2.56 kWh e os 25.6 kWh. Este sistema é composto por módulos de 2.56 kWh que podem ser ligados em cascata até um valor de 10 módulos. As baterias são de fosfato de ferro-lítio, livres de cobalto, conhecidas pelo seu perfil agregado à segurança. As células de fosfato-lítio são incombustíveis o que as torna vantajosas no campo da segurança. O seu ciclo de vida está estimado, pelo fabricante em cerca de 6000 ciclos, em que se for considerado uma ciclo de carga descarga por dia a sua vida útil poderá chegar a cerca de 17 anos.

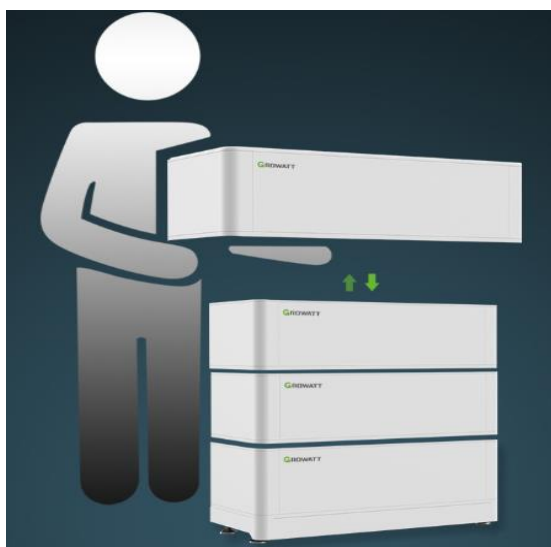


Figura 4.12- Sistema de armazenamento de energia (Growatt, 2022).

Serão instalados 15.35 kWh de capacidade de armazenamento num conjunto de indexado de 6 módulos e, a escolha do valor de capacidade, está em linha com a vontade e disponibilidade do dono de obra. A potência disponível é considerável e, conforme as especificações técnicas, poderá suportar correntes até 120 A, conforme ANEXO- E. Não será atingido este valor de corrente, pois a instalação estará protegida a 40 A a jusante do sistema de armazenamento, nomeadamente no disjuntor do inversor. Assim a escolha da proteção necessária será de 40 A também e o cabo para transportar a corrente será um com uma referência - AWG 5. AWG é uma escala americana normalizada usualmente usada nestes

sistemas solares. Existem conversores on-line ou tabelas de conversão desta escala para a medida métrica e, para esta referência, os valores apurados de secção transversal, rondam os 16.8 mm².

4.10 SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PREVISTA

Calculada a potência a instalar, (2*3600 W), já é possível efetuar uma simulação que permite identificar a produção prevista. Para simular um sistema solar será necessário a potência a instalar, as características dos painéis fotovoltaicos e inversores, ter em consideração o local de instalação com base na sua orientação geográfica para saber o azimute em que serão instalados e ainda o ângulo de inclinação em que serão montados.

Para a realização de estimativas deste sistema solar, foram usados dois simuladores, um, mais completo e complexo - “PVsyst 7.2”(versão trial), com necessidade de fidelização e com custos económicos e ainda um simulador online - PVGIS, desenvolvido pela Comissão Europeia, mais intuitivo, simples e com carácter gratuito.

O uso destas duas formas diferentes de simulação oferece uma validação mais assertiva da estimativa que seja necessária de realizar e esse foi o sentido deste mesmo uso. O software é algo que, por ser mais complexo, tem uma componente de aprendizagem maior e necessita de algum tempo para o seu uso. No caso do simulador online isso não acontece pois é de fácil uso, sem grandes necessidades de aprendizagem, o que leva a ser uma ferramenta mais interativa para criar ambientes para as diferentes simulações, numa fase experimental.

Os relatórios do software e do simulador online encontram-se neste relatório no ANEXO- F e no ANEXO- G, nomeadamente.

Cruzando as estimativas de ambas as ferramentas de simulação, é possível verificar o facto de que têm valores muito idênticos, com um desvio menor de 1%, para a produção anual e que ambos atingem valores superiores ao 10 MWh anuais. Na Figura 4.13, referente ao simulador PVGIS, podem ser observados os valores estimados de produção anual, com um valor de 10557 kWh produzidos, um valor menor ao do valor estimado pelo PVsyst. Note-se que, no PVsyst, a estimativa foi feita individualmente por inversor, visto, no fundo, serem dois sistemas distintos. A estimativa do PVsyst tem um valor de 5560 kWh (3.6 kWp) por sistema, que será uma estimativa de produção anual de 11120 kWh, para os dois sistemas solares em conjunto.

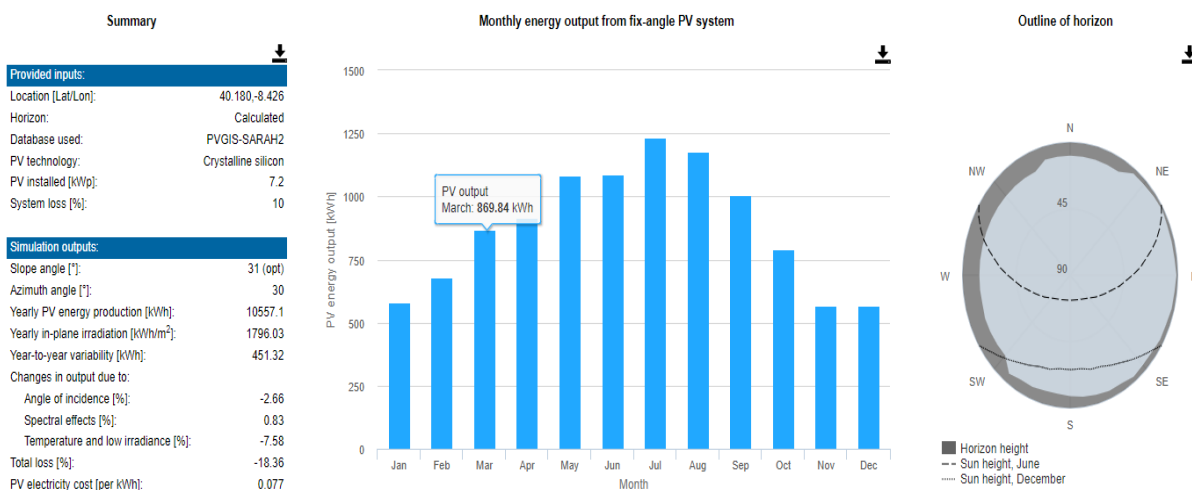


Figura 4.13- Estimativa de produção anual -PVGIS.

Estas estimativas foram realizadas com base na orientação geográfica possível de ser implementada, nas instalações em análise. A melhor orientação seria estarem orientados a sul, e, para se ter uma noção das perdas nesta situação, foram introduzidos dados no PVGIS de forma a otimizar a orientação e o ângulo de inclinação. Nesta situação a estimativa de produção aumenta para 10995 kWh, com um azimute de 1° e uma inclinação de 35°, uma diferença de 438 kWh por ano, o que representa uma perda de cerca de 4% ao ano na produção de energia (Figura 4.13 e Figura 4.14).

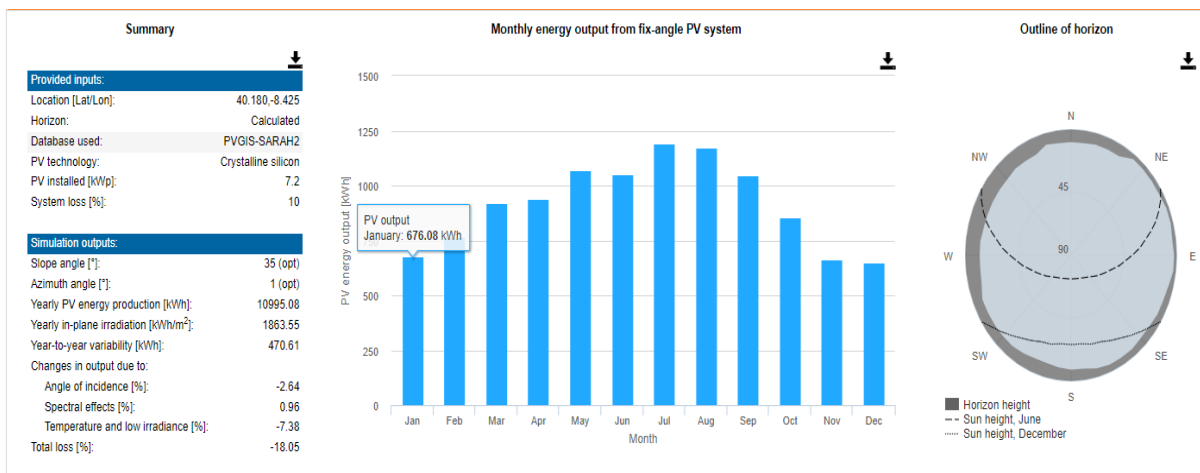


Figura 4.14- Estimativa PVGIS com otimização de orientação e inclinação.

O ângulo de inclinação otimizado pelo simulador é com base num equilíbrio de melhor prestação anual para um sistema fixo. Para este projeto foi idealizado uma estrutura que realizasse a variação do ângulo, conforme a época do ano, para potenciar a produção de energia. O ângulo de inclinação, que tem como referência o plano do horizonte terrestre, deveria ser maior no Inverno do que no Verão, ou seja, deveria ser ajustado nos diferentes meses, consoante o ângulo do sol, esta ação iria potenciar a produção de energia. Para se ter uma noção destas diferenças podem ser analisados os dados apresentados da Tabela 4. 1.

Tabela 4. 1- Estimativa de produção com diferentes inclinações.

Mês	Inclinação em Graus			
	Ótimo (32)	25º	35º	
Janeiro	618	580	630	kWh
Fevereiro	710	681	717	kWh
Março	876	864	877	kWh
Abril	917	925	911	kWh
Maio	1087	1109	1075	kWh
Junho	1081	1111	1067	kWh
Julho	1230	1258	1216	kWh
Agosto	1182	1193	1175	kWh
Setembro	1019	1009	1020	kWh
Outubro	798	775	803	kWh
Novembro	611	578	621	kWh
Dezembro	584	545	595	kWh
Totais	10713	10628	10707	kWh

Analisando os meses de equinócios, nomeadamente junho e dezembro, podem ser observadas as diferenças das estimativas. No caso de dezembro, equinócio de inverno, é atingida uma maior produção com maior inclinação, e no caso de junho a produção também é estimada para maiores valores, com uma menor inclinação - a otimização do simulador garante um bom compromisso produção/perdas, garantindo a produção mais elevada possível, para um sistema estático.

A ideia para instalar uma estrutura que fosse capaz de alterar o ângulo de inclinação, foi abandonada pela complexidade e investimento necessário.

4.11 AVALIAÇÃO ECONÓMICA DO SISTEMA SOLAR PROJETADO

Além de toda a envolvimento sobre a sustentabilidade, também existe um fator preponderante para a cativação das pessoas para investir nestas tecnologias, este caso não será diferente e será necessário estimar os custos e o retorno financeiro que este sistema trará, no seu ciclo de vida útil.

Para se entender qual será o perfil de consumo, poderá ser analisada a faturação, para um período de tempo. Nesta situação a escolha recaiu sobre o último ano civil, mas também poderiam ser as últimas 12 faturas mais atuais. Por norma, analisar um ano inteiro traz vantagens, porque se consegue traçar melhor o perfil de consumo para as diferentes épocas e estações do ano, pois normalmente os consumos variam conforme a época do ano, quer por horas de utilização das habitações, número de horas de luz solar por dia, temperatura baixas ou elevadas, etc...

Na Tabela 4. 2 podem ser analisados os valores, em kWh, da energia consumida e constatar que, na época do ano coincidente com o inverno, o consumo é maior em relação ao verão. Para um sistema solar não é o melhor cenário, pois é a altura com menos exposição e número de horas solares disponíveis e, conseqüentemente uma menor produção de energia

deste sistema. Esta menor produção estimada, para o período de inverno, pode ser confirmada analisando os dados da Figura 4.13.

Tabela 4. 2- Consumos do ano civil 2021.

2021	Consumos		
	Vazio	Fora Vazio	
Janeiro	502	467	kWh
Fevereiro	796	773	kWh
Março	477	478	kWh
Abril	558	548	kWh
Maio	575	447	kWh
junho	463	367	kWh
Julho	511	395	kWh
Agosto	539	528	kWh
Setembro	570	555	kWh
Outubro	645	523	kWh
Novembro	723	622	kWh
Dezembro	702	774	kWh
Totais Parciais	7061	6477	kWh
Total		13538	kWh

O contrato de fornecimento de eletricidade da habitação em análise, dispõe de duas taxas distintas para o preço do kWh, visto ser um contrato em regime bi-horário de ciclo diário. Isto quer dizer que tem dois preços distintos para a energia, em diferentes horas do dia.

Neste tarifário o comercializador disponibiliza aos seus clientes e, segundo os horários estabelecidos pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), para todos os dias e nas hora legais de verão e inverno, os seguintes períodos conforme Figura 4.15 :

- vazio - período compreendido entre as 00:00 e as 8:00 e entre as 22:00 e as 24:00;
- fora do vazio - período compreendido entre as 08:00 e as 22:00.

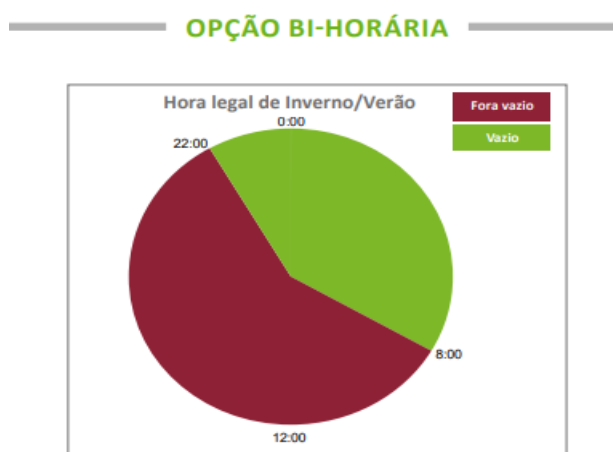


Figura 4.15- Hora legal de inverno/verão para tarifários diários e bi-horário em regime de baixa tensão menor que 41.4 kVA (ERSE, 2022).

