

Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia da Energia Solar

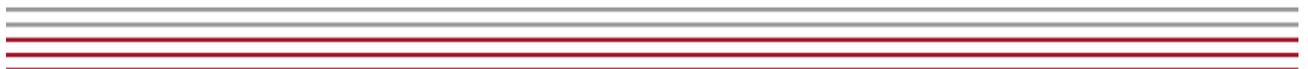
Dissertação

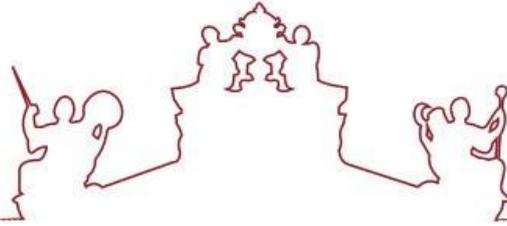
**Uma Base para o Projeto de Produção de Energia Elétrica
de Origem Fotovoltaica para uma Indústria Aeronáutica**

Cláudia Sofia Pita Grazina

Orientador(es) / Mário Rui Melício da Conceição

Évora 2021





Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia da Energia Solar

Dissertação

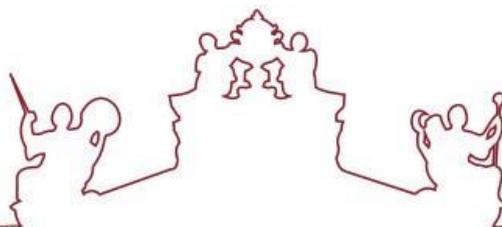
**Uma Base para o Projeto de Produção de Energia Elétrica
de Origem Fotovoltaica para uma Indústria Aeronáutica**

Cláudia Sofia Pita Grazina

Orientador / Mário Rui Melício da Conceição

Évora 2021





A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente / Paulo Canhoto (Universidade de Évora)

Vogais / Germilly Reki Morais Barreto (Instituto de Soldadura e Qualidade) (Arguente)
Mário Rui Melício da Conceição (Universidade de Évora) (Orientador)

Évora 2021



Resumo

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da Dissertação do Mestrado em Engenharia da Energia Solar. O objetivo do trabalho consiste na elaboração de uma base para a elaboração do projeto de produção de energia elétrica de origem fotovoltaica para uma Indústria localizada em Évora. O trabalho permite consciencializar para os benefícios ambientais, e sobretudo motivar para redução dos custos associados à fatura do consumo de energia elétrica. Foi realizada uma abordagem aos conteúdos teóricos da radiação solar e às tecnologias atualmente utilizadas nos painéis fotovoltaicos. Foi realizado um estudo sobre a radiação solar em Évora. Finalmente, foi realizado o projeto do dimensionamento do sistema fotovoltaico considerando o espaço disponível na cobertura do parque de estacionamento.

Palavras-Chave: Energia Elétrica; Radiação Solar; Tecnologias Fotovoltaicas, Indústria; PVGIS.

Abstract

A Basis for the Photovoltaic Electricity Production Project for an Aeronautical Industry

This work was developed within the scope of the Master's Dissertation in Solar Energy Engineering. The objective of the work is the implementation of a base for the elaboration of the project of production of electricity considering a PV system in an Industry located in Évora. The work makes it possible to raise awareness of the environmental benefits, and above all to motivate to reduce the costs associated with billing electricity consumption. An approach was made to the theoretical contents of solar radiation and to the technologies currently used in PV panels. A study on solar radiation was carried out in Évora. Finally, the project for dimensioning the PV system was carried out considering the space available on the roof of the Industry car parking.

Keywords: Electricity; Solar radiation; PV Technologies, Industry; PVGIS.

Agradecimentos

Quero agradecer,

- Ao meu Orientador, Doutor Mário Rui Melício da Conceição por me ter aceite como mestrando e ter feito este percurso comigo, fazendo para que tudo chegasse a bom porto. Obrigado, pelos ensinamentos e sua disponibilidade.
- À minha família que tem estado sempre ao meu lado em todos os desafios, apoiando-me, dando-me força sempre que a motivação se desvanece.
- Aos meus amigos/as que me apesar de longe me dão nem que seja uma palavrinha e energia para continuar e terminar mais uma etapa da minha vida.
- Aos meus colegas e amigos do Mestrado, que fizeram esta jornada comigo e outros que conheci neste âmbito, muito obrigado pela partilha de conhecimento, pelas boas energias, boa disposição e sobretudo pela disponibilidade sempre que precisei.

Obrigado, a todos pelas horas dispensadas, pela ajuda, paciência, motivação, e pelas risadas que me fizeram dar sempre que necessário!

A todos o meu muito obrigado, porque sem vocês todos não tinha sido possível a concretização desta Dissertação.

Índice

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vii
Lista de Siglas	viii
Lista de Símbolos	x
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos da Dissertação	7
1.3 Estrutura da Dissertação.....	8
1.4 Estado de Arte.....	9
1.5 Legislação	16
2. Aspetos Gerais do Recurso Solar	18
2.1 Geometria da Terra e do Sol.....	18
2.2 Radiação Solar.....	19
2.3 Relação Terra-Sol	21
3. Sistema Fotovoltaico	22
3.1 Tecnologias Fotovoltaicas.....	22
3.2 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	28
3.3 Painel Fotovoltaico	30
3.3.1 Inversor.....	31
3.3.2 Baterias	32
3.3.3 Regulador de Carga	32
3.3.4 Sistemas de proteção.....	32
3.4 Perdas de Energia.....	33
4. Caso de Estudo e Simulação.....	40
4.1 PVGIS.....	40
4.2 Estudo da Radiação Solar.....	40
4.3 Verificação de possíveis falhas	41
4.4 Estudo do “Dia Ideal” no ano de 2019	43
4.5 Dados do PVGIS	46
4.6 Dimensionamento do Caso de Estudo.....	48
5. Conclusões.....	55
Referências Bibliográficas	56

Lista de Figuras

Figura 1.1: Distribuição da Radiação Solar em Portugal Continental.....	4
Figura 1.2: Produção de eletricidade em Portugal em 2020.....	5
Figura 1.3: Centrais Solares Novas em Portugal para 2019.	7
Figura 2.1: Alteração da declinação solar ao longo do ano.....	18
Figura 2.2: Identificação do Zénite Solar, Altura Solar e Azimute.	18
Figura 2.3: Espectro Eletromagnético.....	19
Figura 2.4: Representação dos Elementos da Radiação Solar.	20
Figura 2.5: Representação do movimento da Terra à volta do Sol.	20
Figura 2.6: Reconhecimento de h_s , δ_s e latitude (L) no local pretendido.	21
Figura 3.1: Representação das Células Fotovoltaicas da 1ªGeração.	22
Figura 3.2: Células Fotovoltaicas de Silício Monocristalino e Policristalino.	23
Figura 3.3: Representação das Células Fotovoltaicas da 2ªGeração.	24
Figura 3.4: Painel Fotovoltaico com Células de Silício Amorfo.	25
Figura 3.5: Representação das Células Fotovoltaicas da 3ªGeração.	25
Figura 3.6: Painel Solar Perovskita.....	27
Figura 3.7: Eficiência das Células Fotovoltaicas ao longo do tempo.....	27
Figura 3.8: Sistema fotovoltaico ligado à rede.	29
Figura 3.9: Sistema fotovoltaico isolado.	29
Figura 3.10: Sistema Fotovoltaico ligado à rede com baterias.....	30
Figura 3.11: Configuração de células Fotovoltaicas.	31
Figura 3.12: Constituição de um Módulo Fotovoltaico.	31
Figura 3.13: Curva I/V de um painel fotovoltaico com anomalias.....	34
Figura 3.14: Módulo sem díodo de desvio e com ponto quente.	35
Figura 3.15: Módulo com díodo de desvio.	35
Figura 3.16: Sombreamento parcial em módulos na horizontal e na vertical.	35
Figura 4.1: Distribuição da Irradiância no Inverno.	41
Figura 4.2: Distribuição da Irradiância na Primavera.	42
Figura 4.3: Distribuição da Irradiância no Verão.....	42
Figura 4.4: Distribuição da Irradiância no Outono.....	43
Figura 4.5: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” de Inverno.	44
Figura 4.6: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” da Primavera.	44
Figura 4.7: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” de Verão.	45
Figura 4.8: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” de Outono.....	45
Figura 4.9: Irradiância no Inverno.	46
Figura 4.10: Irradiância na Primavera.	47

Figura 4.11: Irradiância no Verão.....	47
Figura 4.12: Irradiância no Outono.	48
Figura 4.13: Localização no mapa e vista aérea da Indústria Aeronáutica.	49
Figuras 4.14 e 4.15: Parques de estacionamento da A (esquerda) e B (direita).	50
Figuras 4.16 e 4.17: Simulação da Energia com inclinação local e azimute 0.	52
Figuras 4.18 e 4.19: Simulação da Energia com ajuste da inclinação.	52
Figuras 4.20 e 4.21: Simulação da Energia com ajuste da inclinação e azimute.	53
Figuras 4.22 e 4.23: Recuperação do Investimento com diferentes taxas de juros.	54

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Aproveitamento de Radiação Solar em diferentes Instalações	3
Tabela 3.1: Evolução dos acontecimentos principais das células fotovoltaicas.	22
Tabela 4.1: Dados para realização do projeto.	51
Tabela 4.2: Especificações do Módulo utilizado no projeto.	51
Tabela 4.3: Especificações do Inversor utilizado no projeto.	51
Tabela 4.4: Orçamento do Parque de Estacionamento A.	53
Tabela 4.5: Orçamento do Parque de Estacionamento B.	53

Lista de Siglas

AM	Modulação em amplitude
AST	Tempo Solar Aparente
CaTiO ₃	<i>Perovskita</i>
CdTe	Telureto de cádmio
CE	Conformidade na EU
CIGS	Disseleneto de cobre índio e gálio
CIS	Disseleneto de cobre e índio
CO ₂	Dióxido de Carbono
EVA	Filme Encapsulante para o Pannel Solar
FIT	Tarifa <i>feed-in</i>
GaAS	Arsenieto de gálio
GHI	Irradiação Horizontal Global
HIT	Heterojunção com camada fina intrínseca
HSL	Hora Solar Local
Isc	Redução da corrente de saída
LID	Degradação Induzida pela Luz
LST	<i>Local Standart Time</i>
MASS	Meio Ambiente, Saúde e Segurança
MATE	Ministério do Ambiente e da Transição Energética
MPP	Ponto de máxima potência
MPPT	Rastreador de Máximo Ponto de Potência
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NRMSD	<i>RMSD Normalizada</i>
PID	Degradação Induzida do Potencial

PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
RMSD	Diferença Quadrática Média Raiz
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
UE	União Europeia

Lista de Símbolos

a_s	Azimute solar
α	Altura solar
δ_s	Declinação Solar
h_s	Ângulo horário solar
θ_A	Ângulo de azimute
θ_{el}	Ângulo de elevação
θ_z	Ângulo zenital
%	Porcentagem
h	Horas
L	Latitude
N	Norte
S	Sul

1. Introdução

1.1 Enquadramento

O modo como o aproveitamento da energia para utilização da sociedade foi concretizado, está relacionado com mudanças verificadas na civilização, quer no âmbito social quer no âmbito político, durante o percurso da existência da espécie humana (Melício, 2004; Melício, 2010).

No final do século XX deu-se a consciencialização para a conservação do ambiente, uma vez que a Revolução Industrial deu origem a um aumento da produção e mobilização de recursos até então sem precedentes, levando a grandes níveis de poluição e impactes ambientais significativos.

Na década de 60 do século passado, o impacto das chuvas ácidas fez com que começasse a consciencialização sobre as emissões antropogénicas de gases de efeito de estufa, começando os Estados a adotar políticas ambientais. Já na década de 70, nomeadamente em 1972 com a realização da Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, em Estocolmo, países e a sociedade acentuaram as preocupações com as questões ambientais (Quintana *et al.*, 2014).

A crise energética de 1973 em que foi sextuplicado o preço do barril de petróleo e o embargo dos países produtores de petróleo à Dinamarca, Holanda, Portugal, África do Sul e Estados Unidos, alteraram a economia mundial, a sua repercussão teve como consequência o ressurgimento das energias renováveis (Melicio, 2004; Melicio, 2010).

A partir daí, começaram a surgir medidas e estratégias tanto económicas como ambientais e sociais. A Agenda 21 servia os interesses sociais, ambientais e económicos (Ferreira, 2009), após a Agenda 21 a bibliografia é rica em estudos sobre o ambiente.

O Ambiente compreende diversas áreas como componentes naturais, atividades individuais, sociais e económicas (Pinheiro, 2014).

O desenvolvimento sustentável deriva de três fatores que constituem a *Tripple Bottom Line*: ambiente, sociedade e economia. Por sua vez, o equilíbrio destes três factores determinam o desenvolvimento sustentável no Mundo (Agostinho, 2014).

Inicialmente, o ambiente apresentava-se em equilíbrio dinâmico, mas com o decorrer do tempo, a crescente intervenção do Homem, explorando os recursos naturais, em especial da água, energia, solo e recursos minerais de uma forma intensa, deu origem ao avanço tecnológico, científico e económico. Estes avanços para uma sociedade mais evoluída, resulta numa futura escassez dos recursos naturais.

Mundialmente, a procura de energia é enorme devido ao aumento da população e estilos de vida, fazendo com que não seja sustentável o consumo de energia (Dall'O', 2013).

No entanto, a energia é essencial para o desenvolvimento das sociedades, estando dependentes dela. Como tal, nomeadamente a procura do carvão, petróleo, gás natural, energia nuclear e energia renovável fazem parte das necessidades para o conforto da sociedade (Agostinho, 2014).

Energia Solar

A Energia Solar é uma forma de energia limpa, provem do Sol, podendo ser convertida em energia elétrica ou térmica para posteriormente ser utilizada para satisfação das necessidades do Homem (Manual de Eficiência Energética, 2008).

Para o aproveitamento da energia solar existem várias tecnologias, no entanto, particularizando as tecnologias para aplicação em:

- Instalações de energia solar térmica de baixa temperatura aplicam-se essencialmente na produção de água quente nas habitações, nos processos industriais, nas piscinas, e em menor número na climatização de espaços e refrigeração;
- Centrais de energia solar térmica de temperatura média ou alta, sistemas termosolares de concentração em que a sua principal aplicação é a produção de eletricidade através de um ciclo de potência (designadas por centrais eléctricas termosolares). Em menor número, também servem para aplicações de química solar, na conversão da energia radiante em energia química como o renovador solar de gás natural ou a aquisição de hidrogénio solar resultantes de processos de electrólise com uma temperatura alta, decomposição térmica de vapor, bem como diversos processos termoquímicos.

No entanto, existem outras tecnologias ainda não maduras como a detoxificação de efluentes industriais e agrícolas, dessalinização da água, tratamento ou a síntese de materiais, e outras.

- Instalações solares fotovoltaicas, têm como finalidade a produção de eletricidade. A eletricidade gerada pode ser injetada na rede elétrica ou ser consumida em locais onde não existe rede elétrica, como por exemplo: habitações no campo, bombagem de água, sinalização, telecomunicações (Manual de Eficiência Energética, 2008) e mais recentemente para produção de energia elétrica para propulsão em sistemas aeronáuticos ou em satélites (Gomes et al., 2019).

A Tabela 1.1 apresenta a classificação, mas sem ter em conta, as formas de aproveitamento menos divulgadas como processos de secagem, cozinhas solares, fotoemissão, entre outras (Manual de Eficiência Energética, 2008).

Tabela 1.1: Aproveitamento de Radiação Solar em diferentes Instalações

Transformação Radiação Solar		Tipo de Instalação		Equipamento Principal	Aplicações
Radiação Solar	Calor	Energia solar térmica de baixa temperatura	Aquecimento	Captador plano ou tubo de vácuo	- Água quente sanitária - Aquecimento piscinas - Secagem de alimentos e materiais - Aquecimento de espaços
	Frio		Produção de frio	Captador plano ou tubo de vácuo e equipamento de absorção	Refrigeração de espaços
	Eletricidade	Energia solar fotovoltaica		Célula fotovoltaica	Instalações conetadas à rede: - Venda de energia à rede - Instalações isoladas da rede - Bombagem de água - Sinalização - Eletrificação rural - Telecomunicações
		Centrais elétricas termosolares (dentro dos Sistemas Solares de Concentração)		Concentrador da radiação com um ciclo de potência: - Cillindro-parabólicos - Concentradores lineares de Fresnei - Receptor central -Discos parabólicos	Instalações conetadas à rede: - Venda de energia à rede

As instalações referidas na Tabela 1.1 têm como vantagens:

- ser renovável;
- ser sustentável;
- ser abundante;
- ser dispersa;
- ser raramente contaminante (Manual de Eficiência Energética, 2008).

No entanto, a principal desvantagem do recurso solar é não estar disponível durante as 24 horas do dia. Podendo recorrer-se a outras fontes de energia como por exemplo: eólica, gás, biomassa, instalações híbridas, armazenamento de energia (como por exemplo: térmica, elétrica) ou seja, solar combinada com outra fonte de energia.

A Figura 1.1 apresenta a radiância em Portugal Continental (Ramos,1998). O Algarve e Alentejo apresentam valores de insolação na ordem das 3000 horas/ano (que corresponde a 3 MWh/m²/ano), enquanto no Minho o valor desce para 2 horas/ano. Na zona de Lisboa, o valor está entre 2500 horas/ano e 3000 horas/ano.



Figura 1.1: Distribuição da Radiação Solar em Portugal Continental.

Contudo, esta forma de energia tem demonstrado que pode ser o futuro, e apesar do seu crescimento em Portugal ainda assim, poderia ser melhor aproveitada, trazendo vantagens do ponto de vista ambiental.

A Figura 1.2 apresenta a produção de eletricidade em Portugal em 2020 (APREN, 2020).

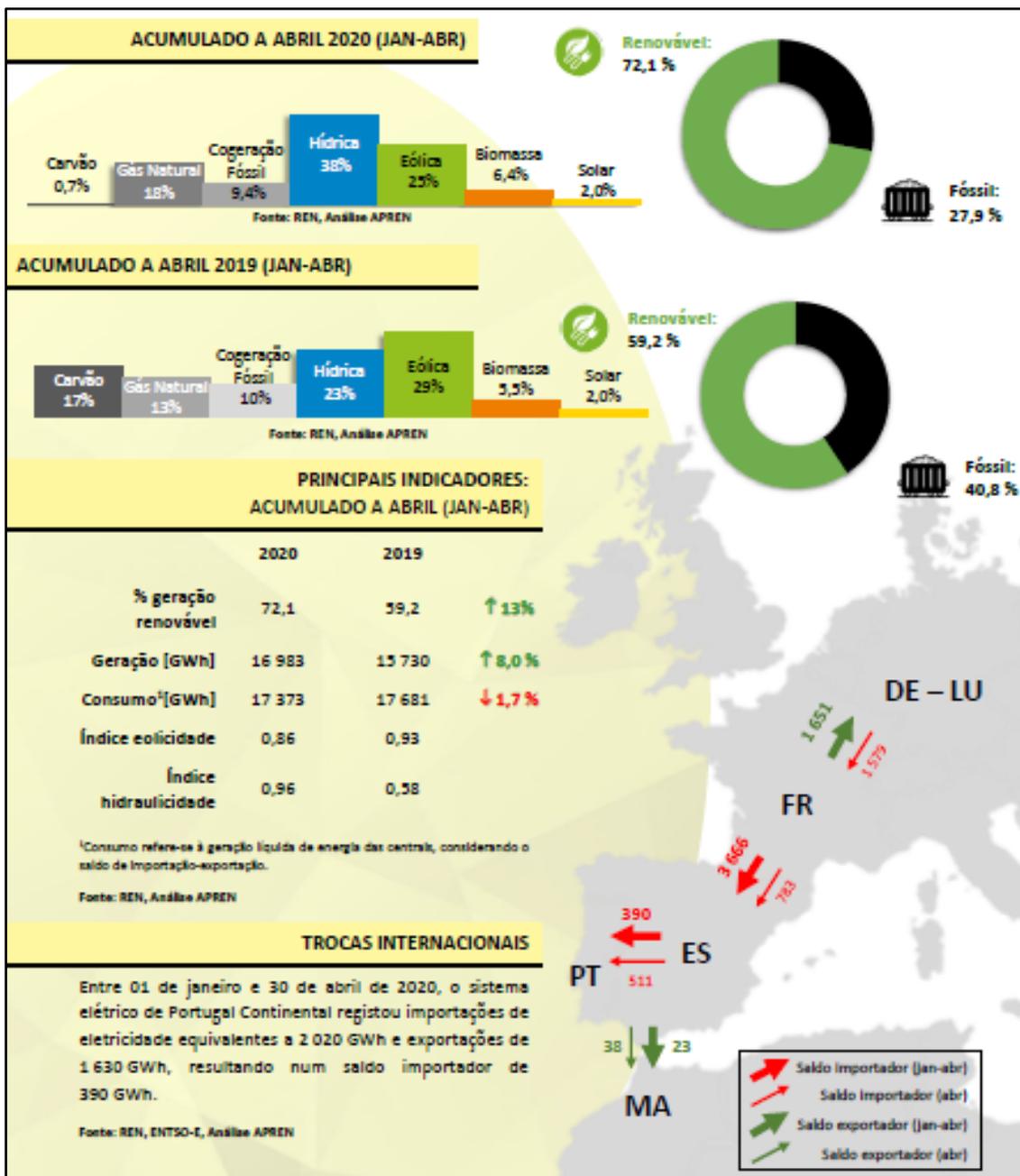


Figura 1.2: Produção de eletricidade em Portugal em 2020.

A produção de eletricidade no primeiro quadrimestre de 2019, recorrendo às fontes de energia renováveis foi da ordem de 59,2% da produção da produção de eletricidade, i.e., da ordem de 15730 GWh (APREN, 2020).

No entanto, em 2020 a energia renovável foi 72,1% da produção que totaliza 16983 GWh (Figura 1.2).

Em 2020, a parcela fóssil diminuiu consideravelmente, comparando com a mesma altura do ano de 2019, ou seja, passou de 40,8% para 27,9%.

Comparando os valores da produção de eletricidade de 2019 com os valores de 2020 há algumas diferenças positivas, como o carvão que baixou cerca de 10% e a hídrica aumentou cerca de 15%.

Energia Fotovoltaica

A Energia Fotovoltaica obtém-se a partir da radiação solar, para converter energia solar em eletricidade, i.e., é necessária a utilização de uma célula fotovoltaica (Masini e Frankl, 2002) (Pearce 2002).

A energia fotovoltaica contribui para a mitigação das emissões antropogénicas de gases de efeito de estufa para a atmosfera, mas a sua contribuição ainda não é suficiente para se alcançar as metas propostas no protocolo Quioto (Masini e Frankl, 2002).

