

# **Produção de Eletricidade a partir de Sistemas Solares Fotovoltaicos**

**Relatório de Estágio Curricular para Atribuição de Grau de Mestre em Energia  
Renováveis e Eficiência Energética**

**Delton Eusébio Trigueiros**

**Orientadores**

**Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares**

**Engenheira Liana Bogun**

**Bragança, 2022**

# Dedicatória

*Dedico aos meus pais e minha avó.*

# Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me ter guiado neste percurso durante todos os meus semestres escolar.

Aos meus pais e a toda minha família pela importante ajuda que me deram durante a minha chegada a este estabelecimento de ensino (IPB), pela força, amor, motivação e o apoio incondicional.

Em especial, agradeço ao meu orientador, professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares pelas orientações, por toda a disponibilidade prestada, motivação, aconselhamento e pelos ensinamentos; a minha orientadora, engenheira Liana Bogun pelo apoio, generosidade, informação transmitida e compreensão durante todo o estágio e trabalho.

Agradeço ao responsável da empresa Arménio Carreira por ter-me dado a oportunidade de realizar o estágio na empresa “Livre Power”, pela importante ajuda na minha integração; à toda equipa técnica que me apoiaram e motivaram desde a minha chegada ao estágio e pelos ensinamentos prestados.

A minha namorada por estar sempre ao meu lado me incentivando, e aos meus amigos e colegas do curso pela amizade que proporcionaram.

A todos, muito obrigado!

# Resumo

Nos dias atuais tem-se notado um aumento constante dos preços dos combustíveis e da eletricidade, combinado com a má utilização de recursos naturais, causando desta forma à degradação do meio ambiente. Todos esses fatores associados a novas mudanças tecnológicas e o aumento da eficiência energética vêm despertando interesse no incentivo e aproveitamento das energias renováveis, tornando-as mais viáveis e rentáveis, sobretudo na aposta no autoconsumo.

O consumo da energia elétrica vem crescendo com passar do tempo. A humanidade tornou-se mais dependente da eletricidade que, em consequência refletem custos indesejado no preço da fatura energética, de maneira à satisfazer a necessidade de consumo, tendo surgido uma forma de produção descentralizada para o consumo próprio, contribuindo para à diminuição no valor da fatura de eletricidade, o “autoconsumo”. O conceito de autoconsumo é definido como à quantidade de energia obtida através do sistema FV (fotovoltaico) que é consumida no local, sendo o produtor o individual do sistema, produzindo energia para o consumo próprio.

À energia solar fotovoltaica está a torna-se cada vez mais revelante na produção de energia elétrica, nomeadamente em habitações e em sistemas de micro-geração, apresentando como solução para atender a excessiva carência em locais sem acesso à rede elétrica pública, como também o aumento do consumo energético associado à sua dependência provocado pelo aumento da população e do seu bem-estar, assim como da pandemia.

Para compreender melhor a viabilidade técnica e financeira de sistema fotovoltaico e perceber o efeito que a sua correta instalação influenciam nos resultados técnico e económicos obtidos, foram desenvolvidos 4 casos de estudos práticos, simulados com consumos médios e regimes tarifários simples e bi-horário.

No estágio desenvolveu-se técnicas praticas para as instalações de todo os tipos de sistemas fotovoltaicos, foi possível observar que para sistemas híbridos, possuem valores altos de investimentos, por conta dos elevados preços das baterias, aumentando assim o seu tempo de retorno de investimento, comparado com sistemas ligados a rede elétrica.

**Palavras-Chave:** Energias Renováveis, Autoconsumo, Sistema Fotovoltaico, Energia elétrica

# Abstract

Today there has been a steady increase in fuel and electricity prices, combined with the misuse of natural resources, thus causing the degradation of the environment. All these factors associated with new technological changes and increased energy efficiency have aroused interest in encouraging and using renewable energies, making them more viable and profitable, especially in the focus on self-consumption.

The consumption of electricity has been growing over time. Humanity has become more dependent on electricity, which, as a result, reflects unwanted costs in the price of energy bills, in order to satisfy the need for consumption, and a decentralized form of production for its own consumption has emerged, contributing to the decrease in the value of the electricity bill, the "self-consumption". The concept of self-consumption is defined as the amount of energy obtained through the VF system (photovoltaic) that is consumed on site, being the producer the individual of the system, producing energy for its own consumption.

Photovoltaic solar energy is becoming increasingly revealing in the production of electricity, particularly in housing and micro-generation systems, presenting as a solution to meet the excessive shortage in places without access to the public electricity grid, as well as the increase in energy consumption associated with its dependence caused by the increase in the population and its well-being, as well as the pandemic.

To better understand the technical and financial viability of photovoltaic system and to understand the effect that its correct installation influence on the technical and economic results obtained, 4 cases of practical studies were developed, simulated with average consumption and simple and bi-hour tariff regimes.

In the stage, practical techniques were developed for the installations of all types of photovoltaic systems, it was possible to observe that for hybrid systems, they have high investment values, due to the high prices of batteries, thus increasing their return on investment time, compared with systems connected to the electricity grid.