Para este tipo de tarifário terá de existir uma boa disciplina para ser realmente competitivo, ou seja, de forma a potenciar esta solução, deve ser feito o desvio de consumos possíveis para o horário mais económico, coincidente com o período de vazio.

A avaliação económica realizada só contempla os valores alocados à energia consumida em kWh, desprezando as restantes taxas associadas a uma fatura de energia, do regime suprarreferido.

Foi necessário criar uma tabela, Tabela 4. 3, com base nas faturas cedidas, para um cálculo do valor global anual, em relação à energia consumida e que foi pago nestas mesmas faturas. Após estes cálculos e cruzando estes valores com a poupança de energia que foi estimada, será possível ter uma noção dos valores de poupança anual e/ou mensal.

Tabela 4. 3- Valores pagos no ano 2021 vs poupança estimada.

2021	Consumos			Valor kWh		Valores C/IVA		Total	Produção	Peso		Poupança
	Vazio	F/Vazio		Vazio	F/Vazio	Vazio	F/Vazio			Vazio	F/Vazio	
Janeiro	502	467	kWh	0,1012 €	0,1883 €	62,49 €	108,16 €	170,65 €	618	0,52	0,48	88,48 €
Fevereiro	796	773	kWh	0,1012 €	0,1883 €	99,08 €	179,03 €	278,12 €	710	0,51	0,49	102,32 €
Março	477	478	kWh	0,1012 €	0,1883 €	59,38 €	110,71 €	170,08 €	876	0,50	0,50	126,84 €
Abril	558	548	kWh	0,1012 €	0,1883 €	69,46 €	126,92 €	196,38 €	917	0,50	0,50	132,37 €
Mai	575	447	kWh	0,1012 €	0,1883 €	71,57 €	103,53 €	175,10 €	1087	0,56	0,44	151,41 €
junho	463	367	kWh	0,1012 €	0,1883 €	57,63 €	85,00 €	142,63 €	1081	0,56	0,44	151,03 €
Julho	511	395	kWh	0,1012 €	0,1883 €	63,61 €	91,49 €	155,09 €	1230	0,56	0,44	171,18 €
Agosto	539	528	kWh	0,1012 €	0,1883 €	67,09 €	122,29 €	189,38 €	1182	0,51	0,49	170,56 €
Setembro	570	555	kWh	0,1012 €	0,1883 €	70,95 €	128,54 €	199,49 €	1019	0,51	0,49	146,91 €
Outubro	645	523	kWh	0,1012 €	0,1883 €	80,29 €	121,13 €	201,42 €	798	0,55	0,45	111,88 €
Novembro	723	622	kWh	0,1012 €	0,1883 €	90,00 €	144,06 €	234,06 €	611	0,54	0,46	86,44 €
Dezembro	702	774	kWh	0,1012 €	0,1883 €	87,38 €	179,27 €	266,65 €	584	0,48	0,52	85,77 €
Parciais	7061	6477	kWh					2 379,06 €				1 525,22 €
Total		13538	kWh									

Para uma maior assertividade destes cálculos, foi calculado o peso dos kWh consumidos em cada período do tarifário, isto é, sendo um tarifário com diferentes valores em diferentes períodos horários, e, com base no perfil de consumo, foram calculados os pesos do kWh, em relação ao período horário onde foram consumidos, estes valores podem ser analisados na Tabela 4. 3.

Com os cálculos de consumo e produção realizados, podem ser feitas avaliações económicas, com vista a apurar qual o Período de Recuperação de Investimento – PRI. Na Tabela 4. 4 pode ser constatado o facto de que será necessário um período de cerca de sete anos para recuperar o investimento económico realizado para este sistema solar.

Tabela 4. 4- Período de Recuperação de Investimento.

Anos	Custo Atual	Poupança	Atualizado	Poupança (%)	Acumulado
					-11 000,00 €
1º Ano	2 379,06 €	1 525,22 €	853,84 €	35,89%	-9 474,78 €
2º Ano	2 426,64 €	1 540,47 €	886,17 €	36,52%	-7 934,31 €
3º Ano	2 475,17 €	1 555,87 €	919,30 €	37,14%	-6 378,44 €
4º Ano	2 524,67 €	1 571,43 €	953,24 €	37,76%	-4 807,00 €
5º Ano	2 575,17 €	1 587,15 €	988,02 €	38,37%	-3 219,86 €
6º Ano	2 626,67 €	1 603,02 €	1 023,65 €	38,97%	-1 616,84 €
7º Ano	2 679,20 €	1 619,05 €	1 060,15 €	39,57%	2,21 €
8º Ano	2 732,79 €	1 635,24 €	1 097,55 €	40,16%	1 637,45 €
9º Ano	2 787,44 €	1 651,59 €	1 135,85 €	40,75%	3 289,05 €
10º Ano	2 843,19 €	1 668,11 €	1 175,08 €	41,33%	4 957,15 €

Coluna Custo Atual - 2% aumento kWh/Ano;

Coluna Atualizado - 2% aumento kWh/Ano + 1% perdas por envelhecimento;

Esta avaliação é somente apurada com dados dos custos associados aos kWh consumidos/produzidos. Os donos da instalação, e, conseqüentemente parte interessada nesta avaliação económica mantem objetivos de eficiência energética, adquirindo veículos elétricos em detrimento dos anteriores a combustão interna. Estes novos sistemas têm de ser inseridos nesta equação de avaliação económica, pois o sistema solar também terá um papel preponderante na sua utilização, nomeadamente o seu carregamento. O investimento nos veículos elétricos será desprezado, pois foram adquiridos para substituir veículos de combustão interna de valor idêntico. Para realizar esta avaliação económica foi estabelecido um padrão de utilização dos veículos em quilometragem diária. Estimando um valor de 60 km/dia, num carro a combustão interna, foram calculados os custos alocados ao uso de um veículo desta tipologia. Estes valores apurados serão absorvidos, pois deixarão de existir, diminuindo assim o período de recuperação do investimento do sistema solar. Ou seja, este valor representa uma poupança efetiva, pois o valor desaparecerá e não será substituído por valores de carregamento como poderá ser visto mais à frente. Na Tabela 4. 5 podem ser observados os valores que serão convertidos em poupança, alocados à mobilidade elétrica em detrimento da combustão interna.

Tabela 4. 5- Valores de poupança com veículos de combustão interna.

2021	Consumos		Total	Poupança	Mobilidade Elétrica						
	Vazio	N/Vazio			(kM)	l/100 kM	Preço p/l	Custo	Dias	Total	
Janeiro	502	467	kWh	170,65 €	88,48 €	60	6	1,92 €	6,91 €	31	214,27 €
Fevereiro	796	773	kWh	278,12 €	102,32 €	60	6	1,92 €	6,91 €	28	193,54 €
Março	477	478	kWh	170,08 €	126,84 €	60	6	1,92 €	6,91 €	31	214,27 €
Abril	558	548	kWh	196,38 €	132,37 €	60	6	1,92 €	6,91 €	30	207,36 €
Mai	575	447	kWh	175,10 €	151,41 €	60	6	1,92 €	6,91 €	31	214,27 €
junho	463	367	kWh	142,63 €	151,03 €	60	6	1,92 €	6,91 €	30	207,36 €
Julho	511	395	kWh	155,09 €	171,18 €	60	6	1,92 €	6,91 €	31	214,27 €
Agosto	539	528	kWh	189,38 €	170,56 €	60	6	1,92 €	6,91 €	31	214,27 €
Setembro	570	555	kWh	199,49 €	146,91 €	60	6	1,92 €	6,91 €	30	207,36 €
Outubro	645	523	kWh	201,42 €	111,88 €	60	6	1,92 €	6,91 €	31	214,27 €
Novembro	723	622	kWh	234,06 €	86,44 €	60	6	1,92 €	6,91 €	30	207,36 €
Dezembro	702	774	kWh	266,65 €	85,77 €	60	6	1,92 €	6,91 €	31	214,27 €
Parciais	7061	6477	kWh	2 379,06 €	1 525,22 €						2 522,88 €
Total		13538	kWh								

Após o incremento da mobilidade elétrica, novos cálculos terão de ser realizados, incluindo os novos valores apurados na avaliação económica realizada. Assim, e, analisando a Tabela 4. 6, pode ser apurado que o PRI desce significativamente, passando de sete anos, numa abordagem inicial, para menos de três anos, com esta nova vertente. Este incremento também potencia o sistema solar em outro aspeto e na medida da utilização prevista para os veículos elétricos. Sendo dois veículos, e, em que mais de 80% do tempo, não são usados pelos proprietários em simultâneo, também serão um boa fonte de armazenamento de energia proveniente do sistema solar. Ou seja, usando como exemplo o mês de julho, na estimativa de produção, os valores atingem os 1230 kWh de energia produzida, o que dará uma média de 40 kWh/dia de produção, o armazenamento, que tem valores de 15 kWh, será completamente carregado somente com cerca de meio-dia de produção, o que originaria a uma perda de produção de energia remanescente. O uso de um veículo elétrico para proceder a este aproveitamento da energia remanescente, será um fator importante para potenciar o sistema solar e contabilizar todos os kWh produzidos, na equação de análise financeira do sistema.

Tabela 4. 6- Período de Recuperação de Investimento, com mobilidade elétrica.

Anos	Custo Atual	Poupança	Atualizado	Poupança (%)	Poupança VE	Acumulado
						-11 000,00 €
1º Ano	2 379,06 €	1 525,22 €	853,84 €	35,89%	2 522,88 €	-6 951,90 €
2º Ano	2 426,64 €	1 540,47 €	886,17 €	36,52%	2 573,34 €	-2 838,09 €
3º Ano	2 475,17 €	1 555,87 €	919,30 €	37,14%	2 624,80 €	1 342,58 €
4º Ano	2 524,67 €	1 571,43 €	953,24 €	37,76%	2 677,30 €	5 591,32 €
5º Ano	2 575,17 €	1 587,15 €	988,02 €	38,37%	2 730,85 €	9 909,31 €
6º Ano	2 626,67 €	1 603,02 €	1 023,65 €	38,97%	2 785,46 €	14 297,80 €
7º Ano	2 679,20 €	1 619,05 €	1 060,15 €	39,57%	2 841,17 €	18 758,02 €
8º Ano	2 732,79 €	1 635,24 €	1 097,55 €	40,16%	2 898,00 €	23 291,25 €
9º Ano	2 787,44 €	1 651,59 €	1 135,85 €	40,75%	2 955,96 €	27 898,80 €
10º Ano	2 843,19 €	1 668,11 €	1 175,08 €	41,33%	3 015,08 €	32 581,99 €

Coluna Custo Atual - 2% aumento kWh/Ano;

Coluna Atualizado - 2% aumento kWh/Ano + 1% perdas por envelhecimento;

Coluna Poupança VE - 2% aumento litro combustível/Ano.

Realizando esta aglomeração de fatores, pode ser afirmado, sem qualquer dúvida, que o investimento terá um bom PRI, sendo perfeitamente viável a implementação deste sistema a nível económico.

5 CONCLUSÃO

A sustentabilidade do planeta tem de ser um pilar na vida do quotidiano da sociedade, e todos nós temos a responsabilidade para que assim seja. Este trabalho está em linha com estes valores, no campo do uso mais sustentável da energia elétrica e com alguma eficiência energética a complementar. O investimento nas energias renováveis é de extrema urgência, não só para os grandes consumidores, mas também ao nível doméstico, que, com esse esforço em conjunto se pode afirmar que será um grande consumidor, isto é, o consumo doméstico em conjunto é sem dúvida um grande consumidor, e, se cada habitação se dotar de apoio renovável e se se tornarem mais eficientes energeticamente, certamente se caminhará para um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

Os valores económicos não poderão ser descartados e somente em conjunto com estes objetivos se poderá alavancar o investimento nestas tecnologias, não só para grandes investidores, mas também para os menores, como o caso descrito neste trabalho.

Este trabalho aponta para o uso das energias renováveis, assim como uma solução para mitigar a disponibilidade da RESP, que não consegue dar resposta às necessidades da habitação em estudo. Um projeto que aglomera vários fatores e procura dar resposta a todos eles, encontrando soluções para uma mitigação ambiental, económica e necessidades de potência disponível.

Para atingir a solução final, foram apreciados vários fatores e desta forma tentar encontrar uma solução híbrida, que fosse de encontro aos objetivos do dono da instalação e, que de certa forma, fossem o mais eficientes possíveis, para retornar o investimento no melhor tempo possível. Foram traçados alguns objetivos e foram sendo ajustadas pequenas alterações à medida que se desenvolvia o projeto, este trabalho provoca que, por vezes se dê um passo atrás, para se dar dois para a frente e assim foi atingido um trabalho final, que certamente trará grandes vantagens ao dono da instalação, assim como ao planeta com a redução de níveis de emissão de gases de efeito de estufa.

Este projeto originou um desenvolvimento técnico interessante ao nível das suas exigências. A sua conceção e a sua implementação, embora temas diferentes, andam sincronizados de forma a terem um avanço no tempo de uma célere execução. Ao nível da conceção o uso de vários softwares e simuladores alavancou os conhecimentos teóricos, na ótica de os colocar em prática. São softwares com necessidade de investimento de tempo e formação para desenvolver aptidões de utilizador capaz. Embora não sejam o cerne do trabalho ou dentro do tema, são aptidões desenvolvidas enriquecedoras do currículo para lidar com desenvolvimentos e projetos futuros. Um bom exemplo é o caso do EPLAN, uma ferramenta extraordinária, mas que leva bastante tempo de interação para um uso de utilizador capaz, pois para utilizador avançado, poderá demorar alguns meses, mesmo anos, conforme o âmbito em que se enquadra o seu uso.