Mundialmente, a energia fotovoltaica em 2019, apresentou o maior crescimento de capacidade instalada, cerca de 115 GW com um crescimento de 22,5%. Estes dados constam do relatório internacional Renewables Global Status Report da autoria da REN21 (Nassa, 2020).

A nível Europeu, Portugal é considerado um dos países com melhores condições para a utilização da energia solar, com uma média anual de 2200 h a 3000 h de exposição no continente, sendo nos arquipélagos 1700 h a 2200 h de exposição (Gomes, 2017).

Em 2019, foram instalados em Portugal cerca de 828 MW de capacidade fotovoltaica, sendo que há cinco anos havia 418 MW.

Grande parte deste crescimento foi em 2019 com um aumento de 27% em relação a 2018 de acordo com a DGEG em dezembro. Só o Alentejo centralizou 46% da produção solar fotovoltaica em Portugal em 2019 (Prado, 2020).

No mercado da Energia Solar têm-se destacado a China, o Japão, Alemanha, USA e Itália com mais instalações solares instaladas.

Estimava-se que em 2019, Portugal iria ter mais 19 centrais com um investimento privado da ordem de 350 M€, estando estas essencialmente a sul do país.

Quanto à potência instalada, estes projetos rondam os 500 MVA, gerando cerca de 880 GWh de energia elétrica, que por sua vez, representam dois terços do consumo total do Porto durante um ano (Dinheiro Vivo/Economia, 2019).

Segundo, o Ministério do Ambiente e da Transição Energética (MATE), foram construídas 53,8 MVA até ao momento (10/04/2019, data da publicação).

O Governo aponta que foram concedidas outras licenças e que até 2021 representam 38 licenças com 1500 MW e em 2030 os investimentos chegam aos 18 G€ (Dinheiro Vivo/Economia, 2019).

De acordo, com o calendário em Março de 2019 entravam em funcionamento três centrais, em junho de 2020 mais seis centrais, posteriormente outras cinco entrarão em funcionamento, e finalmente nos últimos três meses de 2020 as últimas cinco centrais. Um total de 19 centrais em 2019 com um investimento de 350 M€ (Dinheiro Vivo/Economia, 2019).

A central de Alcoutim seria a maior com uma potência instalada de 200 MVA, como mostra a Figura 1.3 (Dinheiro Vivo/Economia, 2019).

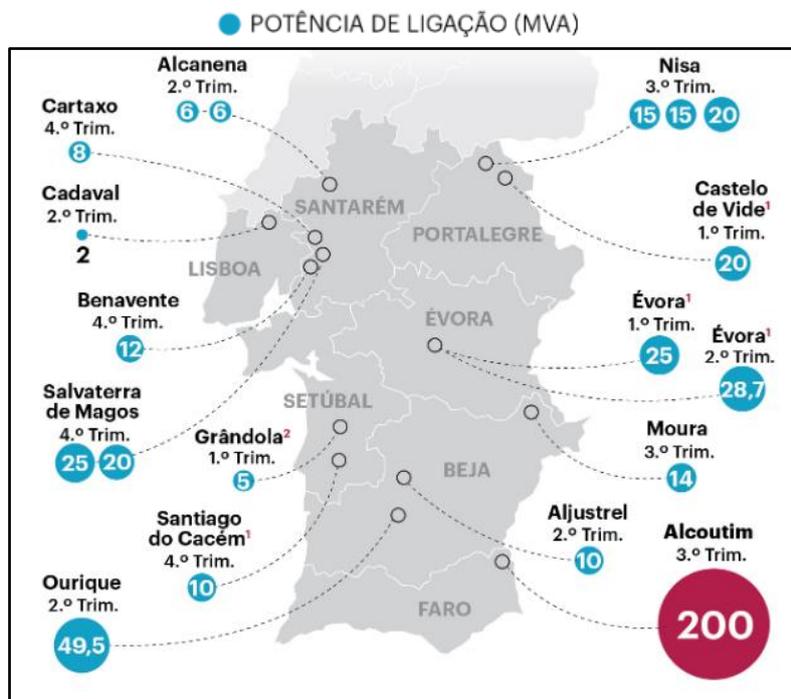


Figura 1.3: Centrais Solares Novas em Portugal para 2019.

A Figura 1.3 refere-se às centrais fotovoltaicas que entraram em funcionamento em 2019 e a respetiva potência instalada cada uma (Dinheiro Vivo/Economia, 2019).

Os custos de desenvolvimento de um projeto de uma instalação fotovoltaica rondam os 750 k€/MW. No entanto, já foram investidos cerca de 350 M€ nas 19 centrais, mas estes valores podem variar em função de vários fatores, tais como: os custos de desenvolvimento da linha de ligação à rede elétrica e da tensão no ponto da ligação (Dinheiro Vivo/Economia, 2019).

Em 2021 pretende-se triplicar a capacidade das instalações de produção de eletricidade de origem solar em Portugal, sendo que dos atuais 572 MW para 1600 MW (Dinheiro Vivo/Economia, 2019).

1.2 Objetivos da Dissertação

A Dissertação tem como objetivo desenvolver as bases para um projeto de produção de energia elétrica de origem fotovoltaica para uma indústria aeronáutica, no distrito de Évora. Este serve para contribuir para destacar a importância do papel da gestão e eficiência energética na competitividade e produtividade das empresas, como por exemplo uma indústria aeronáutica.

A motivação deste projeto é essencialmente contribuir, minimizar custos associados ao consumo de energia elétrica da rede elétrica e contribuir para aumentar os benefícios ambientais.

O trabalho tem como objetivo o desenvolvimento das bases para um projeto de produção de energia elétrica de origem fotovoltaica para ser instalado nos estacionamento da indústria aeronáutica, em Évora, Portugal. Esse sistema deverá ir ao encontro dos requisitos do proprietário e deve combinar a produção de energia elétrica com um sistema de armazenamento de energia por baterias.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação é composta por 4 capítulos dividindo-se da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução com o enquadramento do tema da dissertação, aborda o tema da energia, energia solar, energia fotovoltaica e os objetivos da dissertação. Este capítulo assenta essencialmente na forma como é vista a energia ao longo dos tempos até aos dias de hoje e os principais conceitos.

Contem, também o Estado de Arte onde são apresentados marcos históricos relacionados com a energia, conceitos relevantes na vertente da energia e sua eficiência, sendo desenvolvidas as abordagens de desempenho energético nomeadamente, tecnologias e o sistema de painéis fotovoltaicos.

E por fim, aborda a Legislação referente ao tema da Energia, em especial a Energia Fotovoltaica, nomeadamente a nível Europeu e em Portugal.

- Capítulo 2 – Aspectos Gerais do Recurso Solar, aborda as componentes teóricas como a Radiação Solar, Geometria da Terra ao Sol, Tempo Solar Aparente, Horas e Ângulos Solares, ou seja, as componentes que interferem na radiação solar que incide na Terra.

- Capítulo 3 – Tecnologias Fotovoltaicas em que refere os vários tipos de células fotovoltaicas, Sistema Fotovoltaico com os seus constituintes, Painel Fotovoltaico e suas características, Inversores, Baterias, Outros Equipamentos e as Perdas de Energia em sistemas fotovoltaicos.

- Capítulo 4 – Caso de Estudo e Simulação. É composto pelo tema da Recurso Solar em Évora, no qual foi realizado um estudo com dados da radiação. Os dados foram tratados e com eles realizados gráficos para ilustrar a radiação solar incidente em Évora. O capítulo finaliza com Caso de Estudo e Simulação da energia produzida, para uma posterior análise da sua viabilidade. É uma das partes mais importantes da Dissertação.

- Capítulo 5 – Conclusões a retirar do projeto.

Finalmente, a Dissertação termina com as Referências Bibliográficas.

1.4 Estado de Arte

Dados Históricos

Em (Valente, 2011), é referido uma breve contextualização histórica dos fatos principais à cerca da energia fotovoltaica.

Em 1839 Alexander Edmond Becquerel, físico francês descobriu o efeito fotovoltaico. No entanto, apenas em 1883 que Charles Fritts produziu a primeira célula fotovoltaica com selênio com um rendimento de 1%.

Em 1905, Albert Einstein com a teoria de sobre o efeito fotovoltaico, sobre a mecânica quântica com a teoria das bandas de energia, física dos condutores como processos de purificação e dopagem aplicadas aos transmissores.

Só em 1954, os laboratórios Bell descobriram acidentalmente materiais semicondutores e que o silício dopado era extremamente sensível à luz, dando origem à primeira célula com rendimento de 6%, e por sua vez, o aperfeiçoamento das células fotovoltaicas.

Posteriormente, foi em 2007 que investigadores da Universidade de Delaware nos Estados Unidos conseguiram alcançar um rendimento cerca de 42,8% com condições de iluminação normais.

Necessidades e Boas Práticas

O (Manual de Eficiência Energética, 2008) refere a importância de ter em conta a eficiência energética, em habitações em sistemas de aquecimento e arrefecimento, equipamentos elétricos, refrigeração, ventilação, iluminação. Também apresenta um conjunto de boas práticas para a poupança de energia elétrica.

O documento (EDP 2006) consiste numa guia de boas práticas relativamente à eficiência energética, já que atualmente o contínuo desenvolvimento e industrialização acarretam problemas ambientais. A nível de eficiência energética refere pequenos gestos que nós podemos adotar no nosso dia-a-dia, falando também das energias renováveis e também aliadas ao setor da construção, faz ainda referencia aos resíduos e transportes.

Balanço de Energia em Portugal e Estudos

Em, (APREN 2020) é realizado um balanço da eletricidade em Portugal, entre os meses de janeiro e abril de 2020. Estes também foram relacionados o período homólogo de 2019. Houve um aumento do consumo de eletricidade de origem renovável, sendo que em 2019 era cerca de 59,2% e em 2020 obteve-se um valor de 72,1%. Quanto à parte de origem fóssil, esta diminuiu, sendo que em 2019 obteve um valor de 40,8% e em 2020 em igual período baixou para os 27,9%.

Pode-se dizer que de 2019 para 2020, houve diferenças positivas também na energia hídrica que aumentou cerca de 15% e o recurso ao carvão baixou para 10%. Este primeiro trimestre até foi animador, segundo os valores da APREN.

Em, (Gomes, 2017) foi realizada uma avaliação a nível económico para um projeto de painéis fotovoltaicos para autoconsumo. Este projeto refere a evolução da energia fotovoltaica em Portugal.

Portugal, é considerado um dos países com maior disponibilidade de produção de energia solar, apresentando-se com média anual de 2200 a 3000 de horas solares no continente e nos arquipélagos 1700 a 2200 horas solares. Entre o ano 2006 e o ano 2015, a fotovoltaica cresceu cerca de 439 MW.

Em (Saraiva et al., 2011a) são apresentados os dados técnicos de uma instalação de microgeração fotovoltaica localizada na Covilhã, Portugal. Esta é uma área de Portugal com um excelente recurso solar. É apresentada uma descrição da instalação e os principais componentes do sistema. São apresentados também os valores da produção de energia e o estudo retorno económico da instalação.

Em, (Abreu, 2018) é apresentado um estudo que aborda a avaliação do recurso solar por meio de análise estatística de longo prazo e geração típica de dados climáticos com diferentes resoluções de tempo, usando medidas da Irradiação Horizontal Global (GHI) e outras variáveis meteorológicas relevantes de oito estações meteorológicas terrestres que cobrem a ilha da Madeira, Portugal. Os dados típicos são gerados com base na seleção e concatenação dos dados horários, considerando três períodos diferentes (mês, cinco dias e dias típicos) através de um método Sandia modificado. Esta análise foi realizada calculando a Diferença Quadrática Média Raiz (RMSD) e a RMSD Normalizada (NRMSD) para cada intervalo de tempo dos anos típicos, tomando como referência a média de longo prazo.

Radiação Solar

Em (Gabriel, 2018) a distância da Terra ao Sol é de $1,496 \times 10^8$ km, gerando energia na ordem de $1,5 \times 10^{12}$ GWh/ano. Contudo, as condições atmosféricas alteram-se constantemente, fazendo com que a radiação incidente se altere de dia para dia, além das características de cada local serem distintas.

A radiação incidente e o local onde se pretende fazer a instalação são características determinantes para a um Projeto de Instalação Fotovoltaica.

A radiação solar pode ser decomposta em vários tipos, sendo a direta, a difusa e a refletida. A radiação direta é a que provem do Sol, a radiação difusa resulta da refração de um obstáculo na atmosfera e depois incide no solo (Gabriel, 2018) (Nascimento, 2013). E finalmente, a radiação global consiste na soma da radiação direta e da radiação difusa (Gabriel, 2018).

Tecnologias Fotovoltaicas e Estudos

Em (Gabriel, 2018) uma célula fotovoltaica é um dos elementos principais dos painéis fotovoltaicos para a produção de eletricidade.

A tecnologia das células de silício monocristalino, inicialmente foram as mais empregadas, posteriormente, devido ao seu custo elevado com o processo Czochraslki em que a sua pureza é 99,999% e a sua eficiência de 14 a 21%.

Já as células de silício policristalino são atualmente, as mais utilizadas, isto porque, tem menor custo que as anteriores, sendo o grau de pureza inferior, o processo mais rápido e a eficiência entre 13 a 17% ligeiramente inferior.

Existem também, as células de silício amorfo que resultam da decomposição de camadas finas com 0,001 mm de espessura de silício, que com os avanços a sua eficiência aumentou entre 8 a 10% e com baixo custo.

No entanto, além das tecnologias em células fotovoltaicas já indicados e descritos, há muitos outros, dados que a energia fotovoltaica está em constante evolução.

Em (Saraiva *et al.*, 2011a) o sistema fotovoltaico converte a energia resultante da radiação solar em energia elétrica. O sistema fotovoltaico é composto por células solares, por sua vez, estas são reunidas em matrizes e módulos designados de painéis solares. Contudo, uma matriz poderá ser um módulo ou conjunto de módulos ligados em série ou paralelo para se alcançar o valor de potência pretendido.

Em (Pereira, 2014) é apresentado um estudo que aborda o modelo matemático equivalente da célula fotovoltaica utilizando de cinco parâmetros. Para a modelação do sistema foi utilizado o modelo de condutância incremental à condição de MPP baseado em $\partial P/\partial t$. A identificação dos parâmetros e o desempenho obtido com o modelo equivalente para são validados num sistema fotovoltaico *in situ*.

Em (Anjos *et al.*, 2017) são apresentados alguns problemas centrados na tecnologia do módulo fotovoltaico cristalino de silício sujeito a condições de operação com algumas células parcialmente ou totalmente sombreadas. Uma célula sombreada fica sob condição de ponto quente operando com polarização inversa está dissipando a energia em vez de a fornecer. Um modelo térmico permite analisar o aumento de temperatura das células sombreadas do módulo em condição de ponto quente com ou sem proteção por um diodo de desvio. É apresentada uma comparação dos resultados da simulação para um módulo fotovoltaico cristalino sem sombreamento e com sombreamento parcial ou total.

Em (Gomes, *et al.*, 2020) é apresentada uma síntese sobre a utilização da energia fotovoltaica que contribui para um futuro sustentável pela conversão fotovoltaica da energia solar em energia elétrica. Uma visão sobre: irradiância e irradiação na terra; tecnologia atual e emergente de sistemas fotovoltaicos; efeito de ponto quente devido a sombreamento em sistemas fotovoltaicos; potencial de criação de emprego; conversor eletrónico de potência; e questões relativas à integração de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica.

Sistemas Fotovoltaicos

Em, (Vaz, 2017) um sistema fotovoltaico é geralmente constituído por painéis fotovoltaicos, baterias, regulador de tensão, quadro e conversor eletrónico de potência.

A energia elétrica que um sistema fotovoltaico produz é consequência das suas características e da radiação solar também designada de irradiação. Se a energia não for consumida, esta pode ser armazenada nas baterias, e posteriormente, ser utilizada em horas noturnas ou de pouca radiação.

Os painéis fotovoltaicos têm uma vida útil aproximada de 20 anos e requerem pouca manutenção, sendo apenas necessário mantê-los limpos. O custo elevado do sistema fotovoltaico é essencialmente na instalação, sendo o de manutenção de baixo custo.

Nos sistemas fotovoltaicos, as baterias são carregadas e descarregadas diversas vezes, logo estas têm que ser mais robustas que as baterias mais comuns dos carros.

A manutenção do sistema fotovoltaico dá-se ao longo da vida do sistema, sendo de 3% a 5% do valor total do sistema. Desses custos de manutenção a substituição de baterias representa 20% a 27% do custo.

Contudo, nos sistemas fotovoltaicos, os inversores de energia elétrica têm a função de adaptar a tensão e frequência da eletricidade produzida às condições da rede elétrica no ponto de injeção, sendo esta produzida à potência máxima de rastreamento (MPPT) (Saraiva *et al.*, 2011b).

Há dois tipos de baterias, as primárias e as secundárias. A diferença entre ambas é que as primárias não podem ser recarregadas e as secundárias podem ser recarregadas (Vaz, 2017).

Em (Ovelha, 2017) outro elemento importante de um sistema fotovoltaico é o Regulador de Carga, este serve de ligação entre os módulos, o banco de baterias e a carga de consumo. O regulador de carga tem a função de controlar o armazenamento de energia nas baterias de forma a impedir a sobrecarga/sobredescarga, para tal controla o valor da tensão em cada instante. Os reguladores de carga para funcionarem de forma eficiente devem possuir algumas características: estar num local protegido; baixo consumo interno; proteção contra sobretensão; corte de ligação entre as baterias e o consumo aquando uma descarga profunda; a tensão de rutura de componentes semicondutores deve ser pelo menos duas vezes a tensão em circuito aberto do gerador; e finalmente, o carregamento a altas temperaturas, preferivelmente elevada eficiência (entre 96% a 98%).

Em (Vaz, 2017), além dos equipamentos já enumerados anteriormente, há outros também importantes para o funcionamento de um sistema fotovoltaico, como por exemplo, condutores que interligam os diferentes sistemas.

No entanto, os condutores devem estar de acordo os requisitos, da instalação, nomeadamente:

- cabo principal CC, faz a ligação entre a caixa de junção dos módulos e o inversor;
- cabo de Ligação CA, que liga o inversor à rede recetora através do equipamento de proteção.

Cinco Parâmetros dos Sistemas Fotovoltaicos

Em (Saraiva *et al.*, 2012a; Saraiva *et al.*, 2012b; Fialho *et al.*, 2014a) é apresentada uma metodologia para a determinação dos cinco parâmetros do

painel fotovoltaico. Normalmente, as informações técnicas fornecidas pelos fabricantes são muito restritas. Portanto, um método heurístico pouco exigente é adotado, exigindo apenas informações sobre circuito aberto, ponto de potência máxima e condições de curto-circuito. Os parâmetros do sistema fotovoltaico monocristalino conectado à rede elétrica são obtidos a partir da identificação dos parâmetros usando o método heurístico e validado por comparação com curvas experimentais. Também é apresentada uma simulação para o sombreamento parcial no sistema fotovoltaico para ilustrar a sua importância no projeto de um sistema fotovoltaico.

Em (Fialho et al, 2014b; Fialho et al, 2014c) os autores apresentam uma nova modelação de cinco parâmetros para a célula fotovoltaica. Uma metodologia de otimização é usada como um problema de viabilidade para encontrar os parâmetros do circuito equivalente: circuito aberto, potência máxima e curto-circuito, a fim traçar a curva I-V. Uma comparação entre os resultados teóricos e experimentais é apresentado.

Em (Fialho et al, 2015) a modelação inclui modelos para um conversor de impulso DC-DC e um inversor de dois níveis DC-CA. Controladores PI clássicos ou difusos com modulação de largura de pulso por modulação de vetor espacial associada ao controle por modo de deslizamento são usados para controlar o sistema fotovoltaico e o controle do fator de potência é introduzido na saída do sistema. Estudos abrangentes de desempenho são realizados com a modelação do conversor DC-DC seguido de um inversor eletrônico de potência de dois níveis, a fim de comparar o desempenho com os resultados experimentais obtidos durante a operação in situ com três inversores comerciais. Além disso, são realizados estudos para avaliar a qualidade da energia injetada na rede elétrica em termos de distorção harmónica.

Em (Rashel et al., 2017) os autores apresentam um modelo da célula com cinco parâmetros internos considerando que a sensibilidade dos parâmetros internos têm impactos na produção de energia elétrica. A sensibilidade é importante porque dá ideia da resposta do sistema frente aos parâmetros. Quanto mais um parâmetro é sensível, mais o sistema depende desses parâmetros.

Perdas de Energia

Um sistema fotovoltaico tem perdas de energia elétrica, como tal, na fase de projeto deve ter-se em consideração alguns fatores como: a escolha de componentes, o modo e o local da instalação. Também é importante fazer inspeções periódicas (Nascimento, 2013).

As perdas por acumulação de sujidade que produzem sombreamento parcial, em que acontece quando se está localizado numa área industrial ou com muito tráfico automóvel e com um clima seco, acumulando muita sujidade nos painéis fotovoltaicos. Esta sujidade reduz quando se limpa o módulo com a água, no entanto, quando têm um ângulo de pelo menos 10° também ajuda na

autolimpeza. Mas, a disposição do próprio painel também pode ser propício à acumulação de sujeira (Nascimento, 2013).

Em (Anjos, 2016), a perda de energia nos painéis fotovoltaicos devida à acumulação de sujeira, é essencial serem tomadas medidas para proteção e prevenção desta situação. Como tal, considera-se importante e fundamental ser feita uma limpeza periódica da superfície dos módulos, sendo esta uma medida corretiva. É também importante ser bem planejado o local da instalação fotovoltaica e serem tomadas ações de forma a impedir o sombreamento e os pontos quentes. Segundo, (Anjos, 2016) podem ser evitados mediante a utilização de diodos de *bypass* ou diodos de bloqueio, fusíveis de proteção, disposição dos módulos, ajuste do valor da resistência em paralelo, teste de resistência a pontos quentes e a medição termográfica.

Por sua vez, o sombreamento é derivado da existência de árvores, postes, construções ao redor dos painéis fotovoltaicos, como também folhas das árvores e dejetos de pássaros. O sombreamento faz com que algumas células de um módulo receba menos radiação solar, limitando a corrente do conjunto série e acaba por limitar todos os módulos conectados. A perda de potências também pode levar a danos nos módulos, porque a potência que não é recebida pelo gerador vai ser dissipada pelas células sombreadas, dando origem a pontos quentes (Nascimento, 2013).

Por sua vez, as perdas por efeito de Joule (conectores e condutores) resultam nas perdas resistivas normais. Contudo, enumera-se alguns exemplos de falhas, tais como: correntes de fuga com origem nos defeitos de isolamento, ligações fracas entre cabos ou cabos com deterioração e curto-circuito. A degradação de painéis é devido às agressividades derivadas das condições climáticas, sendo uma degradação gradual dos constituintes do sistema fotovoltaico, influenciando o seu desempenho (Nascimento, 2013).

