

Universidade do Minho
Escola de Ciências

**Desenvolvimento e Implementação de Sistema Fotovoltaico
para Aplicação em Situação Empresarial**

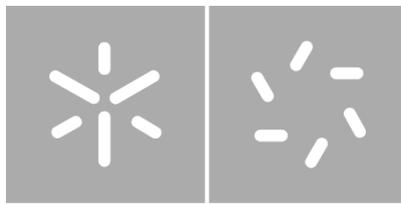
Inês Francisco de Figueiredo

**Desenvolvimento e Implementação
de Sistema Fotovoltaico para
Aplicação em Situação Empresarial**

Inês Francisco de Figueiredo

UMINHO | 2021

dezembro de 2021



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Inês Francisco de Figueiredo

**Desenvolvimento e
Implementação de Sistema
Fotovoltaico para Aplicação
em Situação Empresarial**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Ciência e Tecnologias do
Ambiente-Energia

Trabalho realizado sob orientação do

**Professor Doutor Mário Rui Cunha
Pereira**

E do **Engenheiro Paulo Pinheiro**

dezembro de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença [abaixo](#) indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho

[Caso o autor pretenda usar uma das licenças Creative Commons, deve escolher e deixar apenas um dos seguintes ícones e respetivo lettering e URL, eliminando o texto em itálico que se lhe segue. Contudo, é possível optar por outro tipo de licença, devendo, nesse caso, ser incluída a informação necessária adaptando devidamente esta minuta]



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

[Esta é a mais restritiva das nossas seis licenças principais, só permitindo que outros façam download dos seus trabalhos e os compartilhem desde que lhe sejam atribuídos a si os devidos créditos, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais.]

Agradecimentos

Em primeiro lugar, um grande obrigado à “mui” nobre Universidade do Minho por me ter acolhido durante todos os anos do meu percurso académico. Durante cinco anos ela foi a minha casa e que maravilhosa aventura eu nela vivi.

Estou também imensamente agradecida a todos os meus professores e professoras, especialmente ao Doutor Mário Rui Pereira, meu orientador académico, que me acompanhou e apoiou durante toda a realização desta dissertação.

Obrigada à empresa DAPE e ao Eng. Paulo Pinheiro por me terem acolhido e dado esta grande oportunidade de conhecer e observar de perto os meandros de uma empresa de energia solar.

Um grande carinho vai também para a minha mãe e o meu pai que sempre estiveram do meu lado, não me deixando desistir e sempre acreditando que eu iria conseguir.

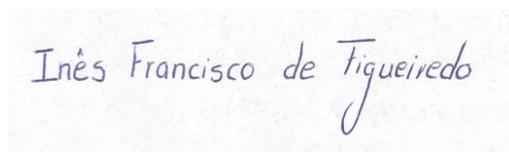
Foi um percurso difícil, com muitos percalços e entraves, mas orgulho-me imensamente de poder dizer “consegui!”.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Inês Francisco de Figueiredo

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature reads "Inês Francisco de Figueiredo" in a cursive script.

Desenvolvimento e Implementação de Sistema Fotovoltaico para Aplicação em Situação Empresarial

Resumo

O aumento exponencial ao longo dos últimos anos das necessidades energéticas mundiais devido ao elevado crescimento populacional associado à preocupação com o declínio da estabilidade ambiental e com a alteração do clima, têm provocado uma demanda por novas formas de produção de energia recorrendo a fontes renováveis.

A energia solar fotovoltaica e a energia eólica destacam-se no leque das renováveis como as mais promissoras e utilizadas e já representam um peso considerável na produção de energia elétrica global.

A presente dissertação tem como objetivo explorar um projeto de um sistema fotovoltaico para autoconsumo e venda de excedente à rede, a ser implementado numa empresa de calçado, abordando as etapas da sua pré-conceção e dimensionamento e posteriormente a sua implementação, passando pela avaliação da sua viabilidade económica e o custo do ciclo de vida do sistema.

Palavras – chave: Energia solar, energia fotovoltaica, *on-grid*, autoconsumo, poupança energética, fonte renovável.

Development and Implementation of Photovoltaic System for Application in Industry

Abstract

The exponential increase over the last few years of the world's energy needs due to high population growth associated with concerns over the decline in environmental stability and climate change have led to a demand for new forms of energy production using renewable sources.

Solar photovoltaic and wind energy stand out in the range of renewables as the most promising and used and already represent a considerable weight in global electricity production.

This dissertation aims to explore a project of a photovoltaic system for self-consumption and sale of surplus to the grid, to be implemented in a footwear company, addressing the stages of its pre-conception and sizing and then its implementation, through the evaluation of its economic viability and the life cycle cost of the system.

Keywords: Solar energy, photovoltaic energy, ongrid, self-consumption, power saving, renewable source.

Índice

Capítulo 1	1
1. Introdução	1
1.1. Estrutura da Dissertação	4
Capítulo 2	5
2. Energias Renováveis.....	5
2.1. Energia Solar.....	8
2.1.1. Conceitos de Heliotecnia.....	11
Capítulo 3	13
3. Geração de Energia Elétrica.....	13
3.1. Efeito Fotoelétrico.....	13
Capítulo 4	15
4. A célula solar fotovoltaica	15
4.1. Efeito Fotovoltaico	15
4.1.1. Semicondutores.....	16
4.1.2. Estrutura da célula fotovoltaica	16
4.2. Processo de conversão de energia solar em eletricidade	17
4.3. Modelo Matemático da Célula FV.....	20
Capítulo 5	22
5. Componentes de um Sistema FV.....	22
5.1. Módulos FV	22
5.1.1.1. Silício Monocristalino (c-Si).....	24
5.1.1.2. Silício Policristalino (mc-Si).....	25
5.1.1.3. Filmes Finos (<i>Thin Films</i>).....	26
5.1.1.4. Silício Amorfo (a-Si).....	26
5.1.2. Associação de Módulos	27

5.1.3.	Efeitos de sombreamento nos módulos FV	30
5.2.	Inversores	31
5.3.	Sistemas de Monitorização	32
5.4.	Cablagens do Sistema Fotovoltaico	32
Capítulo 6	.....	33
6.	Sistemas Autónomos e Sistemas Acoplados à Rede	33
Capítulo 7	.....	35
7.	Legislação Aplicável.....	35
Capítulo 8	.....	36
8.	Caso de Estudo.....	36
8.1.	Radiação Solar Anual.....	37
8.2.	Software de Dimensionamento	38
8.3.	Componentes Utilizados	41
8.3.1.	Painéis Solares Fotovoltaicos	41
8.3.2.	Inversor	42
8.3.3.	<i>Datalogger</i>	44
8.4.	Dimensionamento do Sistema FV	44
8.4.1.	Número de Módulos por Fileira	46
8.4.2.	Resultados da Simulação	47
8.5.	Disposição dos Módulos FV	51
8.6.	Fixação dos Painéis Fotovoltaicos	52
Capítulo 9	.....	54
9.	Análise Financeira	54
9.1.	Custo do Ciclo de Vida do Sistema FV.....	57
Capítulo 10	.....	60
10.	Considerações Finais	60

10.1. Perspectivas Futuras	61
Capítulo 11	62
11. Referências Bibliográficas.....	62
ANEXO A.....	70
FICHAS TÉCNICAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA.....	70
Product Warranty	73
SUN2000-100KTL-M1.....	74
ANEXO B.....	77
RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO PVSYSY.....	77
ANEXO C.....	82
EXCEL TABELAS ANÁLISE FINANCEIRA	82

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Previsão da progressão das energias renováveis para a Europa até 2050 [52]	6
Figura 2.2 - Investimento global em energias renováveis entre 2013 e 2018 em bilhões de US dólares [26].....	6
Figura 3.1 - Representação esquemática do efeito fotoelétrico	14
Figura 4.1 - Estrutura de uma célula fotovoltaica [36].....	17
Figura 4.2 - Princípio de funcionamento de uma célula PV [32]	18
Figura 4.3 - Disposição dos átomos de silício numa célula.....	18
Figura 4.4 - Movimento dos elétrons através do circuito do sistema	19
Figura 4.5 - Circuito elétrico equivalente de uma célula FV	20
Figura 5.1 - Esquema representativo de uma associação de células fotovoltaicas, constituindo um módulo FV [39]	22
Figura 5.2 - Estrutura de um módulo FV [40]	23
Figura 5.3 - Representação esquemática de um módulo de silício monocristalino com ampliação da célula [41]	24
Figura 5.4 - Representação esquemática de um módulo de silício policristalino e ampliação da célula [41].....	25
Figura 5.5 - Sequência de estruturas que constituem um painel fotovoltaico [46].....	27
Figura 5.6 - Representação esquemática de uma ligação de módulos em série.....	27
Figura 5.7 - Representação esquemáticas de uma ligação de módulos em paralelo	28
Figura 5.8 - Representação esquemática de uma ligação mista	29
Figura 5.9 - Esquema de um sistema fotovoltaico [48]	31
Figura 6.1 - Representação esquemática de um sistema fotovoltaico autónomo típico [54]	33
Figura 6.1 - Representação esquemática de um sistema on grid típico	34
Figura 8.1 - Localização da Empresa X (Imagem de satélite obtida através do Google Earth)	36

Figura 8.2 - Radiação Solar incidente no local do projeto (obtida através da ferramenta PVGIS, 2021).....	38
Figura 8.3 - Inclinação e Orientação ideais dos módulos FV para o projeto em estudo (via PVSyst)	39
Figura 8.4 - Energia anual produzida estimada (Obtido através do PVGIS, European Comission, 2021.....	40
Figura 8.5 - Visão geral da área de trabalho do PVSyst 6.8.8	45
Figura 8.6 - Produção normalizada de energia por mês e perdas do sistema	47
Figura 8.7 - Índice de performance do sistema ao longo dos meses do ano	48
Figura 8.8 - Energia produzida pelo sistema ao longo dos meses.....	49
Figura 8.9 - Diagrama de perdas do sistema	50
Figura 8.10 - Energia produzida vs. energia consumida	51
Figura 8.11 - Possível esquema de disposição dos módulos FV no telhado da empresa X. (Imagem fornecida pela empresa DAPE).....	52
Figura 8.12 - Esquema de uma estrutura de fixação de painéis similar às escolhidas para aplicação no presente projeto [69]	53
Figura 8.13 - Parafuso de fixação de estruturas em telhados de telha metálica [70].....	53
Figura 9.1 - Comparação entre o gasto em eletricidade sem sistema FV e com sistema FV.....	56
Figura 9.2 - Fluxo de Caixa do Sistema Fotovoltaico.....	59

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Capacidade instalada mundial de energia solar em MW [25]	9
Tabela 2.2 - Capacidade instalada em MW em países em desenvolvimento [25]	10
Tabela 8.2 - Características do módulo FV escolhido	41
Tabela 8.3 - Características principais do inversor escolhido	43
Tabela 8.4 - Principais resultados da simulação do sistema	49
Tabela 9.1 - Custo de equipamento e instalação	54
Tabela 9.2 - Comparação entre o custo de eletricidade com e sem sistema fotovoltaico ao longo de 20 anos de utilização	55
Tabela 9.3 - Análise do custo do Ciclo de Vida do sistema fotovoltaico	57
Tabela 9.4 - Cálculo dos juros e amortização do empréstimo para o sistema FV	59

Lista de Acrónimos

AC: *Alternating current* (corrente alternada)

BRICS: países de mercado emergente (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul)

CA: Corrente alternada

CC: Corrente contínua

c-Si: Monocristalino

DC: *Direct current* (corrente contínua)

EVA: Copolímero de acetato de vinilo com etileno

EU-28: Europa dos 28

FV: Fotovoltaico

mc-Si: Policristalino

Ongrid: Conectado à rede

Offgrid: Desconectado da rede

PES: Planned Energy Scenario

RESP: Rede elétrica de serviço público

TES: Transforming Energy Scenario

UE: União Europeia

UPAC: Unidade de produção para autoconsumo

UPP: Unidades de pequena produção

Capítulo 1

1. Introdução

A ausência de uma oferta segura de energia a preços acessíveis ameaça o setor energético de todo o mundo, ao mesmo tempo que os sistemas de geração de energia através do uso de combustíveis fósseis e o consumo excessivo provocam danos graves e irreversíveis no ambiente e no clima [1]. O constante aumento do preço da eletricidade expõe a fragilidade em que se encontra o sistema energético mundial, impactando diretamente o desenvolvimento económico, pelo que urge estabilizar a curva da oferta no mercado energético através de preços de energia mais acessíveis [2].

Nos últimos anos a consciencialização ambiental tem pesado mais nas escolhas e decisões das grandes potências mundiais. Uma dessas decisões recai sobre como suprir as necessidades energéticas de forma mais sustentável.

De modo a tentar reduzir o uso de combustíveis fósseis que contribuem diretamente para o efeito de estufa e conseqüentemente para o aquecimento global, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis tem sido cada vez mais frequente.

Em 12 de dezembro de 2015, mais de 127 países da União Europeia, incluindo Portugal, reuniram-se na criação do acordo de Paris, um conjunto de medidas que visam reduzir as emissões em 55% até 2030, e tornar a União Europeia na primeira sociedade e economia com impacto neutro no clima em 2050 [3].

Passados quase 6 anos, o Acordo de Paris não foi capaz de desacelerar o aquecimento global, no entanto, contribui em larga escala para a progressão da passagem de uma matriz energética focada nos combustíveis fósseis para uma com baixas ou zero emissões de carbono, proveniente de fontes de energia renovável.

Graças ao acordo, Portugal foi capaz de alcançar positivamente vários dos seus objetivos, nomeadamente:

- o término do uso de carvão para a produção de energia em duas centrais termoelétricas;
- foram produzidos mais de 2,231 MW de energia através de fontes renováveis, cuja utilização aumentou em cerca de 5,5% nos últimos anos;
- o leilão solar em Portugal bateu o recorde mundial ao leiloar o kWh por 11,14€;
- a intensidade energética desceu 16% e a intensidade carbónica desceu 20% [4].

Este fomentar do uso de renováveis, nomeadamente a geração de energia elétrica através do aproveitamento da energia solar veio criar a necessidade de tirar o melhor proveito desta fonte de energia.

Em 2010 foi também acordado o plano estratégico designado por “Europa 2020”, que estabelecia um conjunto de medidas com o objetivo de fomentar o crescimento económico. No plano da energia, estas medidas determinam especialmente 3 metas, designadas como “20-20-20”, números que representam os seguintes objetivos:

- redução de 20% nas emissões de gases de efeitos de estufa comparativamente aos níveis registados em 1990;
- aumentar o consumo de energia proveniente de fontes renováveis em 20%;
- melhorar a eficiência energética da União Europeia em 20%.

Em suma, podemos definir o principal objetivo deste plano estratégico como a utilização de 20% da energia a partir de fontes renováveis.[5].

Em 2014 o ministério do ambiente criou nova legislação que permite a venda do excedente gerado à rede elétrica pública, o que trouxe novas possibilidades para os consumidores, sejam eles particulares ou empresas, possibilitando um uso da energia gerada pelos painéis em detrimento da energia fornecida pela rede, o que se pode refletir numa redução significativa da fatura da eletricidade.

Esta particularidade tem criado novas possibilidades e interesses por parte dos consumidores em adotarem estes sistemas de geração de energia elétrica e adaptá-los nas suas habitações e/ou empresas.

A presente dissertação tem como objetivo destacar a energia solar dentro do ramo das renováveis para a geração de energia elétrica, e analisá-la em toda a sua aplicabilidade através do dimensionamento de um sistema fotovoltaico para utilização a nível empresarial.

Grande parte das indústrias possuem necessidades energéticas muito elevadas devido a toda a maquinaria que utilizam na produção, o que corresponde a faturas de eletricidade muito dispendiosas.

Esta empresa, doravante denominada por “Empresa X” para salvaguardar a identidade do proprietário, tal como muitas outras, decidiu optar por uma forma de geração de energia elétrica mais sustentável e económica, de forma a reduzir a fatura da eletricidade e aumentar a rentabilidade da produção. Deste modo, esta dissertação irá abordar todos os pontos do dimensionamento do sistema fotovoltaico mais indicado para suprimir as necessidades

energéticas desta empresa, avaliar os custos de investimento do sistema e por fim, analisar toda a poupança que o dono da empresa irá conseguir com a sua mudança energética.

1.1. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta por mais 10 capítulos para além do primeiro. Os capítulos são estruturados da seguinte forma:

O Capítulo 2 aborda o tema das energias renováveis, salientando algumas medidas para a mitigação das alterações climáticas e como as renováveis representam um massivo contributo nessas metas;

O Capítulo 3 aborda o fenómeno do efeito fotoelétrico, e a importância deste na geração de energia elétrica;

O Capítulo 4 aborda a estrutura de uma célula fotovoltaica e o correspondente efeito fotovoltaico, fenómeno de extrema importância no processo de geração e conversão de energia;

O Capítulo 5 recai sobre os componentes necessários para constituir um sistema solar fotovoltaico, abordando principalmente as associações entre os módulos fotovoltaicos;

O Capítulo 6 compara os sistemas autónomos com os sistemas acoplados à rede (que é o caso do presente projeto), referindo as suas diferenças e aplicabilidades;

O Capítulo 7 aborda a legislação portuguesa relacionada com a exploração fotovoltaica, assim como as condições obrigatórias para se possuir um empreendimento fotovoltaico em Portugal;

O Capítulo 8 refere-se ao caso de estudo do projeto que levou a cabo a presente dissertação, abordando todo o processo de dimensionamento, assim como os detalhes dos componentes escolhidos;

O Capítulo 9 aborda toda a análise financeira do empreendimento, nomeadamente os custos iniciais de instalação e os gastos e benefícios ao longo do tempo de vida útil do sistema;

O Capítulo 10 aborda o tema de perspetivas futuras possíveis para a exploração fotovoltaica e como esta pode melhorar e contribuir para uma descarbonização total da indústria;

O Capítulo 11 refere-se à bibliografia utilizada para a realização da presente dissertação.

Capítulo 2

2. Energias Renováveis

Os efeitos das alterações climáticas são cada vez mais evidentes no planeta Terra, e cada vez levantam mais preocupações no seio dos governos de todo o mundo. De forma a mitigar estes efeitos, têm sido estipuladas metas para redução das emissões de gases que tanto contribuem para estes efeitos. Uma dessas metas, como já foi referido anteriormente, é a que consta do acordo de Paris, que estabelece uma redução para “net zero” de emissões nos sistemas de energia até ao ano de 2050 [6].

Também a União Europeia definiu uma meta até ao ano de 2030, em que os principais objetivos passam pela redução, comparativamente aos valores atuais, de 55% das emissões dos gases de efeito de estufa, um aumento de 27% no uso de energias provenientes de fontes renováveis, e também uma melhoria de 27% na eficiência energética [7].

A Agência Internacional para a Energia Renovável (IRENA), fez um estudo em que compara a progressão da utilização de energias renováveis em dois cenários distintos: o “*Planned Energy Scenario*” (PES) em que a progressão segue um rumo normal, influenciado pelos planos e políticas energéticas governamentais atuais, e o “*Transforming Energy Scenario*” (TES), que representa um cenário bastante ambicioso, contudo realista, em que a progressão segue um rumo baseado na utilização em grande escala de energia renovável e na aplicação severa das medidas de mitigação do acordo de Paris [8].

O gráfico da Figura 2.1 representa os dois cenários descritos em cima para a Europa, numa meta até 2050.

A diferença da percentagem de utilização de energia renovável entre os anos de 2040 e 2050 nos dois cenários é bastante acentuada, sendo que no PES a utilização de energia renovável atinge um valor de 33% e no TES atinge um valor de 71%.

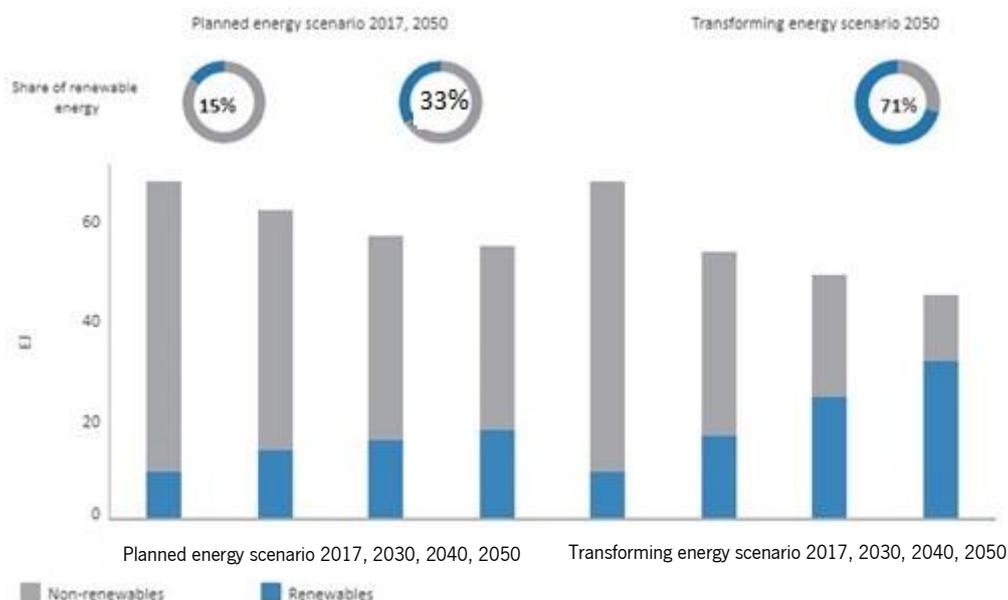


Figura 2.1 – Cenário energético atual mediante políticas energéticas atuais (à esquerda) e cenário progressista baseado na utilização em grande escala de energias renováveis (à direita) [9]

Entre 2013 e 2018, a energia solar fotovoltaica e a energia eólica *onshore* consolidaram o seu domínio no investimento mundial em energias renováveis, respetivamente 46% e 29%. Outras tecnologias (hídrica, biomassa, biocombustíveis, geotérmica e energia das marés) contribuíram no seu conjunto apenas para 7% do investimento total em energias renováveis no mesmo período (Figura 2.2) [10].

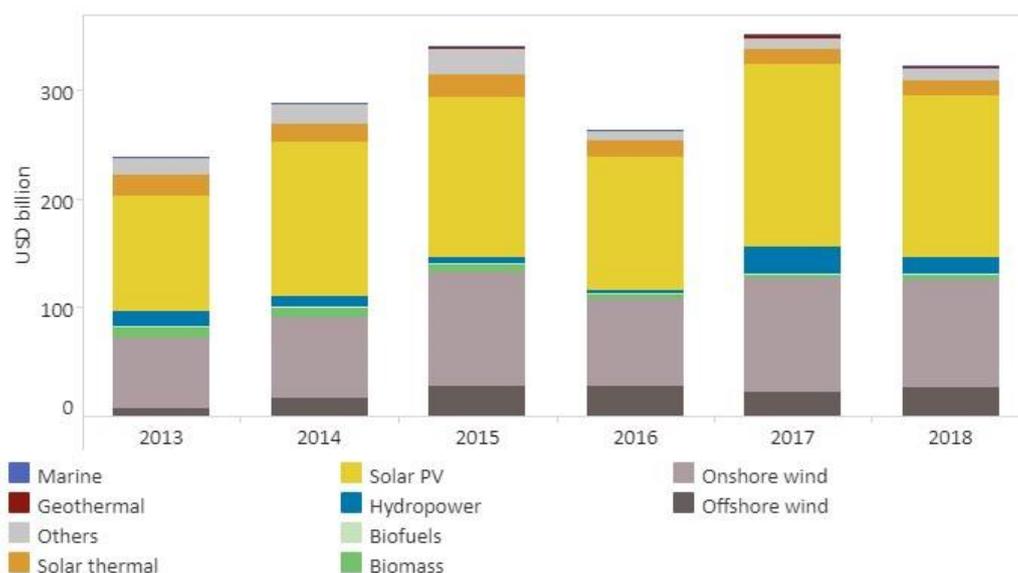


Figura 2.2 - Investimento global em energias renováveis entre 2013 e 2018 em biliões de US dólares [10]

Alguns estudos referem que as energias renováveis são consideradas limpas e amigas do ambiente envolvente, devido à não libertação de componentes tóxicos aquando da sua geração [11]. No entanto, as infraestruturas utilizadas para a sua geração podem representar um problema no que toca à reciclagem ou descarte dos materiais que compõem essas mesmas infraestruturas [12]. No caso específico da energia solar, as principais preocupações centram-se na organização ocupacional do espaço onde as infraestruturas serão implementadas e conseqüentemente, a ocupação de espaço por painéis solares de larga escala que seria utilizado para agricultura e afins [13,14,15]. Outra questão é a influência na fauna presente no local de instalação, onde foram registados em alguns casos específicos, um aumento da mortalidade de aves, morcegos e outras espécies [16,17,18], por estes confundirem as superfícies dos painéis fotovoltaicos com a superfície de lagos e aterrarem neles fatalmente [19].

Também a exploração de energia eólica apresenta um risco mortal para algumas espécies voadoras, nomeadamente os morcegos, uma vez que o movimento das pás interfere no percurso de voo destes mamíferos e causa uma diminuição da pressão atmosférica que provoca o rebentamento dos vasos sanguíneos dos seus pulmões [20].

Devido a estas questões de perigo ambiental, é necessário que seja feita uma análise prévia do local onde se pretende implementar os sistemas (quer sejam de energia solar ou de outro tipo de energia), para que seja possível minimizar ou até anular os efeitos nefastos no ecossistema envolvente.

Por outro lado, outros benefícios, para além da produção de energia limpa com zero emissões de gases de efeito de estufa, podem ser resultantes desta exploração energética. O processo construtivo de instalações solares envolve a compactação do solo, o que resulta diretamente no aumento das taxas de escoamento superficial e na diminuição da erosividade do solo. Na maioria dos casos em que os painéis são aplicados em campos, são também instalados sistemas de drenagem, optando por materiais não permeáveis, para fortalecer o correto escoamento. Como a camada superficial do solo é removida durante a instalação, devem ser também aplicadas técnicas de semeio e irrigação constante para estimular o crescimento vegetal por entre os painéis [21].