Adaptar um sistema com esta disposição a uma instalação existente, é um trabalho que tem muitos altos e baixos por imposições logísticas da instalação. Contornar estas contingências e encontrar soluções para os problemas é uma mais-valia para o desenvolvimento pessoal, académico e profissional.

Ao longo desta conceção foram sendo feitos progressos na instalação do sistema solar e atualmente já se encontra com os cabos de alimentação colocados no seu lugar e o aterramento efetuado. Esta conjugação só foi possível com avanços em algumas áreas da conceção, para que pudesse ser aprovisionado o material e assim ser possível dar início aos

trabalhos de implementação. Sendo certo que brevemente será comissionada e, entrando ao serviço, certamente será um sistema atrativo do ponto de vista da sustentabilidade, de caráter económico assim como de conforto para os proprietários do sistema, através da mitigação da falta de disponibilidade de potência, por parte da RESP.

Será um sistema que terá de ter uma monitorização permanente para potenciar todo o valor acrescentado, aproveitando ao máximo os dias de maior produção, para que não seja desperdiçada qualquer energia remanescente e assim potenciar todo o investimento realizado.

Para uma melhoria futura desta instalação ficou previsto o seu alargamento, deixando a hipótese de realizar, através da instalação de mais inversores em paralelo, o alargamento do sistema para alocação de mais painéis fotovoltaicos e/ou a instalação de turbinas eólicas. Esta instalação de turbinas eólicas poderá melhorar bastante o sistema, principalmente nas horas em que não existe radiação solar. Somente após a entrada em serviço deste sistema, se poderá monitorizar a eficiência do mesmo e voltar a desenvolver novas soluções, com vista a potenciar e melhorar ainda mais o sistema. Esse será um objetivo para um futuro próximo, que dependerá do facto de que todo o trabalho realizado vá de encontro ao previsto e com isso se torne atrativo voltar a investir tempo e dinheiro, em mais desenvolvimentos.

Fica ainda para futuro um estudo para melhor desempenho automatizado do sistema, no âmbito do desvio de cargas e alocação das mesmas nas horas de maior produção de energia. A eficiência do projeto apresentado, poderá ser analisada após alguns meses de utilização através da consulta de todos os dados obtidos e ajustando o uso eficiente da instalação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(AE-Solar, 2022). *Photovoltaic Modules Operation in Different Weather Conditions*. AE SOLAR. <https://ae-solar.com/solar-panels-in-different-weather/>. Acedido a 9 de abril de 2022.

(Alexia Cooper, 2020). *Do Solar Panels Lose Efficiency Over Time?* Bell Solar & Electrical Systems. <https://bellelectricalsystems.com/do-solar-panels-lose-efficiency-over-time/>. Acedido a 11 de abril de 2022.

(Ambiente Brasil, 2021). *Histórico das Células Fotovoltaicas e a Evolução da Utilização de Energia Solar*. Ambiente Brasil. https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/historico_das_celulas_fotovoltaicas_e_a_evolucao_da_utilizacao_de_energia_solar.html. Acedido a 6 de fevereiro de 2022.

(American Action, 2016). *1990 based Emissions Graph*. American Action Forum. <https://www.americanactionforum.org/insight/americas-earth-day-gift-implications-paris-agreement/1990-based-emissions-graph/>. Acedido a 14 de fevereiro de 2022.

(APA, 2021). *Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE)*. APAmbiente. <https://apambiente.pt/clima/comercio-europeu-de-licencas-de-emissao-cele>. Acedido a 12 de março de 2022.

(BBC News, 2018). *Aquecimento global: 7 gráficos que mostram em que ponto estamos*. <https://www.bbc.com/portuguese/geral-46424720>. Acedido a 7 de maio de 2022.

(Bexquerel Prize, 2022). *Becquerel Prize for Outstanding Merits in Photovoltaics*. Becquerel-Prize. <https://www.becquerel-prize.org/index.html>. Acedido a 29 de janeiro de 2022.

(Circular Ecology, 2015). *The Kyoto Protocol: Climate Change Success or Global Warming Failure*. Circular Ecology. <https://circularecology.com/news/the-kyoto-protocol-climate-change-success-or-global-warming-failure>. Acedido a 15 de fevereiro de 2022.

(CleanTechnica, 2014). *Celebrating The 60th Anniversary Of The First Practical Solar Cell — From Powering Ferris Wheels To Cities, & Beyond*. CleanTechnica. <https://cleantechnica.com/2014/04/07/celebrating-sixtieth-anniversary-first-practical-solar-cell-powering-ferris-wheels-cities-beyond/>. Acedido a 5 de fevereiro de 2022.

(Cyanergy, 2022). *How Many Types Of Solar Inverter, What Are They?* Cyanergy. <https://www.cyanergy.com.au/types-of-solar-inverter/>. Acedido a 14 de abril de 2022.

(DGEG, 2022). *Renováveis*. DGEG. https://www.dgeg.gov.pt/media/akjbntvo/dgeg-arr-2022-01_v2.pdf. Acedido a 2 de abril de 2022.

(EcoGreenEnergy, 2021). *Solar Cells – Standard VS PERC*. EcoGreenEnergy. <https://www.ecogreenenergy.com/solar-cells-standard-vs-perc/>. Acedido a 13 de abril de 2022.

(2022). *Electricity production by source, World*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?stackMode=relative&time=earliest..2021>. Acedido a 26 de setembro de 2022.

(Elizabeth Chu et al, 2022). *Uma Breve História dos Painéis Solares*. Smithsonian. <https://www.smithsonianmag.com/sponsored/brief-history-solar-panels-180972006/>. Acedido a 5 de fevereiro de 2022.

(Eric Wesoff, 2014). *Happy 60th Anniversary to the Modern Solar Cell*. Green Techmedia. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/Happy-60th-Anniversary-to-the-Modern-Solar-Cell>. Acedido a 6 de fevereiro de 2022.

(ERSE, 2022). *Períodos horários da energia elétrica em Portugal*. ERSE. <https://www.erse.pt/media/wijn0vgt/periodos-hor%C3%A1rios-de-energia-el%C3%A9trica-em-portugal.pdf>. Acedido a 9 de setembro de 2022.

(European Commission, 2022). *Free allocation for the modernisation of the energy sector*. European Commission. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/free-allocation-modernisation-energy-sector_en. Acedido a 13 de março de 2022.

(Eurostat, 2022). *File: Renewable energy 2020 infographic*. Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Renewable_energy_2020_infographic_18-01-2022.jpg#filelinks. Acedido a 28 de março de 2022.

(Global.Sharp, 2022). Global.Sharp. https://global.sharp/solar/br/history/1976_2.html. Acedido a 1 de março de 2022.

(Growatt, 2022). Growatt. <https://www.growatt.es/show-44-625.html>. *Growatt SPF 3500-5000 ES*. Acedido a 26 de junho de 2022.

(Growatt, 2022). Growatt. <https://www.ginverter.com/Residential-Storage-Inverters/43-656.html>. Acedido a 6 de setembro de 2022.

(Hannah Ritchie et al, 2020). *Electricity Mix*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/electricity-mix>. Acedido a 22 de março de 2022.

(IEC, 2018). *History*. Institute of Energy Conversion. <https://iec.udel.edu/about/history/>. Acedido a 12 de fevereiro de 2022.

(ITWissen, 2022). *Thin film solar cell*. ITWessen. <https://www.itwissen.info/en/thin-film-solar-cell-122164.html#gsc.tab=0>. Acedido a 10 de abril de 2022.

(Mark Hutchins, 2019). *Nothing can bring down the price of III-V solar cells – just add germanium*. PV Magazine. <https://www.pv-magazine.com/2019/06/10/nothing-can-bring-down-the-price-of-iii-v-solar-cells-just-add-germanium/>. Acedido a 10 de abril de 2022.

(ONIT Home, 2021). *The History of the Jimmy Carter Solar Panels Movement*. ONIT Home. <https://www.onithome.com/blog/solar/the-history-of-the-jimmy-carter-solar-panels-movement/>. Acedido a 13 de fevereiro de 2021.

(Our World in Data, 2021). *Electricity production by source, Portugal*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-production-by-source?time=earliest..2021&country=~PRT>. Acedido a 22 de março de 2022.

(PHYSORG, 2011). *Efficiency record for flexible CdTe solar cell due to novel polyimide film*. PHYSORG. <https://phys.org/news/2011-06-efficiency-flexible-cdte-solar-cell.html>. Acedido a 10 de abril de 2022.

(Portal Solar, 2022). *Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar*. Portal Solar. <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>. Acedido a 11 de abril de 2022.

(REN Data Hub, 2022). *Balanço Diário*. REN Data Hub. <https://datahub.ren.pt/pt/eletricidade/balanco-diario/?date=2022-02-22>. Acedido a 28 de fevereiro de 2022.

(renvu, 2022). *What Does An MPPT Charge Controller Do?* Renvu. <https://www.renvu.com/What-does-an-MPPT-charge-controller-do>. Acedido a 15 de abril de 2022.

(RS, 2022). *Amorphous Solar Cell solar panel* RS. <https://sg.rs-online.com/web/p/solar-panels/6646781>. Acedido a 9 de abril de 2022.

(SolarReviews, 2021). *What are microinverters?* SolarReviews. <https://www.solarreviews.com/blog/what-are-microinverters>. Acedido a 15 de abril de 2022.

(Sudarshan. SlidePlayer, 2022). *The PV Cell History, Basics & Technologies*, Bangalore. <https://slideplayer.com/slide/12053345/>. Acedido a 22 de janeiro de 2022.

(TEC, 2019). *Relatório Especial n.º8/2019*. Tribunal de Contas Europeu. <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/wind-solar-power-generation-8-2019/pt/index.html#box1>. Acedido a 26 de março de 2022.

(Jonathan Kuyper, et al, 2018). The Evolution of the UNFCCC. Annual Review of Environment and Resources. <https://www.annualreviews.org/action/showCitFormats?doi=10.1146%2Fannurev-environ-102017-030119> , acedido a 2 de março de 2022.

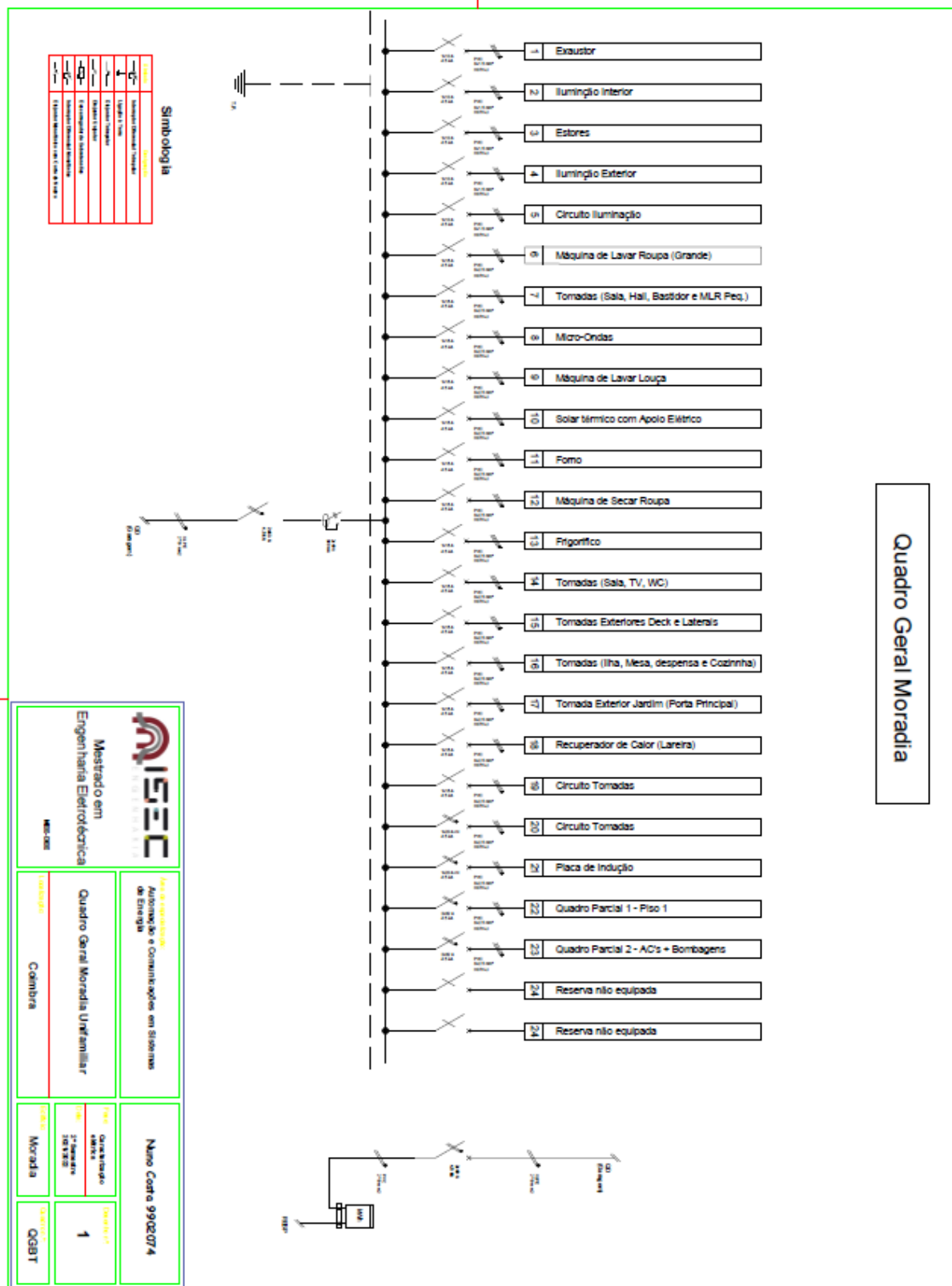
(The Wall Street Journal, 2016). *A Look Back to the Future: Sharp's Products*. The Wall Street Journal. <https://www.wsj.com/articles/a-look-back-to-the-future-sharps-key-products-1456378446>. Acedido a 1 de março de 2022.