A corrosão também provoca a perda de energia através da humidade presente no painel na junção entre a parte metálica e o vidro. Por sua vez, o sódio no vidro vai reagir com a humidade, dando-se a corrosão nos bordos dos painéis fotovoltaicos. Uma boa medida de prevenção é selar os bordos para que a água não entre nos painéis fotovoltaicos (Nascimento, 2013).

Contudo, a delaminação ocorre principalmente em climas quentes e húmidos, dando-se a separação ou perda de aderência nas camadas do painel fotovoltaico, frequentemente entre o vidro e a célula e entre o polímero encapsulante e a célula. A delaminação verifica-se visualmente com facilidade. A delaminação dá origem a degradações físicas e químicas (Nascimento, 2013).

Visualmente, a descoloração também se verifica facilmente pela mudança de cor em zonas do painel. Isto acontece quando se dá a degradação do material adesivo entre o vidro e as células ou até mesmo a degradação do EVA. A descoloração sucede devido à alteração da transmitância de luz na célula, diminuindo a energia, sendo que o fator principal é devido à alteração química

do polímero encapsulante resultante da radiação ultravioleta e da entrada de água juntamente com temperaturas superiores aos 50°C (Nascimento, 2013).

Num sistema fotovoltaico a sua configuração é muito importante, uma vez, que a degradação do painel se relaciona com a polaridade do potencial que se aplica no módulo em relação à terra, mas este tipo de perda de energia é recente, tendo sido realizado diversos estudos para evitar ou reduzir esta perda de energia (Nascimento, 2013).

E finalmente, a degradação induzida pela luz numa célula de material monocristalino ocorre nas primeiras horas de exposição ao sol, depois o painel fica estável. Isto ocorre devido à oxidação das *wafers* de silício do tipo “*p*” por causa da recombinação induzida do boro com o oxigénio (Nascimento, 2013).

Os módulos fotovoltaicos de filme finos são menos afetados com o aumento de temperatura que os módulos de silício cristalino, mas estes módulos referidos por último são os mais comercializados. Uma forma de diminuir esta perda de potência é a forma de montagem que tem que dissipar calor com facilidade, ou seja, apresentando uma ventilação favorável (Nascimento, 2013).

Já as perdas nos inversores acontecem devido à comutação dos semicondutores, em situações de corte e condução. (Nascimento, 2013).

1.5 Legislação

Legislação Europeia

Quanto à legislação europeia (Diretiva (EU) 2018/2001), apresenta-se seguidamente algumas diretivas relevantes:

- Diretiva 2009/72/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de Julho de 2009 que institui princípios para o mercado interno da eletricidade e anula a Diretiva 2003/54/CE.
- Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 referente ao desempenho energético de edifícios.
- Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Outubro de 2012 referente à eficiência energética, modifica as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e anula as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- Diretiva 2013/18/UE do Conselho, de 13 de Maio de 2013 ajustando a Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho referente à utilização de energia de fontes renováveis devido à aprovação da República da Croácia.
- Diretiva (UE) 2015/1513 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Setembro de 2015 modificando a Diretiva 98/70/CE referente à qualidade de gasolina e combustível para motores diesel, sendo também modificada a Diretiva 2009/28/CE referente à utilização de energia de fontes renováveis.
- Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de Dezembro de 2018 referente à utilização de energia de fontes renováveis.

Legislação Portuguesa

Nesta parte são indicados alguns Decretos-Lei, informações e definições relevantes.

Em 1988, o Decreto-Lei nº189/88 veio no sentido de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e para equilibrar a energia elétrica através de recursos endógenos. Este decreto de lei foi o primeiro passo para a produção de energia elétrica através de fontes renováveis. No entanto, este sofreu muitas modificações (Decreto-Lei nº 189/88, 1988).

No ano de 1999, o Decreto-lei nº168/99 mudou totalmente o sistema FIT (Tarifa “*feed-in*”), no qual foram instituídos princípios para benefício do ambiente, sendo estes extraídos da produção renovável. No entanto, a tarifa passou a ser de acordo com dois fatores:

- o 1º fator tem a ver com o custo não efetuado pelo Estado no investimento de novas centrais convencionais, operação e manutenção de centrais em funcionamento;

- o 2º fator, refere-se aos benefícios ambientais da utilização de energia renovável, havendo uma menor emissão de CO₂.

Esta Lei originou o cumprimento e obrigatoriedade da rede pública comprar energia elétrica produzida aos produtores e o valor pago ser nos primeiros 144 meses de funcionamento, sendo que após este tempo, o valor a pagar baixa, dado que a componente ambiental tem um peso menor na fórmula de cálculo (Decreto-Lei nº168/99; 1999).

O Decreto-Lei nº363/2007 originou a produção de energia elétrica de forma descentrada com produção e venda da totalidade à rede, com um valor de venda melhor de forma a aumentar a procura de sistemas de energia descentrada. A venda total da produção à rede designa-se de microprodução, na qual a potência máxima que vai para a rede elétrica não pode ser superior a 50% da potência da instalação nem superior a 3,68 kW para um usuário comum. Mas, para os condomínios a potência pode ir até 11,45 kW.

O Decreto Lei nº118-A/2010 e Decreto Lei nº34/2011 foram criados na perspetiva de Portugal assegurar uma posição entre os líderes europeus em 2020, e também se afirmar como líder global nas energias renováveis até 2014. No entanto, criaram-se dois regimes para atividades de produção de energia elétrica solar fotovoltaica de pequena dimensão: microprodução e miniprodução.

O Decreto Lei nº153/2014 surgiu no contexto dos decretos indicados anteriormente, tendo como objetivo a conceção de regimes jurídicos que se empregam na produção de eletricidade para autoconsumo e/ou venda à rede elétrica de serviço público, recorrendo a recursos renováveis de uma pequena produção. O novo regime de produção disseminada dá origem ao Autoconsumo (UPAC) e Unidades de Pequena Produção (UPP) (Decreto-Lei n.º 153/2014, 2014).

2. Aspectos Gerais do Recurso Solar

Neste capítulo irá ser abordado alguns Aspectos Gerais do Recurso Solar como a radiação solar e aspectos a ter em conta.

2.1 Geometria da Terra e do Sol

A radiação solar varia ao longo do ano, isto porque a distância da Terra ao Sol também varia de acordo com o seu movimento.

Contudo, dado esta situação torna-se necessário saber a localização do Sol relativamente à superfície da Terra, sendo indispensável saber a declinação solar, que se representa por δ_s .

A declinação solar traduz-se pelo ângulo entre o sol/terra e o plano do equador, esta varia entre os $-23,45^\circ$ no solstício de inverno e $+23,45^\circ$ no solstícios de verão no hemisfério sul. A declinação solar é nula nos equinócios da Primavera e Outono (21 de março e 21 outubro) (Goswami, 2015) (Tidwell & Weir, 2016) é apresentada na Figura 2.1.

A Figura 2.1 explica como se comporta a declinação solar ao longo do ano (Tidwell & Weir, 2016).

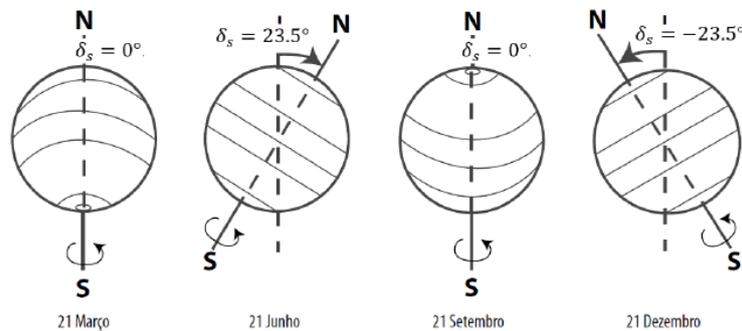


Figura 2.1: Alteração da declinação solar ao longo do ano.

A Figura 2.2, representa o Zénite Solar, altitude solar e azimute (Mordomo, 2018).

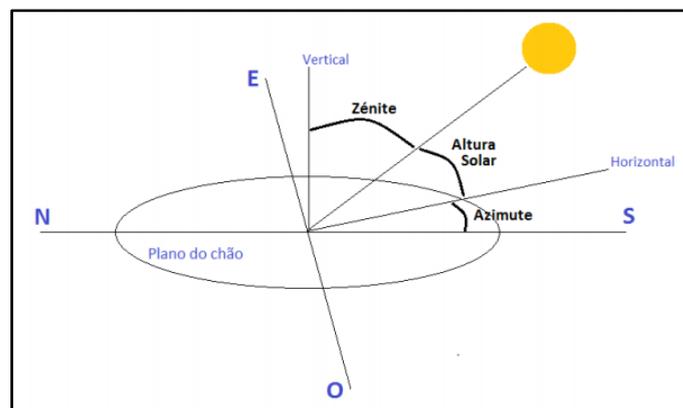


Figura 2.2: Identificação do zénite solar, altitude solar e azimute.

Contudo, os ângulos azimute solar (a_s) e altura solar (α) podem ser escritos em função dos ângulos fundamentais (Goswami, 2015):

- Ângulo horário solar (hs), em que o ângulo horário 15° representa a uma hora, sendo que para completar a volta completa de 360° demora 24 horas. Quando o Sol está mais alto, ou seja, ao meio dia solar, $hs = 0$ (valor nulo). Mas, de manhã apresenta-se $hs < 0$ (valor negativo) e de tarde $hs > 0$ (valor positivo).
- Latitude, representa-se por L e depende do local, pode dizer-se que consiste no ângulo entre o centro da terra até ao plano equatorial, considera-se negativa no Hemisfério Sul e positiva no Hemisfério Norte.
- Declinação solar (δ_s), tem a ver com o dia do ano.

2.2 Radiação Solar

A radiação solar consiste na energia solar que é irradiada numa superfície num determinado momento, sendo geralmente expressa em valores horários, surgindo também como radiação diária, radiação mensal e anual, ou seja, de acordo com o intervalo de tempo que se pretende (Lynn, 2010).

O sol, gera energia sob a forma de radiação, essencialmente radiação eletromagnética. Na Figura 2.3, apresenta-se o espectro eletromagnético com os vários tipos de radiação e comprimentos de onda que limitam cada tipo de radiação (InfoEscola).

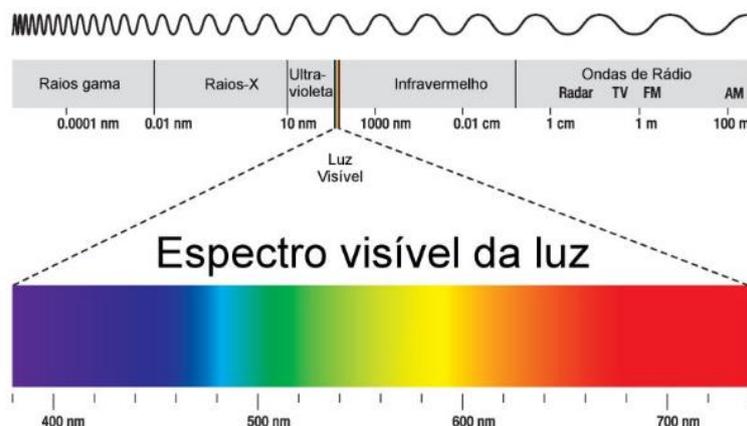


Figura 2.3: Espectro Eletromagnético.

O Sol é composto por diversos elementos químicos, sendo maioritariamente o hidrogénio e o hélio, e minoritariamente outros como: oxigénio, carbono, azoto, néon, ferro, magnésio e enxofre (Lynn, 2010).

A radiação solar atinge a superfície da terra de três formas distintas, sendo as seguintes:

- Radiação direta, provem diretamente do Sol;
- Radiação difusa, radiação indireta que resulta da ação da difração das nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão, bem como, outros obstáculos presentes na atmosfera;

- Radiação refletida, designada de albedo, que resulta da reflexão dos objetos circundantes com edifícios, solo.

A Figura 2.4 ilustra como se dão as três formas de radiação solar anteriormente apresentadas, entre os restantes elementos que constituem a radiação solar (Souza *et al.*, 2018).

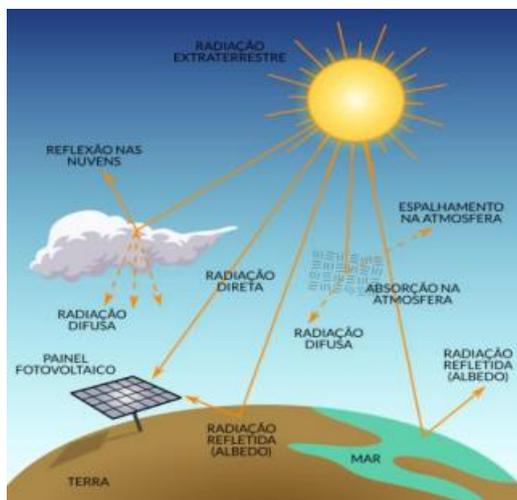


Figura 2.4: Representação dos Elementos da Radiação Solar.

A distância da Terra ao Sol é cerca de $1,496 \times 10^8$ km, origina energia sob a forma de radiação chegando à terra aproximadamente $1,5 \times 10^{12}$ GWh/ano. No entanto, as condições atmosféricas são distintas todos os dias e a variação da latitude, faz com que os valores de radiação direta incidente variem muito, de acordo, com as características de cada local (Gabriel, 2018).

A Figura 2.5 refere-se ao movimento da Terra à volta do Sol e os solstícios (Kalogirou, 2009).

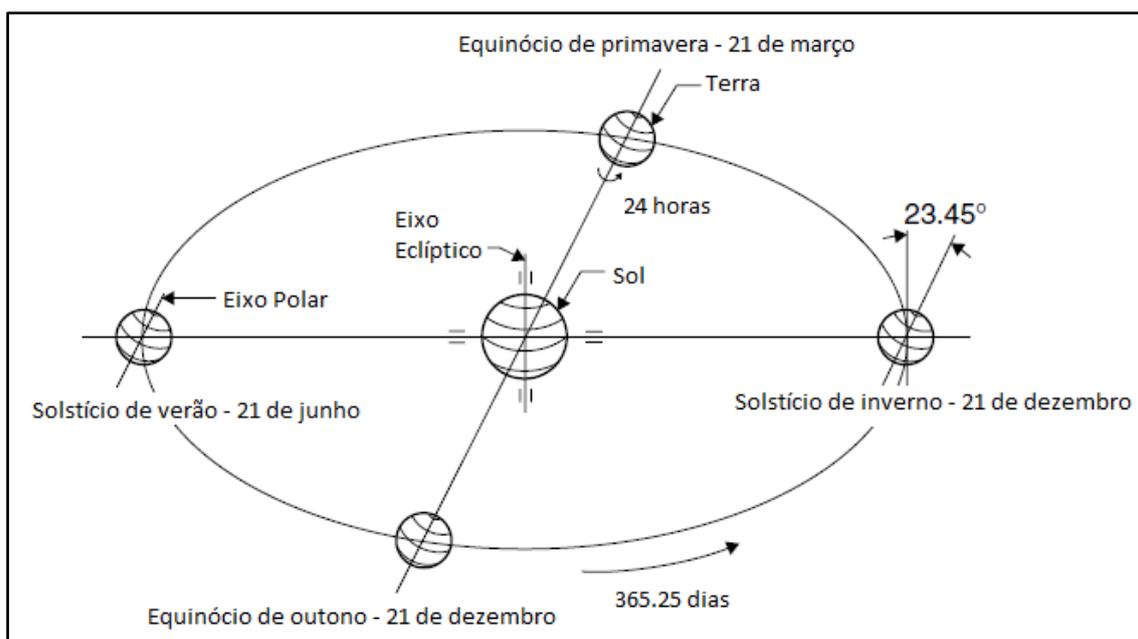


Figura 2.5: Representação do movimento da Terra à volta do Sol.

Na rotação, que a Terra realiza em torno do seu eixo a cada 24 horas, completa uma volta em torno do sol num períodos de aproximadamente 365,25 dias. Esta volta não é circular, mas sim, uma elipse com o sol num dos focos. A excentricidade da órbita da Terra é muito pequena, igual a 0,01673. No entanto, a órbita da terra em torno do sol é quase circular. A distancia sol-terra, R, a gargalo (distância mais curta, em 3 de Janeiro) e afélio (distância mais longa, em 4 de Julho) (Kalogirou, 2009).

2.3 Relação Terra-Sol

É relevante falar do tempo solar aparente, hora solar e ângulos solares para conhecer melhor a relação Terra-Sol.

Tempo solar aparente

O tempo solar aparente (*Apparent Solar Time (AST)*), consiste no movimento aparente do sol na esfera celeste. O meio-dia solar é o tempo que o sol leva para passar pelo meridiano local, sendo que este, geralmente não corresponde com as 12 horas legais do local. Por sua vez, o tempo legal apresenta o comprimento igual à média dos dias solares, as 24 horas.

O fuso horário de cada local é determinado em função de um meridiano de referência no centro desse local que é o tempo legal local ou *local standart time (LST)* que será abordado posteriormente (Albino, 2014).

Hora e ângulos solares

Para poder calcular os ângulos solares torna-se necessário determinar a hora solar local (HSL), por sua vez, é diferente da hora local standart (LST) referida anteriormente (Ovelha, 2017). A Hora Solar Local consiste na posição do Sol em relação ao meridiano local. Logo, terá que se estabelecer uma relação entre ambas.

A Figura 2.6 ilustra de uma forma mais perceptível: h_s , δ_s e latitude (L) (Goswami, 2015).

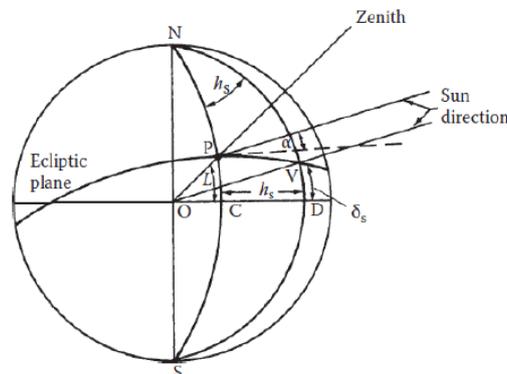


Figura 2.6: Reconhecimento de h_s , δ_s e latitude (L) no local pretendido.

Ao meio dia solar $h_s=0$, sendo $\alpha=90-|L-\delta_s|$, e $as=0$.

3. Sistema Fotovoltaico

3.1 Tecnologias Fotovoltaicas

O sistema fotovoltaico tem como principal função, transformar a energia solar em energia eléctrica, sendo a célula solar o seu componente fundamental. As células solares podem-se reunir, dando origem a matrizes e painéis fotovoltaicos (Saraiva et al., 2011b, Gomes, 2020).

Contudo, um sistema fotovoltaico pode-se apresentar com diversas tecnologias que serão abordadas seguidamente.

As tecnologias fotovoltaicas tiveram diversos marcos importantíssimos, ao longo dos tempos. Apresenta-se a Tabela 3.1 com alguns dos principais acontecimentos (Valente, 2011).

Tabela 3.1: Evolução dos acontecimentos principais das células fotovoltaicas

Datas:	Acontecimentos:
1839	Descoberta do efeito fotovoltaico por Edmond Becquerel.
1873	Willoughby Smith descobre o efeito fotovoltaico em material semi-condutor, o selénio.
1876	Adams e Days descobriram o efeito fotovoltaico no selénio e criam a primeira célula fotovoltaica com rendimento cerca de 1%.
1883	Charles Fritts descreveu as primeiras células a partir de junções de selénio.
1905	Albert Einstein sugeriu a ideia dos "Quanta de Luz"(os fotões), mostrando como poderiam ser utilizados para explicar fenómenos como o efeito fotovoltaico.
1954	Declarada a primeira célula fotovoltaica utilizando silício, produzida nos laboratórios Bell.
1958	Aplicações primordiais na área espacial (exemplo: satélites Vanguard e Explorer).
1959	Primeiras células de silício multicristalino.
1976	Primeiras células de silício amorfo.
1990	Década assinalada pelo aparecimento das células de película fina.
2004	Os cinco fabricantes (Sharp, Kyocera, Shell Solar, Bp Solar e RWE SHOTT SOLAR) originaram 60% do mercado fotovoltaico.
2007	Cientistas da Universidade de Delaware e Estados Unidos desenvolvem célula fotovoltaica com um rendimento de 42,8%.

As células fotovoltaicas foram evoluindo ao longo do tempo, e com o avanço das tecnologias surgiram novos tipos. Irá ser mostrado as três gerações e as tecnologias presentes em cada uma delas. A Figura 3.1 que se segue, mostra a primeira geração de células fotovoltaicas (Gabriel, 2018).

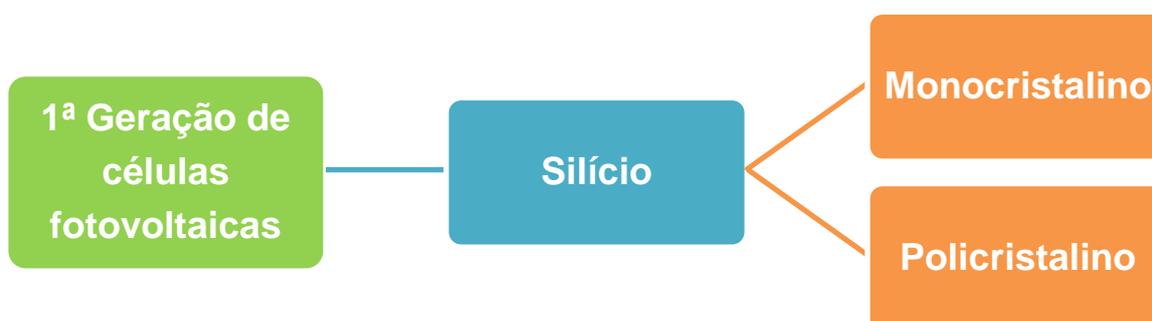


Figura 3.1: Representação das Células Fotovoltaicas da 1ªGeração.

A 1ª geração é composta pelas células fotovoltaicas com recurso às tecnologias do silício, nomeadamente o silício monocristalino e silício policristalino. As tecnologias anteriormente referidas abarcam à volta de 85% do mercado (Silva *et al.*, 2018).

As células de silício monocristalino apresentam um rendimento a rondar os 16% , sendo que em laboratório é cerca de 23%. A produção destas células tem uma técnica complexa e com custos elevados, sendo necessário grande quantidade de energia dado o material apresentar um nível de pureza elevado e com uma estrutura perfeita de cristal (Reis, 2017b).