As instalações fotovoltaicas localizadas em terrenos abertos proporcionam também zonas de sombra, que podem ser benéficas para a flora e fauna.

A substituição das fontes de energia de origem fóssil por estas fontes de energia renovável é essencial e apresenta inúmeras vantagens, apesar de, no presente, ainda não ser possível suprir todas as necessidades energéticas mundiais utilizando apenas energia de origem renovável.

Porém, se a substituição de energia de fontes fósseis por fontes renováveis for gradual, a descarbonização fica mais perto de ser alcançada.

No entanto, alguns países não possuem a capacidade de substituir os combustíveis fósseis por fontes renováveis em larga escala, nomeadamente, os países em desenvolvimento, onde os governos e a grande parte das empresas não possuem condições financeiras para a implementação destes sistemas e alguns países desenvolvidos que não possuem as condições necessárias à exploração de fontes de energia renovável, como condições de insolação e vento.

2.1. Energia Solar

De entre os vários tipos de energias renováveis, destaca-se a energia solar como sendo uma das mais atrativas para utilização mundial e, dentro desta, a energia solar fotovoltaica como a mais implementada [22]. Este ramo da energia solar possui diversas aplicações, tanto a nível de pequenos empreendimentos, como habitações particulares, piscinas e pequenas empresas, como a nível industrial, sem esquecer as estações de produção de energia que abastecem a rede energética [23,24].

A energia solar é a energia obtida através do sol, e dessa forma é referenciada como fonte inesgotável, que chega à terra sob forma de ondas eletromagnéticas (fotões). Pode ser obtida de forma direta, quando é proveniente diretamente de raios solares, ou difusa, quando a radiação é recebida indiretamente, em resultado da difração nas nuvens, nevoeiro, poeiras em suspensão e outros obstáculos presentes na atmosfera [25].

A energia elétrica é produzida através de células fotovoltaicas ou através do aquecimento de um fluido. As células fotovoltaicas são predominantemente constituídas por silício, boro e fósforo, e ao receberem a radiação solar, há produção de energia elétrica. Esta energia pode ser armazenada ou injetada diretamente na rede [26].

Os sistemas fotovoltaicos dependem das propriedades químicas e físicas e das características dos seus materiais constituintes. Também a temperatura, a radiação solar do local, a durabilidade e preço dos materiais e o custo de instalação são outros fatores que influenciam a decisão de escolha destes sistemas.

Grande parte da utilização deste tipo de energia está associado com a possibilidade de redução de emissões de carbono, o que teve um grande impacto global a nível ambiental, social e

económico nos últimos anos [27]. Na Califórnia, EUA, foi evitada a emissão de 696 544 toneladas de CO₂ através da instalação de 113 533 sistemas solares em habitações particulares [28].

No panorama mundial, a energia solar tem vindo a ganhar cada vez mais notoriedade entre as diversas energias renováveis, tanto pela sua eficiência, como pela sua baixa nocividade para o ambiente [29]. Outro fator que contribui para o seu aumento na matriz energética mundial é a estabilização de preços de infraestruturas para exploração de energia solar, que nos últimos anos têm vindo a tornar-se mais acessíveis para a grande parte da população, o que amplifica a competitividade neste setor [29].

A energia solar já representa 486 GW da geração elétrica a nível global, e espera-se que atinja os 8 TW até ao ano de 2050, crescendo quase 9% a cada ano [30]. O continente asiático representa mais de 50% deste mercado, como representado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Capacidade instalada mundial de energia solar em MW [31]

Regiões	2004	2008	2012	2016	2018	Participação mundial (%)
Mundo	3 440	15 248	104 144	295 828	486 085	100%
Ásia	1 236	2 849	15 996	136 382	274 894	56,6%
Europa	1 337	10 522	73 868	107 102	126 854	26,1%
América do Norte	781	1 670	9 439	37 766	57 158	11,8%
Oceânia	49	93	3 829	6 857	10 604	2,2%
África	22	65	412	3 393	6 097	1,3%
América do Sul	6	12	157	1 545	5 471	1,1%
Oriente Médio	0	10	275	1 636	3 281	0,7%

No que toca especificamente aos países em desenvolvimento, da análise da tabela 2.2, denota-se um elevado crescimento na capacidade instalada desde 2012 até 2018, principalmente na China e na Índia.

Tabela 2.2 - Capacidade instalada em MW em países em desenvolvimento [31]

Países	2004	2008	2012	2016	2018
China	77	259	6 948	79 047	177 647
Índia	8	28	982	9 879	27 115
África do Sul	0	0	11	2 174	2 959
México	16	19	60	389	2 555
Brasil	0	0	2	80	2 296
Rússia	0	0	0	77	584

Em termos de investimento mundial, observa-se pelo gráfico da Figura 2.2 que a energia solar, principalmente a energia solar fotovoltaica, ressalta como a energia com mais investimento global no ramo das renováveis. O gráfico da Figura 2.3 mostra em detalhe quais os valores em que ronda o investimento mundial em energia solar fotovoltaica e em energia solar térmica.

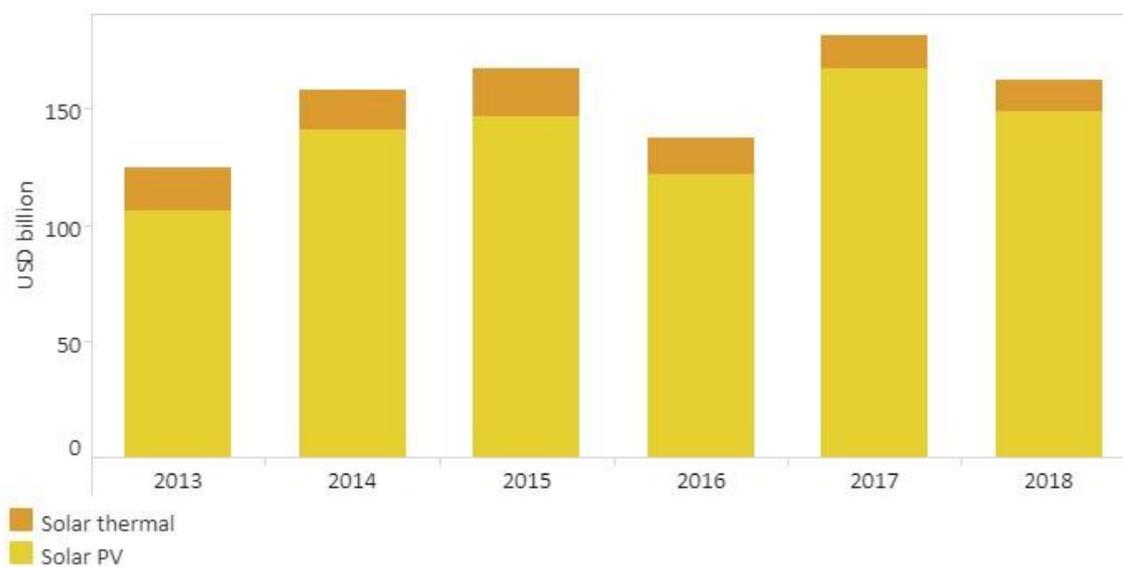


Figura 2.3 - Investimento global em energia solar entre 2013 e 2018 em bilhões de US dólares [28]

2.1.1. Conceitos de Heliotecnia

A Heliotecnia define-se pelo estudo da energia proveniente do sol, e qual a melhor forma de a aproveitar para a produção de energia elétrica. Um dos conceitos mais importantes na heliotecnia é a radiação solar.

A radiação solar é um dos pilares que permitem a existência de vida no planeta Terra. O Sol é a única estrela do sistema solar e há milhares de milhões de anos que irradia luz e calor para os planetas que à volta dele orbitam. Esta energia luminosa e calorífica é gerada por reações de fusão nuclear que ocorrem no interior da estrela.

O Sol (Figura 2.4) possui um diâmetro médio de $\sim 1,4 \times 10^6$ km (cerca de 109 diâmetros da Terra), possui uma massa de $\sim 1,99 \times 10^{30}$ kg (333000 vezes a massa da Terra) e a sua distância à Terra é de cerca de $\sim 150 \times 10^6$ km.

O seu núcleo produz 90% da energia e tem $\sim 174 \times 10^3$ km de raio. A energia produzida por segundo é de $\sim 4 \times 10^{26}$ J/s, e a distribuição da energia radiante do sol divide-se por 7% de luz ultravioleta, 43% de luz visível, 49% de luz infravermelha e <1% de raios X, raios gama e ondas de rádio [32].

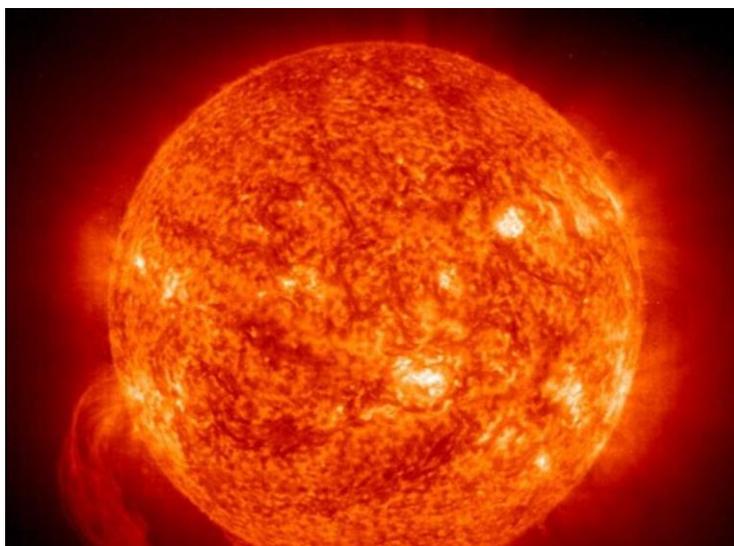


Figura 2.4 - Fotografia do sol obtida pelo satélite SDO controlado pela NASA, 2018 [33]

Mediante o movimento de rotação e translação da Terra, a posição do sol em relação ao nosso planeta varia ao longo do ano. É devido a este fenómeno que, considerando o Hemisfério Norte, observamos os dias mais longos e noites mais curtas nos meses de verão, e o contrário nos meses de inverno.

Pode-se então considerar quatro posições solares ao longo do ano para o Hemisfério Norte:

- o solstício de verão, que se dá a 21 de junho, onde o ângulo de declinação atinge o valor máximo de $\delta \sim + 23,5^\circ$, em que o hemisfério Norte da Terra está inclinado para o sol. A declinação solar representa a posição angular do Sol ao meio-dia solar em relação ao plano do equador;
- o solstício de inverno, onde ocorre o contrário. Nesta posição que ocorre a 21 de dezembro, é o hemisfério Sul da Terra que está inclinado para o sol, e o ângulo de declinação atinge o valor mínimo de $\delta \sim - 23,5^\circ$;
- o Equinócio da primavera, que se dá a 22 de março, em que o ângulo de declinação é nulo, pelo que nesta data, observamos o dia com a mesma duração que a noite;
- o Equinócio de outono, que se dá a 21 de setembro. Em ambas as posições anteriores, o plano que contém o equador da Terra intercepta o plano que contém a eclíptica, definindo-se assim uma linha que atravessa simultaneamente o centro do sol e da Terra [34].

A quantidade de radiação que incide numa superfície depende diretamente da posição dessa superfície em relação ao plano geométrico da Terra, ou seja, a posição do Sol relativa à Terra, determina a quantidade de radiação incidente numa determinada superfície [35]. O cálculo da radiação solar incidente pode ser efetuado considerando os principais ângulos característicos, nomeadamente:

- a latitude (φ), posição angular norte ou sul em relação ao equador;
- a declinação (δ), posição angular do sol ao meio-dia em relação ao plano do equador (entre $- 23,5^\circ$ e $+ 23,5^\circ$);
- a inclinação (β), ângulo formado entre o plano horizontal e o plano de uma superfície (entre $- 180^\circ$ e 180°);
- o ângulo azimutal da superfície (α), afastamento angular da projeção da normal à superfície no plano horizontal, em relação ao meridiano local;
- o ângulo de elevação solar (γ), ângulo formado pelos raios solares em relação ao plano horizontal;
- o ângulo zenital (θ), ângulo formado pela radiação solar direta em relação ao plano horizontal;
- o azimute solar (α_s), ângulo formado pela projeção da radiação direta sobre o plano horizontal em relação à direção sul. Este ângulo atinge valores negativos a leste da direção Sul e positivos a oeste [32].

Capítulo 3

3. Geração de Energia Elétrica

Como foi referido anteriormente, os sistemas solares geram energia elétrica através da incidência de radiação solar nos painéis. Mas de que forma é gerada a energia elétrica?

Primeiramente, é necessário entender a diferença entre efeito fotovoltaico e efeito fotoelétrico, que são muitas vezes confundidos. Este último, embora não fazendo parte do processo de geração de energia elétrica, está relacionado com a utilização da energia solar, pelo que é importante abordá-lo.

3.1. Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez em 1887 pelo físico alemão Heinrich Hertz. Define-se este efeito como sendo a emissão de um grande número de eletrões de um determinado material, geralmente metálico, quando exposto à radiação luminosa [36].

Os fotoeletrões só são emitidos se o fóton incidente atingir a energia de ligação do eletrão.

Albert Einstein explicou este fenómeno, propondo que a luz não se propaga como uma única onda pelo espaço, mas sim como partículas de energia eletromagnética, os fótons, e que cada uma dessas partículas possui energia (E_{ph}) que depende da frequência da radiação ν :

$$E_{ph} = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda \quad (1)$$

Onde h representa a constante de Planck ($h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ Js}$), c representa a velocidade da luz no vácuo ($c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$) e λ representa o comprimento de onda da luz incidente [38].

Os fótons provenientes da radiação luminosa incidente interagem com os elétrons que se encontram ligados aos átomos dos materiais onde a radiação incide. Nesta interação, os átomos ejetam fotoelétrons energéticos, sendo a sua energia cinética (E_e) igual à energia do fóton incidente ($h\nu$) menos a energia de ligação do fotoelétrão na sua camada original (E_b) (Equação 2).

$$E_e = h\nu - E_b \quad (2)$$

Pode-se então explicar o efeito fotoelétrico como a absorção de um fóton de luz por um elétron de um determinado material, que usa parte dessa energia na sua libertação, e o restante resulta em energia cinética de ejeção desse elétron do material [39] (Figura 3.1).

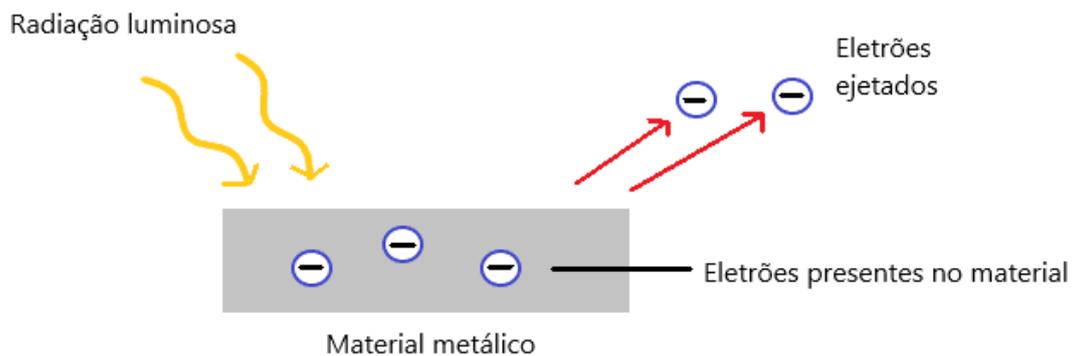


Figura 3.1 - Representação esquemática do efeito fotoelétrico

Pode então afirmar-se que no caso do efeito fotoelétrico, os elétrons são ejetados numa direção incerta, ao contrário do que ocorre no efeito fotovoltaico, que será abordado no capítulo seguinte. O efeito fotoelétrico pode ser aplicado em fotodetetores, podendo estes ter uma infinidade de aplicações possíveis, desde aparelhos médicos, sistemas de vigilância, sistemas de comunicação de fibra ótica, etc.

Capítulo 4

4. A célula solar fotovoltaica

A célula solar, componente chave de um sistema fotovoltaico, converte diretamente a radiação eletromagnética em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

A célula é o menor elemento de um sistema fotovoltaico, e normalmente produz potências elétricas de cerca de 1,5 W [40].

4.1. Efeito Fotovoltaico

Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico em 1839 quando estudava os efeitos elétricos que ocorriam em elétrodos mergulhados em eletrólitos [41].

De uma forma simplificada, o efeito fotovoltaico dá-se quando um semicondutor exposto à radiação origina uma tensão elétrica.

Um dado material possui duas bandas de energias denominadas banda de valência e banda de condução e uma banda proibida ou “gap”, denominada por hiato de energia. Ao contrário dos materiais metálicos, os semicondutores possuem a banda de valência totalmente preenchida e a banda de condução vazia, com um gap da ordem de grandeza de 1eV.

Nos metais não existe gap entre a banda de valência e a banda de condução. Os elétrons movimentam-se livremente e a resistividade aumenta com o aumento da temperatura. Já nos semicondutores, a resistividade diminui com o aumento da temperatura e baixas temperaturas a banda de valência encontra-se totalmente preenchida, enquanto a banda de condução encontra-se vazia.

A tensão elétrica referida anteriormente acontece quando um elétron da banda de valência recebe energia suficiente de um fóton para conseguir passar para a banda de condução. Para que isto aconteça, a energia recebida do fóton tem que ser igual ou maior que a energia do gap. A energia do gap traduz-se pela diferença entre a energia mínima da banda de condução e a energia máxima da banda de valência [42].

Caso o fóton incidente possua energia superior à do gap, o excedente transforma-se em calor (termalização).

4.1.1.Semicondutores

Os semicondutores são materiais de condutividade elétrica intermédia, posicionando-se entre os materiais metálicos (condutores) e os isolantes (não condutores). A condutividade dos semicondutores está dependente da temperatura a que o material é submetido e são bastante sensíveis às impurezas que possam estar presentes na estrutura. Os materiais semicondutores podem ser classificados em dois tipos:

- Semicondutores intrínsecos, que são semicondutores no estado puro. Este tipo de materiais torna-se isolantes a -273°C , mas à temperatura ambiente funcionam como condutores, pois o calor fornece-lhes a energia que necessitam para que os elétrons de valência sejam promovidos para a banda de condução aumentando a sua mobilidade e permitam assim a existência de elétrons livres;
- Semicondutores extrínsecos, que são materiais aos quais são adicionadas propositalmente impurezas (dopagem), cujo tipo e concentração irá afetar diretamente as propriedades elétricas [43].

Existem diferentes tipos de semicondutores pelos quais as células solares podem ser constituídas, sendo os mais comuns, o silício (Si), o arseneto de gálio (GaAs), o disseleneto de cobre e índio (CuInSe_2) e o telureto de cádmio (CdTe) [44]. No entanto, o silício é o material mais utilizado no fabrico das células, pois é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre.

Os tipos mais comuns de silício utilizados são o silício monocristalino, policristalino e amorfo ou de filme fino, em que o filme é depositado através de processos de deposição de vapor.

4.1.2.Estrutura da célula fotovoltaica

A condutividade nos semicondutores pode ser aumentada através de um processo denominado de dopagem, que consiste na introdução de elementos na estrutura de silício.

As células típicas de silício mono ou policristalino são formadas por uma junção semicondutores p-n, onde a região p é a região dopada com impurezas aceitadoras e a região n é a região dopada com impurezas doadoras. Entre estas duas regiões, existe uma terceira área, que dá origem a um campo elétrico que promove o funcionamento da junção p-n. Essa área denomina-se por região de carga espacial.

A estrutura típica de uma célula fotovoltaica pode ser observada na Figura 4.1.

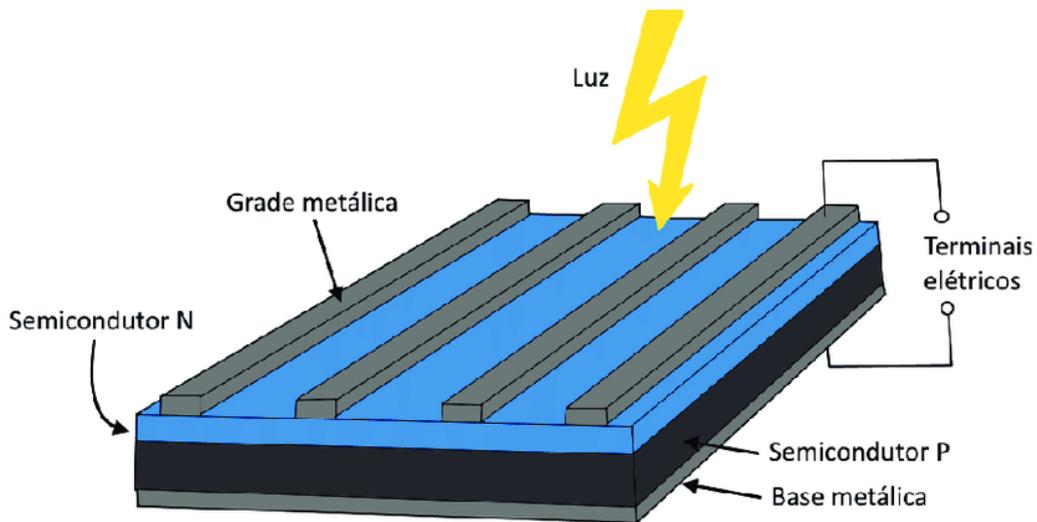


Figura 4.1 - Estrutura de uma célula fotovoltaica [45]

4.2. Processo de conversão de energia solar em eletricidade

Como referido anteriormente, a célula fotovoltaica converte radiação eletromagnética proveniente da incidência de luz solar em energia elétrica. Este processo pode ser explicado através do princípio de funcionamento da junção p-n (Figura 4.2).

A junção p-n é constituída por duas regiões, p e n, regiões aceitadora e doadora de eletrões, respetivamente. A região p, região aceitadora, é tipicamente dopada com boro (B) e a região n, região doadora, é tipicamente dopada com fósforo (P).

O fósforo possui um estado de oxidação 5+ (P^{5+}) e como tal possui um eletrão a mais que o Si ($P^{5+} \rightarrow 4e^- + e^-$ dadores). O boro possui um estado de oxidação 3+ (B^{3+}) e como tal possui um eletrão a menos que o Si ($B^{3+} \rightarrow 4e^- - e^-$ aceptadores).

Obtém-se assim duas camadas: a camada P tratada com fósforo com carga negativa, e a camada B tratada com boro com carga positiva.

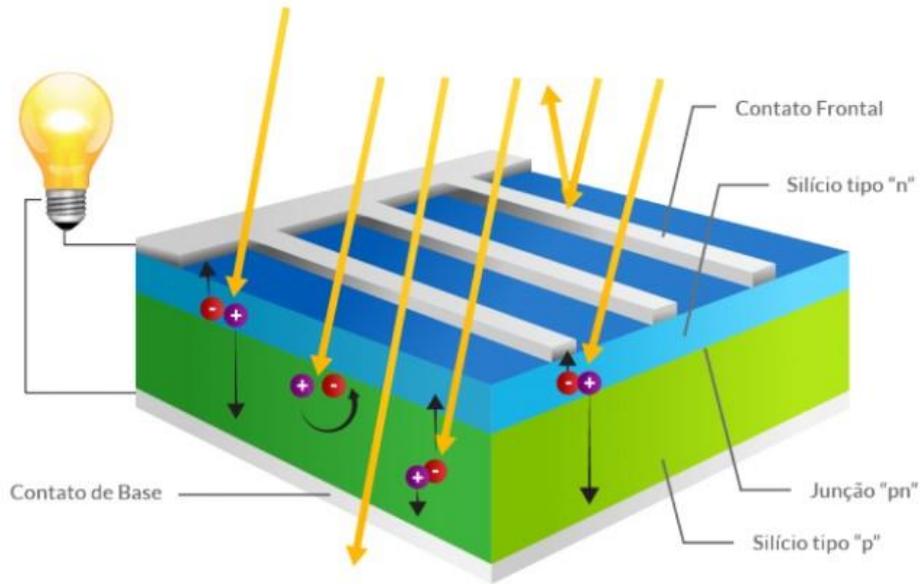


Figura 4.2 - Princípio de funcionamento de uma célula PV [42]

O material possui átomos que realizam 4 ligações com os átomos vizinhos (Figura 4.3).

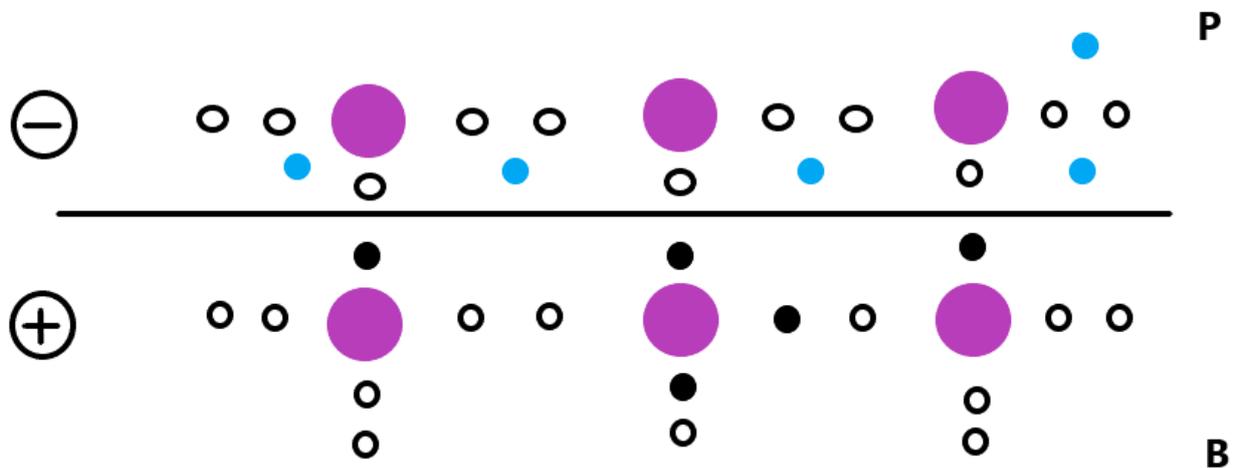


Figura 4.3 - Disposição dos átomos de silício numa célula

A camada representada com a letra P é tratada com fósforo (P), e deixada com elétrons extra (bolas azuis). A camada representada com a letra B é tratada com boro (B), que passa então a ter uma carência de elétrons, ficando assim com lacunas (bolas pretas).