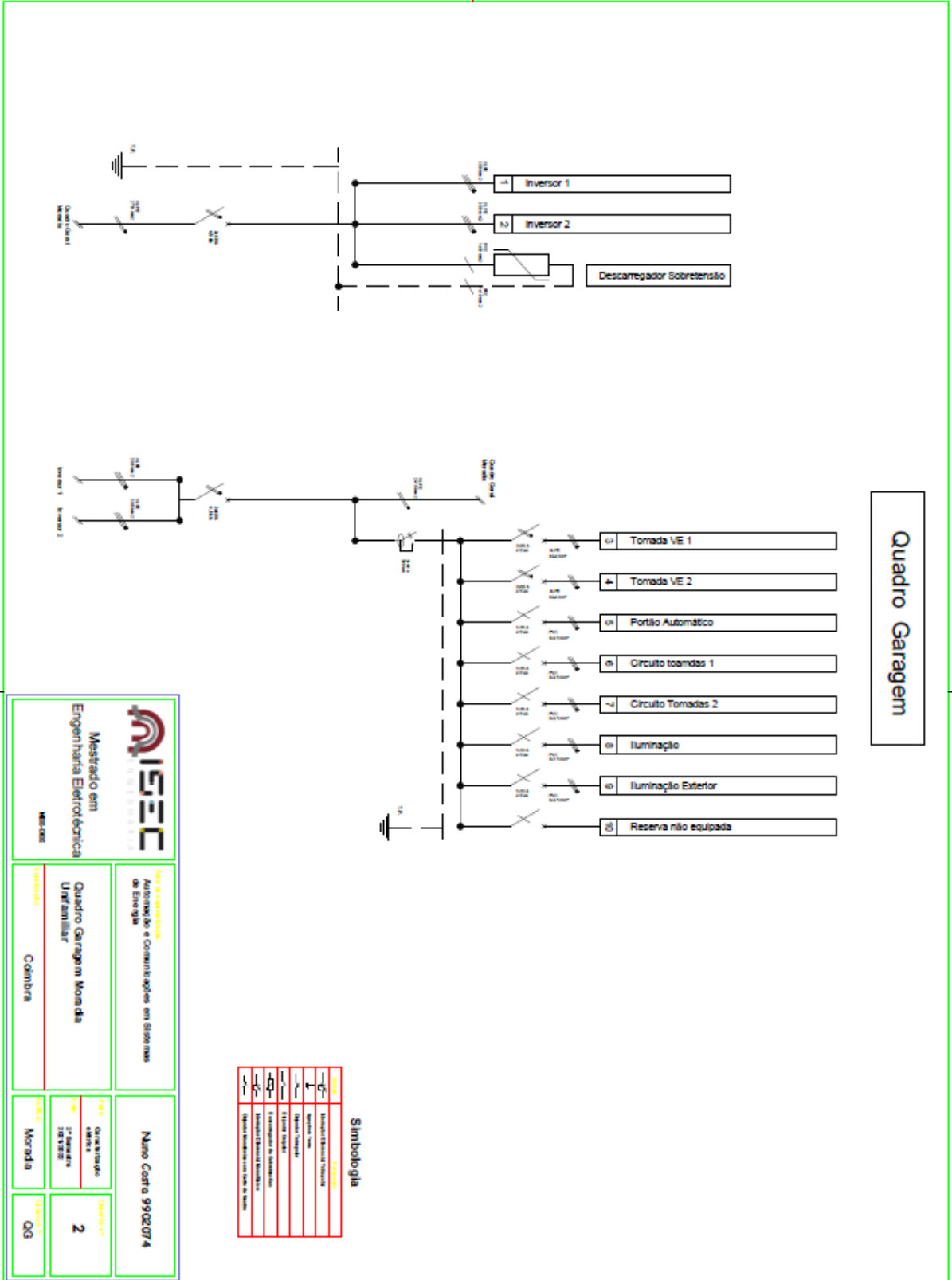
(Udaily staff, 2018). *In Memorium: Karl W. Böer*. University Delaware. <https://iec.udel.edu/about/history/> . Acedido a 12 de fevereiro de 2022.

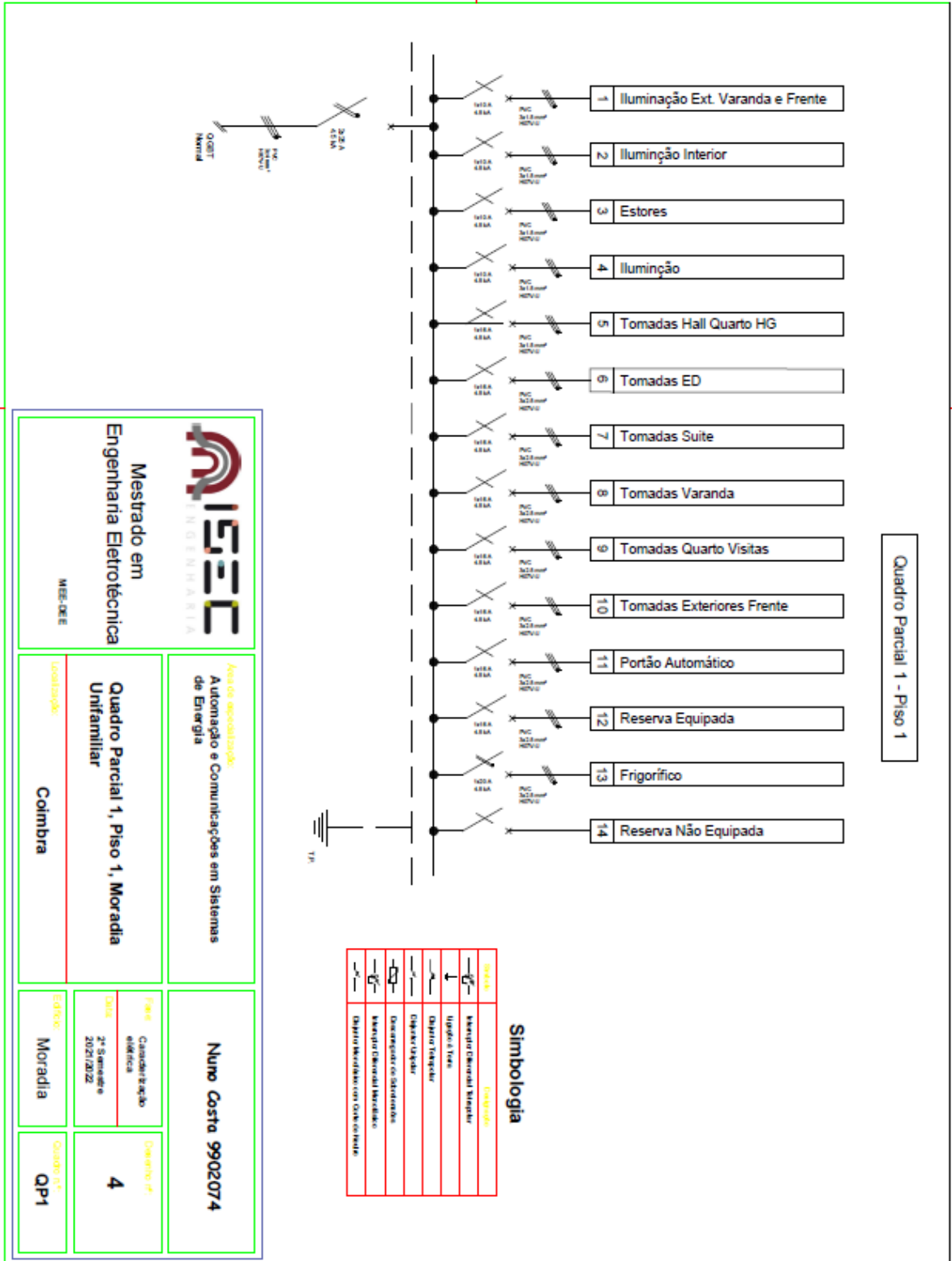
(Utsho Arefin et al, 2016). *Feasibility Study of Powering Hazrat Shahjalal International Airport by Solar Power*. https://www.researchgate.net/publication/308898735_Feasibility_Study_of_Powering_Hazrat_Shahjalal_International_Airport_by_Solar_Power. Acedido a 15 de abril de 2022.

ANEXOS

ANEXO- A (Auto Cad's Esquemas Eléctricos Quadros)







Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

MEE-LEEE

ISEC

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

Área de especialização:
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Localização:
Colimbra

Nuno Costa 9902074

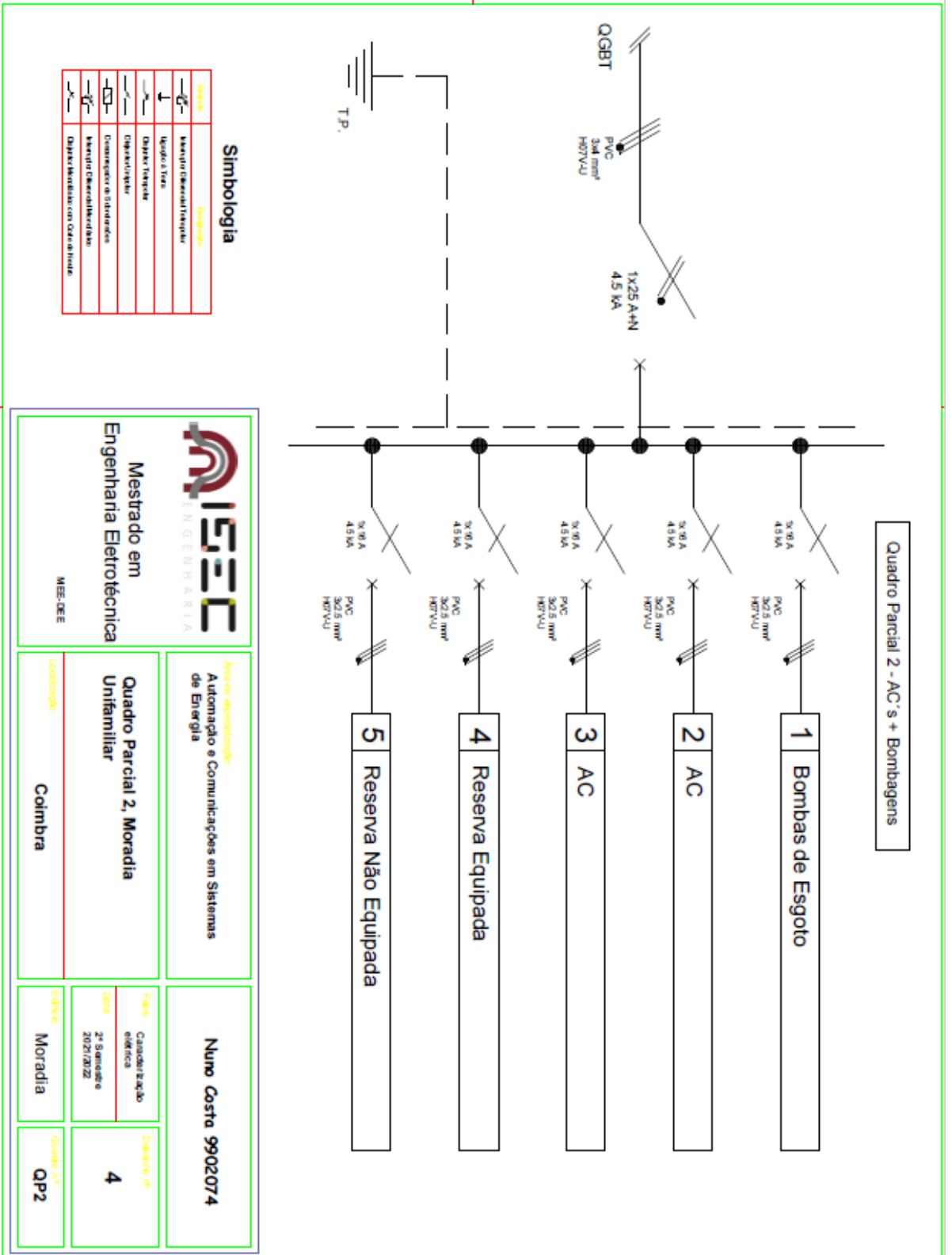
Fase: Candidatura elétrica

Data: 24 Setembro 2021/2022

Documento nº: 4

Edifício: Moradia

Quadro nº: QP-1



Simbologia

Símbolo	Designação
	Interruptor Diferencial Residual
	Interruptor Tipo B
	Disjuntor Térmico
	Disjuntor Magnético
	Contator de 3 Estados
	Interruptor Diferencial Residual com Corte de Energia

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

MEE-DEE

Área de especialização:

Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Quadro Parcial 2, Moradia Unifamiliar

Localização: **Colimbra**

Nuno Costa 9902074

País: Canadá Códex: 27 Setembro 2021/2022	Documento: 4
--	---------------------

Edifício: **Moradia**

Quadro n.º: **QP2**

ANEXO- B (Projeto EPLAN Sistema Solar)