A produção destas células inicia-se com a extração do cristal de dióxido de silício, sendo oxidado, purificado e solidificado, atingindo cerca de 98% e 99% de pureza. No entanto, após a conclusão de todo o processo as células fotovoltaicas de silício monocristalino atingem 99,9999%, através do processo de “Czochralski”, em que o silício é fundido com uma pequena quantidade de dopante, geralmente é o boro que é do tipo p. Através de uma pequena porção do cristal e com controle de temperatura rígido, extrai-se do material fundido um cilindro de silício monocristalino ligeiramente dopado, sendo posteriormente cortado em fatias finas com cerca de 300 μm . De seguida, é realizada a limpeza das impurezas nas fatias e é introduzido impurezas do tipo N para se alcançar a junção com difusão controlada, sendo as fatias expostas ao vapor de fósforo num forno com temperatura de 800 $^{\circ}\text{C}$ a 1000 $^{\circ}\text{C}$. Das células fotovoltaicas de silício, as que têm este processo são as que apresentam uma eficiência maior (Reis, 2017b).

As células fotovoltaicas de silício policristalino apresentam uma eficiência inferior, rondando os 11% e 13%, mas se for em laboratório pode chegar aos 18%. O seu custo também é mais barato, isto porque o seu grau de pureza também é menor, dado que o processo em si é menos rigoroso.

Contudo, o processo de produção destas células fotovoltaicas é semelhante ao do monocristalino, sendo que as técnicas são iguais só que têm menos controle e rigor. Estas podem ser com o corte do lingote de fitas ou conservando um filme num substrato por transporte de vapor ou imersão. Os dois últimos fatos só se aplicam ao silício policristalino (Reis, 2017b).

No entanto, cada uma das técnicas anteriormente descritas possui as suas particularidades. A Figura 3.2 que mostra as diferenças ao nível visual que estas apresentam (Varela, 2018).

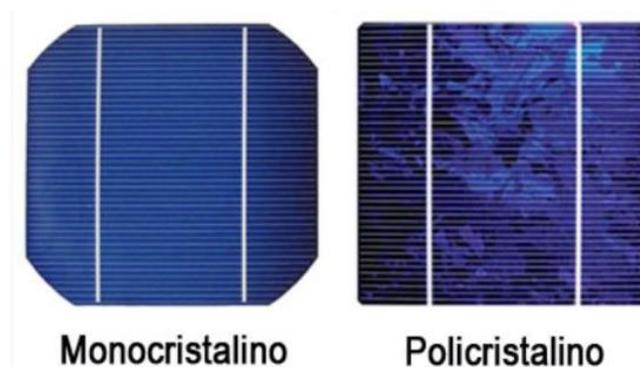


Figura 3.2: Células fotovoltaicas de silício monocristalino e policristalino.

Seguigamente, é apresentada a Figura 3.3 que se refere à segunda geração de células fotovoltaicas (Gabriel, 2018).

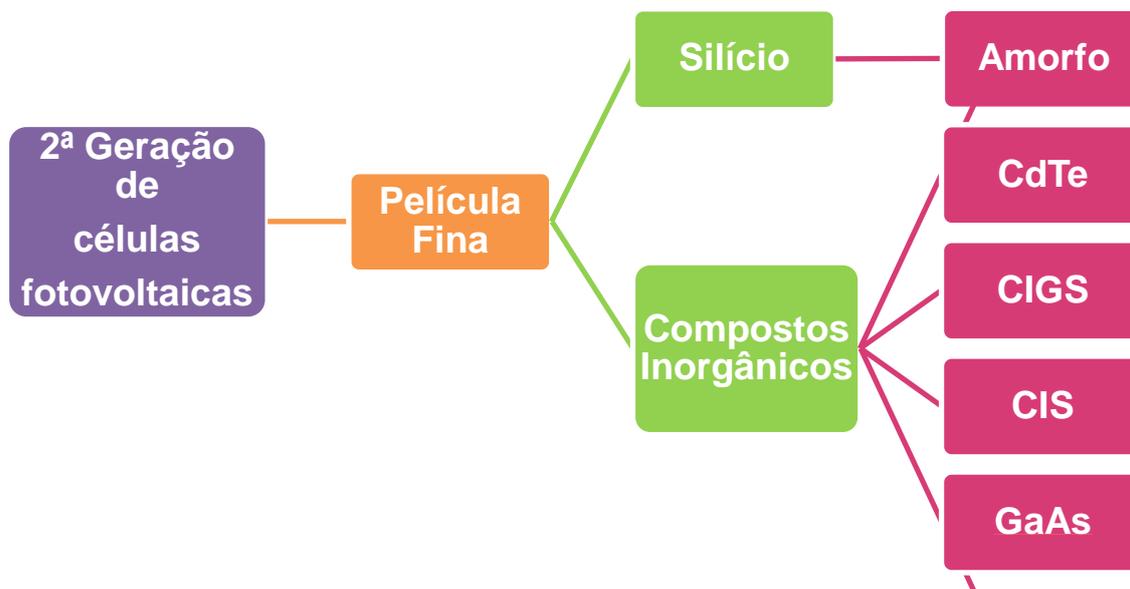


Figura 3.3: Representação das células fotovoltaicas da 2ª geração.

A 2ª geração é assinalada pela película fina ou filmes finos, surgiu na década 90 com o intuito de reduzir os custos de produção. No entanto, o processo de deposição a vapor ou por eletrodeposição, evitando desperdícios no serramento dos wafers cristalinos (Torres *et al.*, 2019).

Os compostos inorgânicos desdobram-se no disseleneto de cobre e índio (CIS), índio e gálio (CIGS), telureto de cádmio (CdTe) e arsenieto de gálio (GaAS) (Silva *et al.*, 2018).

As células de silício amorfo foi a primeira tecnologia de película fina a aparecer, por sua vez, o silício não é um material tóxico e apresenta grande disponibilidade, o seu processo ocorre a baixas temperaturas, dando origem a painéis fotovoltaicos leves, flexíveis e semitransparentes.

Atualmente, este tipo de células utiliza-se na arquitetura, mas desde 1980 é utilizado em calculadoras, relógios digitais e outros equipamentos.

As células fotovoltaicas de silício amorfo têm uma eficiência da ordem dos 10% (Silva *et al.*, 2018).

A Figura 3.4 mostra um exemplo de um painel fotovoltaico em silício amorfo (Panasonic Solar, 2020).



Figura 3.4: Painel fotovoltaico com células de silício amorfo.

Nos compostos inorgânicos os CIS, CIGS e o CdTe apresentam excelente absorção da radiação solar e uma espessura fina com cerca de $1\mu\text{m}$, possuindo uma quantidade menor de semicondutor, fazendo com que as células fiquem mais baratas que as anteriormente indicadas na primeira geração. Por sua vez, no processo destas células utiliza-se uma temperatura menor havendo um menor consumo de energia elétrica (Silva *et al.*, 2018).

As células de silício amorfo são uma tecnologia que apresenta substratos flexíveis, sendo muito utilizados em projetos arquitetônicos. Mas, também apresentam desvantagens como: pouca disponibilidade da matéria prima, tempo de vida curto, menor eficiência e rendimento baixo. As desvantagens acima referidas fazem com que esta tecnologia seja pouco atrativa para o mercado (Silva *et al.*, 2018).

Já o arseneto de gálio (GaAs) ostenta uma boa eficiência cerca de 30% e em laboratório é superior a 45%, dado os seus módulos serem produzidos através de um elemento mais forte e reativo (Silva *et al.*, 2018).

A Figura 3.5 ilustra a 3ª geração com as tecnologias de película fina (compostos orgânicos) e Silício (HIT) (Gabriel, 2018).

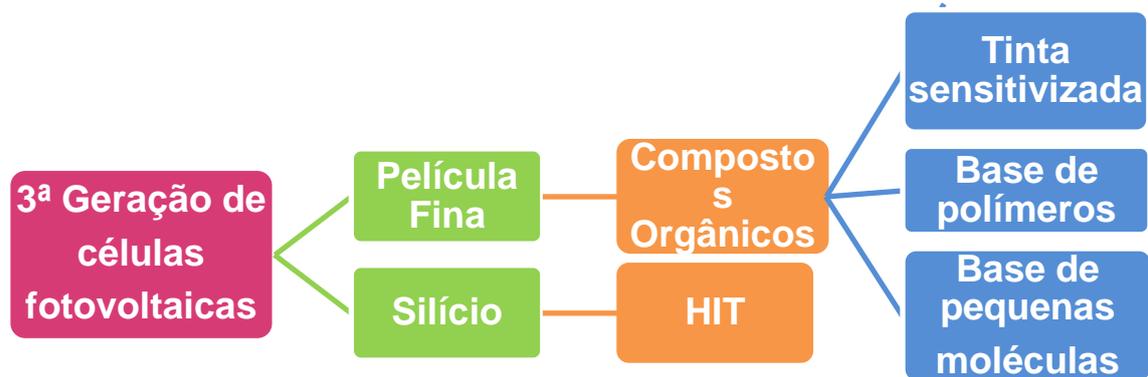


Figura 3.5: Representação das células fotovoltaicas da 3ª geração.

As células fotovoltaicas desta geração surgiram com o objetivo de obter maior eficiência.

A primeira geração foi marcada pelo elevado custo de produção de painéis fotovoltaicos; a segunda geração foi marcada pela escassez e toxicidade dos materiais, que por sua vez, deram origem ao desenvolvimento da terceira geração. Na terceira surgiram vários materiais como por exemplo: orgânicos, híbridos, com pigmentos fotossensíveis, tintas orgânicas, plásticos condutíveis e nano-materiais (Ranabhat *et al.*, 2016) (Bagher *et al.*, 2015). Também trouxe consigo uma maior eficiência na faixa do espectro, métodos de produção com menor custo, maior volume de produção com maior retorno financeiro (Sun *et al.*, 2015), menos produtos tóxicos e uma maior variedade de aplicações (Green *et al.*, 2018).

As células HIT, o nome tem origem inglesa “*Heterojunction with Intrinsic Thin layer*” são constituídas por uma camada de silício amorfo em cima do silício monocristalino e outra por baixo, dando origem a uma maior eficiência, à volta dos 20%, mas esta tecnologia ainda se encontra em desenvolvimento e por isso tem um valor pouco atraente no mercado (Gabriel, 2018).

Também há autores incluem a Perovskita como parte integrante da terceira geração. Esta é uma tecnologia de células fotovoltaicas recente, em que o seu nome surgiu em homenagem ao russo L.A. Perovski. A Perovskita teve origem no mineral CaTiO_3 , apresentando uma estrutura cristalina. Segundo, (Green *et al.*, 2018) a produção da Perovskita é uma tecnologia que apresenta uma eficiência entre $20,9 \pm 0,7\%$. Mas, apesar disso tem algumas desvantagens tais como a degradação da camada de absorção devido à humidade, temperatura e irradiação solar (Kazim *et al.*, 2014) (Lui *et al.*, 2013), (Frost & Walsh, 2016).

A estrutura de átomos ou moléculas dos cristais é ABX_3 , na qual apresenta três componentes diferentes, organizados na forma de cubo. No entanto, um dos átomos, A, fica nos vértices do cubo, o B no centro e o X no centro de cada face do cubo. Contudo, este tipo de células é uma tecnologia simples, permite a produção em larga escala e tratamentos térmicos a baixas temperaturas relativamente às do silício (Reis, 2019d).

A Perovskita possibilita um custo baixo e pode integrar vários produtos, dado a sua flexibilidade. Por outro lado, o facto de ser semi transparente, podendo aplicar-se a diversos tipos de superfícies e materiais como fachadas de edifícios, veículos elétricos, equipamentos de desporto, mobiliário urbano e janelas (Reis, 2019d).

Esta tecnologia também tem desvantagens, uma delas que é a toxicidade, pois contém chumbo que é um material tóxico, outra desvantagem é a presença de metilamónio (CH_3NH_3^+) na sua estrutura, permitindo a instabilidade especialmente em ambientes húmidos e temperaturas acima de 80°C , fazendo com que a eficiência da célula se vá degradando com o tempo, nomeadamente no exterior. As suas desvantagens fazem com que a Perovskita não seja bem vista no mercado. Apresenta-se Figura 3.6 é referente a um exemplar de um Painel fotovoltaico de Perovskita (Reis, 2019d).

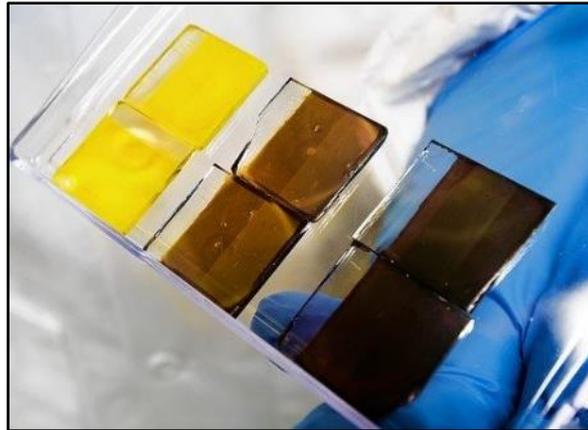


Figura 3.6: Painel fotovoltaico de Perovskita.

Evolução das Células Fotovoltaicas

A Figura 3.7 apresenta a evolução das Tecnologias de Células Fotovoltaicas ao longo do tempo, desde 1976 até à atualidade, bem como a percentagem de eficiência para cada tipo de célula (NREL).

Tendo em conta a Figura 3.7, as células de silício cristalino apresentam uma eficiência da ordem de 26,6%, no entanto, as células de múltiplas junções têm uma eficiência da ordem dos 45%.

No entanto, as células de múltiplas junções referidas com maior eficiência apresentam desvantagens como por exemplo: necessidade de diversos materiais semicondutores, processo de fabricação mais complexo e mais caro (Álvarez, 2019).

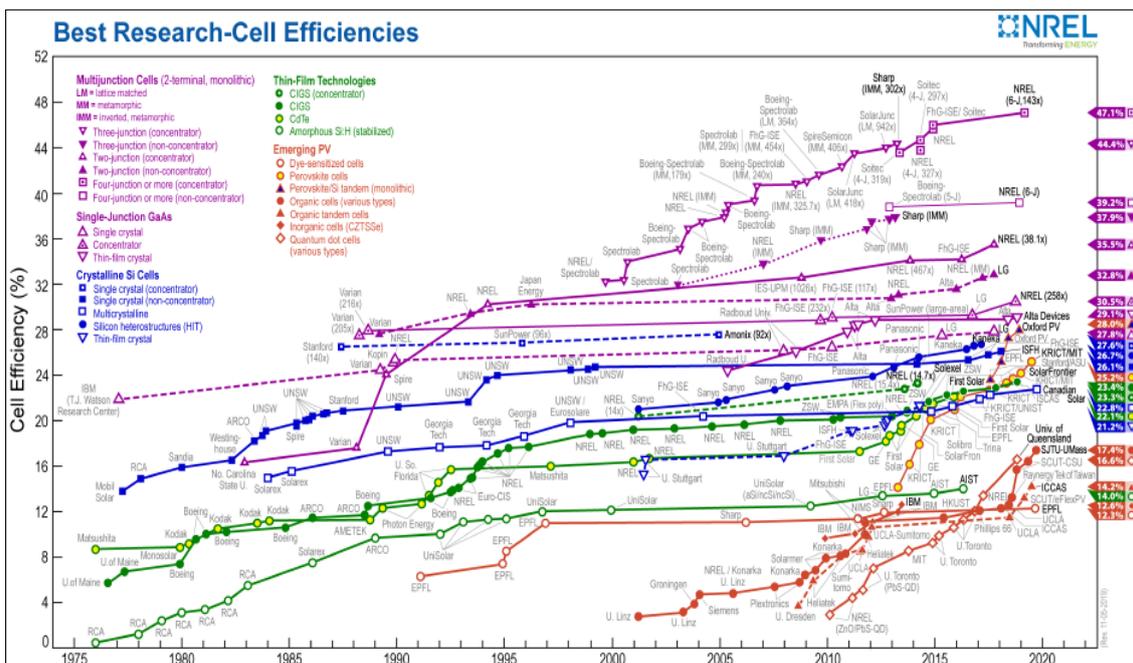


Figura 3.7: Eficiência das células fotovoltaicas ao longo do tempo.

As células de filme fino são constituídas por um depósito de filmes finos de semicondutores, como por exemplo: o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), telureto de cádmio (CdTe) e materiais como Suleto, Teleneto e Seleneto (CIS) depositados num substrato flexível como plástico ou o vidro.

As células a-Si:H têm uma eficiência de 14%, as CdTe têm 22% e CIS têm 23%. Estas células apesar das suas altas eficiências e custos de fabricação bem mais baratos do que as células de silício, no entanto, os materiais Cd, Te e Se são tóxicos e pouco disponíveis.

As células híbridas ainda se encontram em desenvolvimento e para a sua fabricação é utilizada uma combinação de materiais orgânicos e inorgânicos. Ainda não são comercializadas, pois estão em fase de investigação (Álvarez, 2019).

3.2 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico apresenta três componentes principais, nomeadamente: os painéis, as baterias e o inversor.

Contudo, os painéis solares são instalados nos telhados, convertendo a radiação solar em eletricidade. Por sua vez, a eletricidade gerada pelos painéis é armazenada nas baterias, está ligada ao inversor que converte a corrente contínua em alternada, estabelecendo a ligação entre o sistema fotovoltaico e a rede (Morais, 2009).

Os sistemas fotovoltaicos têm uma eficiência variável, dependendo de diversos fatores como por exemplo: orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos, a tecnologia dos painéis fotovoltaicos, os equipamentos de controlo e a latitude (Morais, 2009).

Contudo, o conhecimento da potência instalada (carga) é importante para a configuração e o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos: tipo de tecnologia usada, número de módulos, na potência e pico dos painéis, bem como o inversor.

A produção de eletricidade por um sistema fotovoltaico não é sempre a mesma ao longo do dia, ou seja, em dias em que não há Sol a produção de energia é reduzida. Como tal, existe dois tipos de sistemas fotovoltaicos, com e sem armazenamento de energia (Sergey *et al.*, 2010).

Sistemas Ligados à Rede Elétrica

Os sistemas ligados à rede, não necessitam de armazenamento de energia, sendo a rede elétrica a realizar a função de uma bateria de acumulação ilimitada. Neste caso, toda a energia produzida vai para a rede (Energética E. d. P., 2006/7).

Estes sistemas são complementares à rede elétrica, sendo a ligação feita mediante uma interface de eletrónica de potência, ou seja, em que se utiliza inversores de frequência (Energética E. d. P., 2006/7).

A Figura 3.8 representa o sistema fotovoltaico ligado à rede (Mendes, 2019).

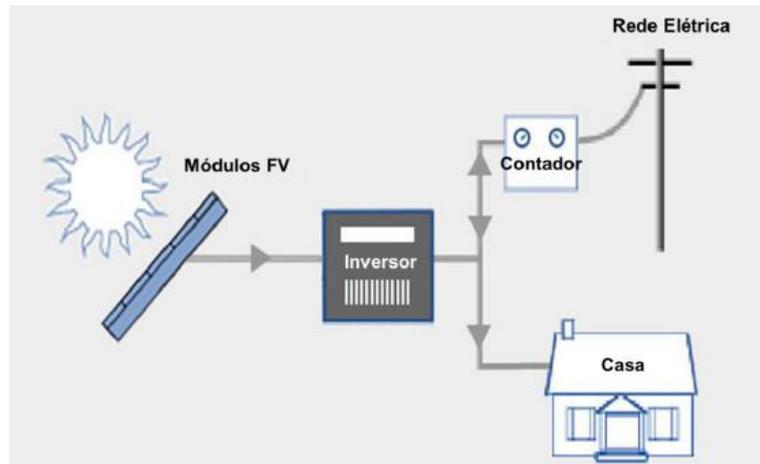


Figura 3.8: Sistema fotovoltaico ligado à rede.

Sistemas Isolados

Os sistemas isolados são necessários em locais longínquos onde não existe eletricidade, sendo que este sistema armazena energia nas baterias (Nascimento, 2013).

Os locais onde não há eletricidade são utilizados os sistemas isolados dado poder não ser economicamente viável a ligação à rede elétrica (Aziz *et al.*, 2017).

Nos sistemas isolados as cargas podem ser alimentadas em corrente contínua ou em corrente alternada. Se forem alimentadas em corrente alternada é necessário a interface de eletrônica de potência para a conversão de frequência, ou seja, o inversor (Energética E. d. P., 2006/7).

A Figura 3.9 representa um sistema fotovoltaico isolado (Mendes, 2019).

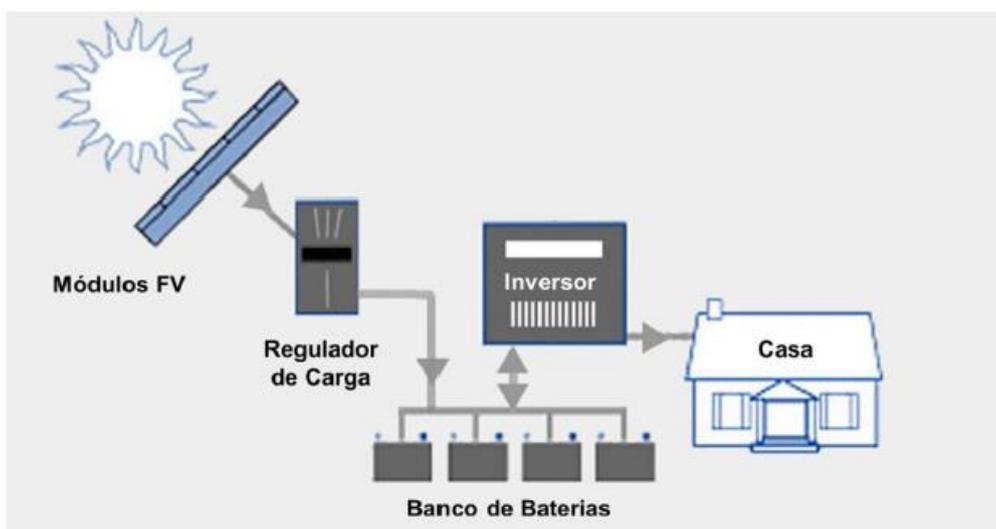


Figura 3.9: Sistema fotovoltaico isolado.

Sistemas Híbridos

Nos sistemas híbridos existe uma associação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de geração de energia elétrica como por exemplo: geradores a gás, diesel ou eólicos (Mendes, 2019). Estes tipos de sistemas também podem utilizar baterias e estar ligados à rede.

A Figura 3.10 mostra a configuração de um sistema híbrido, ou seja, o sistema fotovoltaico ligado à rede com baterias (Mendes, 2019).