Estas duas partes formam a junção p-n. Quando este sistema absorve radiação solar, a energia é suficiente para excitar um elétron e fazer com que este deixe o seu lugar na banda de valência e se mova livremente pelo sistema, deixando uma lacuna na sua ausência.

Devido ao campo eléctrico existente na zona de depleção (com o sentido de n para p), os elétrons deslocam-se apenas em direção ao lado negativo (n), ficando lacunas no lado positivo (p).

Os elétrons seguem caminho pelo circuito, e eventualmente retornam ao silício do tipo p preenchendo as lacunas, fechando assim o ciclo de movimento. Esta corrente de elétrons é denominada de corrente eléctrica (Figura 4.4).

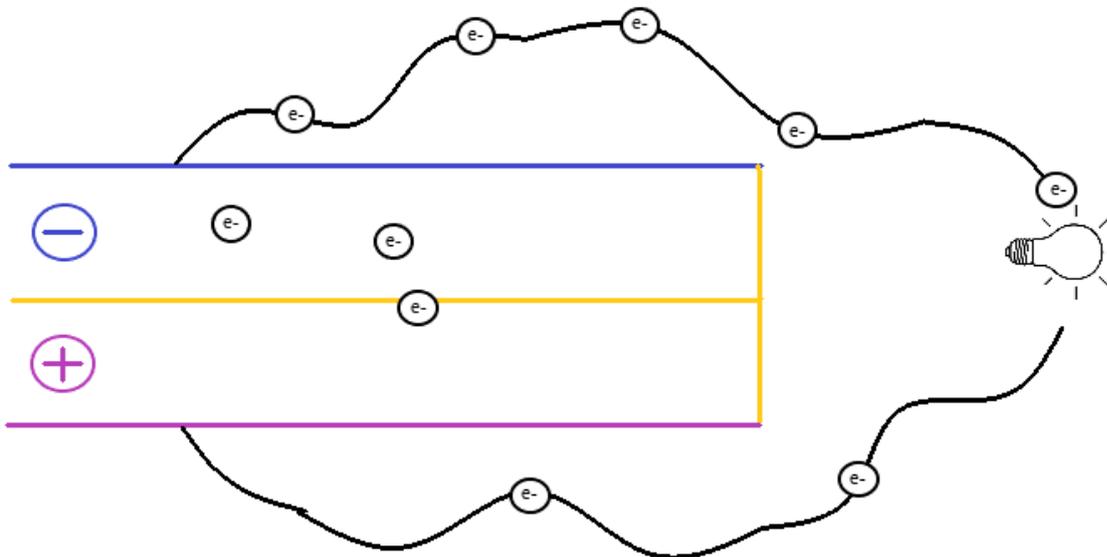


Figura 4.4 - Movimento dos elétrons através do circuito do sistema

Num sistema composto por semicondutores, a resistência óhmica é intermédia, o que leva a que haja algumas perdas de energia.

4.3. Modelo Matemático da Célula FV

A célula fotovoltaica pode ser interpretada como sendo um díodo, cuja junção p-n ao ser exposta a radiação solar, gera uma corrente que é dada pela soma algébrica da corrente fotogerada (I_L) quando a junção está iluminada e a corrente da célula quando a junção está na ausência de luz (I_D):

$$I = I_L - I_D(V) \quad (3)$$

onde I é a corrente da célula fotovoltaica, I_L é a corrente fotogerada e $I_D(V)$ é a corrente da célula quando esta se encontra na ausência de luz [46,47].

O funcionamento da célula pode ser exposto como um circuito equivalente constituído por um gerador de corrente elétrica estimulada por radiação luminosa, em paralelo com um díodo e uma carga (Figura 4.5).

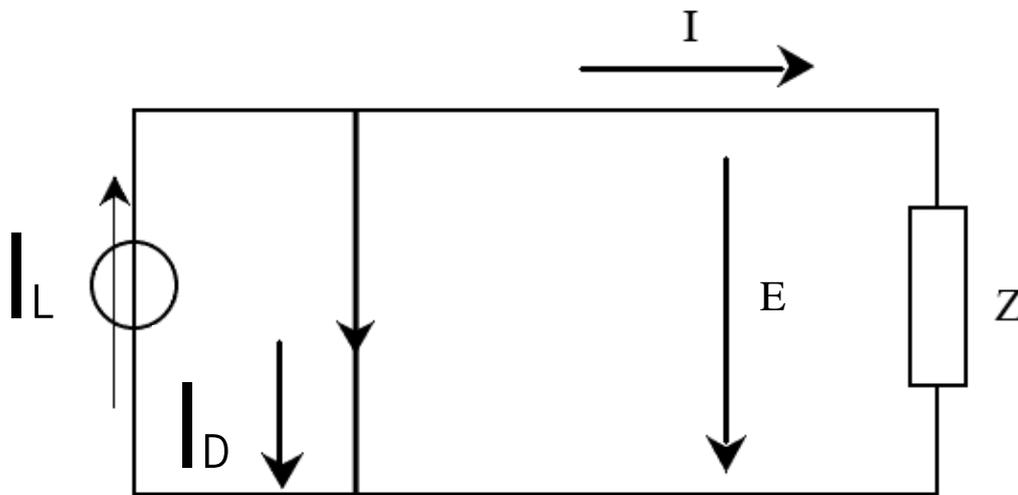


Figura 4.5 - Circuito elétrico equivalente de uma célula FV

A corrente I_L é a corrente gerada pela fonte luminosa, e é uma corrente constante para uma dada radiação incidente. É contrária à corrente I_D que é a corrente do diodo quando este se encontra na ausência de luz. A corrente I_D pode ser obtida através da equação 4:

$$I_D = I_0 \left(\frac{E}{e^{mE_T}} - 1 \right) \quad (4)$$

onde I_0 é a corrente unidirecional do diodo na ausência de luz, I_0 é a corrente máxima de saturação do diodo, E é a tensão nos terminais da célula e m é o fator de idealidade do diodo.

E_T é o potencial térmico, determinado através de:

$$E_T = \frac{KT}{q} \quad (5)$$

onde K é a constante de Boltzman ($K = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K), T é a temperatura absoluta da célula em kelvin e q é a carga do elétron ($q = 1,602 \times 10^{-19}$ C) [44].

Através da Lei de Kirchhoff, ou lei dos nós, obtém-se a expressão para a corrente I :

$$I = I_L - I_D \quad (6)$$

Combinando as equações 4 e 6, obtém-se a equação 7:

$$I = I_L - I_0 \left(\frac{E}{e^{mE_T}} - 1 \right) \quad (7)$$

Capítulo 5

5. Componentes de um Sistema FV

O sistema fotovoltaico analisado na presente dissertação, é um sistema acoplado à rede sem armazenamento, pelo que os componentes referidos no presente capítulo são os seguintes: módulos FV, inversor, *smartlogger*, sistemas de suporte e instalação e cablagens.

5.1. Módulos FV

Os módulos fotovoltaicos são a agregação ordenada de diversas células fotovoltaicas em série, de modo que seja possível obter tensão e corrente suficiente para energizar o equipamento em questão [48]. A potência máxima conseguida através de uma única célula fotovoltaica não excede, geralmente, os 3W, o que se torna inviável para a grande parte das aplicações reais [49].

Os módulos podem ser posteriormente interligados entre si com o propósito de se obter uma única saída de corrente elétrica contínua [48].

O esquema de um módulo fotovoltaico pode ser observado na Figura 5.1.

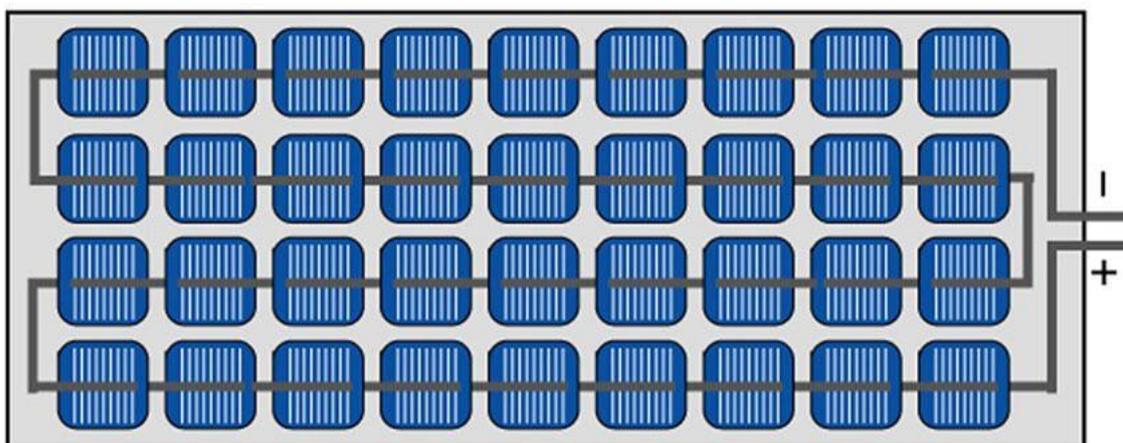


Figura 5.1 - Esquema representativo de uma associação de células fotovoltaicas, constituindo um módulo FV [50]

As células são ligadas em série, onde cada célula é soldada através dos seus contactos frontais à célula que lhe segue, de modo que o pólo negativo posicionado na parte frontal da célula esteja ligado ao pólo positivo posicionado na parte posterior da célula seguinte [49].

De maneira a manter a eficiência dos módulos e a preservar a sua estrutura, bem como a proteger os seus componentes das agressões exteriores, como a precipitação e o desgaste causado pela exposição, é necessário incluir alguns materiais na sua composição.

O esquema da Figura 5.2 representa todos os componentes incluídos numa estrutura de um módulo FV, nomeadamente:

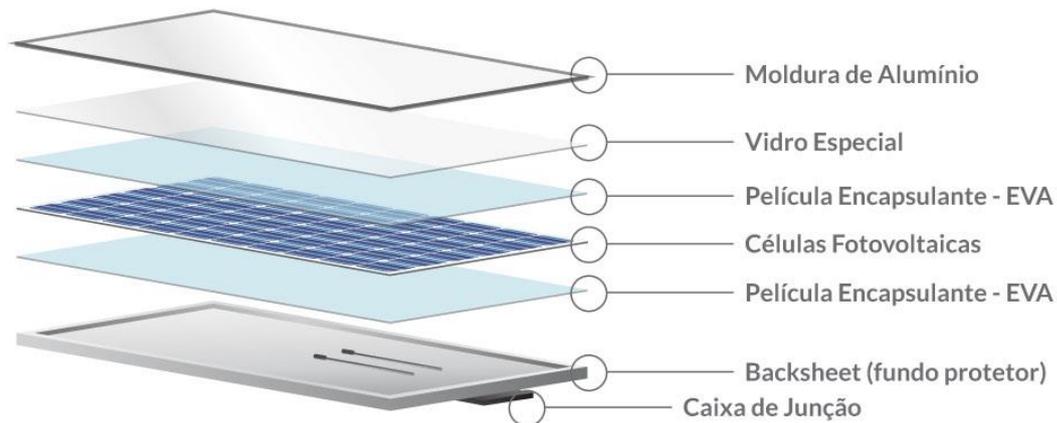


Figura 5.2 - Estrutura de um módulo FV [51]

- A moldura de alumínio, geralmente alumínio anodizado, que confere estabilidade mecânica à estrutura;
- Uma camada de vidro temperado, que protege as células de fatores ambientais, como a precipitação sólida, ou o manuseamento, sem que haja impedimento de entrada de luz solar;
- Uma película de copolímero de etileno e acetato de vinilo (EVA) que garante o isolamento elétrico entre as células. Esta película é translúcida e não reflete a radiação solar;
- As células fotovoltaicas, responsáveis pela conversão de energia eletromagnética em energia elétrica;
- Novamente uma película EVA;
- Um fundo protetor, que protege a parte posterior do módulo e evita a entrada de água.

Existem diversos tipos de módulos, sendo os mais utilizados o silício monocristalino, silício policristalino, filmes finos de silício (*thin films*) e silício amorfo.

5.1.1.1. Silício Monocristalino (c-Si)

Os módulos de silício monocristalino (c-Si) possuem uniformidade decorrente de um único cristal de silício, o que lhes confere um efeito fotovoltaico próximo do ideal, resultando numa eficiência entre 12% e 15%. Num módulo, as células apresentam-se como quadrados com os cantos cortados (Figura 5.3). Para produzir estas células, o silício é solidificado em formato de barras circulares e posteriormente cortado em *wafers*.

Estes são os módulos de Si com maior eficiência, mas são também os mais caros que se encontram no mercado. No entanto, a degradação destes módulos é mais lenta.

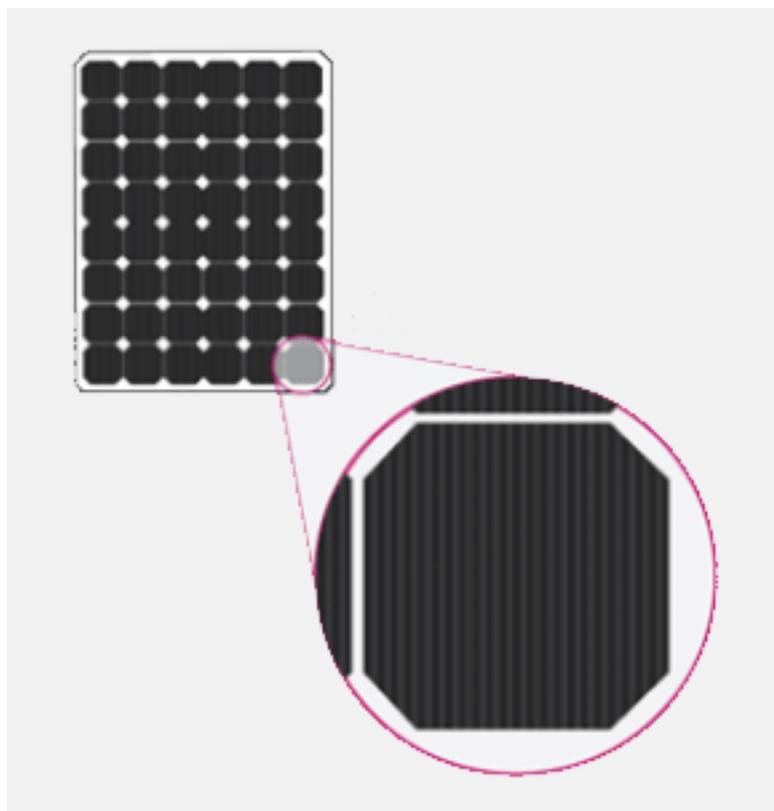


Figura 5.3 - Representação esquemática de um módulo de silício monocristalino com ampliação da célula [52]

5.1.1.2. Silício Policristalino (mc-Si)

Os módulos de silício policristalino, ou mc-Si (multicristalino) são, tal como o nome indica, constituídos por diversos cristais de silício (Figura 5.4). No seu fabrico, vários fragmentos de cristais de silício são derretidos e solidificados juntos até formarem um bloco. São posteriormente cortados em *wafers*.

Este tipo de módulos apresentam um custo de produção bastante mais baixo comparativamente ao custo dos módulos de silício monocristalino.

No entanto, a existência de diversos cristais de silício reduz bastante a eficiência dos módulos.

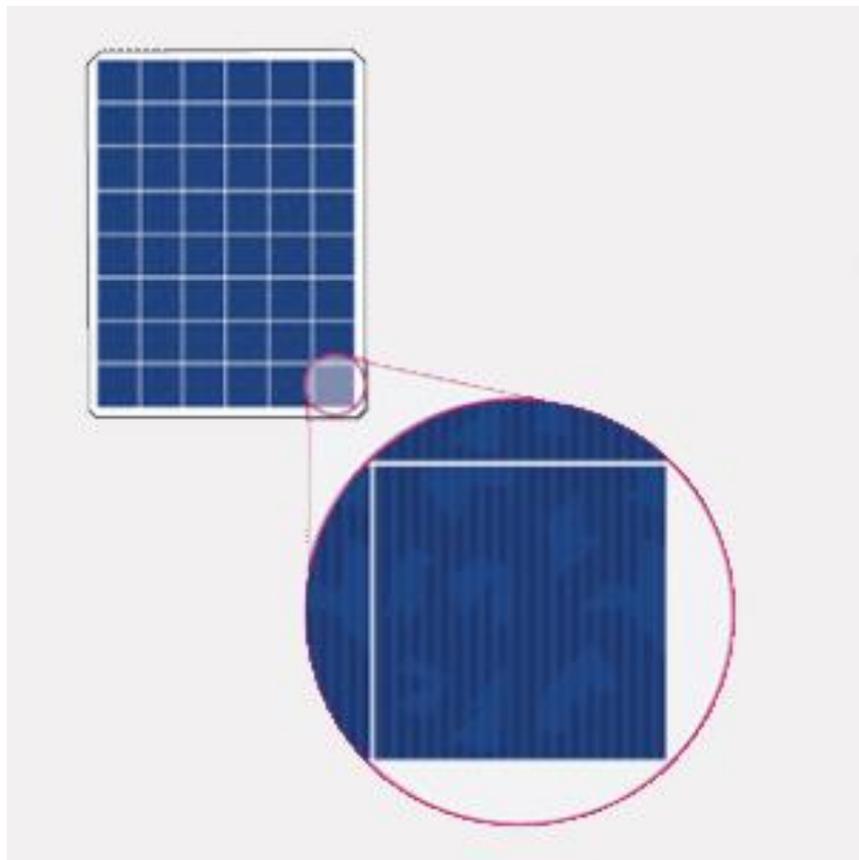


Figura 5.4 - Representação esquemática de um módulo de silício policristalino e ampliação da célula [52]

5.1.1.3. Filmes Finos de Silício (*Thin Films*)

Os filmes finos representam uma nova tecnologia de células fotovoltaicas muito mais barata do que as células de silício cristalino. Estes filmes de silício possuem uma espessura de 1 μm e são depositados na estrutura das células em substratos durante o fabrico.

Apesar de a sua eficiência ser muito mais baixa do que as células de silício cristalino, os filmes finos de silício apresentam uma grande flexibilidade, o que facilita o seu manuseio e a sua instalação. Devido a este fator e ao baixo preço de aquisição, esta nova versão tornou-se bastante competitiva nos mercados do setor da energia fotovoltaica [53].

5.1.1.4. Silício Amorfo (a-Si)

O silício amorfo surgiu como uma tecnologia alternativa no mercado de energia fotovoltaica com o principal propósito de competir comercialmente com as restantes tecnologias, uma vez que a sua constituição não exige uma produção tão elaborada como as restantes. A sua estrutura atômica, apesar de possuir silício, encontra-se desorganizada. A eficiência do silício amorfo encontra-se entre 5% e 8% [54].

5.1.2. Associação de Módulos

De forma a maximizar a potência do sistema, os módulos são agrupados e interligados, originando os painéis fotovoltaicos (Figura 5.5). A ligação dos módulos pode ser em série ou em paralelo.

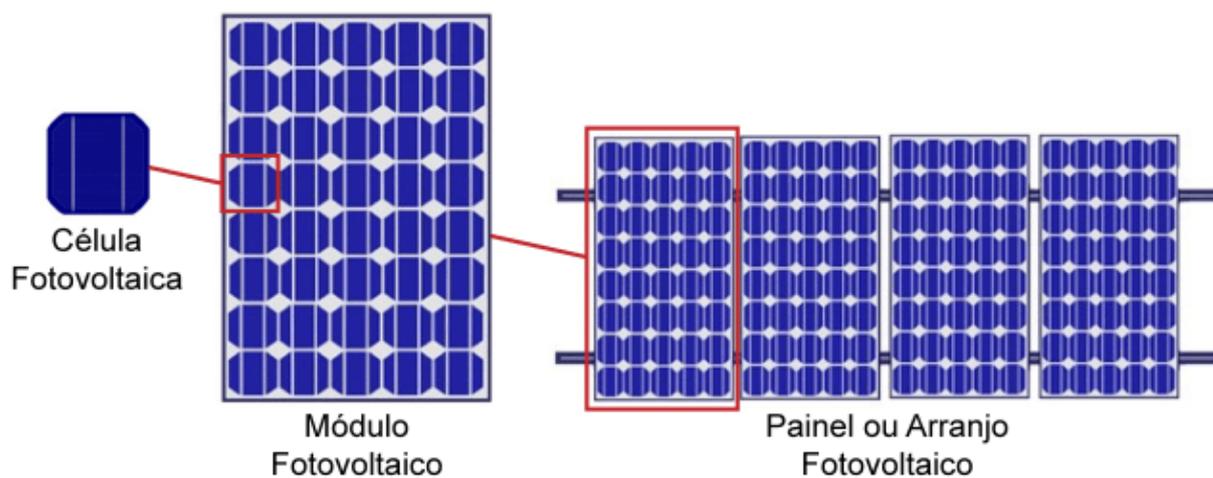


Figura 5.5 - Sequência de estruturas que constituem um painel fotovoltaico [55]

Os módulos ligados em série são, geralmente, designados por fileiras. O esquema de um conjunto de módulos ligados em série pode ser observado na Figura 5.6.

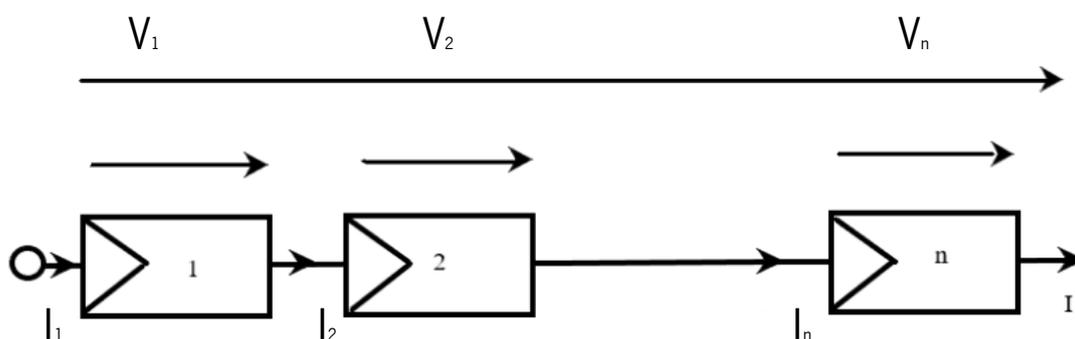


Figura 5.6 - Representação esquemática de uma ligação de módulos em série

Através do esquema anterior, podem ser estabelecidas as seguintes equações:

$$V_1 = V_2 = \dots = V_n = V \rightarrow V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n = n \cdot V \quad (8)$$

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I \quad (9)$$

As associações em série vão permitir que se obtenham tensões mais elevadas, mantendo a corrente estipulada do módulo.

As ligações em paralelo (Figura 5.7) são utilizadas na grande maioria dos sistemas autónomos, e são aplicadas quando são pretendidas correntes mais elevadas, ao mesmo tempo que se mantém a tensão estipulada do módulo.

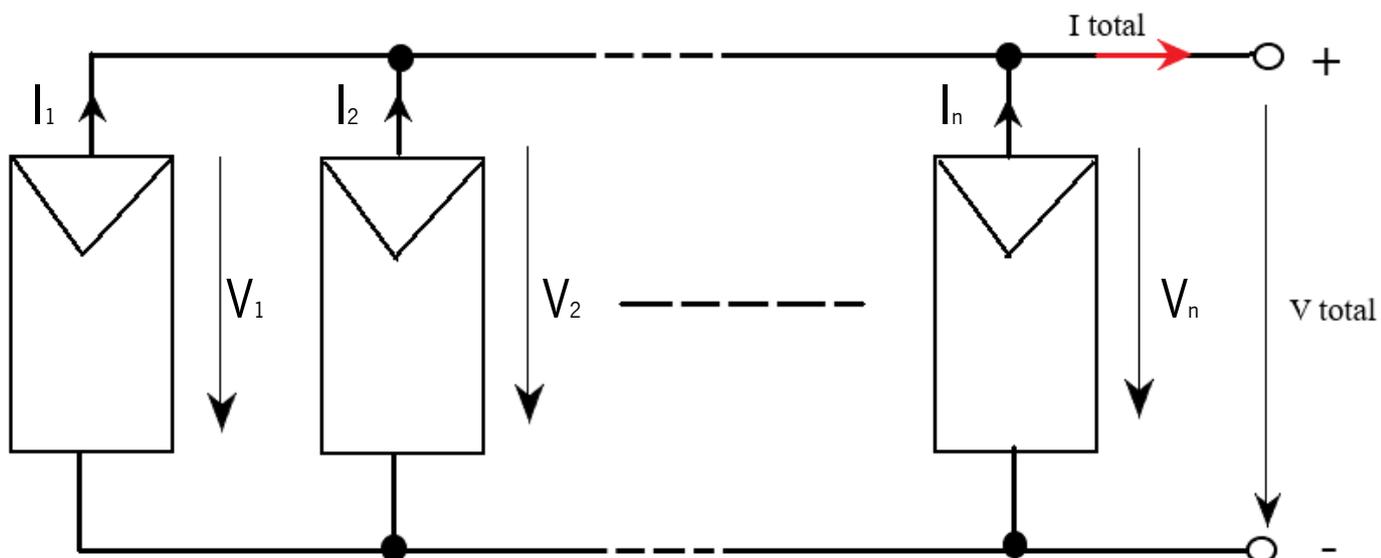


Figura 5.7 - Representação esquemática de uma ligação de módulos em paralelo

Através do esquema representado acima, pode-se escrever as seguintes equações:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \rightarrow I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = n \cdot I \quad (10)$$

$$V_{total} = V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (11)$$

Existe ainda uma terceira forma de ligação, onde se combinam ligações de módulos em série e em paralelo. Esta forma de ligação é comumente utilizada em sistemas conectados à rede. Este tipo de ligações é referido como ligação mista.