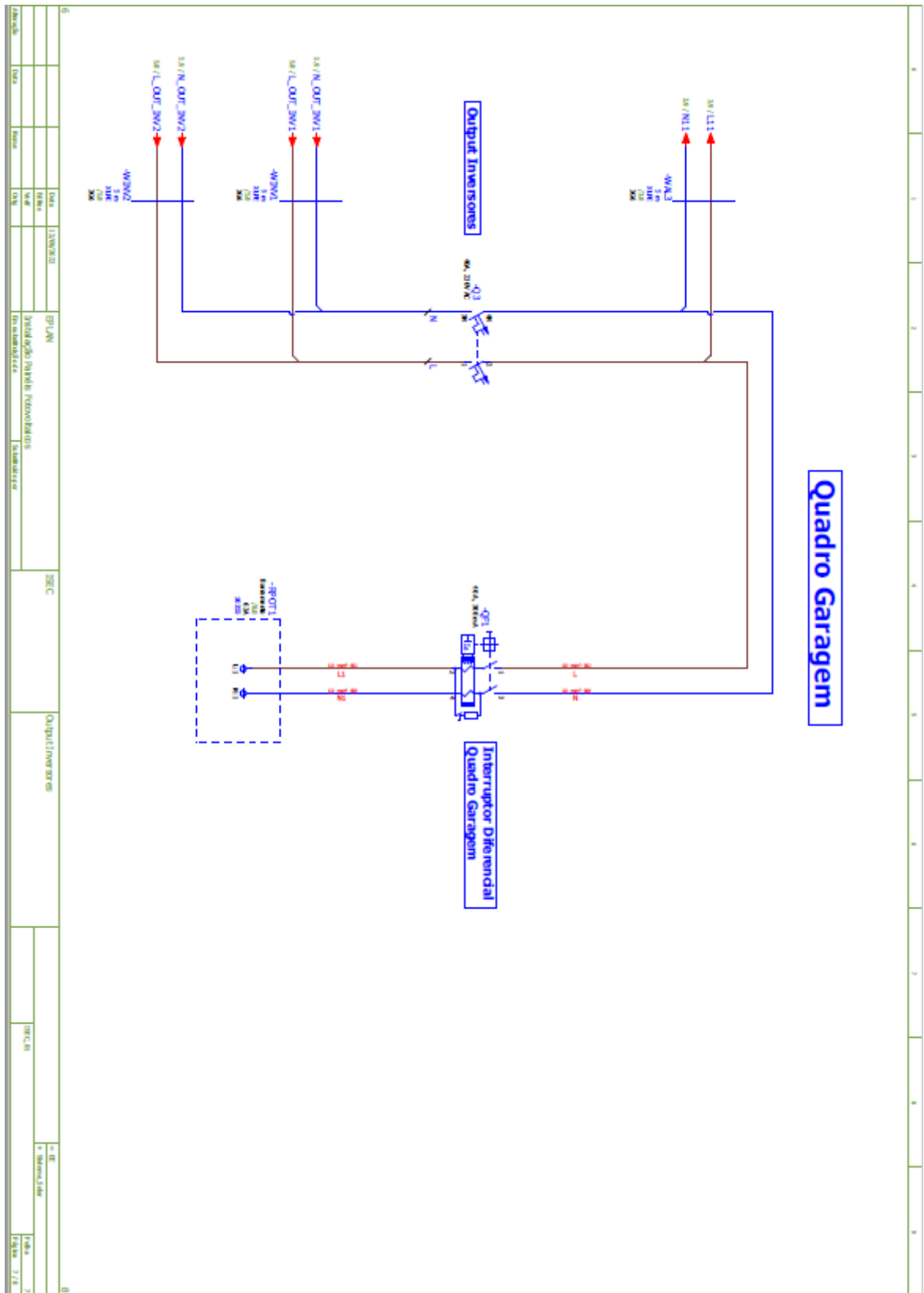
		ISEC Tel.
Pág. 004		
Empresa / Cliente Descrição do projecto Número do desenho Comissão	ISEC Instalação Painéis Fotovoltaicos ISEC_01 EPLAN	
Fabricante (Empresa) Coluna Nome do projecto Realizar Tipo Localização de instalação Responsável pelo projecto Características da peça	ISEC Esquema Elétrico ISEC_MC 3030-199-Coimbra - Portugal Nuno Costa	
Criado em Editado em	01/06/2022 12/09/2022	de (abreviatura) NUNO.COSTA
	Quantidade de páginas	8

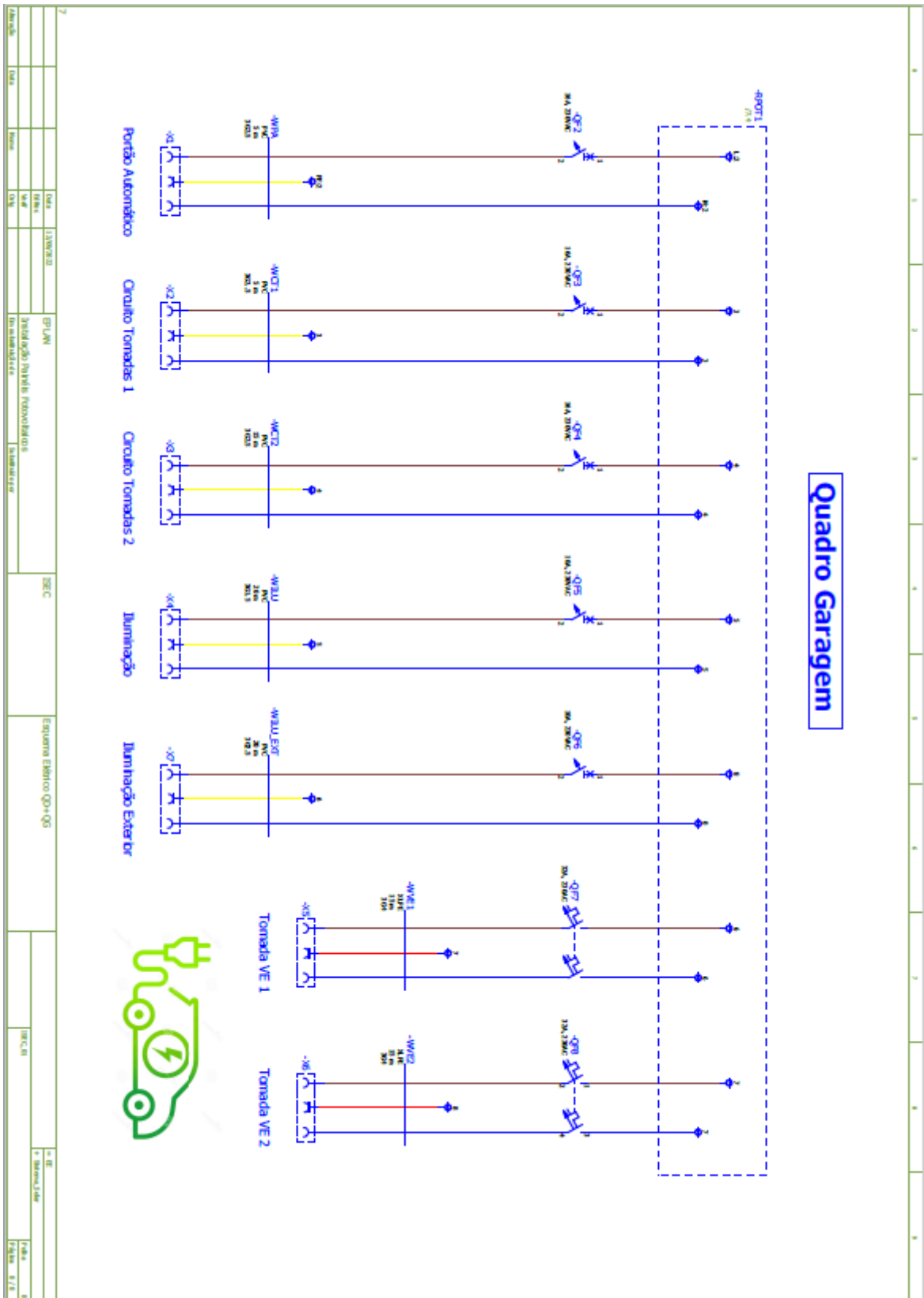
Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

Índice Geral

Localização	Página	Descrição da página	Campo suplementar da página	Data	Estado
Sistema_Solar	1	Capa		08/06/2022	NC
Sistema_Solar	2	Índice		12/09/2022	NC
Sistema_Solar	3	Atenuação RESF (GGHorario)		12/09/2022	NC
Sistema_Solar	4	Atenuação RESF (GGHorario)		12/09/2022	NC
Sistema_Solar	5	Inversores + Painéis		12/09/2022	NC
Sistema_Solar	6	Armazenamento (Baterias)		12/09/2022	NC
Sistema_Solar	7	Output Inversores		12/09/2022	NC
Sistema_Solar	8	Equipaon Estivo QOH-QG		12/09/2022	NC

Abreviatura	Ordem	Nome	Ordem	Descrição	Índice	Estado	Índice	Estado
			001	11/09/2022				
			002	10/09/2022				
			003	10/09/2022				
			004	10/09/2022				
			005	10/09/2022				
			006	10/09/2022				
			007	10/09/2022				
			008	10/09/2022				
			009	10/09/2022				
			010	10/09/2022				
			011	10/09/2022				
			012	10/09/2022				
			013	10/09/2022				
			014	10/09/2022				
			015	10/09/2022				
			016	10/09/2022				
			017	10/09/2022				
			018	10/09/2022				
			019	10/09/2022				
			020	10/09/2022				
			021	10/09/2022				
			022	10/09/2022				
			023	10/09/2022				
			024	10/09/2022				
			025	10/09/2022				
			026	10/09/2022				
			027	10/09/2022				
			028	10/09/2022				
			029	10/09/2022				
			030	10/09/2022				
			031	10/09/2022				
			032	10/09/2022				
			033	10/09/2022				
			034	10/09/2022				
			035	10/09/2022				
			036	10/09/2022				
			037	10/09/2022				
			038	10/09/2022				
			039	10/09/2022				
			040	10/09/2022				
			041	10/09/2022				
			042	10/09/2022				
			043	10/09/2022				
			044	10/09/2022				
			045	10/09/2022				
			046	10/09/2022				
			047	10/09/2022				
			048	10/09/2022				
			049	10/09/2022				
			050	10/09/2022				
			051	10/09/2022				
			052	10/09/2022				
			053	10/09/2022				
			054	10/09/2022				
			055	10/09/2022				
			056	10/09/2022				
			057	10/09/2022				
			058	10/09/2022				
			059	10/09/2022				
			060	10/09/2022				
			061	10/09/2022				
			062	10/09/2022				
			063	10/09/2022				
			064	10/09/2022				
			065	10/09/2022				
			066	10/09/2022				
			067	10/09/2022				
			068	10/09/2022				
			069	10/09/2022				
			070	10/09/2022				
			071	10/09/2022				
			072	10/09/2022				
			073	10/09/2022				
			074	10/09/2022				
			075	10/09/2022				
			076	10/09/2022				
			077	10/09/2022				
			078	10/09/2022				
			079	10/09/2022				
			080	10/09/2022				
			081	10/09/2022				
			082	10/09/2022				
			083	10/09/2022				
			084	10/09/2022				
			085	10/09/2022				
			086	10/09/2022				
			087	10/09/2022				
			088	10/09/2022				
			089	10/09/2022				
			090	10/09/2022				
			091	10/09/2022				
			092	10/09/2022				
			093	10/09/2022				
			094	10/09/2022				
			095	10/09/2022				
			096	10/09/2022				
			097	10/09/2022				
			098	10/09/2022				
			099	10/09/2022				
			100	10/09/2022				
			101	10/09/2022				
			102	10/09/2022				
			103	10/09/2022				
			104	10/09/2022				
			105	10/09/2022				
			106	10/09/2022				
			107	10/09/2022				
			108	10/09/2022				
			109	10/09/2022				
			110	10/09/2022				
			111	10/09/2022				
			112	10/09/2022				
			113	10/09/2022				
			114	10/09/2022				
			115	10/09/2022				
			116	10/09/2022				
			117	10/09/2022				
			118	10/09/2022				
			119	10/09/2022				
			120	10/09/2022				
			121	10/09/2022				
			122	10/09/2022				
			123	10/09/2022				
			124	10/09/2022				
			125	10/09/2022				
			126	10/09/2022				
			127	10/09/2022				
			128	10/09/2022				
			129	10/09/2022				
			130	10/09/2022				
			131	10/09/2022				
			132	10/09/2022				
			133	10/09/2022				
			134	10/09/2022				
			135	10/09/2022				
			136	10/09/2022				
			137	10/09/2022				
			138	10/09/2022				
			139	10/09/2022				
			140	10/09/2022				
			141	10/09/2022				
			142	10/09/2022				
			143	10/09/2022				
			144	10/09/2022				
			145	10/09/2022				
			146	10/09/2022				
			147	10/09/2022				
			148	10/09/2022				
			149	10/09/2022				
			150	10/09/2022				
			151	10/09/2022				
			152	10/09/2022				
			153	10/09/2022				
			154	10/09/2022				
			155	10/09/2022				
			156	10/09/2022				
			157	10/09/2022				
			158	10/09/2022				
			159	10/09/2022				
			160	10/09/2022				
			161	10/09/2022				
			162	10/09/2022				
			163	10/09/2022				
			164	10/09/2022				
			165	10/09/2022				
			166	10/09/2022				
			167	10/09/2022				
			168	10/09/2022				
			169	10/09/2022				
			170	10/09/2022				
			171	10/09/2022				
			172	10/09/2022				





ANEXO- C (Inversor Híbrido SPF 5000 ES)

Datasheet	SPF 3500 ES	SPF 5000 ES
Battery Voltage	48VDC	
Battery Type	Lithium/Lead-acid	
INVERTER OUTPUT		
Rated Power	3500VA/ 3500W	5000VA/ 5000W
Parallel Capability	Yes, 6 units maximum	
AC Voltage Regulation (Battery Mode)	230VAC \pm 5% @ 50/60Hz	
Surge Power	7000VA	10000VA
Efficiency (Peak)	93%	
Waveform	Pure sine wave	
Transfer Time	10ms typical, 20ms Max	
SOLAR CHARGER		
Maximum PV Array Power	4500W	6000W
MPPT Range @ Operating Voltage	120VDC – 430VDC	
Number of Independent MPP Trackers/ Strings Per MPP Tracker	1/1	
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	450VDC	
Maximum Solar Charge Current	80A	100A
AC CHARGER		
Charge Current	60A	80A
AC Input Voltage	230 VAC	
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) ; 90-280 VAC (For Home Appliances)	
Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)	
PHYSICAL		
Protection Degree	IP20	
Dimension (W/H/D)	330/485/135mm	330/485/135mm
Net Weight	11.5kgs	12kgs
OPERATING ENVIRONMENT		
Humidity	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)	
Altitude	<2000m	
Operating Temperature	0°C - 55°C	
Storage Temperature	-15°C - 60°C	

ANEXO- D (Painel Fotovoltaico JAM72S20)



Mono

465W MBB Half-Cell Module
 JAM72S20 440-465/MR/1000V Series

Introduction

Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss



Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



■ JA Linear Power Warranty ■ Industry Warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- OHSAS 18001: 2007 Occupational health and safety management systems



JASOLAR

www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.

Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd.

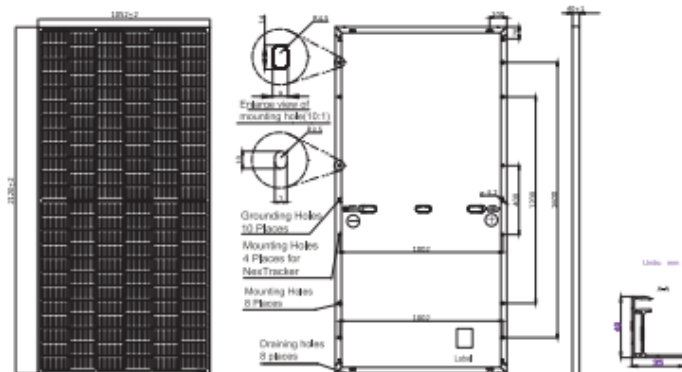


Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

JA SOLAR

JAM72S20 440-465/MR/1000V Series

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	25,0kg±3%
Dimensions	2120±2mm×1052±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	Genuine MC4 QC4.10
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Country of Manufacturer	China/Vietnam

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S20 -440/MR/1000V	JAM72S20 -445/MR/1000V	JAM72S20 -450/MR/1000V	JAM72S20 -455/MR/1000V	JAM72S20 -460/MR/1000V	JAM72S20 -465/MR/1000V
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	440	445	450	455	460	465
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.40	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	40.90	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.28	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.76	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96
Module Efficiency [%]	19.7	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8
Power Tolerance	0→+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0,044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0,272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0,350%/°C					

STC Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types. Measurement tolerance at STC: Pmax ±3 %, Voc ±2% and Isc ±4%.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

TYPE	JAM72S20-440 /MR/1000V	JAM72S20-445 /MR/1000V	JAM72S20-450 /MR/1000V	JAM72S20-455 /MR/1000V	JAM72S20-460 /MR/1000V	JAM72S20-465 /MR/1000V
Rated Max Power(Pmax) [W]	333	336	340	344	348	352
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.40	46.65	46.90	47.15	47.38	47.61
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.70	38.95	39.19	39.44	39.68	39.90
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.16	9.20	9.25	9.29	9.33	9.38
Max Power Current(Imp) [A]	8.60	8.64	8.68	8.72	8.76	8.81

NOCT Irradiance 800W/m², ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G

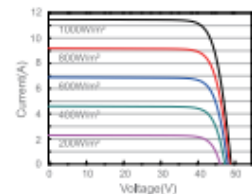
*For NextTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa.

OPERATING CONDITIONS

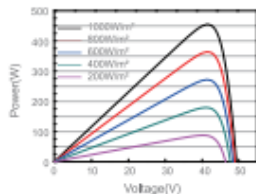
Maximum System Voltage	1000V DC(IEC)
Operating Temperature	-40 C → +85 C
Maximum Series Fuse	20A
Maximum Static Load, Front*	3600Pa, 1.5
Maximum Static Load, Back*	1600Pa, 1.5
NOCT	45±2 C
Safety Class	Class II

CHARACTERISTICS

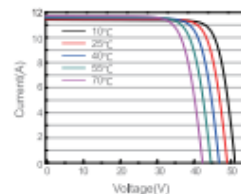
Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR/1000V



Power-Voltage Curve JAM72S20-455/MR/1000V



Current-Voltage Curve JAM72S20-455/MR/1000V



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20200530A

ANEXO- E (Armazenamento - Módulos Baterias)

ARK LV Battery System

- Flexible capacity options, 2.56kWh to 23.04kWh
- Excellent safety of cobalt free LiFePO4 battery
- Easy installation with modular and stacked design
- Long lifespan, 10 years warranty




P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

Growatt

www.ginverter.com

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

Datasheet	ARK 2.5L	ARK 5.1L	ARK 7.6L	ARK 10.2L	ARK 12.8L	ARK 15.3L	ARK 17.9L	ARK 20.4L	ARK 23.0L
System Demo									
Battery Module	ARK 2.5L-A1 (2.56kWh, 51.2V, 30kg)								
Number of Modules	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Energy Capacity	2.56kWh	5.12kWh	7.68kWh	10.24kWh	12.8kWh	15.36kWh	17.92kWh	20.48kWh	23.04kWh
Dimension (W/D/H)	650/260/180mm	650/260/360mm	650/260/540mm	650/260/720mm	650/260/900mm	650/260/1080mm	650/260/1260mm	650/260/1440mm	650/260/1620mm
Weight	30kg	60kg	90kg	120kg	150kg	180kg	210kg	240kg	270kg
Max Charge/Discharge Current	25A	50A	75A	100A	120A	120A	120A	120A	120A
General									
Battery Type	Cobalt Free Lithium Iron Phosphate (LFP)								
Nominal Voltage	51.2V								
Operating voltage range	47.2 - 56.8V								
IP Protection	IP65								
Installation	Wall-mounted or *Rooftop installation								
Operation Temperature	-10 ~ 45 °C								
Features									
DoD	90%								
Cycle Life	> 6000								
BMS Monitoring Parameters	SOC, System voltage, current, cell voltage, cell temperature, PCBA temperature measurement								
Communication Prot	CAN/RS485								
Warranty	10 Years								
Certification	IEC62619 (Cell&Pack), CE, CEC, RCM, UN38.3								

*Rooftop installation requires extra base (W/D/H=650/260/110 mm)

ANEXO- F (Relatório Estimativas Software PSysst V7.2.16)



Versão 7.2.16

PVsyst - Relatório da simulação

Sistema acoplado à rede

Projeto: ISEC

Variante: Nova variante da simulação

Fiadas num edifício

Potência sistema: 3600 Wp

Copeira - Portugal



Projeto: ISEC

Variante: Nova variante da simulação

PVsyst V7.2.16

VCO, Data da simulação: 14/07/22 18:38
com v7.2.16

Resumo do projeto

Localização geográfica	Localização	Parâmetros projeto
Copeira	Latitude 40.18 °N	Albedo 0.20
Portugal	Longitude -8.43 °W	
	Altitude 74 m	
	Fuso horário UTC	
Dados meteorológicos		
Copeira		
Meteonorm 8.0 (1996-2015), Sat=100% - Sintético		

Resumo do sistema

Sistema acoplado à rede	Fiadas num edifício	Exigências do consumidor
Simulação para o ano n° 1	Sombras próximas	Consumo doméstico
Orientação do plano dos módulos	Sombras lineares	Constantes ao longo do ano
Plano fixo		Média 32.4 kWh/Dia
Inclinação/Azimute 30 / -30 °		
Informação do sistema	Inversores	Conjunto de baterias
Grupo FV	Número de unidades 1 unidade	Estratégia de armazenamento : autoconsumo
Número de módulos 8 unidades	Pnom total 5.00 kWca	Número de unidades 3 unidades
Pnom total 3600 Wp	Rácio Pnom 0.720	Tensão 52 V
		Capacidade 360 Ah

Resumo dos resultados

Energia produzida 5.56 MWh/ano	Produção específica 1543 kWh/kWp/ano	Índice de perf. PR 78.25 %
Energia utilizada 11.83 MWh/ano		Fração solar 42.15 %

Índice

Resumo do projeto e dos resultados	2
Parâmetros gerais, Características do grupo FV, Perdas do sistema	3
Definição das sombras próximas - Diagrama das iso-sombras	5
Exigências detalhadas do consumidor	6
Resultados principais	7
Diagrama de perdas	8
Gráficos especiais	9
Custo do sistema	10
Análise financeira	11
Balanço de emissões CO ₂	13

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

Parâmetros gerais		
Sistema acoplado à rede	Fiadas num edifício	
Orientação do plano dos módulos	Configuração dos sheds	Modelos utilizados
Orientação Plano fixo		Transposição Perez
Inclinação/Azimute 30 / -30 °		Difuso Perez, Meteorom
		Cicumsolar separado
Horizonte	Sombras próximas	Exigências do consumidor
Sem horizonte	Sombras lineares	Consumo doméstico
		Constantes ao longo do ano
		Média 32.4 kWh/Dia
Armazenamento		
Tipo autoconsumo		
Estratégia de carregamento	Estratégia de descarregamento	
Quando excesso de energia solar está disponível	A partir do momento em que há necessidade de potência	

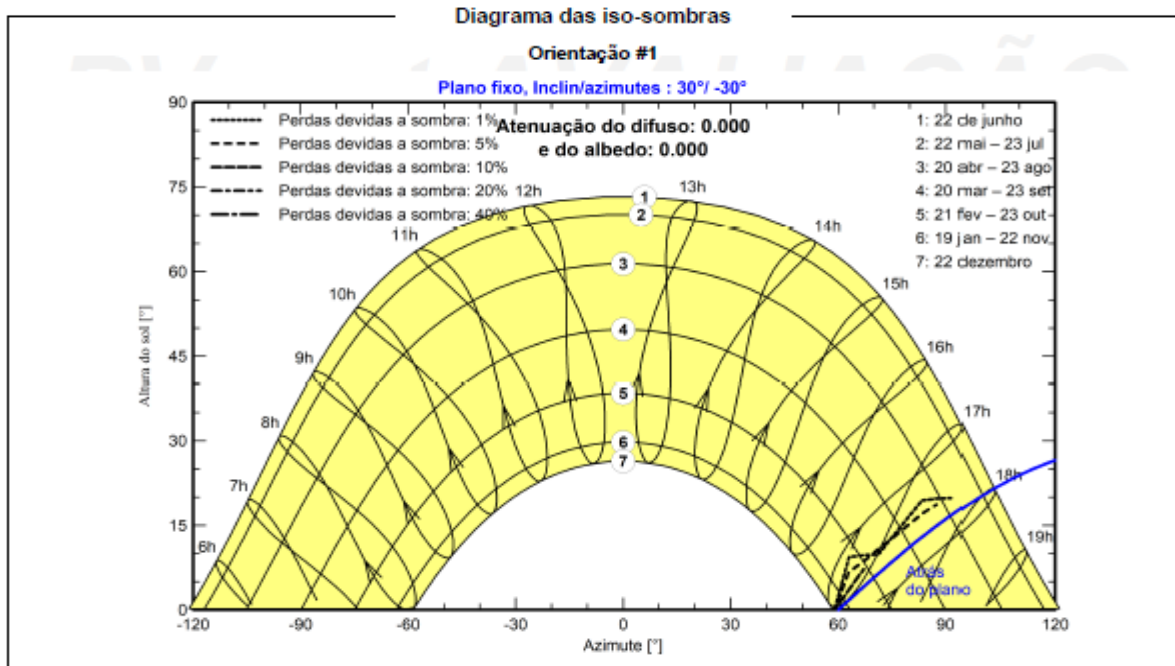
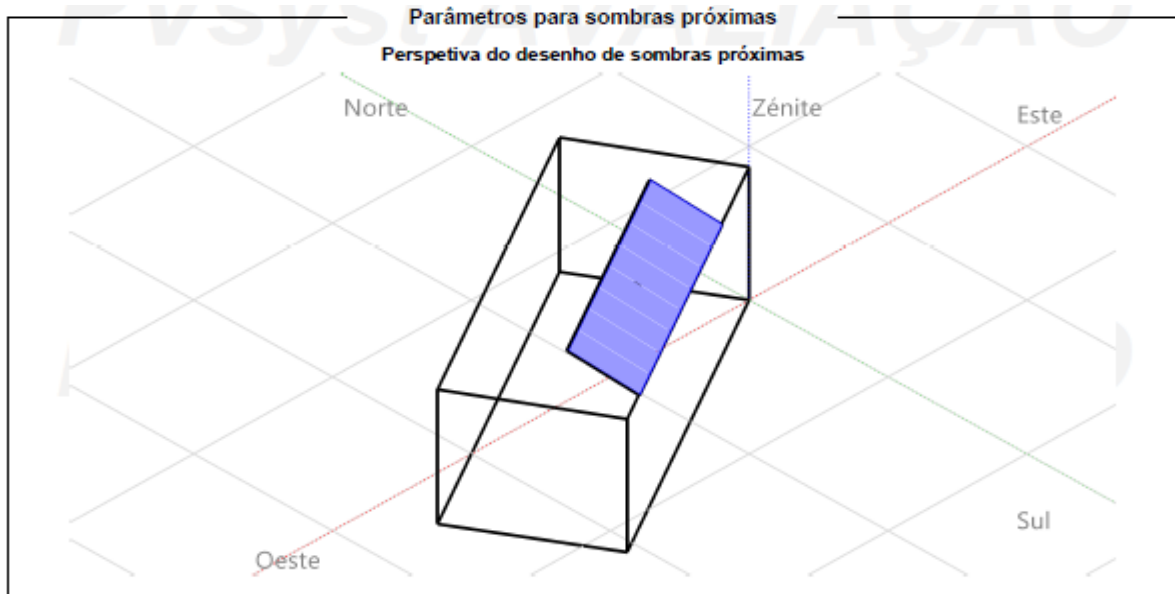
Características do grupo FV			
Módulo FV		Inversor	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	JAM78-S10-450-MR	Modelo	MIN 5000TL-XH-US
(Base de dados original do PVsyst)			
Potência unitária	450 Wp	Potência unitária	5.00 kWca
Número de módulos FV	8 unidades	Número de inversores	1 unidade
Nominal (STC)	3600 Wp	Potência total	5.0 kWca
Módulos	1 String x 8 Em série	Tensão de funcionamento	50-550 V
Em condições de func. (50°C)		Rácio Pnom (DC:AC)	0.72
Pmpp	3290 Wp		
Umpp	326 V		
Impp	10 A		
Potência FV total		Potência total inversor	
Nominal (STC)	3.60 kWp	Potência total	5 kWca
Total	8 módulos	Número de inversores	1 unidade
Superfície módulos	17.4 m ²	Rácio Pnom	0.72
Armazenamento da bateria			
Bateria			
Fabricante	Generic		
Modelo	KBM216_2P14S 120Ah		
Conjunto de baterias			
Número de unidades	3 em paralelo	Características do conjunto de baterias	
Descarregamento min. SOC	20.0 %	Tensão	52 V
Energia armazenada	14.8 kWh	Capacidade nominal	360 Ah (C10)
Carregador da bateria			
Modelo	Genérico	Temperatura	Fixada 20 °C
Potência máxima de carga	7.2 kWdc		
Efic. Máx/Euro	97.0/95.0 %		
Inversor Bateria-Rede			
Modelo	Genérico		
Potência máxima de descarga	2.7 kWca		
Efic. Máx/Euro	97.0/95.0 %		