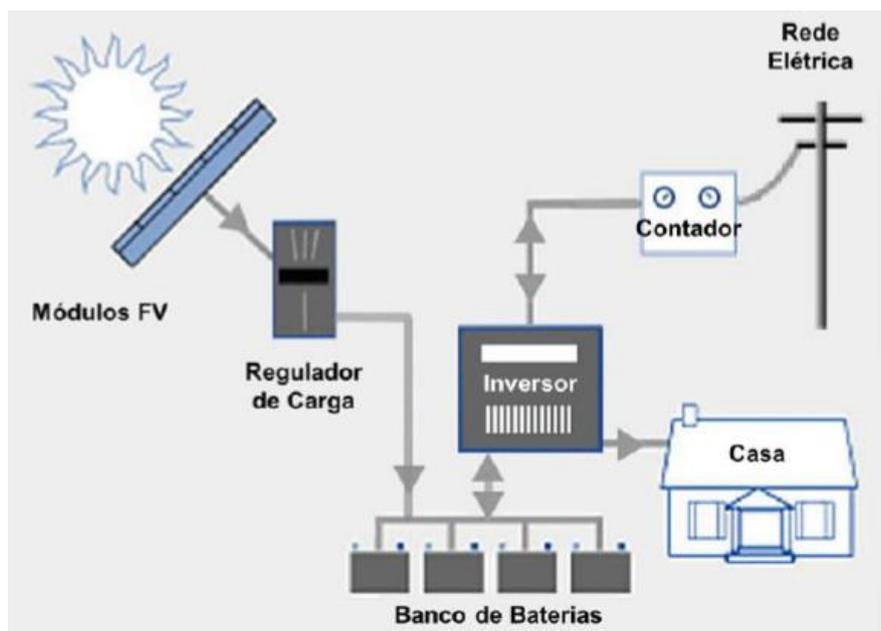


Figura 3.10: Sistema fotovoltaico ligado à rede com baterias.

3.3 Painel Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são um conjunto de painéis agrupados, estes últimos são compostos por um conjunto de células ligadas em série e em paralelo e agrupadas em matrizes. As associações são realizadas de forma a se obter a potência, nível de tensão e de corrente desejada (Saraiva *et al.*, 2011a).

A Figura 3.11 ilustra a constituição de um painel fotovoltaico (Reis, 2015a).

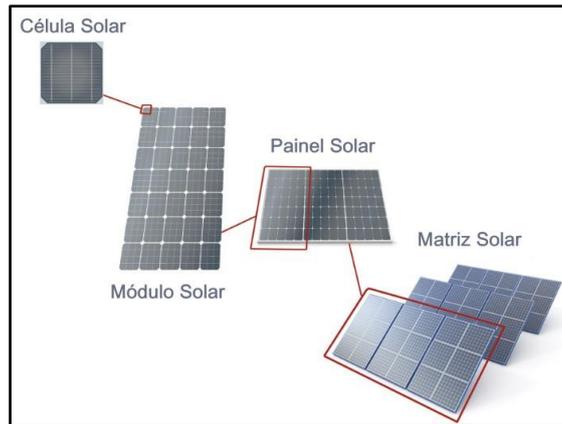


Figura 3.11: Configuração de células Fotovoltaicas.

Cada módulo tem a sua estrutura que depende do seu fabricante (Nascimento, 2013). A Figura 3.12 apresenta a estrutura de um módulo usual, sendo este constituído por: Frame (moldura de alumínio), Glass (vidro), Encapsulant (encapsulante), Solar Cells (células solares), Encapsulant (encapsulante), Backsheet (fundo protector), Junction Box (caixa de junção). Como tal, a Figura 2.18 é referente a um exemplo da constituição de um módulo fotovoltaico (Agroalimentando).

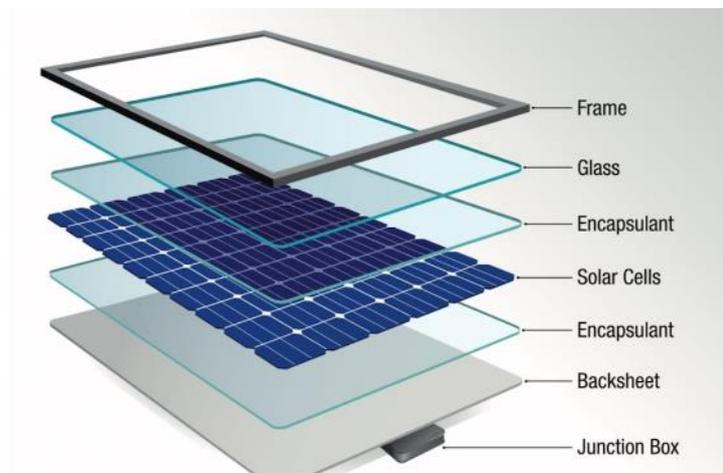


Figura 3.12: Constituição de um Módulo Fotovoltaico.

Contudo, existem outras estruturas de módulos, este é apenas um exemplo daqueles que se pode encontrar no mercado.

3.3.1 Inversor

Nos sistemas fotovoltaicos, o inversor ajusta a injeção de eletricidade à frequência da rede (Saraiva *et al.*, 2011a).

Ao escolher um inversor tem que ter em conta os requisitos necessários de acordo com a carga a alimentar, i.e., tamanho do sistema fotovoltaico. Há vários tipos de inversores que se podem adaptar ao tipo de sistema fotovoltaico em causa, sejam estes com ou sem ligação à rede (Dogga & Pathak, 2019). Por sua vez, os inversores ligados à rede apresentam algumas particularidades ao nível da segurança, se por acaso a tensão da rede faltar, o inversor desliga o sistema fotovoltaico da rede como medida de proteção contra a injeção de eletricidade da rede para o sistema fotovoltaico (Mendes, 2019).

3.3.2 Baterias

As baterias são armazenadores de energia elétrica sob a forma química e utilizam-se em circunstâncias de perdas de produção ou em horas noturnas. As baterias são compostas por células eletroquímicas em série e paralelo assim conseguir a tensão desejada (Vaz, 2017).

Há dois tipos de baterias, as primárias e as secundárias. As baterias primárias são aquelas que não são recarregáveis, sendo descartadas. Já as baterias secundárias são recarregáveis (Vaz, 2017).

Uma instalação fotovoltaica, geralmente, utiliza baterias que tenham um longo tempo de vida útil, isto, devido às cargas e descargas que o sistema está exposto.

Como todos os equipamentos, estes também têm as suas desvantagens, como por exemplo: possuem limites para o seu funcionamento, pois são sensíveis a danos quando expostas a sobrecargas e descargas, podendo mesmo estar presentes a longos tempos em baixo estado de carga. Mas, apesar disso se os requisitos de funcionamento das baterias estiverem a ser cumpridos estas apresentam um tempo de vida útil de cerca de 15 anos (Vaz, 2017).

3.3.3 Regulador de Carga

O regulador de carga é o equipamento usado nas instalações fotovoltaicas, fazendo a ligação entre os módulos fotovoltaicos, o banco de baterias e as cargas. Contudo, o regulador de carga controla o armazenamento de energia das baterias, impedindo que haja sobrecarga e sobredescarga (Ovelha, 2017).

Outra das funções do regulador de carga é impedir que a bateria receba carga após ter atingido a carga máxima que iria reduzir o tempo de vida útil. Mas, também impede as descargas profundas para que não se esgote o excesso de carga (Mendes, 2019).

3.3.4 Sistemas de proteção

- Interruptor principal CC é essencial no caso de ocorrer defeitos, na realização de manutenção ou reparação, sendo imprescindível isolar o inversor do gerador fotovoltaico, usando o interruptor principal CC.

- Disjuntores estes separam automaticamente o sistema fotovoltaico da rede elétrica quando ocorre alguma eventualidade no circuito elétrico.
 - Disjuntores diferenciais servem para proteção, sendo sensíveis à corrente diferencial residual. Os disjuntores diferenciais analisam a corrente de fuga no condutor de ligação à terra (Vaz, 2017).
- Existem outros equipamentos, no entanto, aqui não é relevante descrever todos os tipos nem dar-lhe relevância a todos.

3.4 Perdas de Energia

Uma instalação fotovoltaica para ser eficiente é essencial analisar o local, os componentes e o modo de instalação.

Todos os aspetos referidos anteriormente são relevantes na fase de projeto, mas também é necessário a realização de inspeções periódicas para verificar se o ou os painéis estão a funcionar corretamente. É importante que local para instalar um sistema fotovoltaico tenha uma radiação solar com boa incidência e sem sombreamento.

Em 2001 foi realizado um estudo no Japão, no qual resultou os fatores que seriam os principais das perdas de energia, sendo eles: o desempenho, o sombreamento parcial, os inversores, *Mismatch* (incompatibilidade dos módulos fotovoltaicos), o aumento de temperatura do painel fotovoltaico e outros (Araújo et al., 2016).

Posteriormente, já em 2013 a Sociedade Alemã de Energia Solar desenvolveu um estudo que quantificou os fatores de perda de energia, sendo eles: o sombreamento, sujidade, reflexão, variação do espectro AM 1.5, *Mismatch*, sombreamento condições diferentes das condições padrão, perdas c.c., perdas no inversor e perdas na fiação elétrica (Araújo et al., 2016).

O fator de perda por sombreamento, isto porque os fabricantes hoje em dia colocam no manual a potência mínima do painel, em vez, do valor médio. Contudo, ao se examinar a influencia dos fatores é imprescindível investigar a curva I-V do sistema, esta representa os valores da corrente de saída do conversor fotovoltaico em função da tensão de saída com temperatura e irradiância total estabelecidas (Araújo et al., 2016).

O ponto da curva em que o produto da corrente pela tensão é máximo, designa-se de Ponto de Potência Máxima (P+) ou MPP (Araújo et al., 2016).

A Figura 3.13 ilustra o comportamento da Curva I/V de um painel fotovoltaico (Araújo et al., 2016).

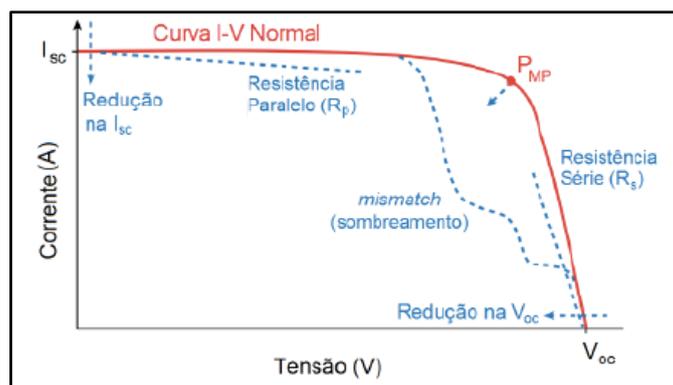


Figura 3.13: Curva I/V de um painel fotovoltaico com anomalias.

Perdas por Acumulação de Sujidade e Sombreamento Parcial

As zonas industriais que apresentam uma alta densidade de tráfego rodoviário ou têm um clima seco, possuem maior acumulação de sujidade nos painéis fotovoltaicos.

Mas, essa acumulação é menor quando o módulo é limpo com a precipitação. Geralmente, uma inclinação de 10° pelo menos é suficiente para tal ocorrer. Quanto maior for a inclinação do módulo mais fácil será a limpeza através da precipitação, mas o design do painel também pode contribuir para a acumulação de sujidade. No entanto, se o sistema fotovoltaico estiver localizado numa área com muita acumulação de poeiras, a limpeza frequente, aumenta o desempenho do sistema (Araújo et al., 2016).

Outro fator de perda é o sombreamento parcial, este pode ser devido a árvores, postes, construções, eletricidade do sistema ou até um módulo que faz sombra no módulo adjacente. Este fator representa uma parte de perda significativa num sistema fotovoltaico.

Mas, o sombreamento também pode suceder de uma forma imprevisível, ou seja, cair algo num módulo como: folhas das árvores e dejetos de pássaros. Ao cair uma folha em cima de uma célula no módulo, esta recebe uma menor radiação solar, e por sua vez, toda a corrente é limitada no seu conjunto de série, sendo todos os módulos conectados também limitados.

Contudo, a perda de potência e o risco de danos que pode suceder nos módulos, isto, porque a potência que não é entregue no gerador, vai ser dissipada no local, originado pontos quentes (hot-spot) no módulo fotovoltaico (Araújo et al., 2016).

A Figura 3.14 é referente a um módulo sem diodo e com um ponto quente (Araújo et al., 2016).

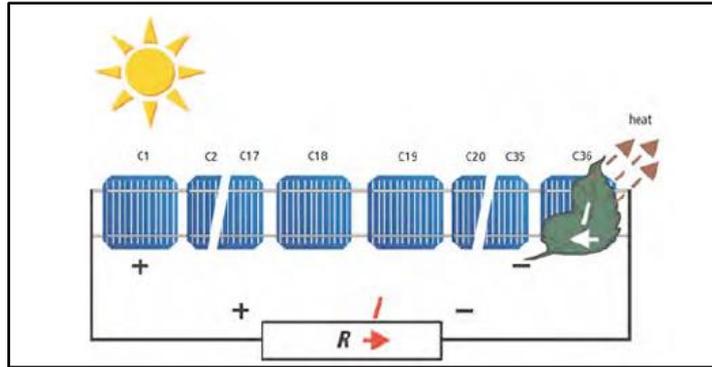


Figura 3.14: Módulo sem diodo de desvio e com ponto quente.

Geralmente, para proteger os módulos é utilizado um ou mais diodos de desvio que também podem ser designados de by-pass, impedindo o aparecimento de pontos quentes (*hot-spot*).

A Figura 3.15 é referente a um módulo com diodo de desvio (Araújo et al., 2016).

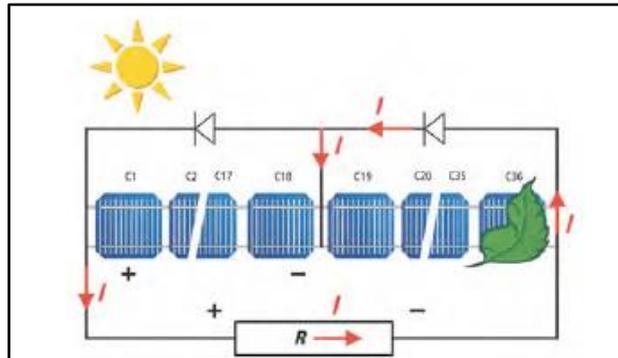


Figura 3.15: Módulo com diodo de desvio.

A orientação é um ponto a ter em conta no projeto de um sistema fotovoltaico, devido ao sombreamento, como se pode ver na figura abaixo, com os painéis na horizontal ficam apenas dois com sombra e nos painéis na vertical são quatro módulos afetados com a sombra (Araújo et al., 2016).

A Figura 3.16 ilustra o sombreamento parcial em módulos tanto na vertical como na horizontal (Araújo et al., 2016).

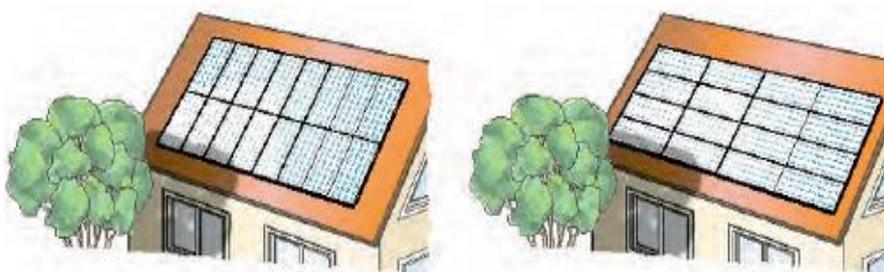


Figura 3.16: Sombreamento parcial em módulos na horizontal e na vertical.

Perdas com o Aumento de Temperatura

Raramente, os sistemas fotovoltaicos trabalham em condições nominais. Nas células fotovoltaicas, a temperatura para o sistema trabalhar depende da variação da irradiância solar e da temperatura incidente.

Existe uma forma de diminuir a perda de energia devido ao aumento da temperatura do painel, através da montagem dos módulos fotovoltaicos de maneira a que estes dissipem calor facilmente, apresentando assim uma boa ventilação (DGS 2013). Num sistema fotovoltaico, a sua temperatura depende da forma como este é instalado. Como tal, um sistema fotovoltaico instalado num telhado apresenta uma temperatura maior do que um sistema que apresente boa ventilação. A produtividade de um sistema também é afetada pela temperatura, sendo que a redução do índice yield (produtividade), dá-se devido a um aquecimento dos módulos (Araújo et al., 2016).

Perdas nos Inversores

Num sistema fotovoltaico conetado à rede (SFCR), o inversor faz a ligação dos módulos fotovoltaicos à rede elétrica. Como tal, a tensão de saída do inversor deverão ser adequadas à tensão da rede, sendo que devem estar em fase de forma a possibilitar o paralelo do sistema fotovoltaico e a rede (Urbanetz, J., 2010).

Nos inversores há perdas de energia sob a forma de perdas por efeito de Joule.

Mas, existem também outros fatores que levam a perdas, como as topologias e a configuração do circuito, na combinação dos módulos aos inversores. Contudo, os inversores podem apresentar transformadores para isolamento galvânico entre os lados CC e CA, esta situação tem sido muito estudada e levanta divergências, dado a forma como o sistema é afetado negativamente e maiores custos (Villalva & Gazoli, 2012).

Com a evolução do tempo, novas tecnologias surgiram e consigo o desenvolvimento de módulos CA com microinversores incorporados. Estes fazem diminuir os custos de dimensionamento de condutores e conetores, não sendo necessário dimensionar cabos para entrega de energia em corrente continua até um inversor externo.

No entanto, a conversão dos microinversores dos módulos CA apresentam uma eficiência cerca de <90%, sendo menor que os inversores centralizados com ~95%. Segundo, os estudos realizados, estes módulos são economicamente praticáveis caso a instalação seja em pequena escala (Rüther, 2004).

Incompatibilidade dos Módulos (*Mismatch*)

Num sistema fotovoltaico, cada módulo apresenta as suas características e diferenças que podem levar a perdas por incompatibilidade dos módulos ou de parâmetros (*mismatch*), em que as células com menor fotocorrente limitam a

eficiência global do módulo fotovoltaico, afetando o desempenho do sistema fotovoltaico.

O incompatibilidade dos módulos origina perdas também devido a degradação de algum painel do arranjo em série, sombreamentos parciais e acúmulo de resíduos que afetam a instalação inteira (Araújo et al., 2016).

Perdas Resistivas

Segundo, Rüter em 2004 as perdas resistivas em sistemas CC de baixa tensão são mais reduzidas quanto menor o comprimento de cabos elétricos que conectam os painéis fotovoltaicos ao sistema inversor, além de que os contatos elétricos têm ser de qualidade (Araújo et al., 2016).

Também deve se ter em conta a dimensão das seções dos cabos para reduzir ao máximo as perdas resistivas.

É importante ter em conta a verificação e manutenção da canalização e ligações elétricas, dado que podem surgir defeitos levando a arcos elétricos e /ou sobretensões. Tem-se como exemplo de falhas: deterioração de ligações, ligações fracas entre os cabos, curto circuito e correntes de fuga em razão de defeitos na insolação (Araújo et al., 2016).

Mas, também deve ser verificado se há danos mecânicos ou térmicos, tais como: o isolamento dos cabos que pode ser ruído por animais pode ocorrer deterioração devido a sobretensões ou raios UV. O isolamento do sistema é importante e deve ser verificado, já havendo muitos sistemas que têm um monitoramento automático do seu isolamento (Araújo et al., 2016).

No entanto, os módulos fotovoltaicos mais atuais para o SFCR já vem com cabos pré-instalados e o comprimento deles é satisfatório para se conectarem a outro módulo, e a caixa de junção selada para precaver das conexões precárias e ajuda das intempéries. Os cabos MC-4 são os mais comuns e melhores, tendo um sistema de engate rápido e particularmente desenvolvidos para sistemas fotovoltaicos, de forma, a melhorar a qualidade da instalação para conexões mais fáceis e uma durabilidade maior (Araújo et al., 2016).

Quanto aos conectores, estes têm de ter o grau de proteção IP 67 ou maior, devendo encontrarem-se presos ao painel, podendo ser com braçadeiras. Estes não devem estar soltos, expostos ao vento, não devendo estar instalados em dutos ou canaletas que acumulem água.

No mercado existe inúmeros conectores do tipo MC-4, então deve-se ter em conta a qualidade, não sendo o custo uma boa escolha (Araújo et al., 2016)..

Degradação de Painéis

Com a exposição às agressividades ambientais ao longo do tempo, os painéis acabam por de degradar gradualmente, afetando a capacidade de desempenhar a sua função, e conseqüentemente, o seu desempenho também é afetado, sendo menor.

Contudo, um módulo fotovoltaico é um componente importante, sendo essencial a sua manutenção para impedir que fatores reajam quimicamente ou levem a danos nas células, e/ou de outro componente do sistema.

Na situação de se dar um desempenho insuficiente, os módulos de silício cristalino, geralmente têm garantia de um rendimento mínimo de 25 anos, e no espaço de tempo entre 3 e 5 anos se for defeito de fabricação (Araújo et al., 2016).

Corrosão

Os painéis fotovoltaicos apresentam corrosão devido à humidade que se infiltra através das diferentes camadas do painel, mais especificamente, no material metalizado e o vidro. Contudo, o sódio que se encontra no vidro vai reagir com água, sendo que desta reação, resulta a corrosão nas extremidades dos painéis.

Uma forma de impedir esta situação, é uma boa selagem das extremidades dos painéis, dificultando a entrada de água (Araújo et al., 2016).

Delaminação

Segundo, Munoz *et. al.* (2011), a delaminação ocorre essencialmente em locais onde o clima é quente e húmido, ocorrendo a separação ou perda da aderência entre as camadas do painel fotovoltaico, particularmente entre o vidro e a célula e entre o polímero encapsulante e a célula.

A delaminação facilmente se verifica visualmente, dá-se com mais probabilidade nas extremidades do painel, dando origem a degradação físicas e químicas, uma vez que, ajuda na entrada de humidade e salinização (Jansen & Delahoy, 2003).

Descoloração

A descoloração dá-se devido à deterioração do material adesivo entre o vidro e as células ou na deterioração do EVA, originando uma alteração de cor do branco para amarelo ou do amarelo para o castanho. Esta ocorre da alteração da transmitância de luz que atinge a célula, originando a diminuição de energia produzida.

A descoloração resulta essencialmente devido à alteração química do polímero encapsulante provocada pela radiação UV e a penetração de água com temperatura acima de 50°C (Munoz *et. al.*, 2001).

Degradação Induzida pela Luz ou *Light Induced Degradation* (LID)

A sigla LID significa, a degradação induzida pela luz numa célula fotovoltaica cristalina quando exposta ao sol nas primeiras horas, depois desse tempo o painel alcança um nível estável.

Foi em 1973, que Fisher observou pela primeira vez a degradação induzida pela luz nas células fotovoltaicas produzidas em *wafers* de silício dopadas com boro através do processo Czochralski (Araújo et al., 2016).

A perda de eficiência decorrente deste processo é devido à oxidação do *wafers* de silício do tipo “*p*”, por causa do mecanismo de recombinação induzida do boro com o oxigênio. Tanto a degradação induzida do material como a degradação da luz têm sido analisadas com o principal objetivo de encontrar formas de a impedir (Araújo et al., 2016).