A Figura 5.8 apresenta um esquema típico de uma ligação mista.

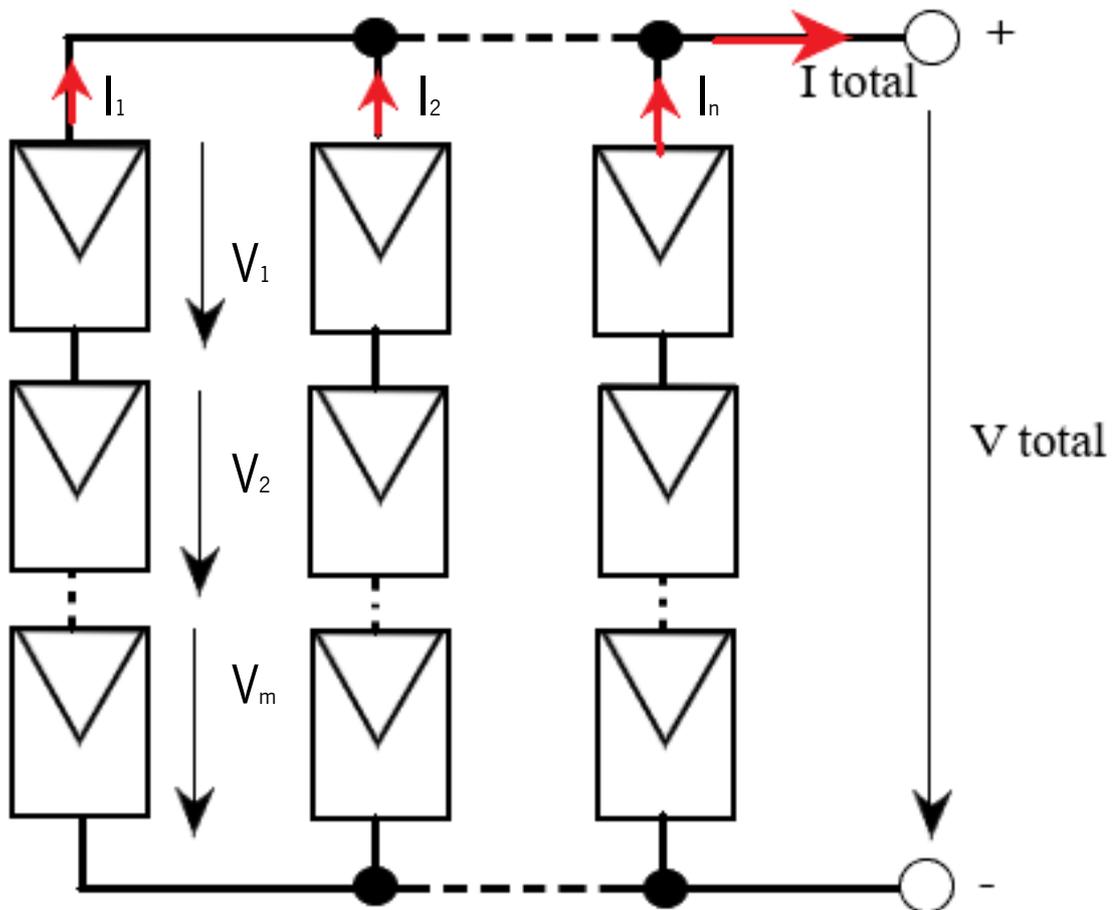


Figura 5.8 - Representação esquemática de uma ligação mista

No esquema acima, n representa o número de fileiras de módulos que se encontram ligados em paralelo, e m representa o número de módulos que se encontram ligados em série.

Com as ligações mistas, é possível obter tanto características de ligações em paralelo, como características de ligações em série, ao mesmo tempo que se obtém correntes e tensões mais altas. Partindo do princípio de que todos os módulos são do mesmo tipo, a corrente I que atravessa as fileiras é igual.

Pode então obter-se as seguintes equações:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (12)$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \rightarrow I_{total} = n.I \quad (13)$$

Da mesma forma, obtém-se também a equação para a queda de tensão V , que será igual em cada módulo que integra uma determinada fileira:

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_m \quad (14)$$

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_m \rightarrow V_{total} = m.V \quad (15)$$

5.1.3.Efeitos de sombreamento nos módulos FV

Ao ser efetuada a escolha do local de instalação de um sistema fotovoltaico, é de extrema importância que se tenha em conta o ambiente circundante.

Elementos como árvores e edifícios próximos podem gerar um efeito de sombreamento nos painéis fotovoltaicos que se traduzem por uma redução significativa na potência de saída, comparativamente a painéis sem efeito de sombreamento.

Pode também ocorrer o sombreamento de apenas uma ou mais células, devido a sujidade acumulada, folhas e outros elementos que se possam depositar sobre os módulos. O sombreamento de apenas uma das células, pode traduzir-se em casos mais graves, como a degradação dos módulos. Isto porque uma célula sombreada passa a estar inversamente polarizada, atuando como conversor de energia elétrica em calor. Se a corrente for elevada, pode ocorrer o denominado *hotspot*, que é o sobreaquecimento da célula, trazendo danos para esta [56].

5.2. Inversores

Como foi já referido anteriormente, os painéis fotovoltaicos são responsáveis pela geração de energia elétrica a partir de energia solar. Essa energia elétrica, à saída dos painéis, possui uma tensão contínua (DC). De forma que essa corrente possa ser utilizada nas instalações domésticas ou industriais, é necessário que seja instalado um ou mais inversores para ser convertida em corrente alternada (AC).

Em sistemas *ongrid* os inversores estão conectados diretamente à rede principal, e atuam como uma interface entre os painéis e a rede, de modo a tornar a corrente DC transmitida pelos painéis adequada às necessidades AC exigidas pela rede.

A Figura 5.9 representa um esquema do papel do inversor num sistema fotovoltaico.

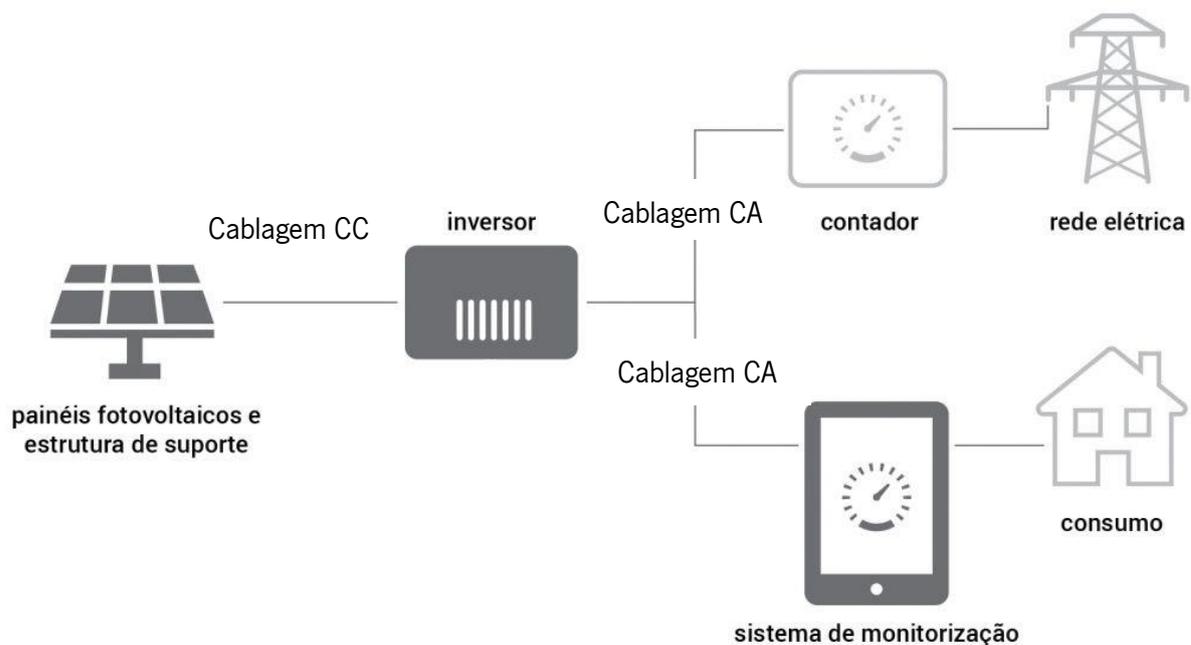


Figura 5.9 - Esquema de um sistema fotovoltaico [57]

5.3. Sistemas de Monitorização

De forma a garantir um funcionamento eficiente de um sistema FV, é necessário implementar um sistema de monitorização que seja adequado. Este sistema de monitorização irá permitir acompanhar de forma pormenorizada toda a atividade do sistema fotovoltaico, ao mesmo tempo que garante a segurança e a rentabilização máxima desse mesmo sistema [58].

De forma geral, o sistema de monitorização recolhe e armazena dados de fluxos de energia e de outras variáveis elétricas da instalação, e transmite-os em formas gráficas (tabelas, cartas e gráficos) para que seja mais fácil para o utilizador interpretar esses dados. Uma função também de extrema importância do sistema de monitorização, é assegurar a segurança e o correto funcionamento dos equipamentos, permitindo que sejam detetados erros ou avarias atempadamente, minimizando o risco de dano grave [59].

5.4. Cablagens do Sistema Fotovoltaico

As cablagens constituintes de um sistema fotovoltaico dividem-se em dois tipos: cablagens do tipo CC, que se referem aos cabos que fazem ligação entre os módulos FV e entre os módulos e o inversor, e do tipo CA, que se referem aos cabos que fazem ligação entre o inversor e o sistema de monitorização, bem como a ligação do inversor à rede.

O dimensionamento dos cabos CC deve ser feito em cumprimento dos limites de tensão nominal e da intensidade da corrente máxima admissível do cabo e à minimização das perdas na linha. Os cabos escolhidos devem ser resistentes a esforços mecânicos, a agressões climáticas (precipitação, poeiras, etc) e proteção contra contactos diretos e indiretos [60]. As perdas associadas às cablagens estão relacionadas com a queda de tensão nestas, que geram calor nas mesmas. Em sistemas conectados à rede, as quedas de tensão entre os módulos FV e o inversor são entre 1 a 3%, e as perdas no cabo principal entre 1 e 2%.

O dimensionamento da cablagem CA deve considerar uma queda de tensão máxima de 3%. Este cabo, também designado por cabo de ramal CA, é o cabo de corrente alternada que faz a ligação do inversor à rede recetora.

Capítulo 6

6. Sistemas Autónomos e Sistemas Acoplados à Rede

Os sistemas fotovoltaicos podem dividir-se em três tipos: os sistemas autónomos ou isolados, os sistemas acoplados à rede ou *on grid* e os sistemas que apresentam uma configuração híbrida, em que se encontram ligados juntamente com uma outra fonte de energia, podendo esta ser de origem renovável ou não.

Neste capítulo vou abordar os tipos autónomo e acoplado à rede, que são os tipos mais comuns de sistemas fotovoltaicos.

Os sistemas autónomos são sistemas de produção e consumo de energia elétrica sem que haja uma ligação à rede elétrica pública. Estes sistemas possuem painéis fotovoltaicos para a geração de energia elétrica, e essa energia é armazenada em baterias através de um controlador de carga para que possa ser utilizada quando for necessário. A energia armazenada nas baterias possui corrente contínua (CC) e é convertida para corrente alternada (CA) antes de ser utilizada, através de um inversor.

A Figura 6.1 representa um esquema de um sistema autónomo típico.



Figura 6.1 - Representação esquemática de um sistema fotovoltaico autónomo típico [61]

Nas situações em que os sistemas não possuam inversor, apenas é permitida a utilização de aparelho de corrente contínua (CC), normalmente de 12 V ou 24 V. Estes representam os sistemas autónomos mais simples.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, ou *on grid*, não necessitam de dispositivos de armazenamento, uma vez que a energia produzida em excesso é injetada diretamente na rede elétrica pública.

Este tipo de sistemas, assim como os sistemas autónomos, também são integrados por um (ou mais) inversor que converte a correntes contínua (CC) da energia gerada em corrente alternada (CA) antes desta ser injetada na rede pública [62].

Os consumidores continuam a utilizar a energia elétrica proveniente da rede pública, ou seja, há um fluxo de energia que é exportado para a rede e que é importado da rede. Em dias de produção em excesso, (quando a energia produzida é superior à energia necessária), o excedente é injetado na rede. Em dias de produção insuficiente (quando não é possível produzir a energia necessária para suprir as necessidades do consumidor), é consumida energia proveniente da rede pública. Para que este fluxo de energia seja corretamente monitorizado, é instalado no sistema um medidor de energia, que deve ser do tipo bidirecional para que seja capaz de medir o fluxo de energia que sai e o fluxo de energia que entra. A Figura 6.2 representa um esquema de um sistema fotovoltaico on grid típico instalado numa habitação.



Figura 6.1 - Representação esquemática de um sistema on grid típico [61]

Assim, no final do mês, o consumidor recebe a fatura da eletricidade com dois registos, a energia consumida e a energia injetada, onde o valor da energia injetada é utilizado como um crédito que abate sobre o valor da energia consumida, permitindo assim uma poupança na fatura da eletricidade.

Capítulo 7

7. Legislação Aplicável

Relativamente às instalações de unidades para produção de eletricidade para autoconsumo (UPAC), atualmente em Portugal é o decreto-lei nº 153/2014 de 20 de outubro que estabelece os regimes jurídicos aplicáveis à produção de eletricidade destinada ao autoconsumo e ao da venda à rede elétrica de serviço público (RESP) a partir de recursos renováveis, por intermédio de Unidades de Pequena produção (UPP).

Seguidamente, o decreto-lei nº 162/2019 de 25 de outubro aprova o regime jurídico aplicável ao autoconsumo de energia renovável. No referido decreto-lei, é de salientar o artigo 3º que define as condições de exercício, nomeadamente o ponto 3 do referido artigo, que especifica que uma UPAC com potência instalada entre 30 kW e 1 MW está sujeita a registo prévio para que se possa proceder à sua instalação, assim como a um certificado de exploração nos termos dos nºs 2,3,4,5 e 9 do artigo 27º - B e do artigo 27º - C do decreto-lei nº 172/2006 de 23 de agosto.

Salientam-se ainda os direitos e deveres do autoconsumidor, referidos nos artigos 7º e 8º respetivamente, no referido decreto-lei [63,64,65].

Capítulo 8

8. Caso de Estudo

A presente dissertação teve como alvo de estudo o caso de uma empresa X de calçado que requeria a implementação de um sistema fotovoltaico acoplado à rede, para produção de energia elétrica para autoconsumo.

A empresa X localiza-se na cidade de Felgueiras, distrito do Porto, Portugal, nas coordenadas de latitude $41^{\circ} 20' 10''$ N e longitude $8^{\circ} 16' 01''$ W (Figura 8.1).



Figura 8.1 - Localização da Empresa X (Imagem de satélite obtida através do Google Earth)

Na conceção de um projeto para geração de energia elétrica é fulcral que se conheça a disponibilidade solar do local, pelo que foi analisado o potencial energético solar da zona com o objetivo de analisar a quantidade de irradiação incidente sobre os módulos para realizar uma estimativa da energia gerada.

O dono da empresa X, doravante designado por cliente, disponibilizou as faturas da eletricidade correspondentes a um ano de consumo de onde foram retiradas as necessidades energéticas, que se encontram registadas na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 - Necessidades energéticas da empresa X durante o período de um ano

MÊS	CONSUMO (MWh)
Janeiro	85,05
Fevereiro	62,03
Março	50,11
Abril	47,43
Mai	40,56
Junho	43,73
Julho	38,91
Agosto	31,42
Setembro	44,13
Outubro	57,10
Novembro	68,61
Dezembro	72,84
Total Ano	641,92

8.1. Radiação Solar Anual

A radiação solar incidente no local do projeto é apresentada no gráfico da Figura 8.2 e foi obtido recorrendo à ferramenta PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) disponibilizada pelo site da Comissão Europeia [66].

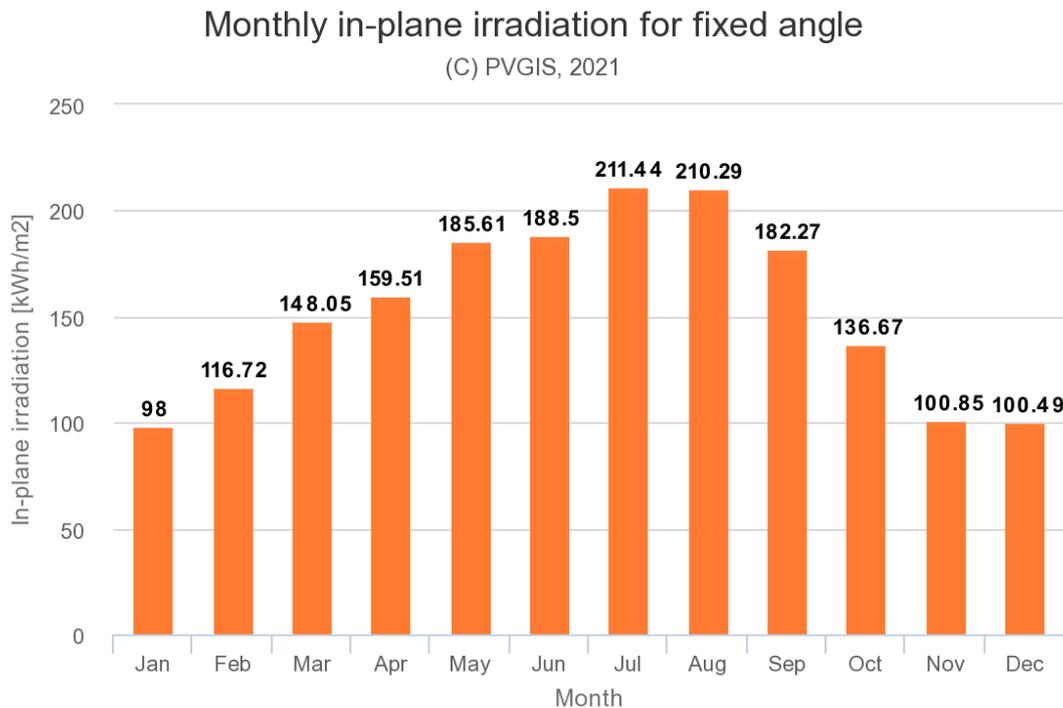


Figura 8.2 - Radiação Solar incidente no local do projeto (obtida através da ferramenta PVGIS, 2021)

Tal como esperado para Portugal continental, os meses de Verão (junho, julho e agosto), são os meses que apresentam maior irradiação solar, o que irá corresponder a uma produção mais elevada de energia elétrica.

O gráfico da irradiação foi obtido através da inserção das coordenadas do local do projeto na ferramenta PVGIS, que emitiu os valores de irradiação solar referentes ao ano de 2020.

8.2. Software de Dimensionamento

Inicialmente, foi realizado um pré-projecto através do programa *PVsys*, que é uma ferramenta de dimensionamento para sistemas fotovoltaicos. Nesta fase inicial, foi introduzida a localização do empreendimento e as necessidades energéticas anuais da empresa X, mencionadas anteriormente na Tabela 8.1.

Para uma maximização da geração de energia, é necessário que os painéis sejam inclinados e orientados no ângulo e direção ideais, respetivamente. Estes dados estão diretamente relacionados com a latitude do local, e podem ser calculados somando 15° ao valor da latitude para o Inverno, subtraindo 15° para o Verão ou subtraindo 5° para todo o ano.

Através deste cálculo obteve-se uma inclinação de 36° e um azimute de -4° (Figura 8.3). O azimute é medido em relação à orientação Sul, uma vez que no Hemisfério Norte a orientação ideal para painéis fotovoltaicos é o Sul geográfico.

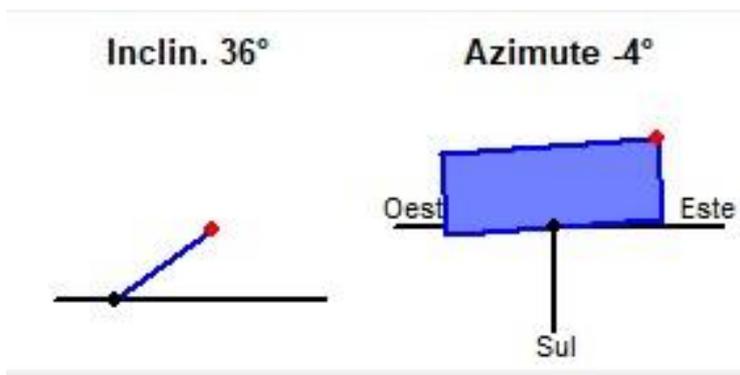


Figura 8.3 - Inclinação e Orientação ideais dos módulos FV para o projeto em estudo (via PVsyst)

Esta simulação resultou numa área útil de 659 m². Esta área é relativa a uma estimativa do número de painéis que serão necessários implementar no sistema fotovoltaico. Na simulação propriamente dita, essa área pode ser alterada caso seja necessário adicionar painéis ou reduzir o número de painéis.

A área do telhado da empresa X, local de disposição dos painéis solares fotovoltaicos, é de 1000 m².

Seguidamente, através novamente do auxílio do PVGIS, foi possível realizar uma estimativa da produção média anual da energia produzida por um sistema fotovoltaico acoplado à rede e sem armazenamento.

Novamente foram inseridas as coordenadas do local do empreendimento, para que o PVGIS analisasse os fatores climatológicos e o tipo de módulo fotovoltaico escolhido e desse modo estimar a produção média anual.

Foi introduzida uma potência de pico de 127 kWp, calculada através da seguinte fórmula:

$$\text{Potência Pico (kWp)} = \frac{A * \text{eficiência} * 1 \text{ kW/m}^2}{100} \quad (16)$$

Onde A é a área dos módulos fotovoltaicos (659 m²) e a eficiência é a eficiência de pico de 19,3% designada pelo fornecedor dos módulos.

Substituindo os valores, obtém-se:

$$Potência\ Pico\ (kWp) = \frac{659\ m^2 * 19,3\ \% * 1\ kW/m^2}{100} = 127\ kW \quad (17)$$

A potência de pico representa o máximo de potência energética que o sistema consegue gerar sob as condições padrão (T = 20°C e irradiância = 1000 W/m²). Esta condição garante que o sistema consiga aguentar picos de energia sem que seja danificado.

O gráfico da Figura 8.4 representa a estimativa da energia anual produzida realizada pela ferramenta *PVGIS*.

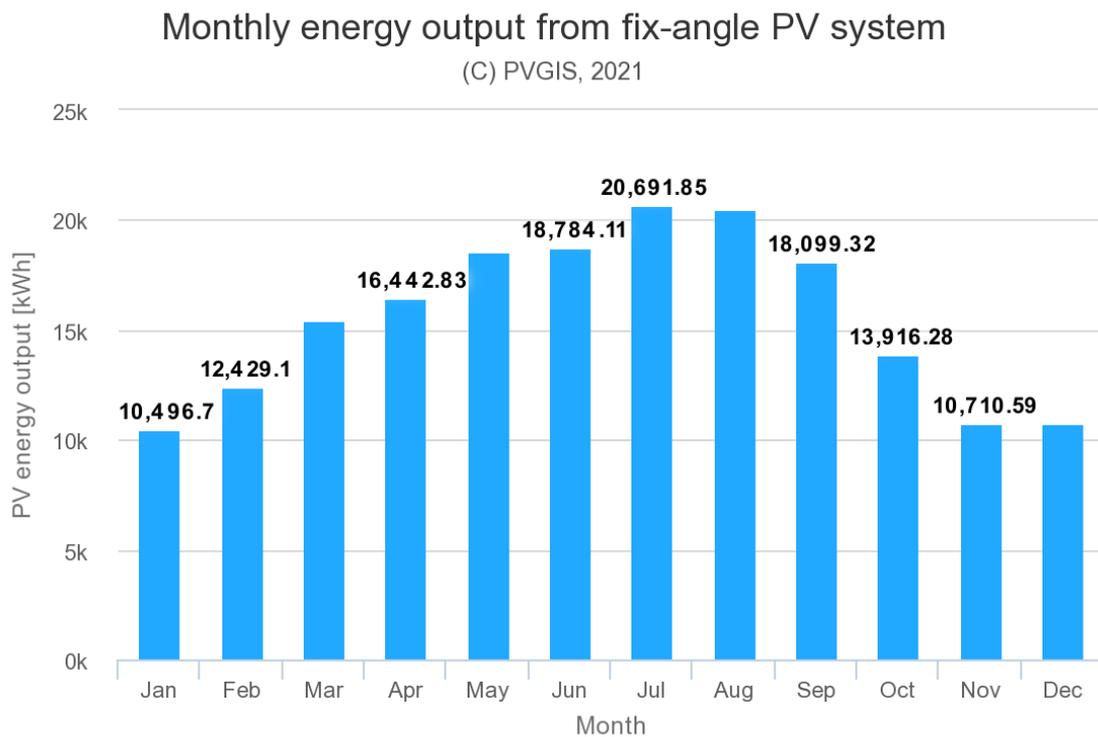


Figura 8.4 - Energia anual produzida estimada (Obtido através do PVGIS, European Commission, 2021)

Como esperado, os meses de julho e agosto são aqueles de maior produção energética, uma vez que também são os mesmos em que a irradiação solar é superior. No entanto, de acordo com a Tabela 8.1 o mês de agosto é o mês em que a empresa apresenta menores necessidades

energéticas, provavelmente devido a encerramento da mesma para férias dos trabalhadores, pelo que se espera que haja uma injeção de excedente na rede.