Perdas do grupo

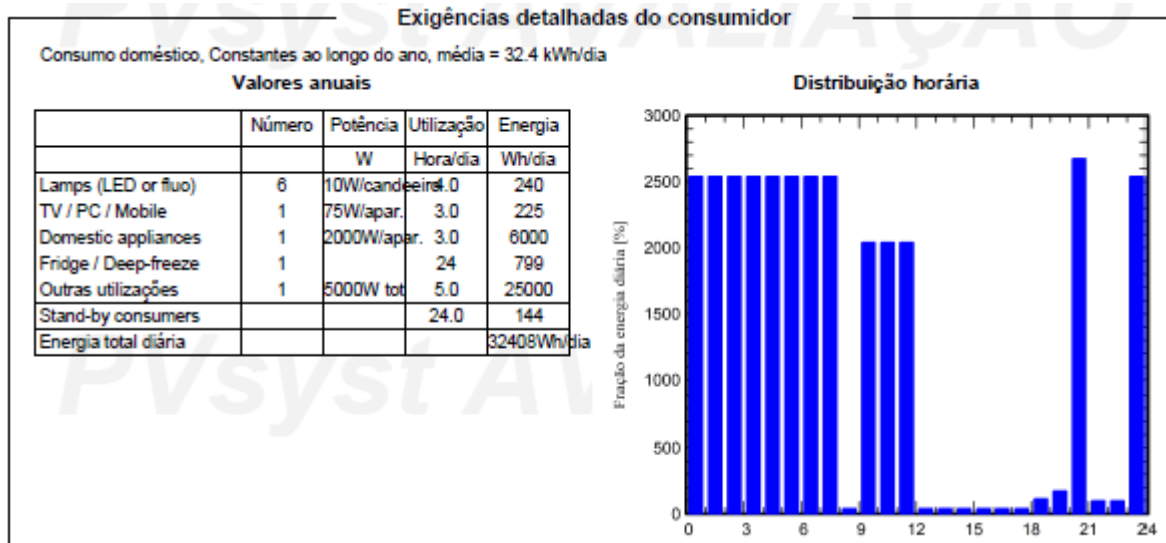
Perdas sujidade grupo		Fator de perdas térm.		Perdas de cablagem DC	
Fração perdas	2.0 %	Temperatura módulos em função irradiância		Res. global do grupo	19 mΩ
		Uc (const.)	29.0 W/m²K	Fração perdas	0.1 % em STC
		Uv (vento)	0.0 W/m²K/m/s		
Perdas diodo série		LID - "Light Induced Degradation"		Perdas de qualidade dos módulos	
Queda de tensão	0.7 V	Fração perdas	2.0 %	Fração perdas	-0.8 %
Fração perdas	0.2 % em STC				
Perdas dos módulos com mismatch		Perdas devidas a mismatch, em fiadas		Degradação média dos módulos	
Fração perdas	2.0 % no MPP	Fração perdas	0.1 %	Ano n°	1
				Fator de perda	0.55 %/ano
				Mismatch devido à degradação	
				RMS da dispersão de Imp	0.4 %/ano
				RMS da dispersão de Vmp	0.4 %/ano

Fator de perda IAM
Efeito de incidência (IAM): Fresnel, vidro normal, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

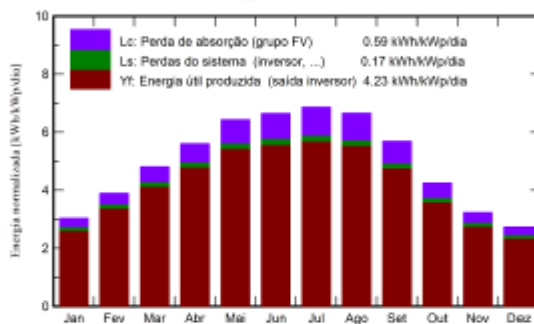


Resultados principais

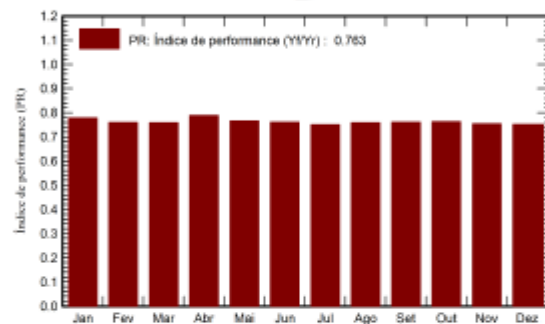
Produção do sistema			
Energia produzida	5.56 MWh/ano	Produção específica	1543 kWh/kWp/ano
Energia utilizada	11.83 MWh/ano	Índice de performance (PR)	76.25 %
		Fração solar	42.15 %
Envelhecimento da bateria (Estado de deterioração)			
Ciclos SOW	83.5 %		
SOW estático	90.0 %		
Duração de uma bateria	6.1 anos		

Avaliação económica			
Investimento		Custo anual	LCOE
Global	5230.00 EUR	Anuidades	0.00 EUR/ano
Específico	1.45 EUR/Wp	Custos operação	0.00 EUR/ano
		Período amortização	4.8 anos
			Custo da energia
			0.05 EUR/kWh

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (PR)



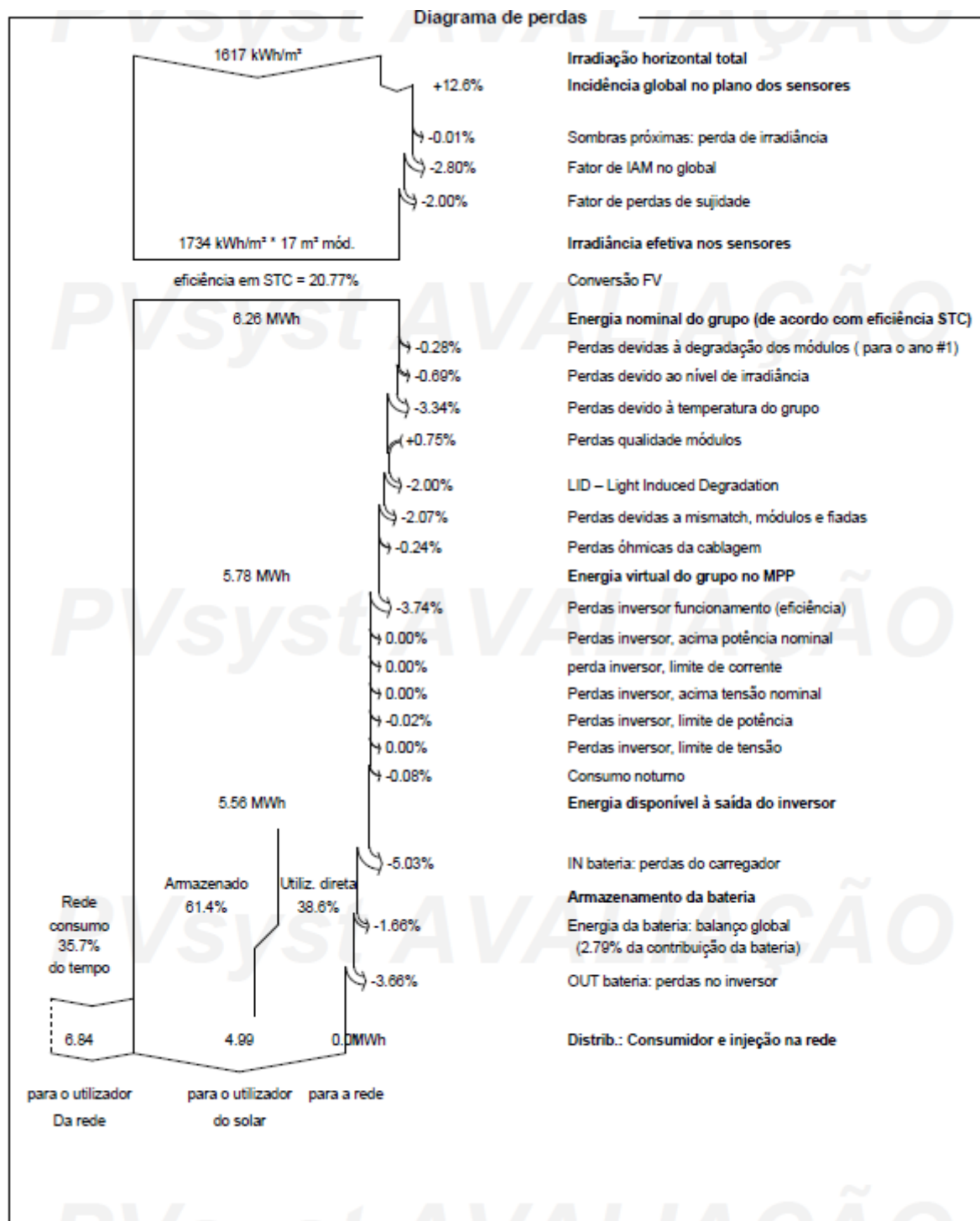
Balances e resultados principais

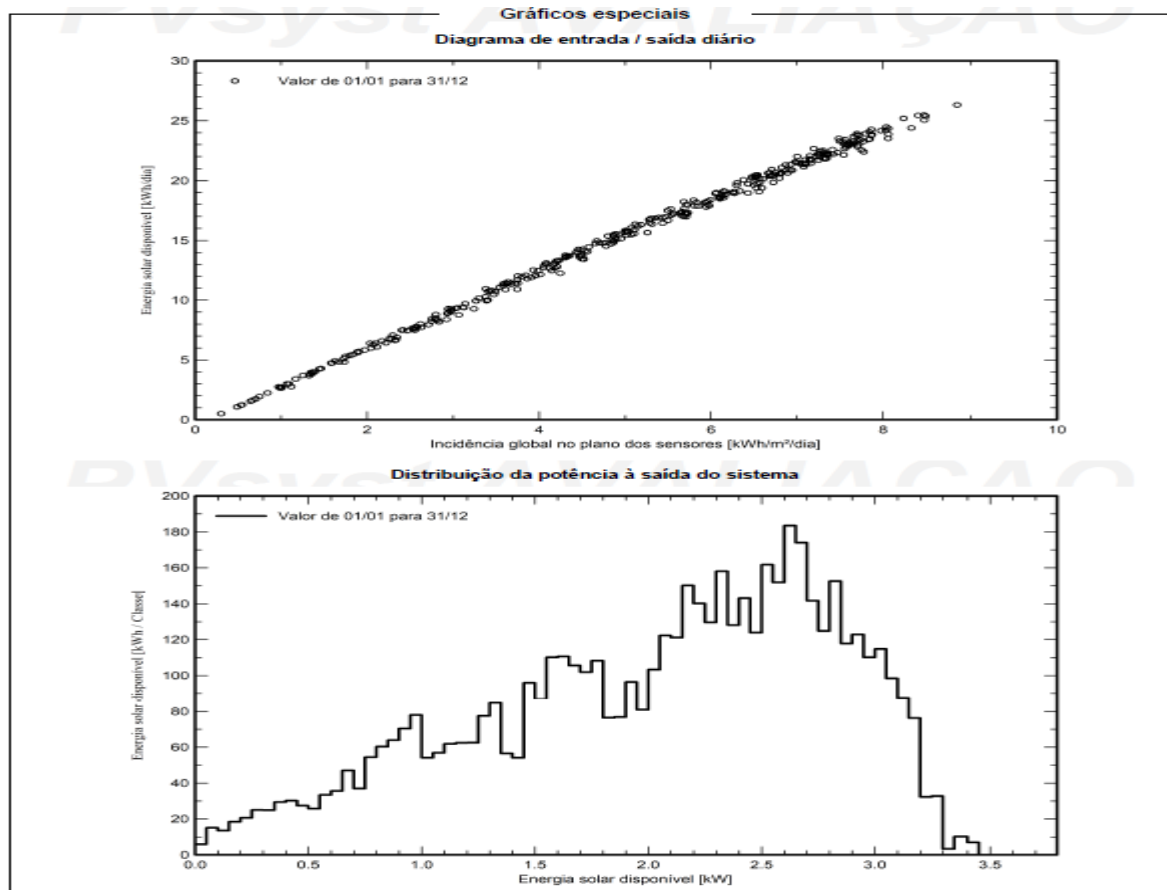
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
Janeiro	61.0	24.73	9.36	93.9	89.2	0.307	1.005	0.263	0.000	0.742
Fevereiro	81.2	34.89	10.07	108.9	103.8	0.356	0.907	0.298	0.000	0.610
Março	125.0	52.85	12.49	148.8	142.0	0.480	1.005	0.406	0.000	0.599
Abril	155.9	66.63	13.70	168.1	160.2	0.539	0.972	0.476	0.002	0.497
Mai	200.0	75.39	16.58	199.3	189.6	0.629	1.005	0.547	0.003	0.458
Junho	205.2	83.78	18.82	199.3	189.7	0.625	0.972	0.544	0.002	0.428
Julho	218.9	73.54	20.56	212.6	202.3	0.659	1.005	0.569	0.006	0.435
Agosto	197.3	65.17	21.03	206.3	196.7	0.640	1.005	0.562	0.001	0.442
Setembro	149.1	54.35	19.54	170.5	162.9	0.534	0.972	0.467	0.000	0.506
Outubro	102.6	45.07	17.19	131.8	125.7	0.419	1.005	0.362	0.000	0.643
Novembro	66.2	27.30	12.28	96.7	92.0	0.313	0.972	0.263	0.000	0.710
Dezembro	54.1	26.38	10.31	84.7	80.1	0.276	1.005	0.230	0.000	0.775
Ano	1616.6	629.89	15.19	1820.8	1734.3	5.777	11.829	4.985	0.013	6.844