4. Caso de Estudo e Simulação

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo, i.e., primeiro o recurso solar em Évora utilizando a aplicação computacional PVGIS e no segundo caso o estudo da instalação de um sistema PV numa indústria aeronáutica.

4.1 PVGIS

Esta ferramenta tem ao dispor do utilizador mapas de radiação solar e também simula a geração de eletricidade num local à escolha, servindo também para calcular a energia mensal e anual de um sistema fotovoltaico após ter sido definida a potência, inclinação e a orientação dos módulos. No entanto, o PVGIS funciona como base de dados em forma de mapa para a radiação solar, na qual se consegue obter a distribuição geográfica e temporal do recurso solar (Djurdjevic, 2011).

O PVGIS usa uma base de dados de radiação solar obtida através de dados climatéricos homogeneizados para a Europa, sendo estes disponíveis no Atlas de Radiação Solar Europeu para tal, usa-se o modelo *r.sun* e as técnicas de interpolação espacial *s.vol.rst* e *s.surf.rst* (Ovelha, 2017).

Contudo, o modelo *r.sun* calcula a radiação direta, radiação difusa e radiação refletida de céu limpo (*clear-sky*) e de céu real (*real-sky*). Através da radiação obtida de intervalos de tempo regulares durante um dia consegue-se obter a irradiação total diária. Nas medições, é tido em conta o sombreamento do terreno e também o meio envolvente como montanhas, etc. (Šúri et al., 2005).

4.2 Estudo da Radiação Solar

É essencial conhecer a quantidade de energia produzida por um sistema fotovoltaico, para tal, recorre-se às estimativas. No entanto, tem que se ter em conta que há sempre incertezas devido a variações de ano para ano ou até mesmo meses (Suri et al., 2010).

Irá ser elaborado um breve estudo da radiação solar na cidade de Évora, recorrendo-se ao ano 2019, verificando-se:

- radiação solar semanal nas quatro estações do ano,
- distribuição da radiação solar num “dia ideal”,
- estimativa das médias mensais durante o ano.

Os dados de radiação solar na cidade de Évora foram disponibilizados pela Universidade de Évora, referentes à média da radiação global em intervalos de 10 em 10 minutos, durante uma semana em cada uma das quatro estações do ano 2019.

4.3 Verificação de possíveis falhas

Nesta seção, são apresentadas as Figuras da radiação solar global ao longo do dia, durante uma semana, tendo sido realizada uma análise semanal para cada estação do ano de 2019, calculando-se o valor médio de radiação solar em cada hora.

Os dados semanais apresentados foram tendo em conta os valores de medias diárias em cada estação do ano que a Universidade de Évora disponibiliza, para dar uma noção de valores de irradiância que se pode ter em cada estação do ano, sendo escolhido o ano de 2019 dado ser o mais recente, para verificar a disponibilidade deste recurso solar como um bem precioso, que se tem em Portugal, mais propriamente em Évora, local onde se localiza a indústria.

A Figura 4.1 a distribuição da irradiância no Inverno (Semana de 8 a 14 de janeiro de 2019).

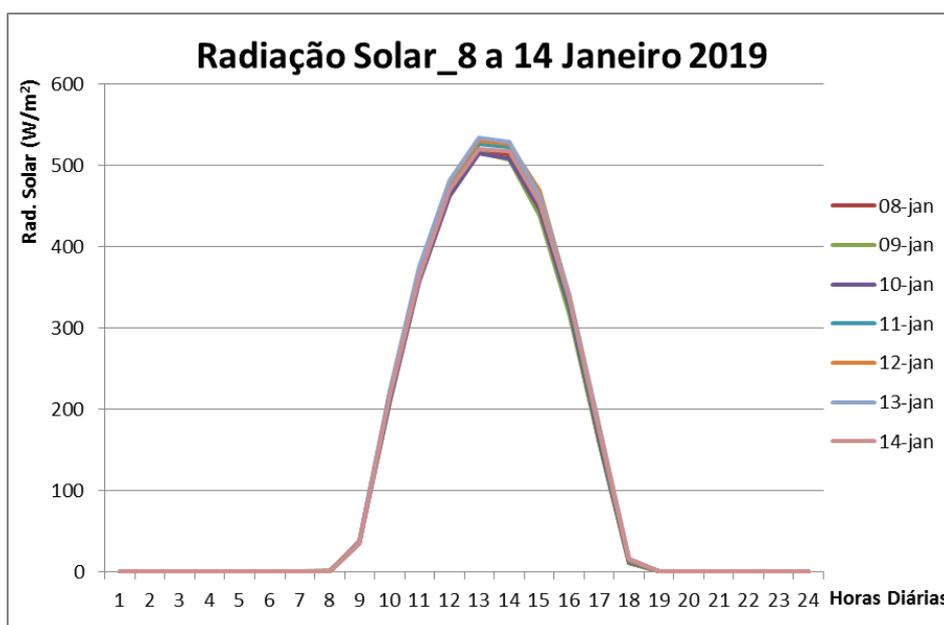


Figura 4.1: Distribuição da Irradiância no Inverno.

A Figura 4.2 é referente à Primavera (Semana de 21 a 27 de maio de 2019).

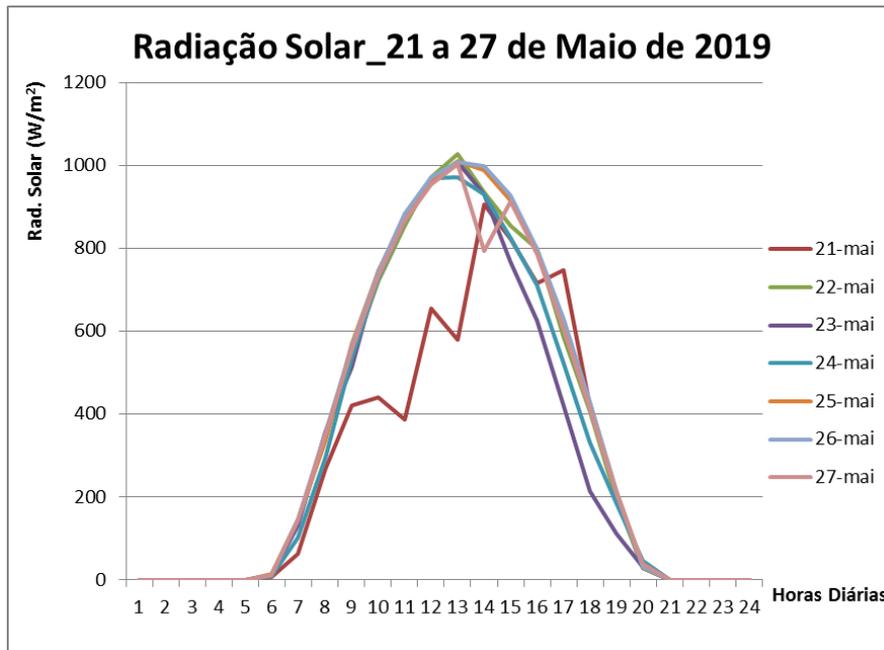


Figura 4.2: Distribuição da Irradiância n a Primavera.

Já na semana da Primavera, pode-se ver há 13 horas de irradiância.

No Verão (Semana de 16 a 22 de julho de 2019), foram tratados os dados e apresentam-se na Figura 4.3.

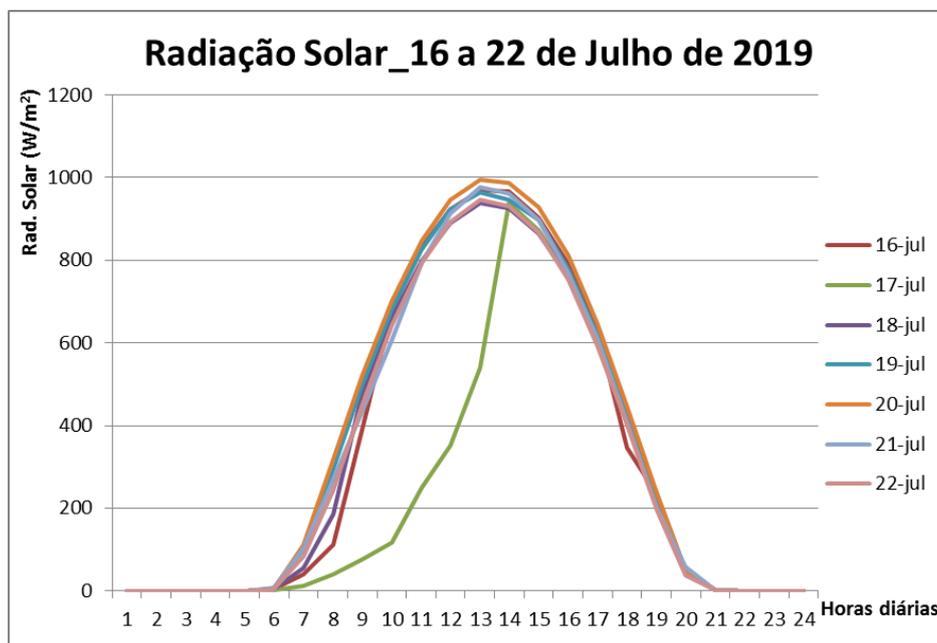


Figura 4.3: Distribuição da Irradiância no Verão.

Analisando, os dados (Figura 4.3) apresenta um comportamento semelhante ao da Primavera, sendo que nalgumas horas do dia tem uns registos com dados mais baixos.

A Figura 4.4 é referente ao Outono (Semana de 24 a 30 de setembro de 2019).

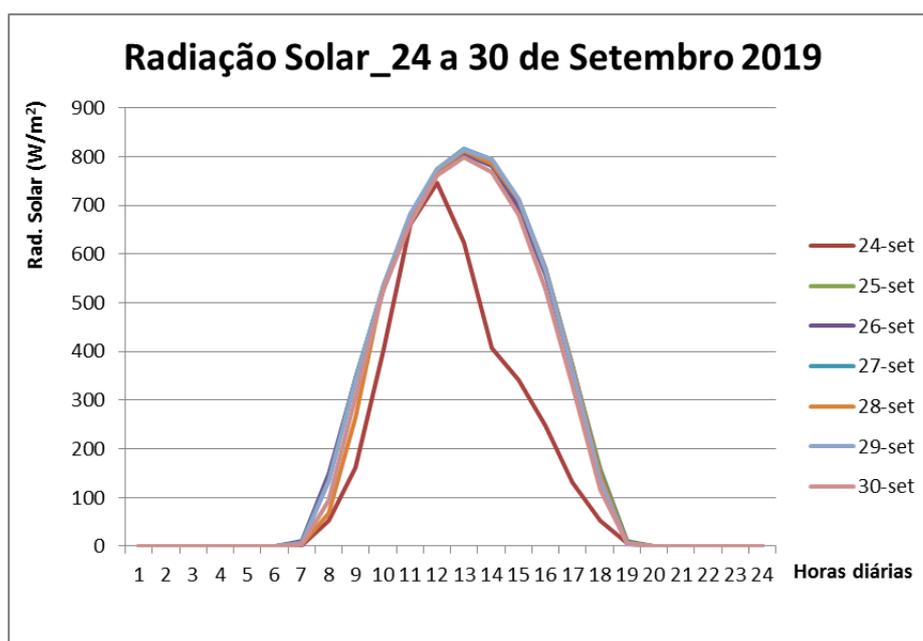


Figura 4.4: Distribuição da Irradiância no Outono.

Já nos dados referentes ao Outono, vê-se que há irradiância durante 11 horas diárias, dado que duas delas apresentam valores são mininos, não sendo tidas em conta. No entanto, esta semana é próxima do fim do Verão, mas mesmo assim já há uma redução de número de horas com irradiância durante um dia.

4.4 Estudo do “Dia Ideal” no ano de 2019

Esta secção refere-se ao estudo do “Dia Ideal”, isto porque o objetivo é atingir maiores valores de irradiância. Então foi verificado o dia em que se apresenta valores de irradiância mais elevados em cada uma das estações do ano, através das médias diárias fornecidas pela Universidade de Évora da Estação de Évora no ano 2019.

Neste estudo é feito o cálculo do “Dia Ideal” recorrendo-se a médias de radiação de 10 em 10 minutos, que depois foi feita a média horária para obter a radiação diária de hora a hora.

Recorreu-se também ao valor máximo atingido durante cada hora do dia e por fim a média menos o desvio padrão, de forma a “limitar” os valores em que se encontra irradiância para cada hora do dia.

O desvio padrão é um parâmetro essencial de variabilidade e da incerteza da estimativa. Contudo, menor o valor, também menor vai ser a variabilidade (Rowlands et al., 2014).

Na Figura 4.5 apresenta o “dia ideal” praticamente no fim do Inverno, atingindo um valor de irradiância maior, sendo que tanto a média como o valor máximo e média menos o desvio padrão apresentam valores semelhantes.

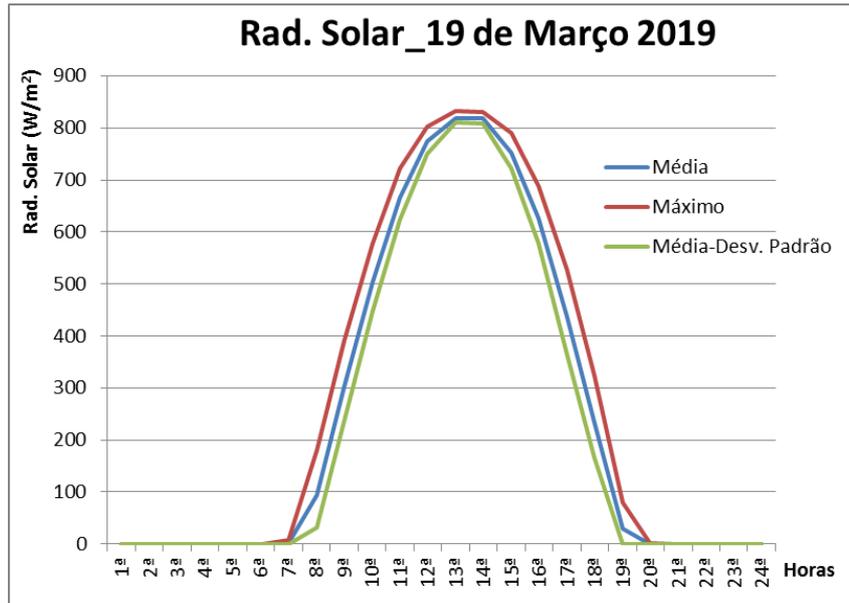


Figura 4.5: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” de Inverno.

Já a Figura 4.6, refere-se ao “dia ideal” na Primavera, tendo uma curva que apresenta um comportamento semelhante relativamente aos valores da média, valor máximo e média menos o desvio padrão.

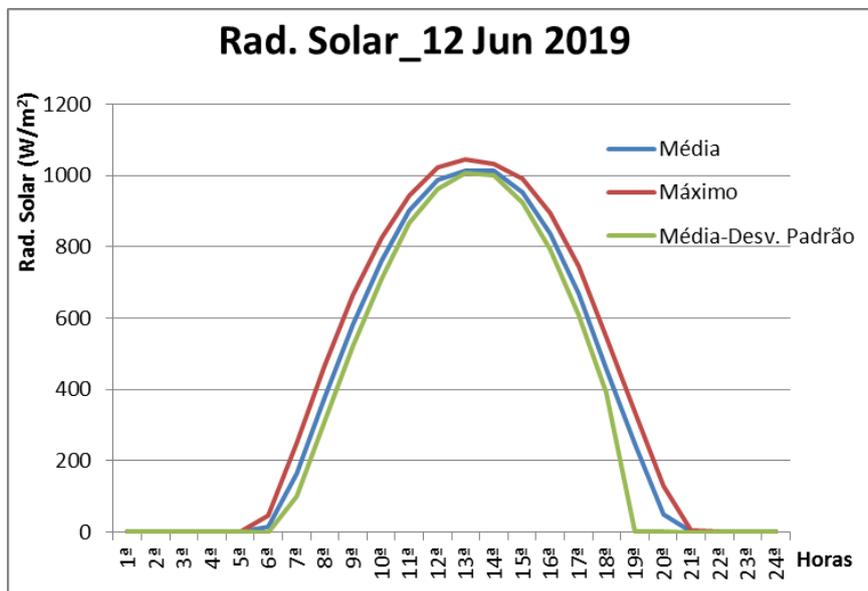


Figura 4.6: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” da Primavera.

A Figura 4.7 representa o “dia ideal” de Verão, sendo este muito semelhante ao da Primavera.

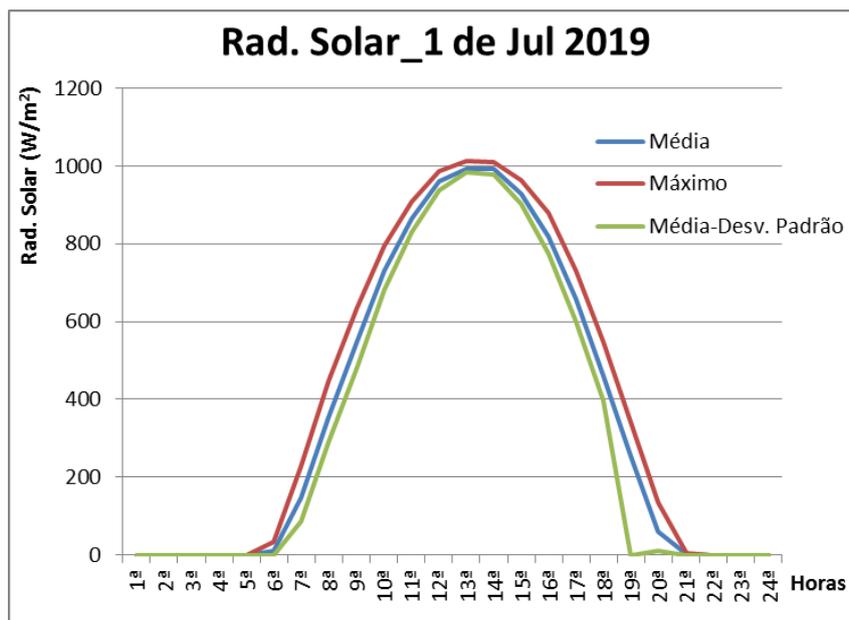


Figura 4.7: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” de Verão.

A Figura 4.8, que diz respeito ao Outono, verificando-se nesta estação alguns ou um dia em que a irradiância possui valores parecidos à Primavera e Verão. Isto devido ao dia escolhido ser no início desta estação.

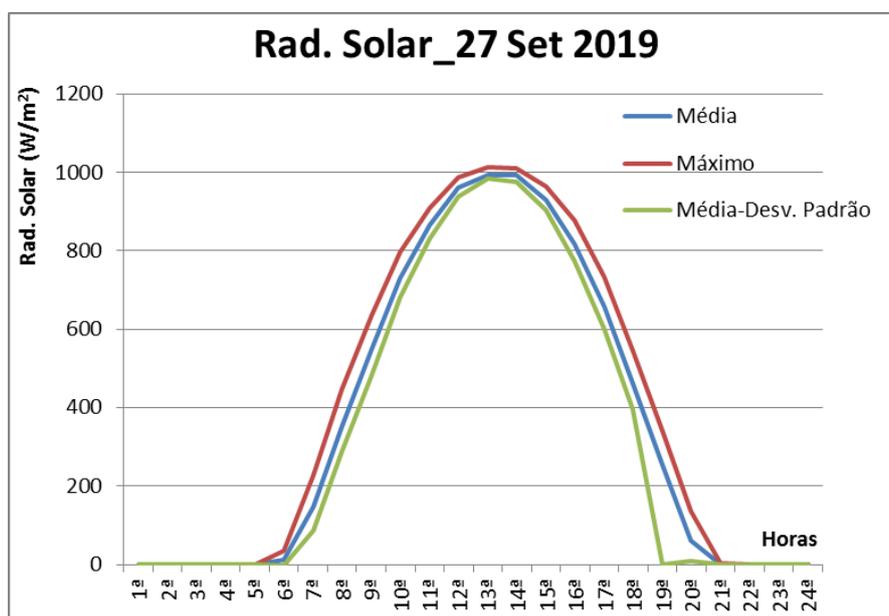


Figura 4.8: Distribuição da Irradiância no “dia ideal” de Outono.

Pode-se verificar pelas figuras que o Inverno é a estação do ano que apresenta valores mais baixos, no entanto, mesmo assim também se pode ter alguns dias com valores de irradiância bastantes razoáveis. No Outono, apesar de ter um ou alguns dias como a Primavera e Verão, também tem dias com uma Irradiância baixa.

Como tal, estes dados são apenas um indicador de irradiância que se pode obter em cada estação do ano, mas tem que se ter a noção que é apenas uma previsão. A previsão foi do ano 2019, que é o ano mais recente, como indicação dos valores de irradiação que se podem obter em Évora.

4.5 Dados do PVGIS

Os PVGIS contem bases de dados com diferentes dados de localidades, outros resultam de dados interpolados ou até estimativas por satélite. Destes dados resulta uma heterogeneidade, mesmo se tratando da mesma localidade, isto porque, a qualidade das medições é diferente da interpolação de dados, ou seja, são utilizadas plataformas distintas (Pagola et al., 2010).

Os dados obtidos do PVGIS e dados concebidos pela Universidade de Évora são irradiâncias em plano horizontal.

A Figura 4.9 refere-se à irradiância no Inverno, em que a curva a laranja foi realizada tendo como base os dados da estação de Évora, concedidos pela Universidade de Évora e a curva a azul são dados do PVGIS.

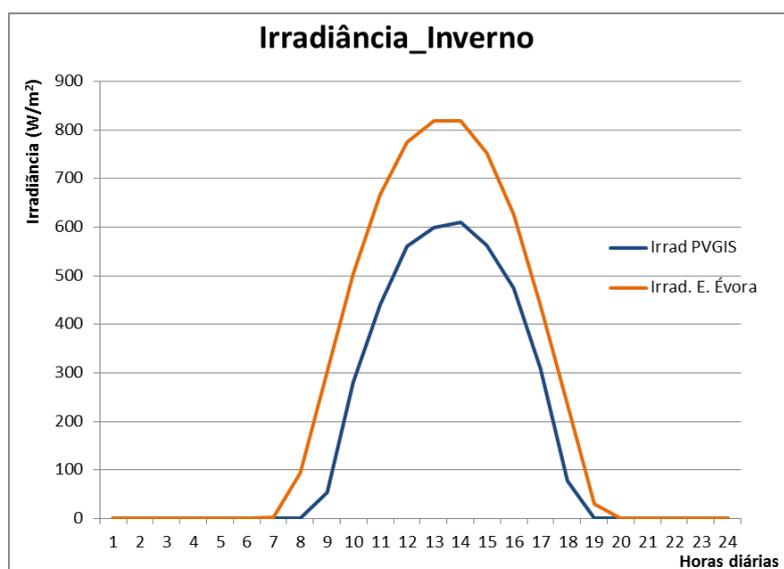


Figura 4.9: Irradiância no Inverno.