Denote-se que os dados supra apresentados são resultado de uma estimativa e podem variar em relação aos valores reais.

8.3. Componentes Utilizados

Este tópico refere-se à escolha de componentes utilizados neste projeto, nomeadamente os painéis solares fotovoltaicos e o inversor.

8.3.1. Painéis Solares Fotovoltaicos

Através de uma pesquisa pelo mercado atual de componentes fotovoltaicos, foi selecionado o modelo SPR – 310E – WHT – D si-mono 310 Wp, da SUNPOWER, modelo de utilização frequente em grandes dimensionamentos. A folha de dados deste modelo apresenta-se no Anexo A.

Este modelo foi selecionado devido à sua relação qualidade/preço e elevada eficiência comparativamente a outros modelos utilizados frequentemente no mercado fotovoltaico.

Foi escolhido o modelo do tipo silício monocristalino por este apresentar maior eficiência do que o do tipo policristalino.

As principais características do módulo encontram-se especificadas na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 - Características do módulo FV escolhido

Modelo	SPR – E19 – 310 – COM
Tipo	Monocristalino
Potência Máxima	310 W
Eficiência	19,01%
Tensão de máxima potência (V_{MPP})	54,7 V
Corrente de máxima potência (I_{MPP})	5,67 A
Tensão circuito aberto (V_{oc})	64,4 V
Corrente curto-circuito (I_{sc})	6,05 A
Comprimento (m)	1,5 m

Largura (m)	1,04 m
Área (m²)	1,56 m ²
Peso (Kg)	18,6 Kg
Número de células	96

O número máximo de módulos ligados em série é determinado pela razão entre a tensão em corrente contínua máxima admissível do inversor e a V_{oc} do módulo a uma temperatura de -10°C . Este valor representa a temperatura mínima a que os módulos fotovoltaicos instalados em Portugal podem funcionar. Ou seja, as baixas temperaturas estão diretamente relacionadas com o aumento da tensão, pelo que o inversor deve ser capaz de suportar uma tensão superior à V_{oc} do módulo a -10°C [67].

O número mínimo de módulos ligados em série está relacionado com a máxima temperatura que os módulos podem suportar, durante o Verão, pois a tensão diminui com o aumento da temperatura. Este valor pode ser obtido a partir do quociente entre a tensão MPP mínima de entrada do inversor e o V_{MPP} do módulo a 70°C [67].

8.3.2. Inversor

O inversor de um sistema conectado à rede deve ser escolhido tendo em conta a potência nominal dos módulos fotovoltaicos.

A potência máxima varia com a temperatura e irradiação presentes num dado momento, e com a tensão aos terminais do módulo. Naturalmente, é requerido que o funcionamento do sistema seja sempre à máxima potência possível.

De maneira que os módulos estejam sempre no ponto de operação de potência máxima, os inversores possuem um sistema digital de cálculo da tensão à potência máxima, designado de *Maximum Power Point Tracker* ou MPPT [68].

O inversor escolhido para este empreendimento foi o modelo SUN 2000 – 100KTL – M1 da marca Huawei.

Este inversor possui 10 entradas MPPT (20 entradas, 2 para cada MPPT), o que permite a individualização de cada fileira, aumentando assim a eficiência do sistema. Desse modo, as

ligações defeituosas são evitadas, e no caso de avaria ou mau funcionamento de uma das fileiras, as restantes continuam a operar, sem que o seu desempenho seja afetado.

É de notar que os módulos utilizados neste empreendimento possuem todos as mesmas características, e estão todos sujeitos às mesmas condições envolventes (a implementação será feita no telhado, e não existem objetos próximos que possam provocar sombreamento), o que favorece a utilização de um inversor com diversas entradas MPP, facilitando também o processo de reparação em caso de avaria, bem como reduzindo os seus custos.

Este inversor possui várias funções, entre as quais:

- Conversão de corrente direta em corrente alternada, de acordo com os padrões de exigência da rede pública;
- Seguidor de potência máxima (função MPPT), regulando assim a tensão de entrada e de saída;
- Proteção do sistema contra sobrecargas, curtos-circuitos, sobretensões, etc.

As principais características do inversor estão especificadas na Tabela 8.3 e a ficha técnica está disponível no Anexo A.

Tabela 8.3 - Características principais do inversor escolhido

Modelo	SUN – 2000 – 100KTL – M1
Tensão Máxima	1100 V
Tensão Mínima	200 V
Corrente Máxima DC	260 A
Potência Máxima AC	110 kW
Intervalo de tensão MPPT	200 – 1000 V
Eficiência Máxima	98,8%
Tensão MPPT	10
Frequência	50, 60 Hz
Peso	90 Kg
Comprimento	1,03 m
Largura	0,7 m

8.3.3. Datalogger

Um datalogger é um aparelho de monitorização utilizado para registar dados em tempo real. Neste caso, foi adquirido um datalogger modelo SmartLogger 3000A da marca Huawei Technologies, para registar e monitorizar o fluxo de energia que irá passar pelo sistema fotovoltaico.

Este aparelho é também capaz de armazenar os dados que regista, que posteriormente poderão ser transferidos para um computador e analisados.

Para que possa haver venda do excedente gerado à rede pública é também obrigatório possuir um datalogger, que seja capaz de registar o fluxo de energia que sai (que é vendido à rede) e o que entra (que é comprado à rede), possibilitando no final do mês ou ano, fazer o balanço da energia vendida e comprada e receber ou pagar o valor correspondente.

A ficha de dados do datalogger escolhido para este empreendimento encontra-se disponibilizado no Anexo A.

8.4. Dimensionamento do Sistema FV

Tal como referido acima, o software utilizado para o dimensionamento do sistema foi o PVsyst 6.8.8.

Antes de se iniciar a simulação propriamente dita, é necessário estabelecer a localização do projeto através da introdução das coordenadas do local. Seguidamente o programa importa os dados meteorológicos a partir do site Meteonorm 7.2.

Existe ainda a possibilidade de se inserir as necessidades energéticas do cliente (referidas anteriormente na Tabela 8.1), embora este passo não seja obrigatório. No entanto, o ideal é inserir estes dados, pois posteriormente irão obter-se resultados mais próximos da realidade.

O passo seguinte é o dimensionamento propriamente dito.

A Figura 8.5 mostra uma visão geral da área de trabalho do programa, onde é possível seleccionar diversas opções, como o tipo de painéis, o tipo de inversor, estipular a potência nominal ou a área disponível, seleccionar o número de fileiras ou de módulos por fileira e introduzir os valores azimutais e de orientação, o que no presente caso são -4° e 36° respetivamente.

Todas estas opções são seguidas por um painel de diagnóstico que informa o utilizador da compatibilidade dos itens à medida que este os selecciona.

Após todos os dados introduzidos, deve-se verificar que o painel de diagnóstico não apresenta nenhuma mensagem de alerta e aí prossegue-se para a simulação.

Um resumo dos dados obtidos na simulação pode traduzir-se em:

- 416 módulos FV correspondente a uma área de 678 m²;
- 1 inversor:
 - P_{máx} => 40°C = 110 kWac
 - P total = 100 kWac
 - Rácio P_{nominal} = 1,21

O relatório completo da simulação pode ser consultado no Anexo B.

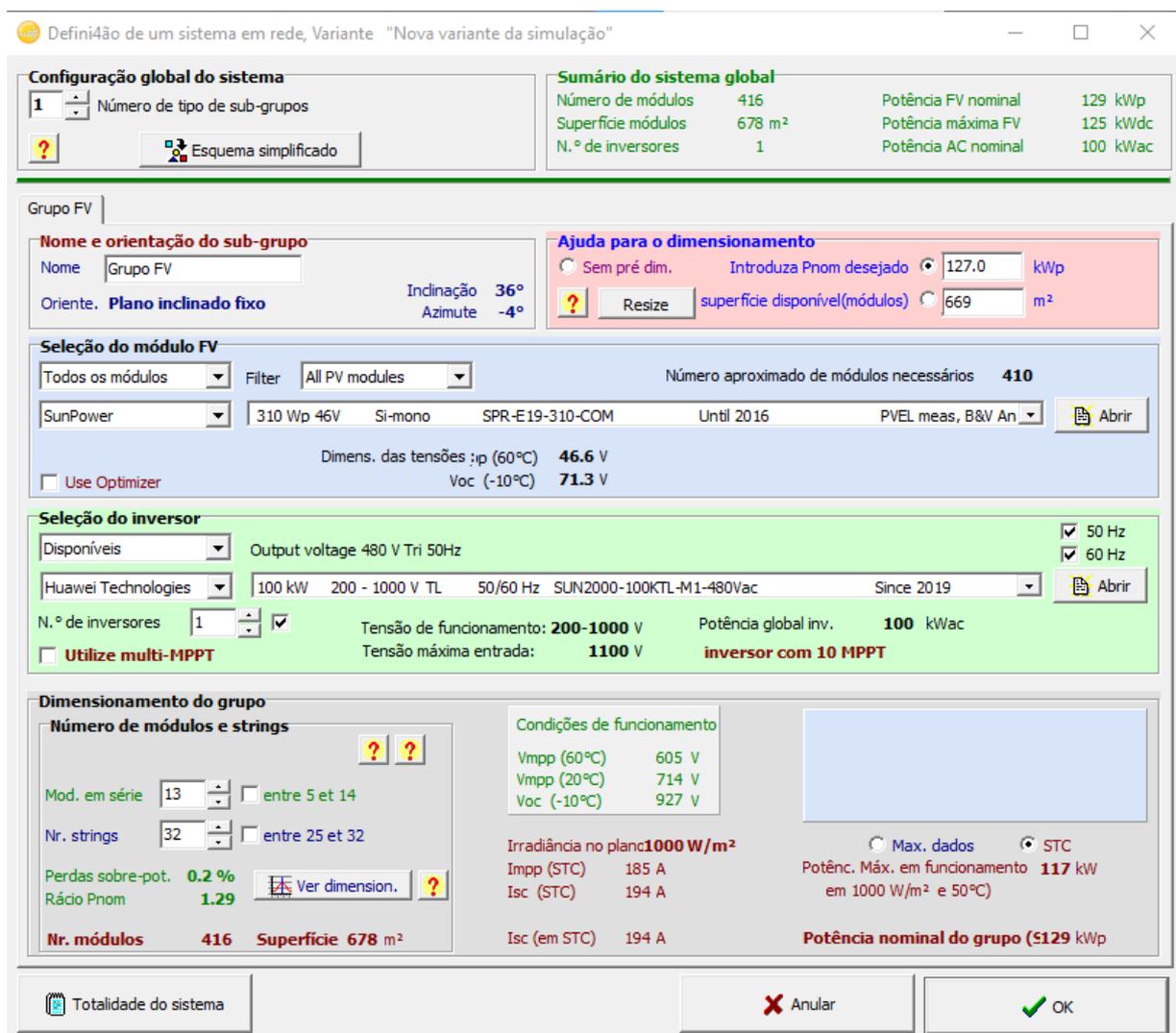


Figura 8.5 - Visão geral da área de trabalho do PvSys 6.8.8

8.4.1. Número de Módulos por Fileira

A partir da análise do relatório emitido pelo PVsyst, que também é observável a partir da Figura 8.5, denota-se que o número de módulos por fileira indicados pelo programa é de 13 módulos e o número de fileiras é de 32.

Através da equação (18) e (19) pode calcular-se o número máximo e mínimo de módulos por fileira respetivamente, e desse modo comprovar a veracidade dos dados da simulação:

$$N \text{ máx} = \frac{V_{\text{máx}} (\text{inversor})}{V_{OC} (\text{módulos})} = \frac{1100 \text{ V}}{64,4 \text{ V}} \sim 17 \text{ módulos por fileira} \quad (18)$$

$$N \text{ mín} = \frac{V_{\text{mín}} (\text{inversor})}{V_{MPP} (\text{módulos})} = \frac{200 \text{ V}}{54,7} \sim 4 \text{ módulos por fileira} \quad (19)$$

Como o valor apresentado pelo programa é de 13 módulos por fileira, pode comprovar-se que é um valor dentro dos parâmetros teóricos.

Utilizando a equação (20) pode calcular-se o número máximo de fileiras possível:

$$N \text{ fileiras} = \frac{I_{\text{máx}} (\text{inversor})}{I_{MPP} (\text{módulo})} = \frac{260 \text{ A}}{5,67 \text{ A}} \sim 46 \text{ fileiras} \quad (20)$$

O valor de 32 fileiras apresentado pela simulação também está dentro das previsões teóricas.

8.4.2. Resultados da Simulação

A produção normalizada de energia por mês é apresentada no gráfico da Figura 8.6, onde também é possível observar as perdas por absorção do grupo FV, apresentadas na cor violeta, correspondente a 0,56 kWh/kWp/dia e as perdas do sistema (inversor, cablagens, etc), apresentadas na cor verde, correspondente a 0,08 kWh/kWp/dia. As barras a vermelho representam a energia útil produzida por mês, correspondente a 4,47 kWh/kWp/dia. Estes valores referem-se à energia perdida por kW produzido, em cada dia de produção.

Produções normalizadas (por kWp instalado): Potência nominal 129 kWp

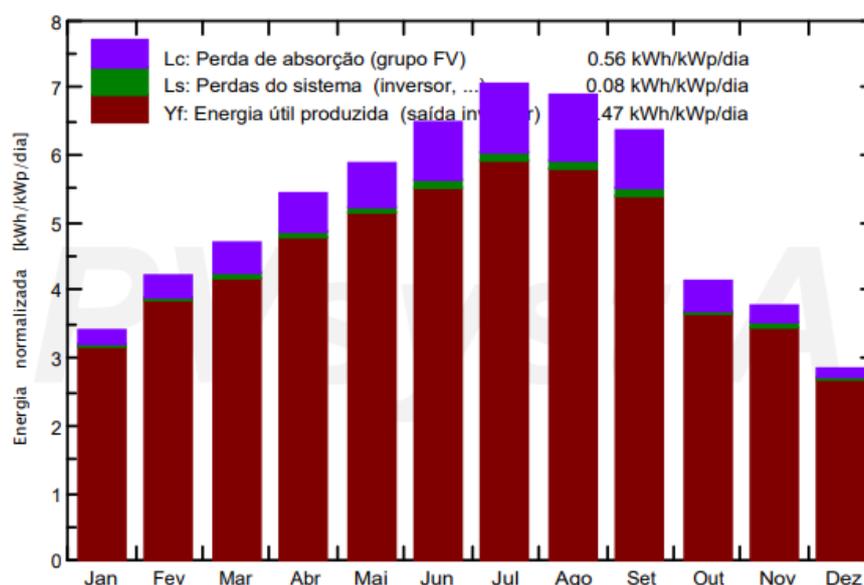


Figura 8.6 - Produção normalizada de energia por mês e perdas do sistema

Pode ainda observar-se uma potência nominal de 129 kWp, valor superior à inicialmente estipulada pela pré-simulação (127 kWp).

O índice de performance do sistema é de 87,49% (valor médio anual), e observando o gráfico da Figura 8.7 que apresenta precisamente o índice de performance ao longo dos meses do ano, pode verificar-se que este se mantém estável. A ligeira diminuição nos meses de julho e agosto pode dever-se ao facto de que, em meses muito quentes, o sistema sobreaquece e perde performance.

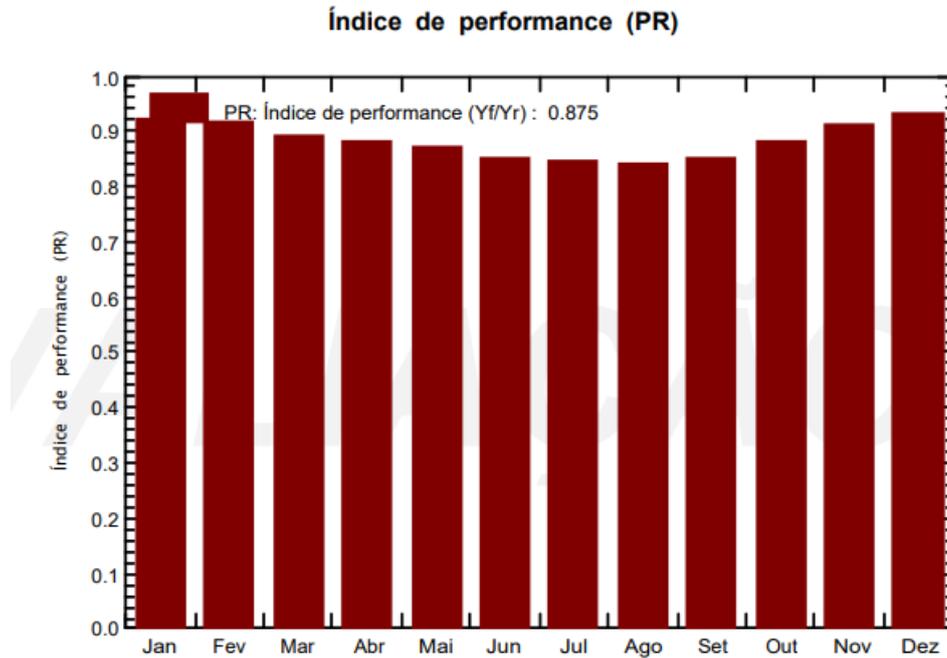


Figura 8.7 - Índice de performance do sistema ao longo dos meses do ano

A Tabela 8.4 apresenta os principais resultados do sistema, em que *GlobHor* representa a irradiação global horizontal e *DiffHor* a irradiação difusa horizontal; *T_Amb* representa a temperatura ambiente média mensal; *GlobInc* representa a incidência global no plano dos sensores; *GlobEff* representa o valor da irradiação global efetiva corrigido; *EArray* representa a energia efetiva à saída do grupo; *E_User* representa a energia fornecida ao consumidor (resultada da soma da energia produzida à saída do grupo e da energia proveniente da rede); *E_Solar* representa a energia proveniente do sol; *E_Grid* representa a energia injetada na rede e *EFrGrid* representa a energia proveniente da rede.

Os valores da energia produzida pelo sistema representadas em *EArray* foram transpostos para um gráfico de barras (Figura 8.8) para que fosse mais fácil analisar a evolução da energia produzida ao longo dos meses.

Como era de esperar, os meses de julho e agosto são os meses de maior produção de energia, o que está diretamente relacionado com a irradiação solar que também é superior nestes meses.

Tabela 8.4 - Principais resultados da simulação do sistema

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
Janeiro	59.5	22.63	5.91	106.2	105.6	12.86	85.00	12.65	0.000	72.35
Fevereiro	78.2	32.71	7.50	117.7	116.9	14.12	62.00	13.60	0.295	48.40
Março	115.5	51.19	10.20	145.4	144.0	17.05	50.00	14.15	2.607	35.85
Abril	151.9	55.89	11.19	163.5	161.6	18.89	47.00	14.93	3.636	32.07
Maio	189.6	79.51	14.75	182.9	180.5	20.97	41.00	15.75	4.844	25.25
Junho	211.8	66.56	18.95	194.0	191.4	21.77	44.00	16.84	4.504	27.16
Julho	230.8	66.05	20.32	218.1	215.4	24.22	39.00	16.42	7.311	22.58
Agosto	204.0	58.57	20.92	213.6	211.2	23.60	31.00	13.23	9.885	17.77
Setembro	154.9	45.47	18.26	191.2	189.4	21.35	44.00	15.97	4.970	28.03
Outubro	92.6	38.12	13.93	128.1	127.0	14.83	57.00	13.13	1.432	43.87
Novembro	68.2	28.12	8.77	113.9	113.1	13.61	69.00	13.22	0.170	55.78
Dezembro	49.7	24.38	6.30	88.8	88.2	10.86	73.00	10.69	0.008	62.31
Ano	1606.8	569.19	13.12	1863.4	1844.2	214.14	642.00	170.58	39.663	471.42

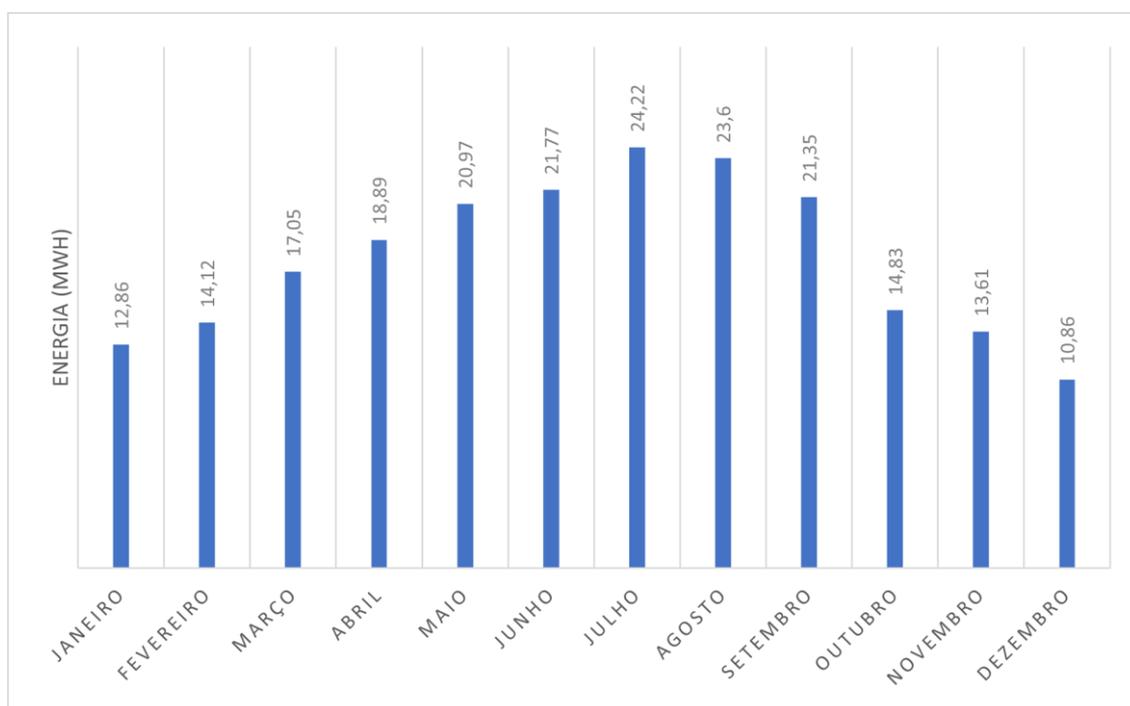


Figura 8.8 - Energia produzida pelo sistema ao longo dos meses

As perdas do sistema podem ser analisadas a partir do diagrama de perdas da Figura 8.9, entre as quais podem ser identificadas as perdas a partir dos módulos, do inversor e das cablagens.

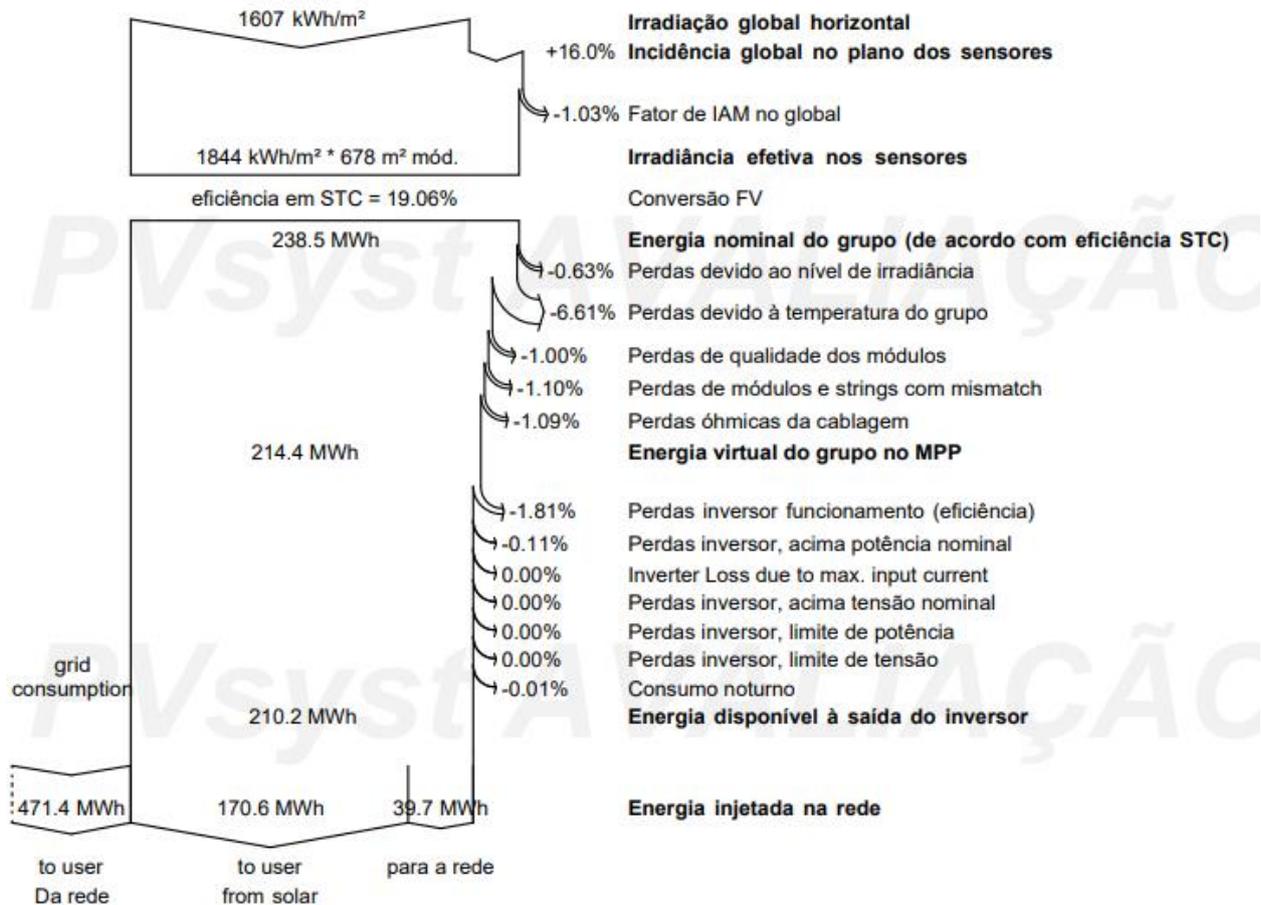


Figura 8.9 - Diagrama de perdas do sistema fotovoltaico (obtido através do PVsyst)

Transpondo os resultados da energia produzida à saída do grupo e da energia fornecida ao consumidor supracitados na Tabela 8.4 obtém-se o gráfico da Figura 8.10.