Legendas

GlobHor	Irradiação horizontal total	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	E_User	Energia fornecida ao consumidor
T_Amb	Temperatura ambiente	E_Solar	Energia do sol
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores	E_Grid	Energia injetada na rede
GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras	EFrGrid	Energia de rede

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular





Custo do sistema

Custos da instalação

Item	Quantidade unidades	Custo EUR	Total EUR
Módulos FV			
JAM78-S10-450-MR	8	210.00	1680.00
Suportes dos módulos	8	25.00	200.00
Inversores			
MIN 5000TL-XH-US	1	600.00	600.00
Baterias	3	900.00	2700.00
Instalação			
Custo total da instalação por inversor	1	50.00	50.00
Total			5230.00
Bem amortizável			5180.00

Custos de operação

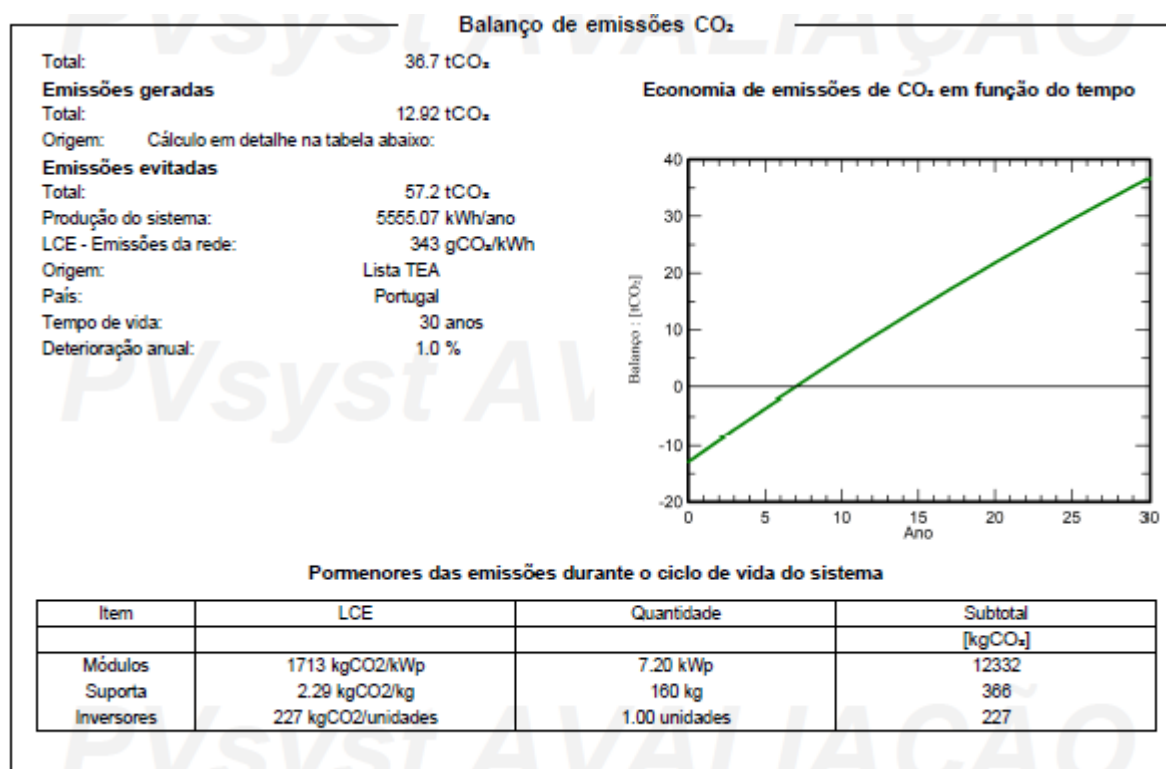
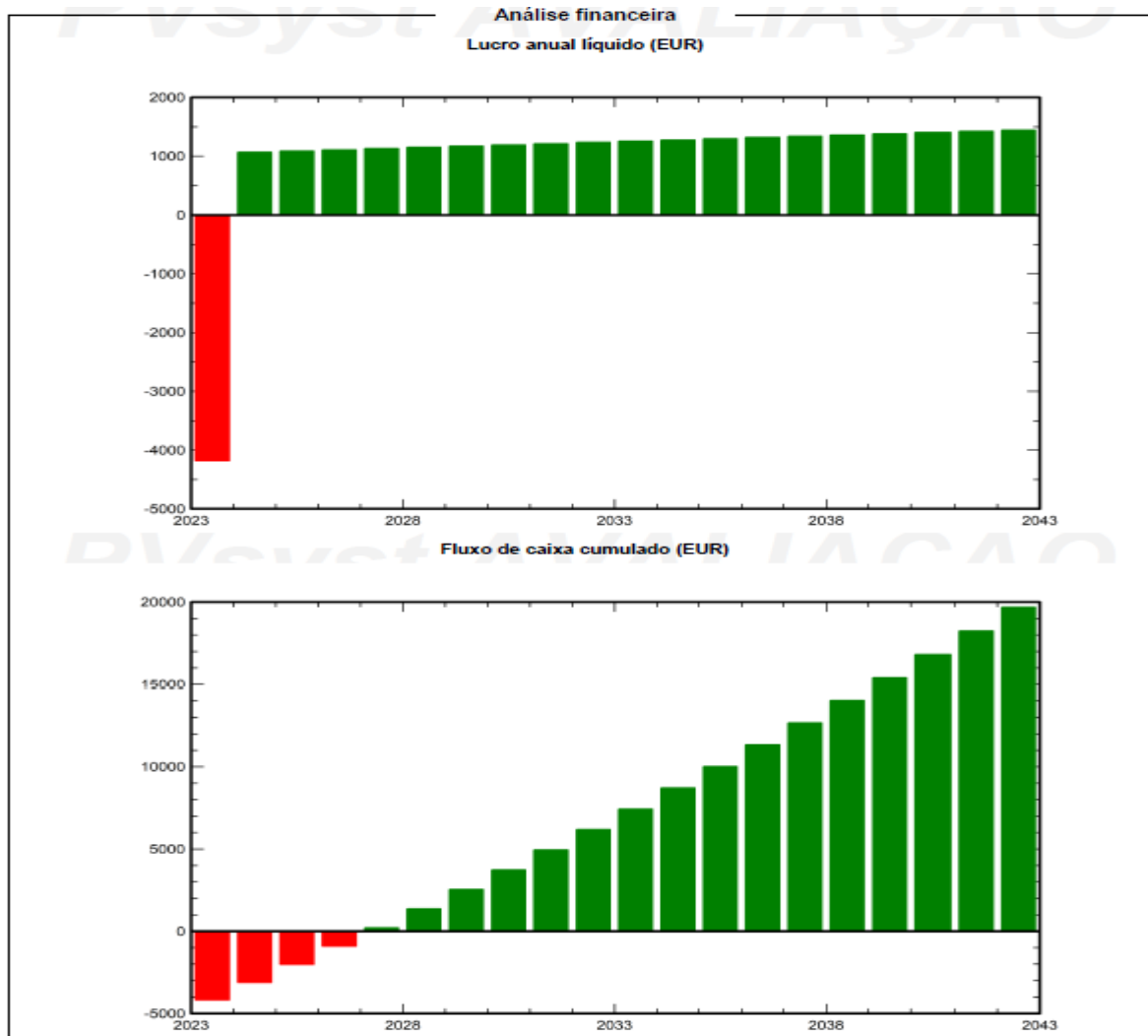
Item	Total EUR/ano
Total (OPEX)	0.00
Incluindo inflação (2.00%)	0.00

Resumo do sistema

Custo total de instalação	5230.00 EUR
Custos de operação (incluindo inflação 2.00%/ano)	0.00 EUR/ano
Energia não utilizada	4985 kWh/ano
Energia vendida à rede	13.0 kWh/ano
Custo da energia produzida (LCOE)	0.052 EUR/kWh

Estudo para a implementação de uma UPAC com armazenamento de energia elétrica para uma instalação particular

Análise financeira									
Período de simulação									
Duração do projeto	20 anos	Ano de início	2023						
Variação dos rendimentos ao longo do tempo									
Inflação			2.00 %/ano						
Variação da produção (envelhecimento)			0.00 %/ano						
Taxa de desconto			0.00 %/ano						
Despesas dependentes dos rendimentos									
Taxa de imposto sobre rendimentos			0.00 %/ano						
Outros impostos sobre os rendimentos			0.00 %/ano						
Dividendos			0.00 %/ano						
Financiamento									
Fundos próprios			5230.00 EUR						
Venda de eletricidade									
Tarifa de compra			0.0000 EUR/kWh						
Duração da garantia de tarifas			20 anos						
Imposto anual de ligação			0.00 EUR/kWh						
Variação da tarifa anual			0.0 %/ano						
Diminuição da tarifa de compra depois da garantia			0.00 %						
Autoconsumo									
Tarifa de consumo			0.2100 EUR/kWh						
Evolução das tarifas			+2.0 %/ano						
Rendimento									
Período de amortização			4.8 anos						
Valor atual líquido (VPN)			19886.58 EUR						
Rendimento (ROI)			376.4 %						
Resultados económicos pomenorizados (EUR)									
	Venda de eletricidade	Custos de operação	Subsidio de amortização	Rendimento taxável	Impostos	Lucro depois do imposto	Poupança auto-cons.	Lucro acumulado	% amortec.
2023	0	0	0	0	0	0	1047	-4183	20.0%
2024	0	0	0	0	0	0	1068	-3115	40.4%
2025	0	0	0	0	0	0	1089	-2026	61.3%
2026	0	0	0	0	0	0	1110	-917	82.5%
2027	0	0	0	0	0	0	1131	214	104.1%
2028	0	0	0	0	0	0	1152	1366	126.1%
2029	0	0	0	0	0	0	1173	2538	148.5%
2030	0	0	0	0	0	0	1193	3732	171.3%
2031	0	0	0	0	0	0	1214	4946	194.6%
2032	0	0	0	0	0	0	1235	6181	218.2%
2033	0	0	0	0	0	0	1256	7438	242.2%
2034	0	0	0	0	0	0	1277	8715	266.6%
2035	0	0	0	0	0	0	1298	10013	291.5%
2036	0	0	0	0	0	0	1319	11332	316.7%
2037	0	0	0	0	0	0	1340	12672	342.3%
2038	0	0	0	0	0	0	1361	14033	368.3%
2039	0	0	0	0	0	0	1382	15415	394.7%
2040	0	0	0	0	0	0	1403	16818	421.6%
2041	0	0	0	0	0	0	1424	18242	448.8%
2042	0	0	0	0	0	0	1445	19687	476.4%
Total	0	0	0	0	0	0	24917	19687	476.4%



ANEXO- G (Estimativas Simulador On-line PVGIS-SARAH2)



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

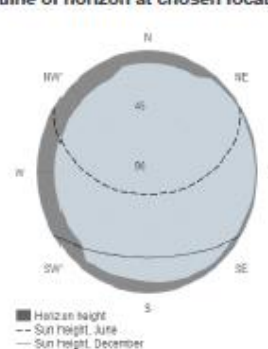
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 40.180,-8.426
 Horizon: Calculated
 Database used: PVGIS-SARAH2
 PV technology: Crystalline silicon
 PV installed: 7.2 kWp
 System loss: 10 %

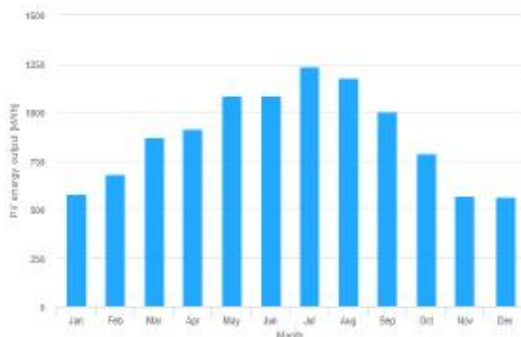
Simulation outputs

Slope angle: 31 (opt) °
 Azimuth angle: 30 °
 Yearly PV energy production: 10557.1 kWh
 Yearly in-plane irradiation: 1798.03 kWh/m²
 Year-to-year variability: 451.32 kWh
 Changes in output due to:
 Angle of incidence: -2.66 %
 Spectral effects: 0.83 %
 Temperature and low irradiance: -7.58 %
 Total loss: -18.36 %
 PV electricity cost [per kWh]: 0.077 per kWh

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	578.1	93.2	127.5
February	681.0	111.2	128.8
March	869.8	143.8	128.4
April	914.0	154.7	119.7
May	1084.4	186.3	138.1
June	1085.5	188.6	90.2
July	1234.2	216.1	77.8
August	1176.6	207.4	57.2
September	1006.8	175.8	76.1
October	791.7	134.1	90.0
November	569.1	93.6	109.0
December	565.9	91.3	67.6

E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].
 H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m²].
 SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. Factors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.
 It is not meant to constitute a statement or technical advice. However, some data or information on this site may have been created or distributed in files or formats that are not accessible and we cannot guarantee that our website will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.
 For more information, please visit https://ec.europa.eu/info/faq_en