Pode-se dizer que as diferenças de irradiância apresentadas (Figura 4.9), podem ser derivadas de os valores dos dados do PVGIS e os dados da estação de Évora serem de anos diferentes e também à interpolação de dados e estimativas.

O valor de irradiância de à volta dos 800 W/m² refere-se a um dia de maiores valores apesar da estação do ano ser o Inverno.

A Figura 4.10 apresenta a Irradiância na Primavera, em que a curva a laranja é referente aos dados da Estação de Évora e a curva a azul, refere-se aos dados do PVGIS.

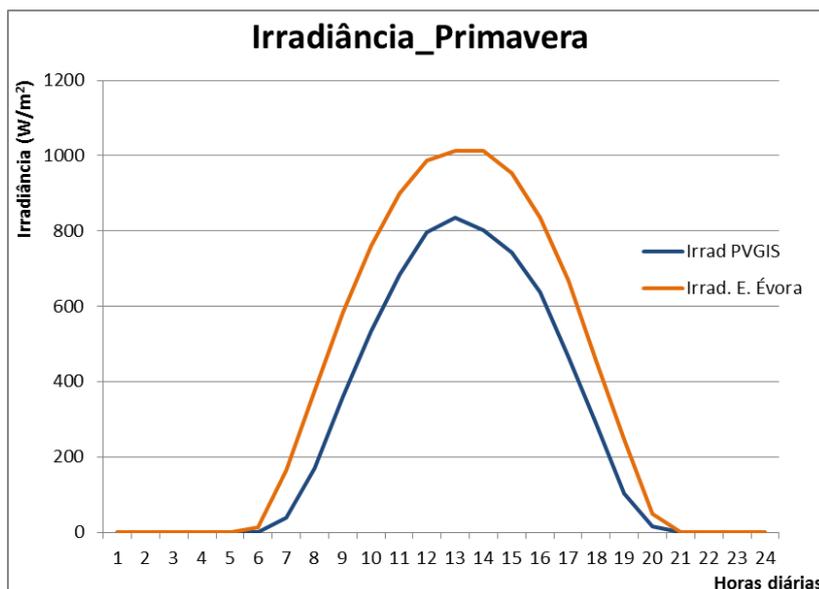


Figura 4.10: Irradiância na Primavera.

As diferenças de irradiância (Figura 4.10) serão derivadas às interpolações ou estimativas já referidas anteriormente, além de que os dados do PVGIS e os dados da estação de Évora corresponderem a anos diferentes, daí apresentarem diferenças significativas.

A Figura 4.11 apresenta a Irradiância no Verão, em que a curva a laranja é referente aos dados da Estação de Évora e a curva azul é referente aos dados do PVGIS.

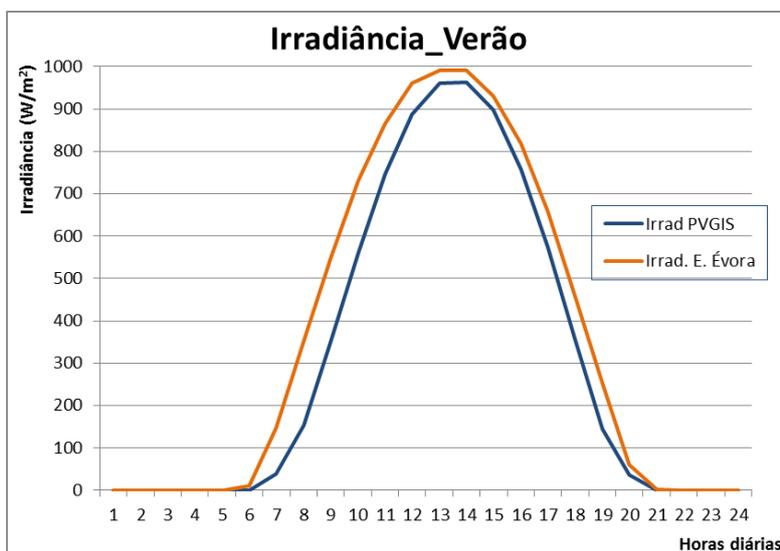


Figura 4.11: Irradiância no Verão.

No Verão, os valores de irradiância dos dados do PVGIS e os dados da estação de Évora corresponderem a anos diferentes, mas são semelhantes, atingindo um pico de cerca de 1000 W/m².

A Figura 4.12 apresenta a Irradiância no Outono, em que a curva a laranja é referente aos dados da Estação de Évora e a curva a azul, refere-se aos dados do PVGIS.

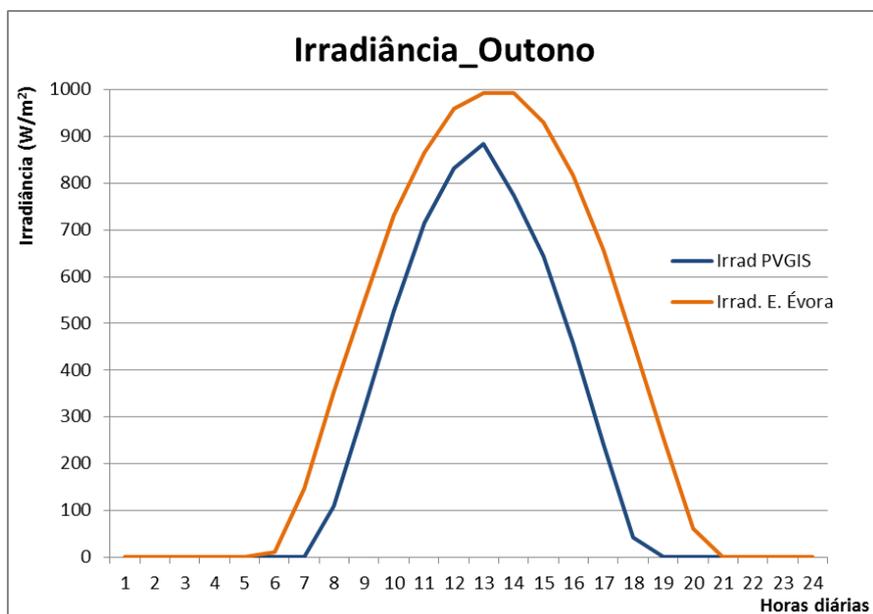


Figura 4.12: Irradiância no Outono.

Na Figura 4.12, correspondente ao Outono, verifica-se diferenças nos dados do PVGIS e os dados da estação de Évora dado à interpolação ou estimativas e também devido a serem de anos diferentes, sendo diferenças significativas. Apesar, de Outono é o dia que apresenta maiores valores relativamente à estação do ano.

4.6 Dimensionamento do Caso de Estudo

O caso de estudo incide numa Indústria de Aeronáutica situa-se em Évora, Parque da Indústria Aeronáutica de Évora. Foi inaugurada a 21 de Setembro de 2012, estando em funcionamento desde essa data até aos dias de hoje. Esta indústria é composta por três empresas diferentes: uma que faz estruturas em compósitos, outra estruturas em metal e a terceira que dá suporte às fábricas na Administração, Finanças, Logística e Compras, Tecnologias da Informação, Recursos Humanos e MASS (Meio Ambiente, Saúde e Segurança). Posteriormente, em 20214 foi inaugurado o Centro de Engenharia e Tecnologia responsável por Engenharia de Desenvolvimento do Produto (E. Portugal).

A Figura 4.13 ilustra a localização da indústria aeronáutica para a qual é realizado o projecto (Google Maps) com latitude 38.6462430 e longitude - 7.5461977.



Figura 4.13: Localização no mapa e vista aérea da Indústria Aeronáutica.

A realização do projeto do sistema fotovoltaico a instalar tem em consideração alguns aspetos como: aproveitamento de espaço e cobertura do parque de estacionamento com a colocação de painéis fotovoltaicos.

Num projecto de energia elétrica de origem fotovoltaica é importante a inclinação dos painéis fotovoltaicos, dado que condiciona o seu rendimento. No entanto, existem factores a ter em conta.

Um dos factores é a inclinação óptima, na qual, deve-se ter em conta as horas de luz solar durante o dia, que variam conforme a estação do ano. O verão é a estação do ano com mais horas de sol (Reis, 2018c).

O ângulo de inclinação que os painéis fotovoltaicos devem ter ao serem instalados, depende da latitude do local onde se encontra a indústria. Como tal, se o local pretendido se localizar no hemisfério norte, à medida que se sobe, encontra-se o sol mais baixo, ao nível do horizonte. Por sua vez, se for no hemisfério sul, acontece o oposto, ficando o sol mais alto em relação ao horizonte.

No Hemisfério Norte encontra-se a América do Norte, América Central, parte da África, Europa, Ásia, Polo Norte. Nestes países os painéis fotovoltaicos deverão ficar virados para Sul quando forem instalados (Reis, 2018c).

No Hemisfério Sul encontra-se parte da África, América do Sul, Antártida e Oceânia. Os painéis fotovoltaicos destes países devem ficar virados a Norte quando instalados.

E finalmente, a sombra é outro fator muito importante, na medida em que, esta estando presente nos painéis fotovoltaicos vai diminuir drasticamente o

seu rendimento. A sombra pode ser derivada de árvores, prédios, chaminés (Reis, 2018c).

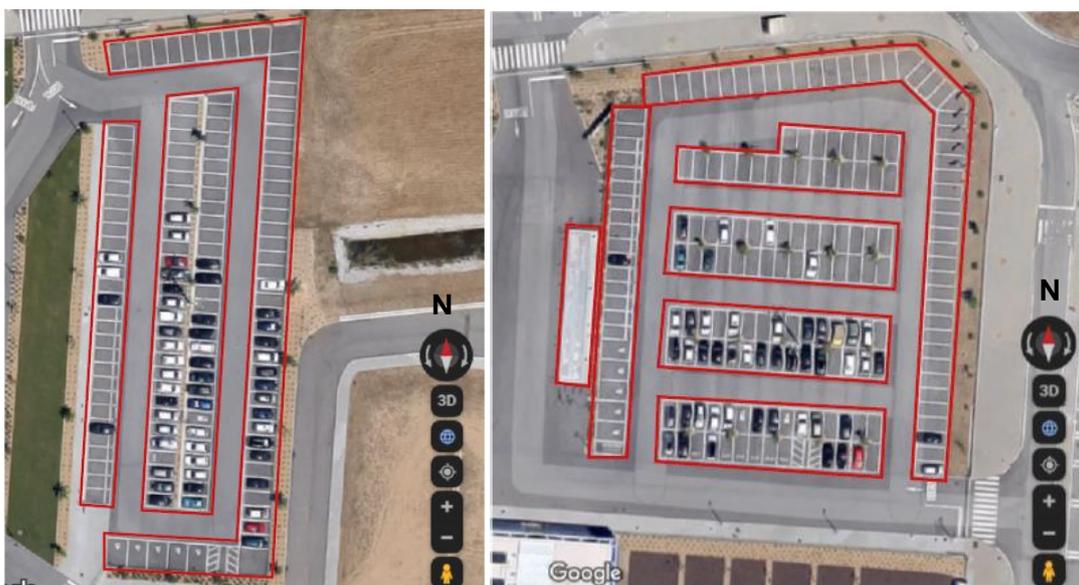
Caso, se pretenda um rendimento estável durante todo o ano, o ideal é os painéis fotovoltaicos terem a latitude do local onde se pretende que estes sejam instalados.

Se pretender ter um rendimento maior durante o inverno, os painéis fotovoltaicos devem estar instalados de forma terem uma inclinação maior para que haja um melhor aproveitamento de energia solar maior. Sendo, o ideal ter uma inclinação superior a 10 e 15 graus, relativamente ao ângulo da latitude do local a instalar os painéis (Reis, 2018c).

Mas, se o objetivo for um rendimento maior no verão, então a inclinação terá que ser inferior, de entre 10 a 15 graus, relativamente ao ângulo de latitude onde irão ser instalados os painéis fotovoltaicos (Reis, 2018c).

No caso de estudo, considera-se o Hemisfério Norte que corresponde à Europa e orientação a Sul.

As áreas a considerar de cada planta apresentam-se destacadas a vermelho em cada um dos estacionamento nas Figuras 4.14 e 4.15.



Figuras 4.14 e 4.15: Parques de estacionamentos da A (esquerda) e B (direita).

Os parque de estacionamentos apresentados na figura anterior não têm qualquer cobertura e também não apresentam sombreamento, então a ideia é cobrir os parque de estacionamento com painéis fotovoltaicos e poupar na fatura de eletricidade.

As áreas a cobrir com painéis fotovoltaicos nos parques de estacionamento foram obtidas com base no Google Maps, convertendo as medidas do mapa para as reais, de acordo com a escala apresentada no mesmo.

O número de painéis fotovoltaicos de forma cobrir os parques de estacionamentos na totalidade foi deduzido, tendo em conta as áreas. Sendo, o

número de painéis obtidos em primeira instancia dividindo a área total pela área do painel, depois verificou-se que poderia cobrir uma área maior nalguns casos, acrescentado alguns consoante a largura e comprimento da cobertura do parque de estacionamento.

A Tabela 4.1 apresenta os dados para a cobertura com painéis fotovoltaicos.

Tabela 4.1: Dados para realização do projeto

Local:	Área (m ²):	Nº Painéis Fotovoltaicos:
Parque Estacionamento A	1866	1156
Parque Estacionamento B	2441	1532
Total:	4307	2688

A escolha do módulo teve em conta a utilização deste tipo de painéis numa entidade da área para conseguir ter um orçamento real de custo esta instalação, bem como as áreas onde se iriam instalar.

No estudo, tem-se em conta o Módulo Open 320-HM60, sendo na Tabela 4.2 apresentas algumas das suas características.

Tabela 4.2: Especificações do Módulo utilizado no projeto

Especificações:	Valores:
Comprimento	1,7m
Largura	1m
Altura	40mm
Peso	19±5% Kg
Potência	320W
Eficiência	19,6%

Quanto à escolha do inversor teve-se em conta os módulos utilizados e a potencia, bem como as ligações em série e paralelo, sendo também um módulo que a entidade da área trabalha para obter valores de orçamento da instalação fidedignos.

Neste estudo, o Inversor escolhido é modelo SMA Sunny Tripower CORE2, STP 110-60, o qual é ilustrada na Tabela 4.3 algumas das suas especificações.

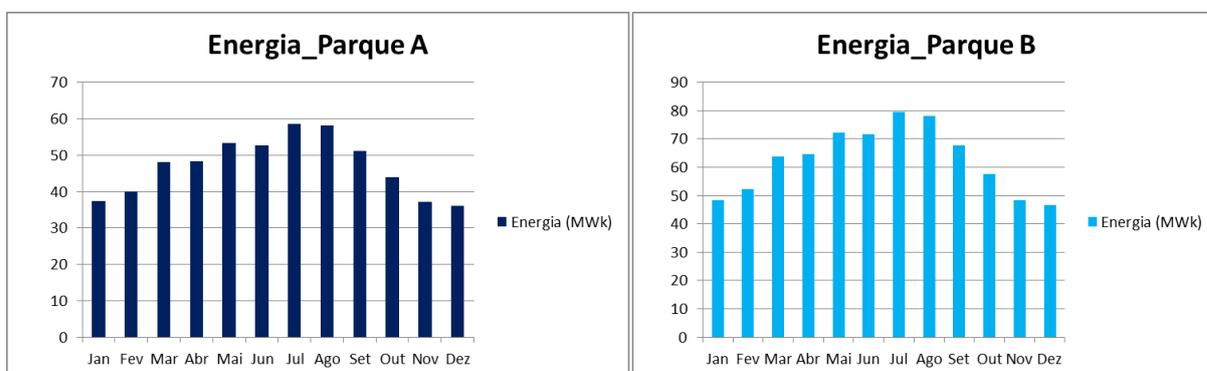
Tabela 4.3: Especificações do Inversor utilizado no projeto

Especificações:	Valores:
Largura	1,117m
Altura	0,682m
Profundidade	0,363m
Peso	93,5 Kg
Potência	110 kW
Eficiência de pico	98,6%

E falando de Energia elétrica, a indústria em questão segundo indicação da indústria em estudo, esta consome cerca de 4821,612 MWh por ano, tendo um custo de 525729 €. Dado este custo, o projeto em questão vem essencialmente com o intuito de reduzir este custo. Foi verificado em cada parque de estacionamento a potencia do sistema fotovoltaico, sendo no Parque A cerca de 369,92kW e no Parque B cerca de 490,24 kW (resultante da multiplicação do nº de painéis e da potencia do painel fotovoltaico utilizado), perfazendo um total de 793 kW.

Como tal, recorreu-se ao PVGIS para a realização de simulações de energia que os painéis fotovoltaicos poderão produzir consoante as potencias dos sistemas dos dois parques de estacionamento A e B, acima referidos.

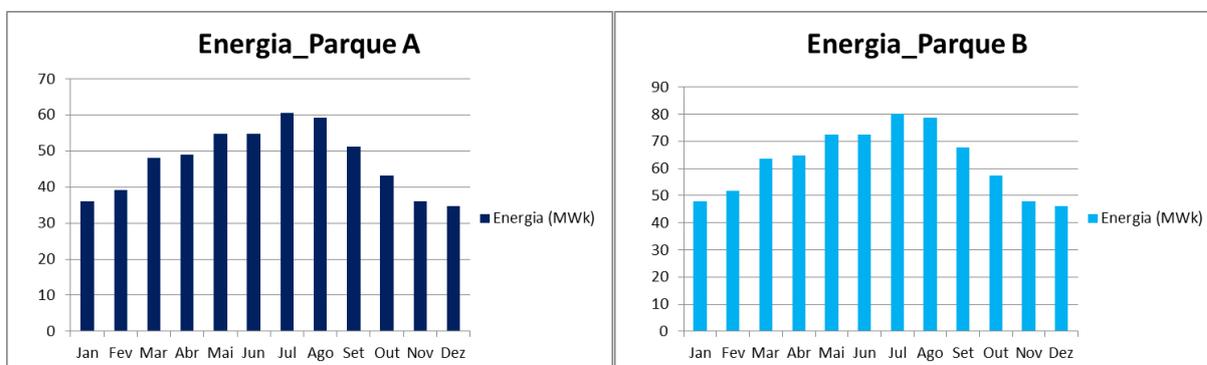
Considerando, a inclinação do local onde se situa a indústria (38,569) e o azimute (0) porque nos encontramos a Sul conforme os critérios da ferramenta PVGIS, obteve-se os seguintes valores de energia elétrica nos parques de estacionamento nas Figuras 4.16 e 4.17.



Figuras 4.16 e 4.17: Simulação da Energia com inclinação local e azimute 0.

Realizando a somas da Energia de ambos dá um total de 1316,435 MWh anual.

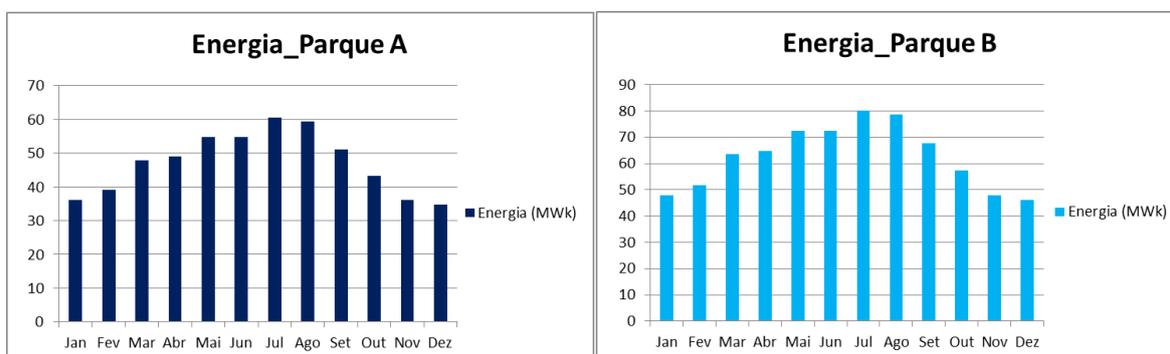
Posteriormente, foi também realizada a simulação, ajustada a inclinação, dando origem aos seguintes valores nas Figuras 4.18 e 4.19.



Figuras 4.18 e 4.19: Simulação da Energia com ajuste da inclinação.

A energia nestes dois sistemas dá um total de 1317,835 MWh anualmente.

Finalizando, as simulações foi realizada, um último ajuste a inclinação e o azimute. Os valores da simulação são os apresentados nas Figuras 4.20 e 4.21.



Figuras 4.20 e 4.21: Simulação da Energia com ajuste da inclinação e azimute.

Nesta ultima simulação dos dois parques de estacionamento dá cerca de 1317,946MWh por ano.

No projeto de energia elétrica de origem fotovoltaica foi solicitado orçamento a uma Entidade que vende e instala painéis fotovoltaicos para os parques de estacionamento da Indústria Aeronáutica, como indicado nas Tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4: Orçamento do parque de estacionamento A

Parque A	
Especificações	Custos (€)
Módulo Open 320-HM60	114675
Estrutura Carport 1105 módulos	89000
3 Inversores SMA Tripower 110-60 Core 2	15890
Quadros DC+AC+Monitorização+Contagem	10600
Montagem (incluindo rede cabos)	36600
Protecção Homopolar	26000
TOTAL :	292765

Tabela 4.5: Orçamento do parque de estacionamento B

Parque B	
Especificações	Custos (€)
Módulo Open 320-HM60	151974
Estrutura Carport 1105 módulos	117717
4 Inversores SMA Tripower 110-60 Core 2	21187
Quadros DC+AC+Monitorização+Contagem	12100
Montagem (incluindo rede cabos)	47422
Protecção Homopolar	26000
TOTAL :	376400

Os valores apresentados são apenas referente ao custo dos painéis e tudo o que é necessário para a sua instalação, não inclui manutenção. Até porque como já foi dito os painéis não necessitam de muita manutenção.

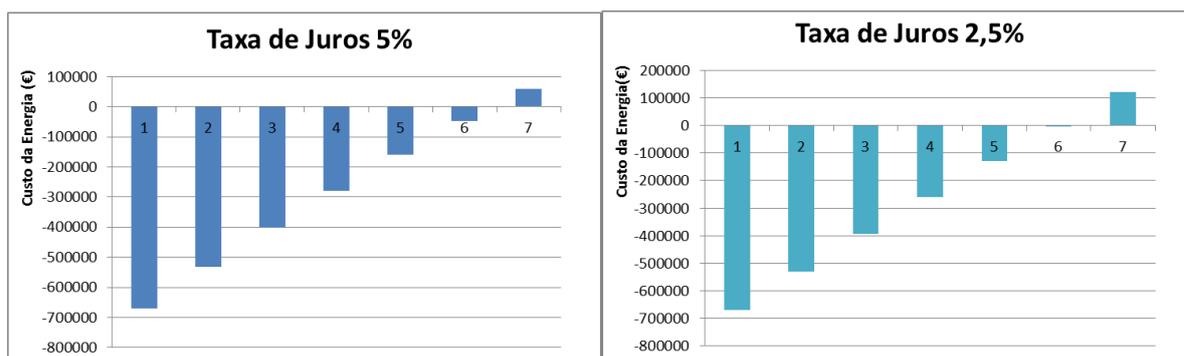
De acordo, com a notícia do Jornal Economico (Alves ,2020) que fala de uma taxa de juros de 2,7%, foi considerada a tava de 5% e 2,5% para calcular o tempo de retorno do investimento no caso de estudo, tendo em conta as três simulações de energia elétrica.