Através deste gráfico é possível observar o quanto das necessidades de consumo da empresa X podem ser supridas pela produção energética proveniente do sistema fotovoltaico implementado.

Os meses de verão (junho, julho e agosto) são os meses que apontam menor consumo e maior produção, o que provoca uma aproximação de valores, sendo cerca de 61% da energia consumida proveniente da geração fotovoltaica.

Os meses de inverno (janeiro, novembro e dezembro) são os meses que apontam maior consumo e menor produção, o que provoca um distanciamento de valores, sendo apenas cerca de 16,5% da energia consumida proveniente da geração fotovoltaica.

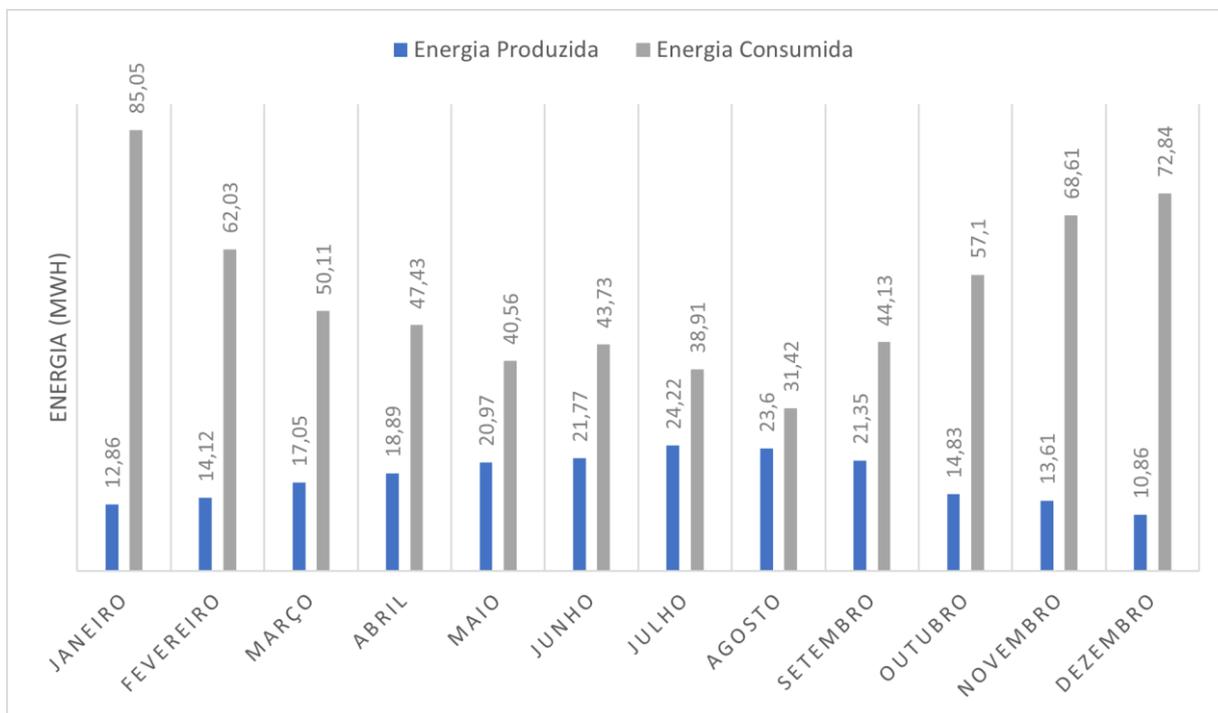


Figura 8.10 - Energia produzida vs. energia consumida

8.5. Disposição dos Módulos FV

Como referido em cima, o resultado da simulação do projeto sugeriu uma disposição dos painéis em 32 fileiras com 13 módulos ligados em série, sendo que os cálculos realizados também em cima, revelaram que seria possível ligar em série entre 4 e 17 módulos, e poderia haver um número máximo de 46 fileiras.

Os números supramencionados referentes ao resultado da simulação são apenas sugestivos e podem diferir um pouco da realidade.

A Figura 8.11 apresenta uma possível disposição dos painéis solares aplicados no telhado da empresa X. O esquema foi cedido pela empresa DAPE, que o dimensionou com auxílio do *software* AUTOCAD.

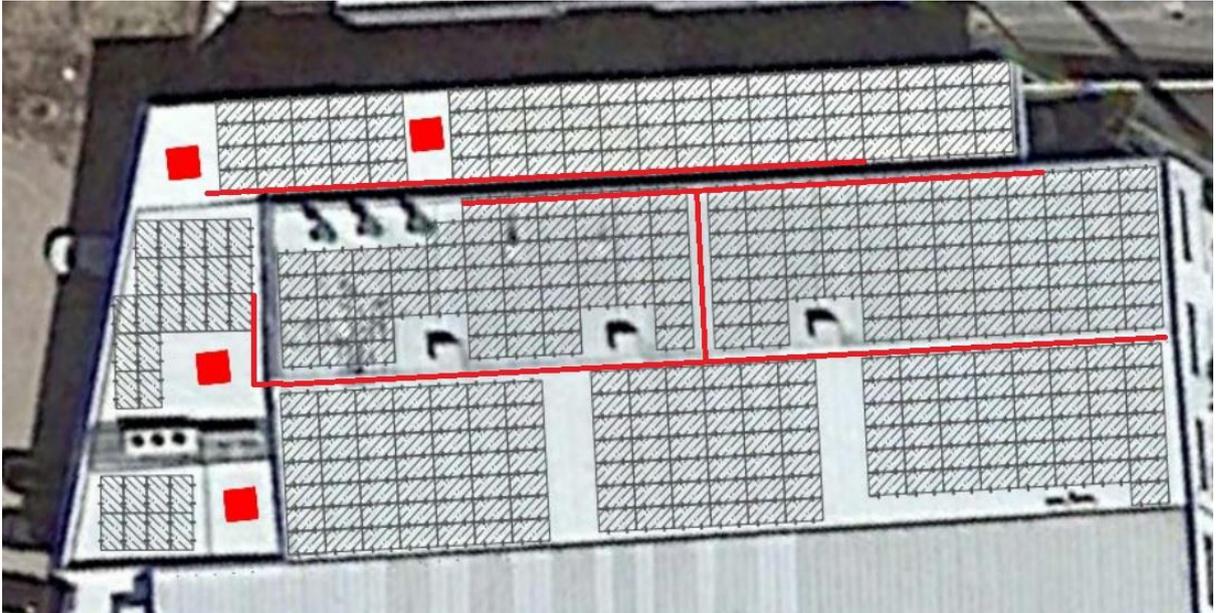


Figura 8.11 - Possível esquema de disposição dos módulos FV no telhado da empresa X. (Imagem fornecida pela empresa DAPE)

As linhas a vermelho representam a esteira para a passagem das cablagens e os quadrados vermelhos representam alguns obstáculos existentes no telhado que devem ser considerados na instalação das estruturas.

8.6. Fixação dos Painéis Fotovoltaicos

É de extrema importância que a fixação dos painéis no telhado seja feita de forma correta e segura. Existem diversos tipos de estruturas de fixação de painéis, desenhados especificamente para cada tipo de telhado ou superfície.

No caso do presente estudo, tal como acontece em implementações em terrenos planos, é necessário que sejam adquiridas estruturas que possam fornecer a inclinação ideal para maximizar a eficiência dos painéis, a saber, aproximadamente 36° , referido anteriormente no ponto 8.2.

Geralmente as estruturas são constituídas por alumínio ou aço inoxidável e com bastante robustez, de forma que os painéis fiquem seguros e não sejam movidos do seu lugar por fatores externos ambientais (chuvas e vento forte).

As estruturas são então fixadas no telhado – no presente caso o telhado é constituído por telha metálica – recorrendo ao uso de calhas, onde as estruturas são coladas com uma cola própria para o efeito e aparafusadas.

Posteriormente os painéis são inseridos nas estruturas e fixados com o auxílio de parafusos para que fiquem bem seguros.

A Figura 8.12 representa um esquema de uma estrutura similar às escolhidas para aplicar no presente projeto e a Figura 8.13 representa o sistema de parafuso utilizado para fixar as estruturas no telhado.



Figura 8.12 - Esquema de uma estrutura de fixação de painéis similar às escolhidas para aplicação no presente projeto [69]

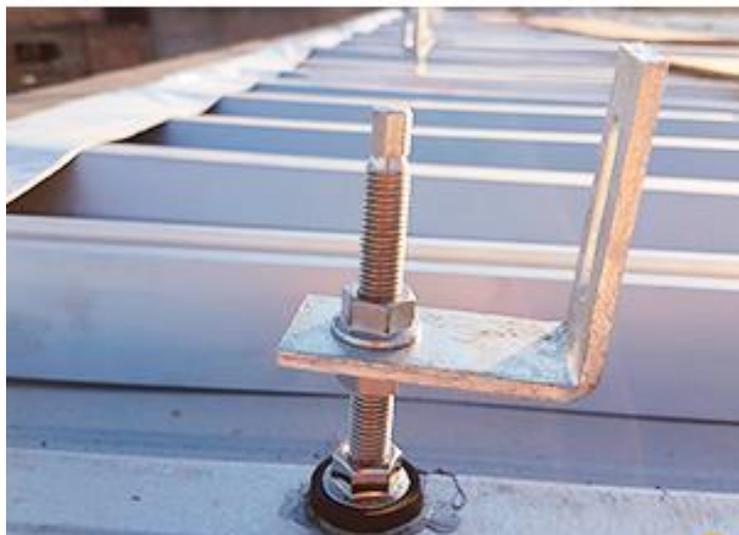


Figura 8.13 - Parafuso de fixação de estruturas em telhados de telha metálica [70]

Capítulo 9

9. Análise Financeira

A análise financeira do empreendimento alvo de estudo da presente dissertação foi dividida em quatro tópicos:

- Investimento inicial – equipamento e instalação;
- Compra de energia e venda do excedente;
- Custo de ciclo de vida – soma de todos os custos ao longo do período de vida do sistema fotovoltaico;
- Análise de custos *versus* benefícios.

O investimento inicial é composto pelo custo dos equipamentos e o custo de instalação¹ dos mesmos. Estes custos são apresentados na Tabela 9.1.

(Considerou-se que a instalação de todo o empreendimento demorou aproximadamente 3 dias de trabalho (8 horas por dia) até estar concluída.

Tabela 9.1 - Custo de equipamento e instalação

Equipamento	Unidades	Preço/unidade (€)	Preço total (€)
Painéis fotovoltaicos	416	200	83200
Inversor	1	5625	5625
Datalogger	1	590,40	590,40
Cabo de 4 mm	4 x 100 m	190	760
Cabo de 4 mm	1 x 25 m	55	55
Estruturas de 10 painéis	41	487,88	20003,08
Estruturas de 6 painéis	1	325,24	325,24
Conectores	416	3	1248
		Total	111806,72
Instalação	24 horas	200€/hora	5000
		Total	116806,72

¹ O custo de instalação foi considerado tendo em conta o valor médio cobrado pela maioria dos operacionais da área (200€/hora).

Seguidamente, através da análise da energia produzida no ano 1, foi possível determinar a energia produzida pelo sistema fotovoltaico ao longo de 20 anos (tempo de vida útil dos equipamentos). Para tal, foi considerada uma taxa de degradação do sistema fotovoltaico de 3%.

Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 9.2. Denote-se que o valor da compra da eletricidade foi considerado o mesmo ao longo dos 20 anos, sendo desconsideradas quaisquer variações de preço, assim como no valor da venda da eletricidade, que também foi considerado o mesmo ao longo dos 20 anos.

Tabela 9.2 - Comparação entre o custo de eletricidade com e sem sistema fotovoltaico ao longo de 20 anos de utilização

Ano	Custo com sistema FV (€)	Custo sem sistema FV (€)	Poupança (€)
1	59890,6	89868,8	29978,2
2	60763,8	89868,8	29105,0
3	61611,5	89868,8	28257,3
4	62434,5	89868,8	27434,3
5	63233,6	89868,8	26635,2
6	64009,3	89868,8	25859,5
7	64762,5	89868,8	25106,3
8	65493,8	89868,8	24375,0
9	66203,7	89868,8	23665,1
10	66893,0	89868,8	22975,8
11	67562,2	89868,8	22306,6
12	68211,9	89868,8	21656,9
13	68842,7	89868,8	21026,1
14	69455,1	89868,8	20413,7
15	70049,7	89868,8	19819,1
16	70626,9	89868,8	19241,9
17	71187,4	89868,8	18681,4
18	71731,5	89868,8	18137,3
19	72259,8	89868,8	17609,0
20	72772,7	89868,8	17096,1

O Custo com sistema fotovoltaico foi obtido através da subtração da energia produzida às necessidades energéticas, e seguidamente calculado a quantidade de eletricidade que seria necessário comprar à rede. O Custo sem sistema fotovoltaico foi obtido através da compra de todo o volume de eletricidade correspondente às necessidades energéticas do consumidor, antes de este implementar o sistema fotovoltaico.

Com esta correlação foi possível obter o gráfico da Figura 9.1 que relaciona o gasto em eletricidade sem o sistema fotovoltaico com o gasto em eletricidade após a implementação deste.

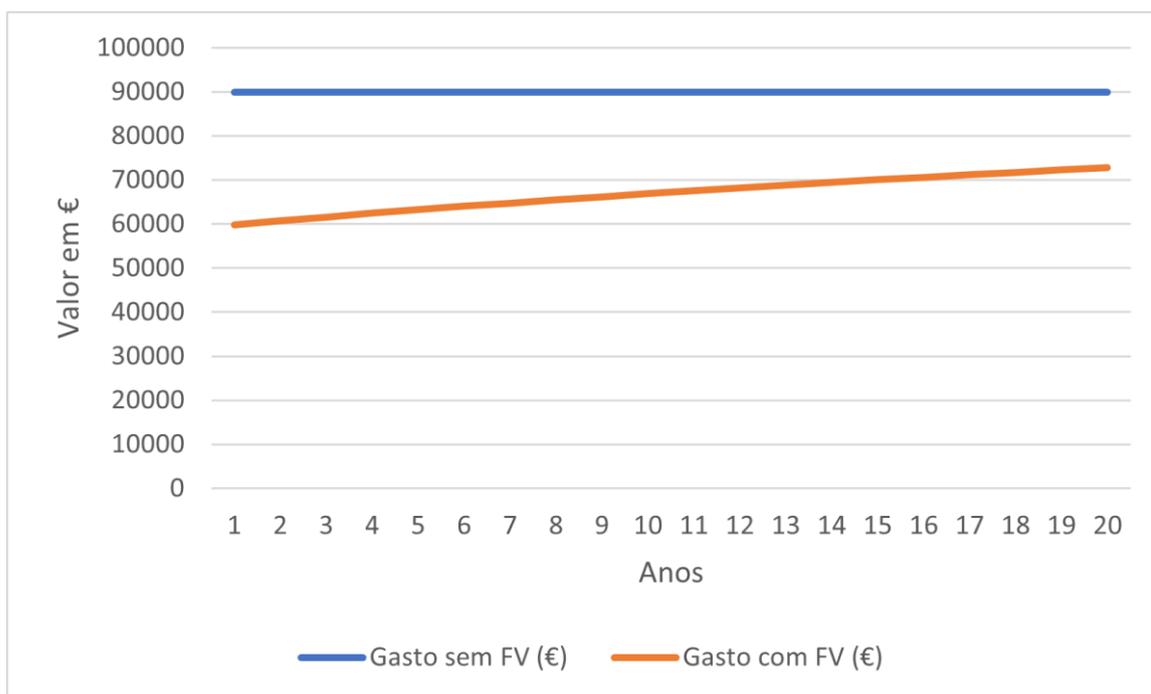


Figura 9.1 - Comparação entre o gasto em eletricidade sem sistema FV e com sistema FV

É possível observar que, com a implementação do sistema fotovoltaico, o gasto em eletricidade vai subindo ao longo dos anos, o que é de esperar, uma vez que, com a degradação do sistema a energia produzida será cada vez menor. No entanto, mesmo com essa degradação, o valor gasto em eletricidade é significativamente menor do que aquele gasto sem implementação do sistema fotovoltaico.

9.1. Custo do Ciclo de Vida do Sistema FV

Para analisar o custo do ciclo de vida do sistema fotovoltaico, foram considerados vários pontos, nomeadamente:

- Foi considerado que o cliente pagou 20% do valor do sistema (equipamento + instalação) de entrada e que fez um empréstimo para os restantes 80% ²;
- Foi considerada uma taxa de manutenção do sistema de 1,25% a cada ano (ao longo de 20 anos).

O empréstimo foi estipulado para ser pago em 10 anos.

A Tabela 9.3 apresenta todos os resultados obtidos.

Tabela 9.3 - Análise do custo do Ciclo de Vida do sistema fotovoltaico

Ano	Prestação Anual (€)	Manutenção (€)	Poupança (€)	Poupança + Despesa (€)	VP Anual Poupança + Despesa (€)	Fluxo de Caixa (€)
0						-23 361,44
1	-10 512,11	-934,45	29 978,2	18 531,64	18 311,90	-5049,45
2	-10 512,11	-1168,07	29 105	17 424,88	17 014,09	11 964,64
3	-10 512,11	-1168,07	28 257,3	16 577,16	15 994,42	27 959,06
4	-10 512,11	-1168,07	27 434,3	15 754,13	15 020,08	42 979,14
5	-10 512,11	-1168,07	26 635,2	14 955,07	14 089,19	57 068,33
6	-10 512,11	-1168,07	25 859,5	14 179,29	13 199,92	70 268,25
7	-10 512,11	-1168,07	25 106,3	13 426,10	12 350,55	82 618,80
8	-10 512,11	-1168,07	24 375	12 694,85	11 539,40	94 158,20
9	-10 512,11	-1168,07	23 665,1	11 984,90	10 764,89	104 923,09
10	-10 512,11	-1168,07	22 975,8	11 295,62	10 025,48	114 948,57
11		-1168,07	22 306,6	21 138,53	18 539,12	133 487,69
12		-1168,07	21 656,9	20 488,82	17 756,23	151 243,92

² A taxa de juro considerada para o empréstimo foi de 2,2%, mediante informação do Banco de Portugal, 2021, para empresas com empréstimos abaixo de 1 milhão de euros.

13	-1168,07	21 026,1	19 858,04	17 005,51	168 249,43
14	-1168,07	20 413,7	19 245, 63	16 285,64	184 535,08
15	-1168,07	19 819,1	18 651, 05	15 595,37	200 130,45
16	-1168,07	19 241,9	18 073,80	14 933,49	215 063,93
17	-1168,07	18 681,4	17 513,36	14 298,84	229 362,77
18	-1168,07	18 137,3	16 969, 24	13 690,30	243 053,07
19	-1168,07	17 609	16 440,97	13 106,83	256 159,90
20	-1168,07	17 096,1	15 928,08	12 547,38	268 707,28

Nesta Tabela 9.3 é possível observar o custo do ciclo de vida do sistema fotovoltaico, excluindo o cálculo dos juros e amortização que se encontram apresentados abaixo na Tabela 9.4.

A manutenção, como já referido acima, foi considerada com uma taxa de 1,25% a cada ano, excluindo o ano 1, cujo valor de manutenção é mais baixo que os restantes anos. O valor da manutenção foi considerado constante ao longo dos anos (esta manutenção inclui limpeza e verificação da qualidade e bom funcionamento dos equipamentos. Seria alterado caso o sistema necessitasse de substituição de algum componente).

A poupança refere-se à já referida acima poupança no gasto com eletricidade.

As poupanças + despesas refere-se à soma de gastos e benefícios do sistema ao longo de cada ano (neste caso é considerada como despesa a prestação anual e a manutenção, e como benefício a poupança com a eletricidade). Denote-se que no 10º ano o pagamento do empréstimo foi concluído, portanto, a partir desse ano o valor da poupança sobe acentuadamente, decrescendo ligeiramente nos anos seguintes devido à degradação do sistema.

O VP Anual (valor presente anual) refere-se à contabilização do empréstimo ao longo dos 20 anos, mediante uma taxa de desconto constante de 1,2%.

O Fluxo de Caixa refere-se ao fluxo de dinheiro que passa na contabilidade do sistema fotovoltaico, ou seja, os ganhos e perdas, ao longo do período de tempo estipulado (20 anos).

O Ano 0 do Fluxo de Caixa é relativo à entrada dada pelo cliente na compra do sistema (20% do valor total). Pode observar-se que o valor do fluxo de caixa no Ano 1 é negativo. No entanto, o crescimento nos anos que se seguem é linear (Figura 9.2)

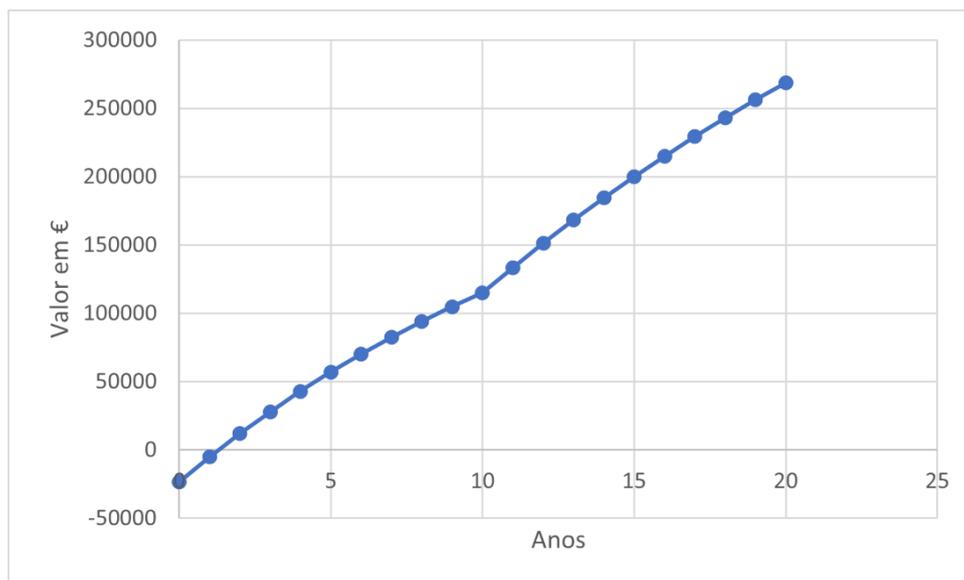


Figura 9.2 - Fluxo de Caixa do Sistema Fotovoltaico

Tendo em conta que o valor total de investimento inicial foi de aproximadamente 117 000 €, foi possível ao cliente recuperar esse investimento entre o 11º e o 13º ano de utilização do sistema fotovoltaico.

O cálculo dos juros e da amortização encontram-se então apresentados na Tabela 9.4.

Tabela 9.4 - Cálculo dos juros e amortização do empréstimo para o sistema FV

Ano	Juros (€)	Amortização (€)	Valor em Dívida (€)
0			93 445,4
1	2055,80	8456,31	84 989,07
2	1869,76	8642,35	76 346,72
3	1679,63	8832,48	67 514,25
4	1485,31	9026,79	58 487,45
5	1286,72	9225,38	49 262,07
6	1083,77	9428,34	39 833,73
7	876,34	9635,76	30 197,97
8	664,36	9847,75	20 350,22
9	447,70	10 064,40	10 285,82
10	226,29	10 285,82	0,0

Como referido anteriormente o empréstimo foi concebido para ser pago no prazo de 10 anos. O Ano 0 do valor em dívida refere-se ao valor total do empréstimo.

Em suma, pode afirmar-se que o sistema fotovoltaico alvo de estudo é um sistema rentável, pois apresenta um fluxo de caixa positivo e crescente ao longo dos 20 anos de vida útil.

Denote-se que o tempo de vida útil foi considerado tendo em conta a garantia dos equipamentos e que possivelmente, em situações reais, os equipamentos terão uma vida útil superior, principalmente com o avanço das tecnologias no ramo da energia solar fotovoltaica.

Todas as tabelas de cálculo utilizadas na presente dissertação podem ser consultadas de forma mais pormenorizada no Anexo C.

Capítulo 10

10. Considerações Finais

O despertar para uma consciencialização ambiental e o surgimento de fortes incentivos políticos que promovem o investimento em meios de geração de energia a partir de fontes renováveis, têm impulsionado entidades públicas e privadas a aderirem à transição energética. Também os avanços tecnológicos registados nesta área, principalmente no ramo da energia solar fotovoltaica, tem permitido a extensão destes sistemas aos locais mais remotos, permitindo o acesso à eletricidade a uma grande parte da população que antes dela não usufruía.

No entanto, a eficiência dos sistemas fotovoltaicos não depende única e exclusivamente dos geradores de energia, mas sim de todos os outros constituintes (inversores, datalogger, cablagens), bem como das condições climáticas (temperatura, irradiância, existência de sombra). É necessário um estudo metuculoso de todas estas variáveis de modo a ser possível dimensionar um sistema eficiente e financeiramente viável.