Após, a obtenção de todos os dados de energia e custos da indústria e dos painéis a instalar, faz sentido a realização de um estudo económico, no qual, foi utilizado uma planilha em Excel, para calcular o tempo necessário para que custo do o sistema fotovoltaico deixe de ser um prejuízo e comece a dar lucro à indústria.

Se considerar a taxa de juros de 5%, o investimento é recuperado em 5 anos e 9 meses para as três simulações, isto porque os valores de energia eléctrica obtidos no PVGIS são muito semelhantes.

Mas, se a tava de juros for de 2,5% consegue-se recuperar o investimento após 5 anos, logo no mês seguinte, também para as três simulações pelo mesmo motivo referido anteriormente.

O número 1 no eixo dos x, corresponde ao ano 0, em que se tem o valor do investimento como prejuízo só após o ano 5, o sistema fotovoltaico começa a ser rentável, gerando lucro. Como se pode ver na Figura 4.23 em que se tem uma taxa de juros de 2,5%, o valor do investimento é recuperado mais rapidamente.



Figuras 4.22 e 4.23: Recuperação do investimento com diferentes taxas de juros.

O valor de energia eléctrica consumida pela Indústria Aeronáutica é superior à energia que o sistema de energia fotovoltaica dos parque de estacionamento. A energia que o projeto do sistema de energia fotovoltaica produz, representa um pouco mais de um quarto da energia que a Entidade consome.

5. Conclusões

O estudo da radiação solar em Évora serve essencialmente para constatar que Portugal, mais especificamente a localidade em causa dispõe de um bom recurso solar, que pode e deve ser aproveitado.

Como se pode verificar no estudo da radiação solar realizado em 2019, de acordo, com os dados da Estação de Évora, podemos verificar que se consegue ter no Inverno 8 horas de radiação solar, em Outono cerca de 11 horas pelo menos no início da estação e no Verão tem-se 13 horas.

O número de horas que conseguimos dispor deste maravilhoso recurso natural, o Sol é muito bom.

Após, a realização das simulações no caso de estudo pode verificar-se que ao ajustar a inclinação e o azimute obteve-se um valor de energia elétrica maior (1317,946 MWh), no entanto, esse valor não é muito diferente dos valores obtidos nas outras simulações (1316,435 MWh e 1317,835 MWh). Era expetável que nessa simulação obtivesse um valor maior, dado que o ajuste serve melhorar a produção de eletricidade.

Apesar, de o valor de os valores de energia anteriormente referidos nas simulações representarem um pouco mais que um quarto da energia que a Indústria consome, este é sempre uma mais valia, dado que representa uma economia na fatura anual de energia elétrica com um valor médio de 143644,5 € , resultante das simulações obtidas.

Contudo, este investimento é uma mais valia porque em pouco mais de cinco anos consegue-se obter o retorno do investimento e a devida economia na fatura de energia elétrica da Indústria Aeronáutica.

Espero, que todos estes fundamentos apresentados na dissertação possam trazer motivação a esta indústria e outras investir na energia fotovoltaica.

E como forma de conclusão, não custa nada salientar que o custo da energia fotovoltaica está a declinar. No entanto, ainda há um longo percurso, que é diminuir os custos dos componentes de uma instalação fotovoltaica e obter-se maior tempo de vida útil, de forma a se obter maior rendimento e eficiência.

É com alegria que constato que nos últimos anos tem havido um crescimento bastante considerável desta forma de energia abundante e renovável.

Referências Bibliográficas

Albino, A.F.R. (2014), “Radiação solar: estudo e criação de plataforma de apoio à conceção de um sensor de radiação solar”, Dissertação, Universidade de Évora.

Agroalimentando. “Cómo funcionan las células solares fotovoltaicas?” Disponível em: https://agroalimentando.com/nota.php?id_nota=11504 [Acedido em 07/07/2020]

Almeida, M. (2012). “Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede”. Universidade de São Paulo. Pós-Graduação de Energia. São Paulo.

Álvarez, S.O.B. (2019). “Estudio de procesos térmicos rápidos para la fabricación y optimización de celdas solares de c-Si”. Tesis sometida como requisito parcial para obtener el grado de Maestra em Ciências em la Especialidade de Electrónica, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

Alves, M (2020). “Taxas de juro dos bancos às empresas caiu para 1,56% em maio”. 3 de Julho.

Disponível em: <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/taxas-de-juro-dos-bancos-as-empresas-caiu-para-156-em-maio-609364> [Acedido em 18/11/2020]

Agostinho, A.R.F.F. (2014), “A Gestão de Energia como um fator de sustentabilidade no Turismo”, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Técnico de Lisboa, Lisboa.

Abreu, E.F.M., Canhoto, P., Prior, V., Melício, R. (2018) "Solar resource assessment through long-term statistical analysis and typical data generation with different time resolutions using GHI measurements", *Renewable Energy*, Vol. 127, pp. 398–411.

Anjos, R. (2016), “Análise E Simulação De Pontos Quentes Em Painéis Fotovoltaicos”, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrónica, ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Anjos, R.S., Melício R., Mendes, V.M.F., Pousinho, H.M.I. (2017), "Crystalline silicon pv module under effect of shading simulation of the hot-spot condition", in: *Technological Innovation for Smart Systems*, SPRINGER, Cham, Switzerland, pp. 479-487.

Anzalchi, A., & Sarwat, A. (2017). “Overview of technical specifications for grid-connected photovoltaic systems”. *Energy Conversion and Management*, 152, 312–327.

APREN (2020) - Associação de Energias Renováveis (2020), “Boletim de Eletricidade Renovável”, Abril. Disponível em: <https://www.apren.pt/contents/publicationsreportcarditems/boletim-renovaveis-abril-2020-vf.pdf> [Acedido em 5 de Junho 2020]

Araújo, A., Rank, N., Bueno, T. (2016). “Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba”. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ATP Solar (2018) - Energia Solar, Notícias. Confira a lista dos 5 países líderes em energia solar, 25 de Janeiro. Disponível em: <http://www.atpsolar.com.br/lista-dos-5-paises-lideres-em-energia-solar/> [Acedido em 23 de Junho 2019]

Aziz, N., Sulaiman, S., Shaari., S., Musirin, I., Sopian, K. (2017). “Optimal sizing of stand-alone photovoltaic system by minimizing the loss of power supply probability”. *Solar Energy*, 150, 220–228.

Bagher, M., Vahid, M., Mohsen, M. (2015). “Types of Solar Cells and Application,” *American Journal. Of Optics and Photonics*, vol. 3, no. 5, p. 94.

Barghinil, A. (1971), “Le origini del motore a vapore”, *Le Scienze*, v.36.

Carvalho, J. F. (2014), “Energia e sociedade”, *Estudos Avançados* 28(82), Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, Brasil.

Dall’O’, G. (2013), “Green Energy Audit of Buildings”, *A guide for a sustainable energy audit of buildings*, Springer – Verlag London.

Decreto-Lei n.º 189/88. (1988). *Diário da Republica*.

Decreto-Lei n.º 313/95. (1995), *Diário da Republica*.

Decreto-Lei n.º 168/99. (1999), *Diário da Republica*.

Decreto-Lei nº 68/2002. (2002). *Diário de República*.

Decreto-Lei nº 363/2007. (2007). *Diário de República*.

Decreto-Lei n.º 118-A/2010. (2010). *Diário da República*.

Decreto Lei nº34/2011. (2011). *Diário da República*.

Decreto Lei nº153/2014. (2014). *Diário da República*.

Dinheiro Vivo/Economia (2019) – Bárbara Silva, “ENERGIA, Portugal estreia 19 centrais solares em 2019 com um investimento de 350 milhões”, 10/04/2019. Disponível em: <https://www.dinheirovivo.pt/economia/portugal-estrea-19-centrais-solares-em-2019-com-um-investimento-de-350-milhoes/> [Acedido em 23 de Junho 2019]

Diretiva (EU) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho de 11 de Dezembro de 2018.

Djurdjevic, D. Z. (2011). "Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 15, pp 2431–2446.

Dogga, R., & Pathak, M. (2019). "Recent trends in solar PV inverter topologies". *Solar Energy*, 183, 57–73.

EDP (2006) - Energias de Portugal, S.A , "Guia prático da eficiência energética", Edição e coordenação: Sair da Casca., Edição de Junho.

E. Portugal." CONHEÇA MAIS SOBRE NÓS!"

Disponível em: <https://embraerportugal.gupy.io/> [Acedido em 15/06/2020]

Energética E. d. P. (2006). "Plano nacional de energia 2030 geração de energia elétrica a partir de outras fontes, Brasil: Ministério de Minas e Energia".

Farias, L. M.; Sellitto, M. A. (2010), " Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras", *Revista Liberato (Novo Hamburgo)*, v. 12, p. 7/21788820-16.

Ferreira, A. C. S. (2009), "Contabilidade Ambiental: uma informação para o desenvolvimento sustentável – inclui Certificados de Carbono (2a ed.)", São Paulo, Atlas.

Fonseca, R.S. (1972), " Iluminação Elétrica", São Paulo: Editora McGraw-Hill, Brasil.

Fialho, L.A.P., Melício ,R., Mendes, V.M.F., Figueiredo, J., Pereira, M.I.C. (2014a), "Effect of shading on series solar modules: simulation and experimental results", *Procedia Technology*, Vol. 17, pp. 295-302.

Fialho, L.A.P., Melício, R., Mendes, V.M.F., Viana, S., Rodrigues, C., Estanqueiro, A. (2014b), "A simulation of integrated photovoltaic conversion into electric grid", *Solar Energy*, Vol. 110, pp. 578-594.

Fialho, L.A.P., Melício, R., Mendes, V.M.F. (2014c) "PV system modeling by five parameters and in situ test", *Proceedings of the International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives and Motion — SPEEDAM 2014*, pp. 573–578.

Fialho, L.A.P., Melício, R., Mendes, V.M.F., Estanqueiro, A. (2015) "Simulation of a-Si PV system grid connected by boost and inverter", *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, Vol. 5(2), pp. 443–451.

Frost, J., Walsh, A. (2016). "Molecular Motion and Dynamic Crystal Structures of Hybrid Halide Perovskites". *Springer Int. Publ. Awitazerl.*, vol. 1, p. 17.

Gabriel, A.N. (2018), "Projeto e Instalação de Unidades de Produção Fotovoltaica – Estágio na SUNENERGY", Relatório de Estágio apresentado

para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica – Área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Gomes, A. (2017), “Viabilidade Económica de Painéis Fotovoltaica na ESTGV- A Abordagem através de Opções Reais, Tese de Mestrado em Finanças Empresariais, Instituto Politécnico de Viseu.

Gomes, I.L.R., Melício, R., Mendes, V.M.F., Gordo, P., Pardal, T.C.D. (2019), "Aerostat powered by PV cells: hot-spot effect", Proceedings of 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society — ICRERA 2019, pp. 1–6, Brasov, Romania, pp. 477-482.

Gomes, I.L.R., Melício, R., Mendes, V.M.F. (2020), "PV system way of the future", in: Advances in Renewable Energies and Power Quality, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle, UK, pp. 8–26.

Google Maps.

Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Embraer+Portugal+S.A./> [Acedido em 05/02/2020]

Goswami, D. Y. (2015), "Principles Of Solar Engineering". Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Green, A., Hishikawa, Y., Dunlop, E., Levi, D., Hohl-Ebinger, J., Ho-Baillie, A. (2018). “Solar cell efficiency tables (version 52),” Prog. Photovoltaics Res. Appl., vol. 26, no. 7, pp. 427–436.

Hémery, D.I, Beber, J. C., Deléage, J.-P. (1993), “Uma História da Energia”, Brasília: Editora Universidade de Brasília.

InfoEscola – Espectro Eletromagnético. Ilustração: Peter Hermes Furian / Shutterstock.com Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/> [Acedido em 23 de Junho 2020]

Jansen, K., Delahoy, A. (2003). “A laboratory technique for the evaluation of electrochemical transparent conductive oxide delamination from glass substrates”. Thin Solid Films 423, 153-160.

Kalogirou, S. A. (2009), “Solar Energy Engineering”, Boston: Academic Process.

Kazim, S., Nazeeruddin, M., Grätzel, M. (2014). “Perovskite as light harvester: a game changer in photovoltaics”. Angew. Chem. Int. Ed. Engl., vol. 53, no. 11, pp. 2812–24.

Lui, M., Johnston, M., Snaith, H. (2013). “Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition”. Nature, vol. 501, no. 7467, pp. 395–398.

Lynn, P.A. (2010), "Electricity from sunlight: Na Introduction to photovoltaics, United Kingdom: A Jonh Wiley & Sons, Ltd., Publication.

Manual de Eficiência Energética, 2008, EOI Escuela de Negócios , Centro de Eficiência Energética del Grupo Gás Natural, Editor :Grupo Gás Natural.

Masini, A., Frankl, P. (2002), "Forecasting the diffusion of photovoltaic systems in southern Europe: A learning curve approach", *Technological Forecasting & Social Change*, 70, 39–65.

Melício, R. (2004), "Um modelo integrado de sistemas eólicos equipados com máquinas síncronas de velocidade variável", Tese de mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Melício, R. (2010), "Modelos dinâmicos de sistemas de conversão de energia eólica ligados à rede eléctrica", Tese de doutoramento em Engenharia Eletrotécnica, Universidade da Beira Interior.

Mendes, I. (2019). "Dimensionamento de um Sistema de Energia Fotovoltaica para Autoconsumo". Dissertação. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Mordomo , Cassiana (2018). "Potencial PV no espaço público urbano". Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e Ambiente.

Morais, J. L. (2009). "Sistemas Fotovoltaicos da Teoria à Prática. Grafilinha". Edição de Autor.

Munoz, M., Alonso-Garcia, M., Nieves, V., Chenlo, F. (2011). "Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions". *Solar Energy* 85, 2264-2274.

Nascimento, M.A.P. (2013), "Avaliação de qualidade de energia de um sistema fotovoltaico numa rede eléctrica", Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica – ramo de Energia, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Nassa, T. (2020). "Energia solar cresce 22,5% no mundo com mais de 115 gigawatts instalados no último ano". *EcoDebate*, ISSN 2446-9394. 18 de Junho. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2020/06/18/energia-solar-cresce-225-no-mundo-com-mais-de-115-gigawatts-instalados-no-ultimo-ano/> [Acedido em 28/09/2020]

NREL. "Best Research-Cell Efficiency Chart". Disponível em: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> [Acedido em 30/06/2020]

Ovelha, R.M.V. (2017), "Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia *offgrid*", Dissertação, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências.

Pagola, I., Gastón, M., Fernández-peruchena, C., Moreno, S., Ramírez, L. (2010). "New methodology of solar radiation evaluation using free access databases in specific locations." *Renewable Energy*, vol 35, pp 2792–2798.

Panasonic Solar (2020). "Painel fotovoltaico de silício amorfo". Disponível em: <https://www.archiexpo.com/pt/prod/panasonic-solar/product-83914-2056729.html> [Acedido em 30/06/2020]

Pearce, J. M. (2002), "Photovoltaics –a Path to Sustainable Futures", *Science, Technology, and Society Program*, 34(7), 663–674.

Pereira, O., Gonçalves, F. (2008). "Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema DE tubarão - SC. *Revista Brasileira de Energia*". Vol. 14, No. 1, 1º Sem. 2008, pp. 25-45.

Pereira, R.J., Melício, R., Mendes, V.M.F., Joyce, A. (2014) "PV system with maximum power point tracking: modeling, simulation and experimental results", *Procedia Technology (ELSEVIER)*, Vol. 17, pp. 495-501.

Pinheiro, M. (2014), "Imobiliário Sustentável", *Vida Imobiliária*, Porto.

Prado, M. (2020). "No espaço de cinco anos, Portugal duplicou a produção de energia solar". *Jornal Expresso, Economia*. 3 de Fevereiro. Disponível em: <https://expresso.pt/economia/2020-02-03-No-espaco-de-cinco-anos-Portugal-duplicou-a-producao-de-energia-solar> [Acedido em 28/09/2020]

PVPerformance – Modelling Collaborative, Modeling Steps. Disponível em: <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/1-weather-design-inputs/sun-position/> [Acedido em 23 de Junho 2020]

Quintana, A.C., Machado, D.G.; Amaral, C.T.; Quintana, C.G. (2014), "Gestão Ambiental: Produção Científica Divulgada em Periódicos Nacionais QUALIS B1 a B4 – CAPES", *Revista de Administração e Inovação*, Vol. 11, núm. 2, pp. 7-29, Universidade de São Paulo São Paulo, Brasil.

Ramos, C. (1998). "*A Energia Solar em Portugal: Potencialidades e Diferenciação Regional*". Lisboa: Associação Portuguesa de Geógrafos.

Rashel, M.R., Rifath, J., Gonçalves, T.C.F., Tlemçani, M., Melício, R. (2017) "Sensitivity analysis through error function of crystalline-Si photovoltaic cell model integrated in a smart grid", *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, Vol. 7(4), pp. 1926–1933.

Ranabhat, K., Patrikeev, L., Revina, A., Andianov, K., Lapshinsky, V., Sofronova, E. (2016). "An introduction to solar cell technology". *Journal of Applied Engineering. Science*, vol. 14, no. 4, pp. 481–491.

Reis, P., (2015a). “Como funcionam as células solares fotovoltaicas”. Novembro.

Disponível em: <https://www.portal-energia.com/como-funcionam-celulas-solares-componentes-operacoes/> [Acedido em 07/07/2020]

Reis, P., (2017b). “ Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares”. 28 de Novembro.

Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/> [Acedido em 30/06/2020]

Reis, P., (2018c). “Qual a inclinação que um painel solar deve ter?”. 18 de Agosto. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/qual-inclinacao-painel-solar/> [Acedido em 17/10/2020]

Reis, P., (2019d). “Células solares fotovoltaicas de Perovskita: Futuro ou apenas um Sonho?”. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/celulas-solares-fotovoltaicas-perovskita-148130/> [Acedido em 30/06/2020]

Rowlands, I., Paige, B., Beausoleil-Morrison, I. (2011). "Managing solar-PV variability with geographical dispersion : An Ontario (Canada) case-study". *Renewable Energy*, vol 68, pp 171–180.

Rüther, R. (2004). “Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil”. Florianópolis: Labsolar.

Saraiva, S., Melício, R., Catalão, J.P.S., Matias, J.C.O., Cabrita, C. (2011a), "Instalação de microgeração fotovoltaica: caso de estudo", *Renováveis Magazine*, N.º 8, Trimestre 4, pp. 86-89.

Saraiva, S., Melício, R., Catalão, J.P.S., Matias, J.C.O, Cabrita, C. (2011b), "A micro PV power plant: practical case study", *Proceedings of the International Conference on Engineering UBI 2011 — ICEUBI 2011*, pp. 1-9, Covilhã, Portugal.

Saraiva, S., Melício, R., Matias, J.C.O., Cabrita, C., Catalão, J.P.S. (2012a) "Simulation and experimental results for a photovoltaic system formed by monocrystalline solar modules", in: *Technological Innovation for Value Creation*, SPRINGER, Heidelberg, Germany, pp. 329–336.

Saraiva, S., Melício, R., Matias, J.C.O., Catalão, J.P.S., Cabrita, C. (2012b) "Simulation and experimental results for a photovoltaic system formed by polycrystalline solar modules", *Proceedings of the 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference — MELECON'2012*, pp. 806–809.

Sergey, K., Yury, K., Bogdan, M., Zenon, O. (2010). “Photovoltaic systems, Modern Electric Power Systems 2010”. Wroclaw. Poland.

Shapiro, H.N., Moran, M.J. (2015), “Princípios de Termodinâmica para Engenharia”, LTC.

Silva, I., Pinheiro, R., Americano, I., Thomas, H., Oliveira, K. (2018). “Materiais aplicados à Geração de Energia Solar em Edificações”. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - Gramado, 17 a 20 Abril.

Souza, M.B., Tonolo, E.A., Yang, R.L (2018), “Determinação da Irradiação Difusa a partir da Irradiação Global Horizontal – Estudo para a cidade de Curitiba”, Smart Energy, Paraná.

Sun, X., Asadpour, R., Nie, W., Mohite, A., Alam, M. (2015). “A Physics-Based Analytical Model for Perovskite Solar Cells,” IEEE J. Photovoltaics, vol. 5, no. 5, pp. 1389–1394.

Šúri, M., Huld, T., Dunlop, E. D. (2005). "PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe". *International Journal of Sustainable Energy*, vol 24, pp 55–67.

Suri, M., Huld, T., Dunlop, E., Albuissou, M., Lefevre, M., Suri, M., Lefevre, M. (2010). "Uncertainties in solar electricity yield prediction from fluctuation of solar radiation".

Tavares , J., & Galdinho, A. (2014). *Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Cepel.

Tidwell, J. W., Weir, A. D. (2006), "Renewable Energy Resources". Abingdon: Taylor & Francis Group.

Torres, D., Luca, B., Malacarne, J., Souza, J., Casarolli, D., Silva, E., Guerra, T. (2019). “Células Fotovoltaicas: Desenvolvimento e as Três Gerações”. Revista Técnico-Científica do CREA-PR. ISSN 2358-5420.Ed. Especial. Março.

União Europeia, (2019) - Regulamentos, diretivas e outros atos legislativos, 07/03/2019. Disponível em: https://europa.eu/european-union/eu-law/legal-acts_pt [Acedido em 25 de Junho 2019]

Urbanetz, J. (2010) “Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade”. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Varela, C. (2018). “Painéis Fotovoltaicos”. Innovar. Disponível em: <https://blogs.upm.es/innovaqr/assignatura/energias-renovables/paneles-fotovoltaicos/> [Acedido em 30/06/2020]

Vaz, J. (2017), “Dimensionamento De Um Sistema Fotovoltaico, Caso de Estudo De Edifício Azevedo Gomes”, Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade de Lisboa.

Valente, M., (2011). “Caracterização Automática de um Painel Fotovoltaico”. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e Computadores. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Villalva, M., Gazoli, J. (2012). “Energia solar fotovoltaica – conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede”. São Paulo: Ed. Érica.

Wilson, M. (1968), “A energia”, Rio de Janeiro: José Olympio.

Wikipedia, (2019) – Lei de Portugal, 10 de Setembro. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Portugal [Acedido em 25 de Junho 2019]