Após o estudo que levou a cabo a elaboração da presente dissertação, é possível afirmar que foi elaborado um projeto funcional, eficiente e rentável para o cliente e perceber quais as opções que melhor se adequavam às necessidades deste.

A rentabilidade do sistema foi melhor evidenciada após o 10º ano de utilização (quando o cliente acabou de pagar o empréstimo), mas mesmo durante os primeiros 10 anos, a comparação entre

o gasto com eletricidade sem o grupo FV vs. com o grupo FV revelou uma evolução progressiva da poupança.

Como já foi referido anteriormente, o ciclo de vida útil do sistema foi analisado para 20 anos de utilização, mas é provável que os componentes se prolonguem por mais alguns anos.

No caso de o cliente pretender expandir a sua empresa, em que as suas necessidades energéticas aumentem, é recomendado que seja realizado um novo estudo do sistema que melhor se adequa às novas exigências resultantes da expansão.

10.1. Perspectivas Futuras

Um dos principais desafios que o ramo da energia solar fotovoltaica enfrenta é talvez relacionado com a eficiência dos painéis solares. É certo que ao longo dos últimos anos, os avanços tecnológicos têm tornado os geradores solares cada vez mais eficientes, fáceis de transportar e de instalar, no entanto, atualmente a maior eficiência que um painel consegue alcançar situa-se nos 33%, o que significa que muita da radiação solar incidente não é aproveitada [71].

Outro desafio está relacionado com o custo de produção das células fotovoltaicas que constituem os painéis. Segundo Passos *et. al* [72], novos estudos estão a ser realizados com vista a alcançar componentes alternativos para as células fotovoltaicas que baixem o preço de produção das mesmas. Um exemplo de um novo tipo de células são as BPV (dispositivo fotovoltaico biológico), que são constituídos por organismos fotossintéticos que captam a luz solar. Nestas células, os eletrões presentes na água são extraídos pelos mecanismos fotossintéticos e transportados através de membranas celulares externas [73].

Estes painéis, ou painéis biofotovoltaicos, utilizam as propriedades de organismos fotossintéticos, maioritariamente algas e microalgas, para a conversão de luz solar em energia elétrica [74,75].

Apesar destes tipos de painéis apresentarem mais vantagens do que desvantagens, ainda são um tema em estudo. Espera-se, no entanto, que mais obras sejam publicadas a respeito deste tema, que pode revelar-se uma solução ecológica e económica como alternativa aos painéis mais caros de silício.

Capítulo 11

11. Referências Bibliográficas

[1] Momete D. C., 2018, Analysis of the potential of clean energy deployment in the European Union. Vol. 6, pp. 54811-54822.

[2] Ludin N. A., et al., 2018, Prospects of life cycle assessment of renewable energy from solar photovoltaic technologies: A review. Renewable Sustainable Energies Review. Vol. 96, pp. 11-28.

[3] Conselho Europeu, 2021, disponível no site <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/paris-agreement/> - consultado em 5 de dezembro de 2021

[4] Energias Renováveis em Portugal, 2020, disponível no site <https://www.ineg.pt/Ineg-publica-o-forum-energias-renovaveis-em-portugal-2020/> - consultado em 6 de dezembro de 2021

[5] Comissão Europeia, 2015, disponível no site https://ec.europa.eu/info/index_pt - consultado em 26 de julho de 2021

[6] UNFCCC, 2015, United Nations Framework Convention on Climate Change, Adoption of the Paris Agreement – Proposal by the President, UNFCCC, Paris

[7] European Commission, 2016, 2030 Framework for climate and energy policies

[8] IRENA, 2020, Global Renewables Outlook, Energy Transformation 2050, Ed. 2020

[9] IRENA, 2020, disponível no site <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Energy-Transition/REmap-Energy-Demand-and-Supply-by-Sector> - consultado em 12 de outubro de 2021

[10] IRENA, 2020, disponível no site <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Finance-and-Investment/Investment-Trends> - consultado em 23 de julho de 2021

- [11] Xu Q., Lan P., Zhang B., Ren Z., Yan Y., 2013, Energy Sources part A: Recovery, utilization and environmental effects. *Energy Sources*. Vol. 35, pp. 848-858.
- [12] Delicado A., Figueiredo E., Silva L., 2016, Community perceptions of renewable energies in Portugal: Impacts on environment, landscape and local development. *Energy Research and Social Science* Nr. 13, pp. 84-93.
- [13] Junqueira L., Delicado A., Truninger M., 2013, Energias Renováveis e desenvolvimento local: a central fotovoltaica da Amareleja. In: Carvalho M. L. S., et al, (Orgs.) *Atas do ESADR 2013*, Universidade de Évora, pp. 1259-1275.
- [14] Marín C. E., 2010, Los nuevos paisajes de la energía solar: las centrales termosolares, *Nimbus* pp. 25-26 e pp. 65-91.
- [15] Velasco M. J. P., 2010, Energias renovables o agricultura? Un análisis de la percepción ciudadana sobre los huertis y latifundios solares en Andalucía. *Nimbus* pp. 25-26 e pp. 205-229.
- [16] Warren C., et al., 2005, Green on green: public perceptions of wind power in Scotland and Ireland. *J. Environ. Pann. Manage.* 48 (6), pp. 853-875.
- [17] Nadaï A., Van Der Horst D., 2010, Wind power panning, landscapes and publics. *Land use policy* 27 (2), pp- 181-184.
- [18] Devine-Wright P., 2008, Reconsidering public acceptance of renewable energy technologies: a critical review, in: JT, M. Grubb, M. Pollitt (Eds.), *Delivering a Low Carbon Electricity System: Technologies, Economics and Policy*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-15.
- [19] Tavora F. S., Washington R. S. J., 2017, *Geografia – Epistemologia, política e meio ambiente*, Ed. Saraiva Educação S. A.
- [20] Hencleeday, Braga A. C., 2020, *Avaliação de Impacte Ambiental e Pós – Avaliação num parque eólico, com foco nos Quirópteros e Avifauna*, Universidade de Lisboa.

- [21] Freitas A. F., 2016, Aproveitamento fotovoltaico para aplicações agrícolas, Dissertação de mestrado em Engenharia eletrotécnica e de computadores, UTAD
- [22] Hansen, K.; Vad Mathiesen, B. Comprehensive assessment of the role and potential for solar thermal in future energy systems. *Sol. Energy* 2018, 169, 144–152.
- [23] Kilinc-Ata, N. The evaluation of renewable energy policies across EU countries and US states: An econometric approach. *Energy Sustain. Dev.* 2016, 31, 83–90
- [24] Jiaru, H.; Xiangzhao, F. An evaluation of China's carbon emission reduction policies on urban transport system. *J. Sustain. Dev. Law Policy* 2016, 6, 31.
- [25] Dienstmann G., 2009, Energia solar, uma comparação de tecnologias, Departamento de engenharia elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 15.
- [26] Pinto C., 2015, Energia Solar: Projeto FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, p. 8.
- [27] International Energy Agency, 2012, 2DS-hiRen Scenario, Energy Technology Perspectives
- [28] Arif M. S., 2013, Residential solar panels and their impact on the reduction of carbon emissions, reduction of carbon emissions using residential solar panels, disponível no site https://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2013final/ArifM_2013.pdf - consultado em 25 de julho de 2021
- [29] Silva R. M., 2015, Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios, Núcleo de estudos e pesquisas, disponível em www.senado.leg.br/estudos - consultado em 22 de julho de 2021
- [30] Weiss M., 2019, Xequê – mate no mercado de energia solar mundial, disponível em <https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/xequê-mate-no-mercado-de-energia-solar-mundial/> - consultado em 22 de julho de 2021

- [31] IRENA, 2019m disponível no site <https://www.irena.org/solar> - consultado em 10 de agosto de 2021
- [32] Carneiro J., Passos M., 2020, Sistemas Fotovoltaicos – Fundamentos sobre Dimensionamento, Ed. Engebook, pp.34-55
- [33] National Geograpfic, 2018, disponível no site <https://www.natgeo.pt/ciencia/2018/05/o-sol-factos-e-curiosidades> - consultado em 7 de dezembro de 2021
- [34] Shittu S., Li G., Zhao X., Ma X., 2018, Series of detail comparison and optimization of thermoelectric element geometry considering the PV effect, Renewable Energy Nr. 130, pp. 930-942, 2019, Ed. Elsevier
- [35] Duffie J. A., Beckman A. W., 1991, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [36] Hertz H., 1889, Ueber strahlen electricer kraft, *Ann. Phys.* **272** pp. 769–83
- [37] Born M., Wolf E., 2013, *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light* (Cambridge: Cambridge University Press)
- [38] Einstein A., 1965, Einstein's proposal of the photon concept—a translation of the annalen der physik paper of 1905 *Am. J. Phys.* **33** pp. 1–16
- [39] Klassen S 2011 The Photoelectric effect: reconstructing the story for the physics classroom *Sci. Educ.* **20** 719–31
- [40] Luque A., Hegedus S., 2003, Handbook of Photovoltaic Science and Southern Gate, Chischester, England, John Wiley and Sons, p.12
- [41] Becquerel E., 1839, Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires, C. R. Acad. Sci, Paris, 9, p. 561

[42] Fontes R., 2020, Efeito fotoelétrico e efeito fotovoltaico, BlueSol – Energia solar, disponível no site <https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/> - consultado em 4 de agosto de 2021

[43] Universidade Federal de Uberlândia, Materiais Semicondutores, Faculdade de Engenharia Elétrica, Ciência e Tecnologia dos Materiais, pp. 73-95

[44] Pina J. A. M., 2013, Otimização de Células Fotovoltaicas, Dissertação de mestrado em Engenharia Microeletrônica e Nanotecnologias, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa

[45] Energia solar fotovoltaica: Desenvolvimento de aplicações, disponível no site https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Estrutura-de-uma-celula-fotovoltaica-2_fig1_335629510 - consultado em 26 de agosto de 2021

[46] Kaminski A., et al., 1998, Series Resistance Modeling, Characterization and Optimization, 2nd World Conference and exhibition on photovoltaic solar energy conversion, Vienna, pp.1332-1335

[47] Singer S., Rozenshtein B., Surazi S., 1984, “Characterization of PV Array Output Using a Small Number of Measured Parameters, Solar Energy, Vol. 32, n^o5, pp.603-607

[48] Bülher A., J., 2011, Estudo de técnicas de determinação experimental e pós-processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos, Tese de doutoramento em Engenharia Mecânica, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre

[49] Carneiro J., 2010, Módulos Fotovoltaicos – Características e Associações, p. 3

[50] Engehall – Energias Renováveis, 2018, disponível no site <https://engehallrenovaveis.com.br/artigos/painel-solar-fotovoltaico> - consultado em 27 de agosto de 2021

[51] BlueSol – Energia Solar, 2019, disponível no site <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/> - consultado em 27 de agosto de 2021

- [52] Célula Fotovoltaica, 2020, disponível no site <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/> - consultado em 27 de agosto de 2021
- [53] Piccoli L., 2015, Desenvolvimento de metodologia e bancada para ensaio de exposição solar prolongada de módulos fotovoltaicos de filmes finos, Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, Porto Alegre
- [54] Freitas S., 2008, Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos, Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, Bragança
- [55] Estrutura de Potência, 2020, disponível no site <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/> - consultado em 31 de agosto de 2021
- [56] Kasper M., Bortis D., Kolar J. W., 2014, Classification and comparative evaluation of PV panel-integrated DC-DC converter concepts, IEEE Trans. Power Electron., Vol. 29, nº5, pp. 2511-2526
- [57] Energias Madeira, 2018, disponível no site https://energiasmadeira.pt/como-funciona/#o_sistema - consultado em 9 de setembro de 2021
- [58] Castro R., 2011, Uma Introdução às Energias Renováveis, IST Press, 1ª Ed.
- [59] Moreira P. F. A., 2017, Monitorização de Parques Solares Fotovoltaicos, Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [60] Pereira F. A., Oliveira M. A., 2015, Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica, Ed. Técnicas, Porto.
- [61] NeoSolar, 2021, retirado do site <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes> - consultado em 18 de outubro de 2021
- [62] Souza R. D., 2016, Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil

[63] Diário da República, 2014, Decreto – Lei nº153/2014, disponível em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/153-2014-58406974>

[64] Diário da República, 2019, Decreto – Lei nº162/2019, disponível em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/162-2019-125692189>

[65] Diário da República, 2006, Decreto – Lei nº172/2006, disponível em <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/172-2006-540627>

[66] Comissão Europeia, 2021, PVGIS, disponível no site https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP – consultado em 3 de julho de 2021

[67] Roriz L., Rosendo J., Lourenço F., Calhau K., 2010, Energia solar em edifícios, Alfragide, Ed. Orion

[68] Bandeira, R. H., 2018, Método de dimensionamento de sistemas autónomos fotovoltaicos de iluminação pública baseado na análise da dinâmica diária de geração e consumo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica

[69] <https://www.eletronios.pt/product/estrutura-para-paineis-solares-30o-inclinacao-63300>

[70] <https://www.portalsolar.com.br/guia-rapido-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar-fotovoltaico.html>

[71] Kabir E., Kumar P., Kumar S., Adelodun A. A., Kim K., 2018, Solar Energy: Potential and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 82 pp. 894-900.

[72] Passos C. T. S., Leite L. A., Gomes V. A. P., Freitas R. R., 2020, Use of microalgae as a biofilm for bio photovoltaic panels: a bibliometric analysis, Brazilian Journal of Production Engineering, ISSN: 2447-5580

[73] Laohavisit A., Anderson A., Bombelli P., Jacobs M., Howe C. J., Davies J. M., Smith A. G., 2015, Enhancing the plasma membrane NADPH oxidase activity – Increases in current output by diatoms biophotovoltaic devices, *Algal Research*, 12, pp. 91-98

[74] Saar K. L., Bombelli P., Lea Smith D. J., Call T., Aro M. S., Muller T., Howe C. J., Knowles T. P. J., 2018, Enhancing power density of biophotovoltaics by decoupling storage and power delivery, *Nature Energy*, 3, pp. 75-81

[75] Baumgart B., 2018, Estudo do estado de arte da utilização de algas e microalgas para a geração de energia biofotovoltaica, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologias de Santa Catarina, Florianópolis

ANEXO A

FICHAS TÉCNICAS DOS COMPONENTES DO SISTEMA



SunPower® E-Series Commercial Solar Panels | E20-327-COM

More than 20% Efficiency

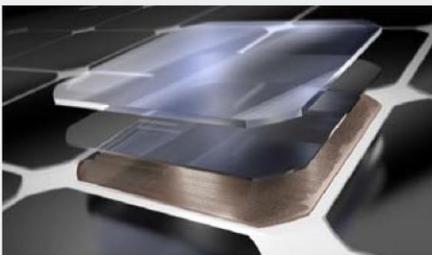
Captures more sunlight and generates more power than conventional panels.

High Performance

Delivers excellent performance in real-world conditions, such as high temperatures, clouds and low light.^{1,2,4}

Commercial Grade

Optimized to maximize returns and energy production, the E-Series panel is a bankable solution for commercial solar applications.



Maxeon® Solar Cells: Fundamentally better
Engineered for performance, designed for reliability.

Engineered for Peace of Mind

Designed to deliver consistent, trouble-free energy over a very long lifetime.^{3,4}

Designed for Reliability

The SunPower Maxeon Solar Cell is the only cell built on a solid copper foundation. Virtually impervious to the corrosion and cracking that degrade conventional panels.³

#1 Rank in Fraunhofer durability test.⁹
100% power maintained in Atlas 25+ comprehensive durability test.¹⁰

High Performance & Excellent Reliability



SPR-E20-327-COM



High Efficiency⁵

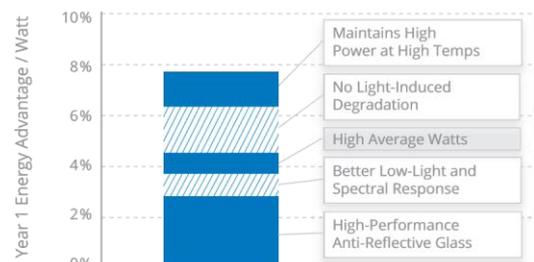
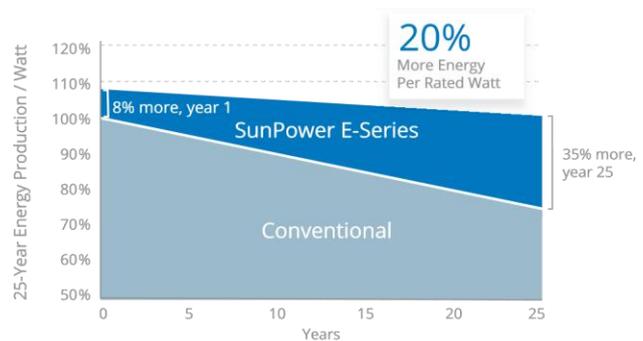
Generate more energy per square foot

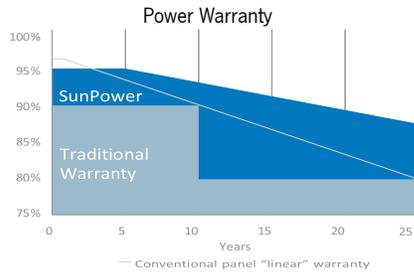
E-Series commercial panels convert more sunlight to electricity by producing 31% more power per panel¹ and 60% more energy per square foot over 25 years.^{1,2,3}

High Energy Production⁶

Produce more energy per rated watt

More energy to power your operations. High year-one performance delivers 7–9% more energy per rated watt.² This advantage increases over time, producing 20% more energy over the first 25 years to meet your needs.³





More guaranteed power: 95% for first 5 years,
 -0.4%/yr. to year 25⁷

Electrical Data		
	SPR-E20-327-COM	SPRE19-310-COM
Nominal Power (P _{nom}) ¹¹	327 W	310 W
Power Tolerance	+5/-3%	+5/-3%
Avg. Panel Efficiency ¹²	20.3%	19.3%
Rated Voltage (V _{mpp})	54.7 V	54.7 V
Rated Current (I _{mpp})	5.98 A	5.67 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	64.9 V	64.4 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.46 A	6.05 A
Max. System Voltage	1000 V UL & 1000 V IEC	
Maximum Series Fuse	15 A	
Power Temp Coef.	-0.38% / °C	
Voltage Temp Coef.	-176.6 mV / °C	
Current Temp Coef.	3.5 mA / °C	

REFERENCES:

- 1 All comparisons are SPR-E20-327 vs. a representative conventional panel: 250 W, approx. 1.6 m², 15.3% efficiency.
- 2 SunPower 0.25%/yr degradation vs. 1.0%/yr conv. panel. Campeau, Z. et al. "SunPower Module Typically 7-9% more energy per watt, BEW/DNV Engineering "SunPower Yield Report," Jan 2013.
- 3 Degradation Rate," SunPower white paper, Feb 2013; Jordan, Dirk "SunPower Test Report," NREL,

Q1-2015. 4 "SunPower Module 40-Year Useful Life" SunPower white paper, May 2015. Useful life is 99 out of 100 panels operating at more than 70% of rated power.

5 Survey, Feb 2014. Second highest, after SunPower X-Series, of over 3,200 silicon solar panels, Photon Module

6 8% more energy than the average of the top 10 panel companies tested in 2012 (151 panels, 102 companies), Photon International, Feb 2013.

7 Compared with the top 15 manufacturers. SunPower Warranty Review, May 2015.

8 Some restrictions and exclusions may apply. See warranty for details.

9 5 of top 8 panel manufacturers tested in 2013 report, 3 additional panels in 2014. Ferrara, C., et

al. "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 2". Photovoltaics International, 2014.

10 Compared with the non-stress-tested control panel. Atlas 25+ Durability test report, Feb 2013.

11 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard:

SOMS current, LACCS FF and Voltage.

12 Based on average of measured power values during production.

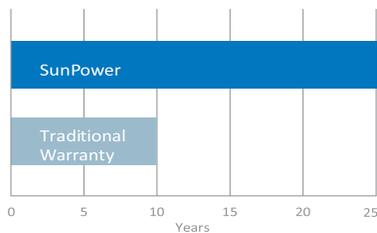
13 Type 2 fire rating per UL1703:2013, Class C fire rating per UL1703:2002.

14 See salesperson for details.

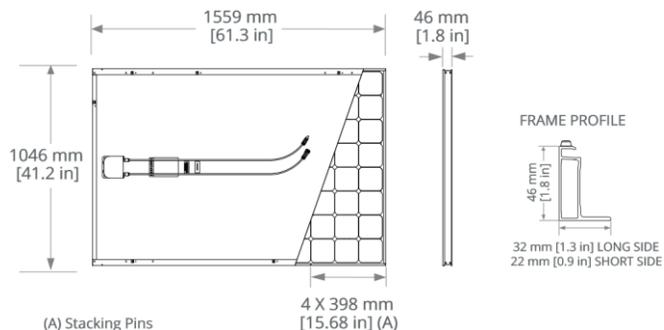


SunPower[®] E-Series Commercial Solar Panels | E20-327-COM

Product Warranty



Combined Power and Product defect 25-year coverage that includes panel replacement costs *



Tests And Certifications	
Standard Tests ¹⁾	UL1703 (Type 2 Fire Rating), IEC 61215, IEC 61730
Quality Certs	ISO 9001:2008, ISO 14001:2004
EHS Compliance	RoHS, OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163, PV Cycle
Sustainability	Cradle to Cradle (eligible for LEED points) ¹⁴
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	Potential-Induced Degradation free: 1000 V ¹⁾
Available Listings	UL, TUV, JET, MCS, CSA, FSEC, CEC
Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° F to +185° F (-40° C to +85° C)
Impact Resistance	1 inch (25 mm) diameter hail at 52 mph (23 m/s)
Appearance	Class B
Solar Cells	96 Monocrystalline Moxeon Gen II
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, MC4 compatible
Weight	41 lbs (18.6 kg)
Max. Load	Wind: 50 psf, 2400 Pa, 244 kg/m ² front & back
	Snow: 112 psf, 5400 Pa, 550 kg/m ² front
Frame	Class 2 silver anodized; stacking pins

Please read the safety and installation guide.

SUN2000-100KTL-M1

Inversor string inteligente



10
MPPTs



98.8% (@480V)
Max. Eficiência



Gerenciamento no
nível de String

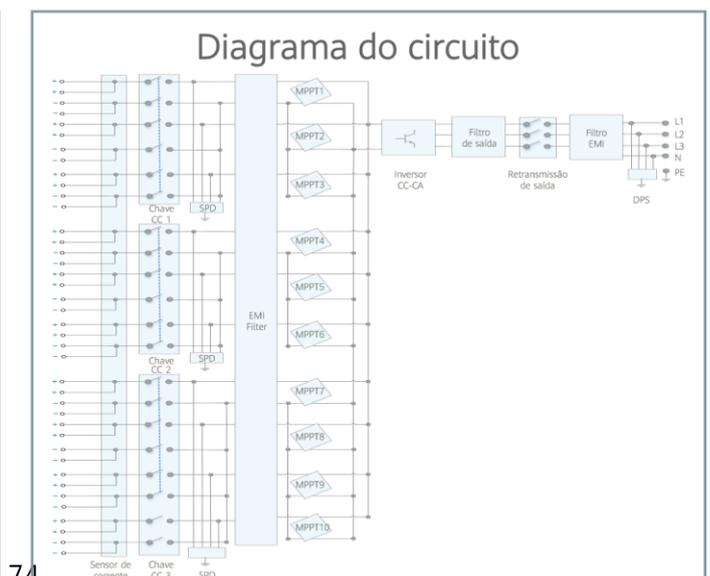
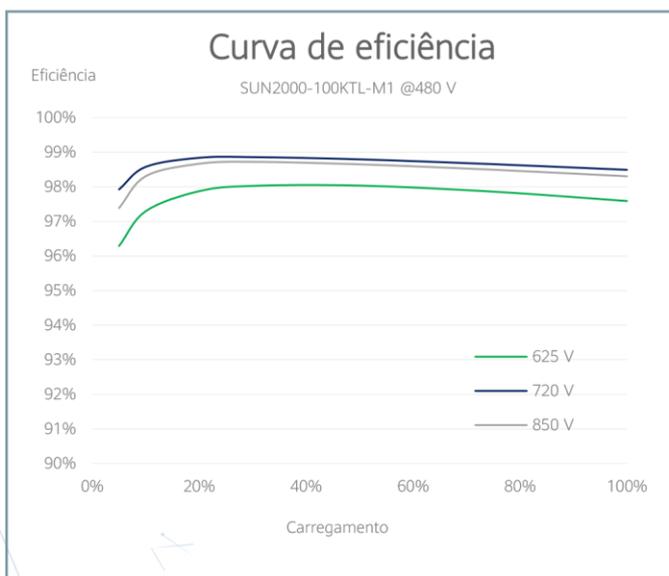


Suporte para
Diagnóstico

Inteligente

MBUS

IP66



de Curva I-VSUN2000-100KTL-M1 Especificações Técnicas

Eficiência	
Eficiência máxima	98.8% @480 V, 98.6% @380 V / 400 V
Eficiência europeia	98.6% @480 V, 98.4% @380 V / 400 V
Entrada	
Tensão máxima de entrada	1,100 V
Corrente máx. por MPPT	26 A
Corrente de curto-circuito máx. por MPPT	40 A
Tensão de início	200 V
Faixa de tensão operacional do MPPT	200 V ~ 1,000 V
Tensão nominal de entrada	720 V @480 Vac, 600 V @400 Vac, 570 V @380 Vac
Número de entradas	20
Número de MPP Trackers	10
Saída	
Potência ativa nominal (CA)	100,000 W
Potência aparente máxima (CA)	110,000 VA
Potência ativa CA máxima (cosφ=1)	110,000 W
Tensão nominal de saída	480 V/ 400 V/ 380 V, 3F+(N)+PE
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente nominal de saída	120.3 A @480 V, 144.4 A @400 V, 152.0 A @380 V
Corrente de saída máxima	133.7 A @480 V, 160.4 A @400 V, 168.8 A @380 V
Faixa de ajuste do Fator de potência	0.8 LG ... 0.8 LD
Distorção harmônica total máxima	< 3%
Proteção	
Dispositivo de desconexão lateral de entrada	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra sobrecorrente CA	Sim
Proteção de polaridade CC reversa	Sim
Monitoramento de falha de string de matriz FV	Sim
Proteção CC contra surtos ¹	Sim
Proteção CA contra surtos ¹	Sim
Deteção de resistência de isolamento CC	Sim
Unidade de monitoramento de corrente residual	Sim
Recuperação de PID integrada	Opcional
Proteção contra arco elétrico (AFCI)	Opcional
Comunicação	
Visor	Indicadores de LED, WLAN + APP
USB	Sim
RS485	Sim
MBUS	Sim (transformador de isolamento necessário)
Geral	
Dimensões (L x A x P)	1,035 x 700 x 365 mm (40.7 x 27.6 x 14.4 inch)
Peso (com placa de montagem)	90 kg (198.4 lb.)
Intervalo de temperatura operacional	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Método de resfriamento	Resfriamento Inteligente por ar
Altitude máx. de operação	4,000 m (13,123 ft.)
Umidade relativa	0 ~ 100%
Conector CC	Staubli MC4
Conector CA	Conector PG Impermeável + Terminal OT/DT
Grau de proteção	IP66
Topologia	Sem transformador
Conformidade com padrões (Outros disponíveis conforme solicitação)	
Certificações	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683

75

¹ - Classe de proteção compatível tipo II de acordo com IEC / EN 61643-11.

SmartLogger3000A



Device Management	
Max. Number of Connected Devices	80
Communication Interface	
WAN	WAN x 1, 10 / 100 / 1000 Mbps
LAN	LAN x 1, 10 / 100 / 1000 Mbps
RS485	COM x 3, 1200 / 2400 / 4800 / 9600 / 19200 / 115200 bps, 1000 m
MBUS	MBUS x 1, 115.2 kbps, Compatible with PLC
2G / 3G / 4G ¹	LTE(FDD) : B1,B2,B3,B4,B5,B7,B8,B20 DC-HSPA+/HSPA+/HSPA/UMTS : 850/900/1900/2100 MHz GSM/GPRS/EDGE: 850/900/1800/1900 MHz ²
Digital / Analog Input / Output	DI x 4, DO x 2, AI x 4
Active DO	12V, 100mA (connection with relay, sensor)
Communication Protocol	
Ethernet	Modbus-TCP, IEC 60870-5-104
RS485	Modbus-RTU, IEC 60870-5-103 (standard), DL / T645
Interaction	
LED	LED Indicator x 3 – RUN, ALM, 4G
WEB	Embedded Web
USB	USB 2.0 x 1
APP	Communication by WLAN for Commissioning
Environment	
Operating Temperature Range	-40°C ~ 60°C (-40°F ~ 140°F)
Storage Temperature	-40°C ~ 70°C (-40°F ~ 158°F)
Relative Humidity (Non-condensing)	5% ~ 95%
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Electrical	
AC Power Supply	100 V ~ 240 V, 50 Hz / 60 Hz
DC Power Supply	12 V / 24 V
Power Consumption	Typical 8 W, Max. 15 W
Mechanical	
Dimensions (W x H x D)	225 x 160 x 44 mm (8.9 x 6.3 x 1.7 inch, without mounting ears and antenna)
Weight	2 kg (4.4 lb.)
Protection Degree	IP20
Installation Options	76 Wall Mounting, DIN Rail Mounting, Tabletop Mounting

¹: When putting inside metal box, extended antenna will be needed.

²: For recommended carriers list and details on supported frequencies, please contact local distributors.

ANEXO B

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO PVSYST

Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação

Projeto : Novo Projeto

Localização geográfica: Felgueiras País Portugal
Localização: Latitude 41.34° N Longitude -8.27° W
 Tempo definido como Tempo legal Fuso horário TU Altitude 505 m
 Albedo 0.20
Dados meteorológicos: Felgueiras Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=100% - Sintético

Variante da simulação : Nova variante da simulação

Data da simulação 26/11/21 10h39

Parâmetros da simulação Tipo de sistema No 3D scene defined, no shadings
Orientação do plano dos módulos Inclinação 36° Azimute -4°
Modelos utilizados Transposição Perez Difuso Perez, Meteonorm
Horizonte Sem horizonte
Sombras próximas Sem sombras
Exigências do consumidor : valores mensais

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano	
83.0	82.0	50.0	47.0	41.0	44.0	39.0	31.0	44.0	57.0	69.0	73.0	642	MWh/mth

Características do grupo FV

Módulo FV Si-mono Modelo SIPR-E19-310-COM
 Original PVSyst database Fabricante SunPower
Número de módulos FV Em série 13 módulos Em paralelo 32 strings
Número total de módulos FV Nr. módulos 416 Potência unitária 310 Wp
Potência global do grupo Nominal (STC) 129 kWp Em condições de func. 117 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C) Umpp 632 V I mpp 185 A
Superfície total Superfície módulos 678 m² Superfície célula 612 m²

Inversor Modelo SUN2000-100KTL-M1-480Vac
 Original PVSyst database Fabricante Huawei Technologies
Características Tensão de funcionamento 200-1000 V Potência unitária 100 kWac
 Potência máx. (=>40°C) 110 kWac

Bateria de inversores N.º de inversores 1 unidades Potência total 100 kWac
 Rácio Prom 1.29

Fatores de perda do grupo FV

Fator de perdas térm. U_c (const.) 20.0 W/m²K U_v (vento) 0.0 W/m²K / m/s
Perdas óhmicas nos cabos Res. global do grupo 57 mΩhm Fração perdas 1.5 % em STC
Perdas de qualidade dos módulos Fração perdas 1.0 %
Perdas de módulos com mismatch Fração perdas 1.0 % no MPP
Perdas de strings com mismatch Fração perdas 0.10 %
Efeito de incidência (IAM): Perfil personalizado

0°	50°	60°	65°	70°	75°	82°	88°	90°
1.000	1.000	0.990	0.970	0.940	0.890	0.770	0.620	0.000

Sistema acoplado à rede: Resultados principais

Projeto : **Novo Projeto**

Variante da simulação : **Nova variante da simulação**

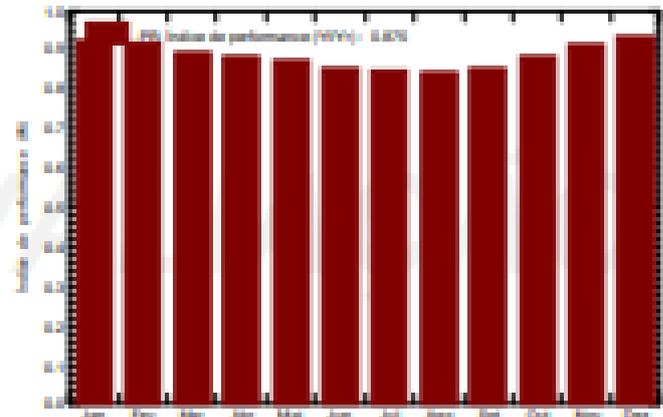
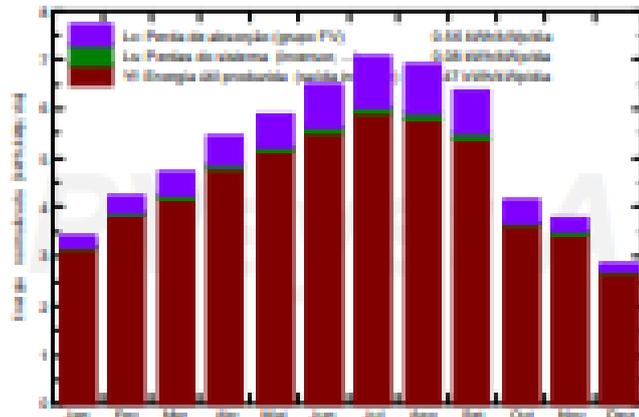
Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings		
Orientação do plano dos módulos	inclinação	36°	azimute	-4°
Módulos FV	Modelo	SPR-E19-310-COM	Pnom	310 Wp
Grupo FV	Número de módulos	416	Pnom total	129 kWp
Inversor	Modelo	SUN2000-100KTL-M1-480Vac		100 kW ac
Exigências do consumidor	valores mensais		Global	642 MWh/ano

Resultados principais da simulação

Produção do sistema	Energia produzida	210.2 MWh/ano	Prod. específica	1630 kWh/kWp/ano
	Índice de performance (PR)	87.49 %	Fração solar	26.57 %

Produções normalizadas (por MWp instalado): Potência nominal 129 kWp

Índice de performance (PR)



Nova variante da simulação Balances e resultados principais

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EfrGrid MWh
Janeiro	59.5	22.63	5.91	106.2	105.6	12.86	85.00	12.65	0.000	72.35
Fevereiro	78.2	32.71	7.50	117.7	116.9	14.12	62.00	13.60	0.295	48.40
Março	115.5	51.19	10.20	145.4	144.0	17.05	50.00	14.15	2.607	35.85
Abril	151.9	55.89	11.19	163.5	161.6	18.89	47.00	14.93	3.636	32.07
Mai	189.6	79.51	14.75	182.9	180.5	20.97	41.00	15.75	4.844	25.25
Junho	211.8	66.56	18.95	194.0	191.4	21.77	44.00	16.84	4.504	27.16
Julho	230.8	66.05	20.32	218.1	215.4	24.22	39.00	16.42	7.311	22.58
Agosto	204.0	58.57	20.92	213.6	211.2	23.60	31.00	13.23	9.885	17.77
Setembro	154.9	45.47	18.26	191.2	189.4	21.35	44.00	15.97	4.970	28.03
Outubro	92.6	38.12	13.93	128.1	127.0	14.83	57.00	13.13	1.432	43.87
Novembro	68.2	28.12	8.77	113.9	113.1	13.61	69.00	13.22	0.170	55.78
Dezembro	49.7	24.38	6.30	88.8	88.2	10.86	73.00	10.69	0.008	62.31
Ano	1606.8	569.19	13.12	1863.4	1844.2	214.14	642.00	170.58	39.663	471.42

Legenda:	GlobHor	Irradiação global horizontal	GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras
	DiffHor	Irradiação difusa horizontal	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
	T_Amb	T amb.	E_User	Energia fornecida ao consumidor
	GlobInc	Incidência global no plano dos sensores	E_Solar	Energy from the sun
			E_Grid	Energia injetada na rede
			EfrGrid	Energy from the grid

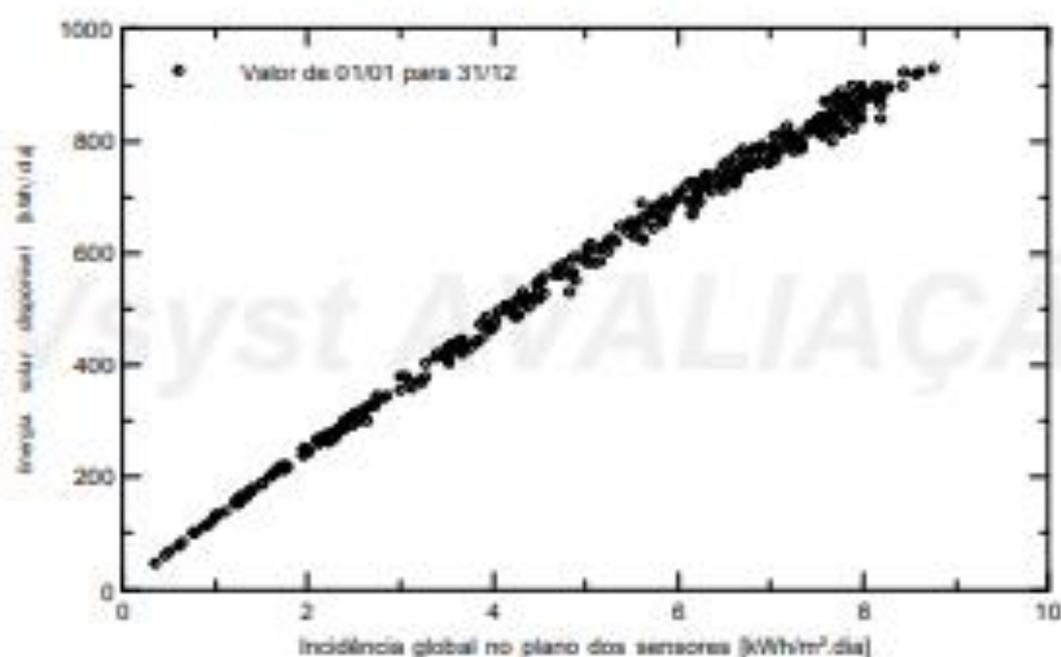
Sistema acoplado à rede: Gráficos especiais

Projeto : Novo Projeto

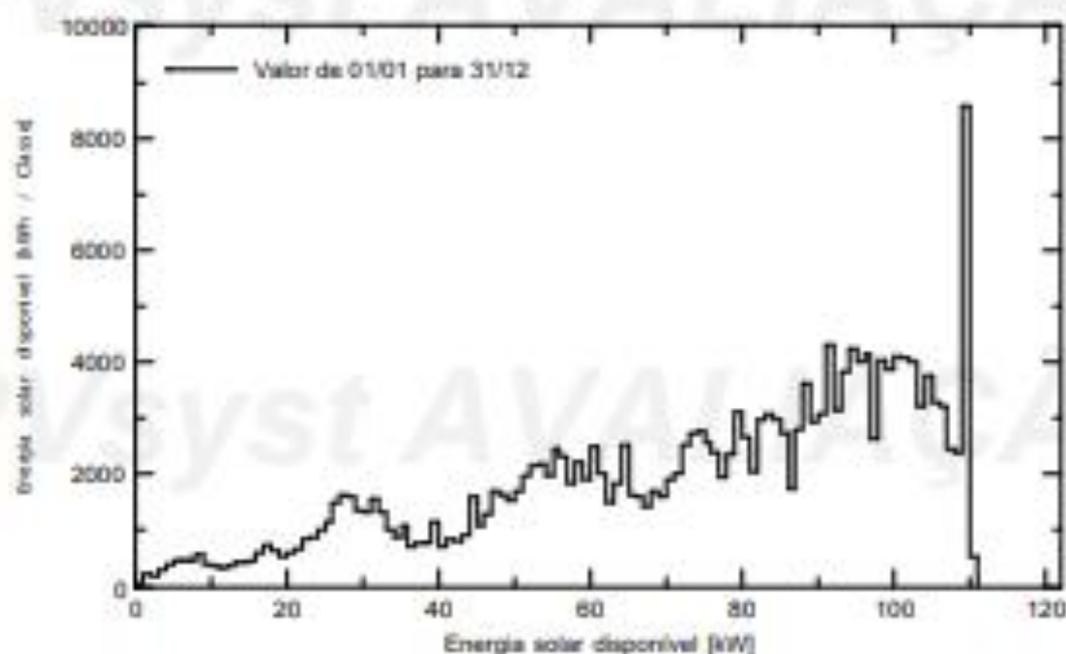
Variante da simulação : Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	36°	azimute -4°
Módulos FV	Modelo	SPR-E19-310-COM	Pnom 310 Wp
Grupo FV	Número de módulos	416	Pnom total 129 kWp
Inversor	Modelo	SUN2000-100KTL-M1-480Vac	100 kW ac
Exigências do consumidor	valores mensais		Global 642 MWh/ano

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema

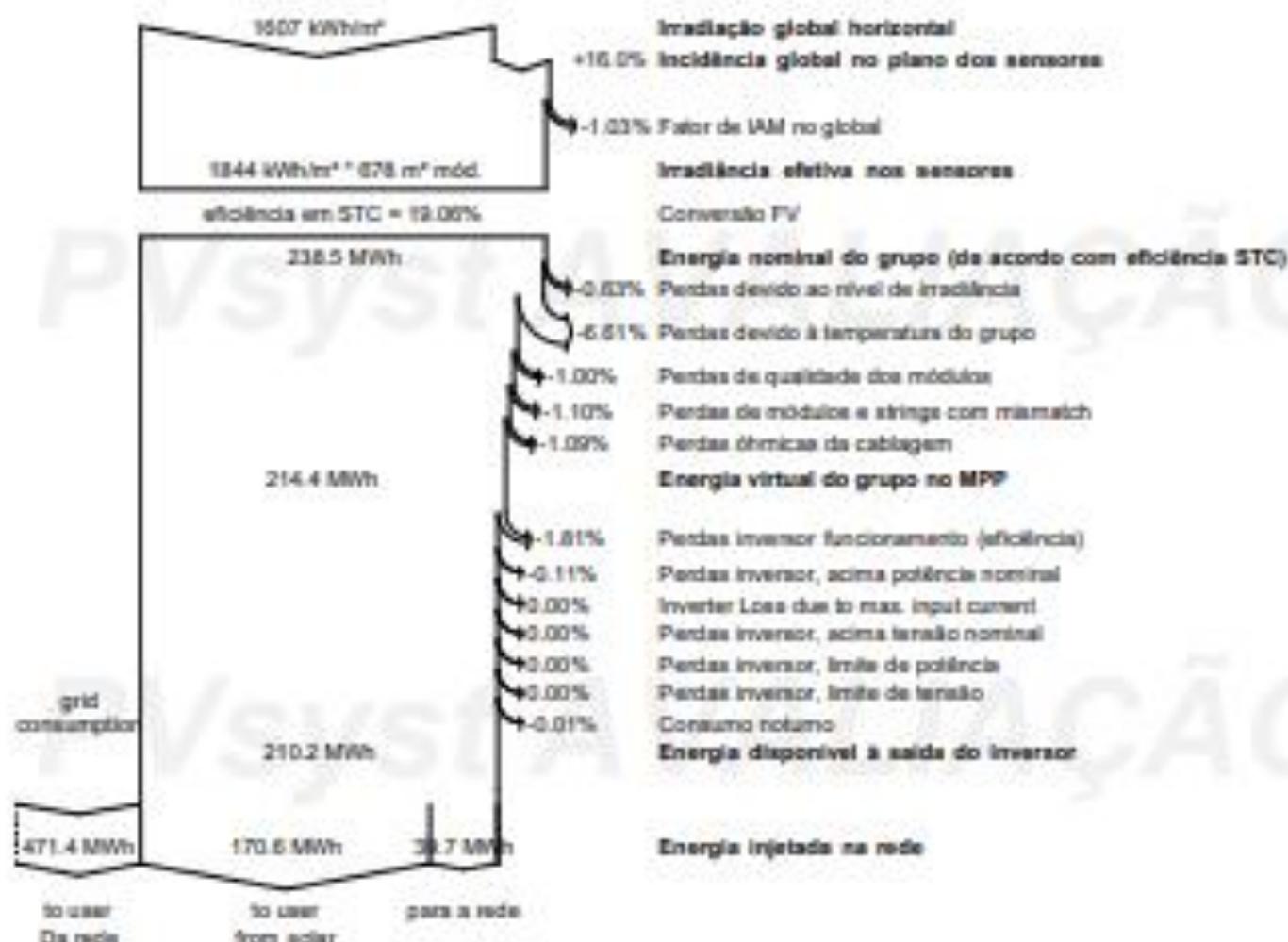


Sistema acoplado à rede: Diagrama de perdas

Projeto : **Novo Projeto**Variante da simulação : **Nova variante da simulação**

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings		
Orientação do plano dos módulos	Inclinação	35°	azimute	-4°
Módulos FV	Modelo	SPR-E19-310-COM	Pnom	310 Wp
Grupo FV	Número de módulos	416	Pnom total	129 kWp
Inversor	Modelo	SUN2000-100KTL-M1-480Vac		100 kW ac
Exigências do consumidor	valores mensais		Global	642 MWh/ano

Diagrama das perdas do ano inteiro



ANEXO C

EXCEL TABELAS ANÁLISE FINANCEIRA

Equipamentos e Instalação

Equipamento	Preço/uni.	Preço total
416 painéis	200	83200
1 inversor	5625	5625
1 datalogger	590,4	590,4
400 m cabo 4 mm	190	760
25 m cabo 4 mm	55	55
41 estruturas de 10	487,88	20003,08
1 estrutura de 6	325,24	325,24
416 conectores	3	1248
	Total	111806,72
Instalação		5000
	Total	116806,72

Energia Produzida ANO 1

Mês	Energia produzida (kWh)	Energia injetada na rede (kWh)
Janeiro	12860	0
Fevereiro	14120	295
Março	17050	2607
Abril	18890	3636
Mai	20970	4844
Junho	21770	4504
Julho	24220	7311
Agosto	23600	9885
Setembro	21350	4970
Outubro	14830	1432
Novembro	13610	170
Dezembro	10860	8
Total Ano	214130	39662

Preço venda	0,03
Preço compra	0,14
Taxa de depreciação	0,03

Energia comprada (kWh)	Total ganho na venda	Total gasto na compra	Balço
72350	0	10129	10129
48400	8,85	6776	6767,15
35850	78,21	5019	4940,79
32070	109,08	4489,8	4380,72
25250	145,32	3535	3389,68
27160	135,12	3802,4	3667,28
22580	219,33	3161,2	2941,87
17770	296,55	2487,8	2191,25
28030	149,1	3924,2	3775,1
43870	42,96	6141,8	6098,84
55780	5,1	7809,2	7804,1
62310	0,24	8723,4	8723,16
471420	1189,86	65998,8	64808,94

Necessidades energéticas (kWh)	Gasto sem FV	Poupança
85050	11907	1778
62030	8684,2	1917,05
50110	7015,4	2074,61
47430	6640,2	2259,48
40560	5678,4	2288,72
43730	6122,2	2454,92
38910	5447,4	2505,53
31420	4398,8	2207,55
44130	6178,2	2403,1
57100	7994	1895,16
68610	9605,4	1801,3
72840	10197,6	1474,44
641920	89868,8	25059,86

Energia Produzida 20 ANOS

Ano	Energia Produzida (kWh)	Gasto sem FV (€)	Gasto com FV (€)
1	214130	89868,8	59890,6
2	207893,20	89868,8	60763,8
3	201838,06	89868,8	61611,5
4	195959,28	89868,8	62434,5
5	190251,73	89868,8	63233,6
6	184710,42	89868,8	64009,3
7	179330,50	89868,8	64762,5
8	174107,29	89868,8	65493,8
9	169036,20	89868,8	66203,7
10	164112,81	89868,8	66893,0
11	159332,83	89868,8	67562,2
12	154692,07	89868,8	68211,9
13	150186,47	89868,8	68842,7
14	145812,11	89868,8	69455,1
15	141565,16	89868,8	70049,7
16	137441,90	89868,8	70626,9
17	133438,74	89868,8	71187,4
18	129552,17	89868,8	71731,5
19	125778,81	89868,8	72259,8
20	122115,35	89868,8	72772,7

Poupança 20 ANOS

Poupança (€)
29978,2
29105,0
28257,3
27434,3
26635,2
25859,5
25106,3
24375,0
23665,1
22975,8
22306,6
21656,9
21026,1
20413,7
19819,1
19241,9
18681,4
18137,3
17609,0
17096,1

Análise Financeira

Investimento Total	116806,7
Investimento Inicial	23361,34
Taxa de juro	0,022
Taxa de manutenção	0,0125
Taxa de degradação	0,05
Valor restante	93445,38
Taxa de desconto	0,012

Ano	Prestação Anual	Manutenção	Poupança
0			
1	-10512,11	-934,45	29978,2
2	-10512,11	-1168,07	29105,0
3	-10512,11	-1168,07	28257,3
4	-10512,11	-1168,07	27434,3
5	-10512,11	-1168,07	26635,2
6	-10512,11	-1168,07	25859,5
7	-10512,11	-1168,07	25106,3
8	-10512,11	-1168,07	24375,0
9	-10512,11	-1168,07	23665,1
10	-10512,11	-1168,07	22975,8
11		-1168,07	22306,6
12		-1168,07	21656,9
13		-1168,07	21026,1
14		-1168,07	20413,7
15		-1168,07	19819,1
16		-1168,07	19241,9
17		-1168,07	18681,4
18		-1168,07	18137,3
19		-1168,07	17609,0
20		-1168,07	17096,1

Poupança + Despesa	VP Anual Poupança + Despesa	Fluxo de Caixa	Juros	Amortização
		-23361,344		
18531,64	18311,90	-5049,45	2055,80	8456,31
17424,88	17014,09	11964,64	1869,76	8642,35
16577,16	15994,42	27959,06	1679,63	8832,48
15754,13	15020,08	42979,14	1485,31	9026,79
14955,07	14089,19	57068,33	1286,72	9225,38
14179,29	13199,92	70268,25	1083,77	9428,34
13426,10	12350,55	82618,80	876,34	9635,76
12694,85	11539,40	94158,20	664,36	9847,75
11984,90	10764,89	104923,09	447,70	10064,40
11295,62	10025,48	114948,57	226,29	10285,82
21138,53	18539,12	133487,69	0,00	0,00
20488,82	17756,23	151243,92	0,00	0,00
19858,04	17005,51	168249,43	0,00	0,00
19245,63	16285,64	184535,08	0,00	0,00
18651,05	15595,37	200130,45	0,00	0,00
18073,80	14933,49	215063,93	0,00	0,00
17513,36	14298,84	229362,77	0,00	0,00
16969,24	13690,30	243053,07	0,00	0,00
16440,97	13106,83	256159,90	0,00	0,00
15928,08	12547,38	268707,28	0,00	0,00

Valor em Dívida

Valor em Dívida
93445,4
84989,07
76346,72
67514,25
58487,45
49262,07
39833,73
30197,97
20350,22
10285,82
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00
0,00