**Keywords:** Renewable Energy, Self-Consumption, Photovoltaic System, Electricity

# Índice

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Objetivo .....	2
1.2	Estrutura do Relatório.....	2
2.	Fontes de Energia Renováveis .....	3
2.1	Introdução.....	3
2.2	Energia Solar .....	3
2.3	Energia Solar Fotovoltaica .....	4
2.3.1	Corrente de Curto-Circuito e Tensão de Circuito Aberto .....	5
2.3.2	Curvas Características I-V e P-V .....	6
2.3.3	Fator de Forma e Rendimento .....	7
2.3.4	Efeito de Temperatura.....	8
2.3.5	Efeito de Radiação .....	9
2.3.6	Horas de Pico Sol .....	9
2.4	Sistemas Fotovoltaicos e seus componentes .....	10
2.4.1	Painel solar Fotovoltaicos .....	10
2.4.2	Inversor.....	15
2.4.3	Dispositivos de Proteção .....	18
2.4.4	Baterias.....	19
2.4.5	Regulador de Carga.....	20
2.4.6	Interface de Comunicação, Gestão de Energia e Monitorização.....	20
2.4.7	Controladores e Medidores .....	21
2.4.8	Estrutura de Suporte .....	22
2.4.9	Distância entre Fileiras.....	23
2.4.10	Cabos Elétricos.....	24
2.4.11	Sistemas Ligados à Rede (On-Grid).....	27
2.4.12	Sistemas Autónomos (Off-Grid) .....	31
2.4.13	Sistemas Híbridos.....	32
2.5	Orientação e Inclinação .....	33
2.6	Enquadramento Legal.....	34
2.6.1	Sistemas UPAC .....	34
2.6.2	Sistema UPP.....	34
3.	Análise económica .....	35

4.	Casos Práticos de Estudo e Projetos Realizados .....	37
4.1	Localização das Instalações .....	37
4.2	Dimensionamento de Sistemas Ligados à Rede (Projeto 1).....	38
4.2.1	Caraterísticas e Dimensionamentos do Sistema.....	38
4.2.2	Estimativa da Produção de Energia.....	40
4.2.3	Consumo Energético .....	41
4.2.4	Esquema .....	42
4.2.5	Estrutura de Suporte .....	43
4.2.6	Cabos e Dispositivo de Proteção .....	44
4.2.7	Orçamentação.....	48
4.2.8	Sistema de Gestão Online .....	50
4.3	Sistemas com Triângulos Ligados à Rede Trifásica (Projeto 2) .....	51
4.3.1	Estimativa de Energia.....	52
4.3.2	Perfil de Consumo .....	53
4.3.3	Orçamentação.....	58
4.3.4	Sistemas de Gerenciamento Online.....	60
4.4	Sistemas com Micro inversor em Triângulos (Projeto 3).....	61
4.4.1	Estimativa de Energia.....	62
4.4.2	Perfil de Consumo dos Equipamentos .....	63
4.4.3	Estrutura .....	64
4.4.4	Orçamentação.....	65
4.4.5	Esquema .....	67
4.5	Sistemas Fotovoltaicos ligados à rede com baterias (Híbridos/isolados) (Projeto 4) 68	
4.5.1	Baterias, Inversor, Paineis e Respetiva Capacidades.....	68
5.	Resultados obtidos.....	69
5.1	Projetos para melhoria da certificação energética em escolas (Projeto 5) .....	70
5.1.1	EB1/JI BRANDOA .....	70
5.1.2	EB 2/3 Almeida Garrett.....	73
5.1.3	Descrição Geral da Obra .....	73
5.2	Sistema de Gerenciamento Online .....	73
5.2.1	Processo de Registo e Licenciamentos das UPAC.....	74
6.	Conclusão.....	75

# Lista de Figuras

Figura 1:Efeito Fotovoltaico, Fonte: Energia Solar .....	4
Figura 2: Curva I-V de uma célula solar fotovoltaica, Fonte: E-LEE.....	6
Figura 3: Curva I-V, P-V de uma célula solar fotovoltaica, Fonte: (E-ELL),E-Learning Electrical Engineering .....	6
Figura 4: Fator de forma de um módulo, Fonte: Blue Solar .....	7
Figura 5: Efeito Caudado pela temperatura na célula, Fonte: IPB, Blue Solar.....	8
Figura 6:Variação causada pela radiação solar, Fonte: IPB.....	9
Figura 7:Horas de pico sol, Fonte: Blue Sol .....	9
Figura 8:Painel Fotovoltaico, Fonte: Energia Total .....	10
Figura 9:Cellas Monocristalinas, Fontes: Blue Sol.....	11
Figura 10:Cellas Policristalinas, Fonte: Blue Sol, IPB .....	11
Figura 11: Composição de um painel fotovoltaico, Fonte Nasa Science.....	12
Figura 12:Efeito de Díodo By-pass, Fonte: Blue solar, IPB .....	13
Figura 13:Sombreamento, Fonte: IPB.....	13
Figura 14:Pormenores de Interligações de módulos e conetores, Fonte: IPB.....	14
Figura 15:Esquema Inversor Central, Fonte: Docplayer, IPB .....	16
Figura 16:Esquema Inversor de Fileira, Fonte: IPB,Docplayer .....	17
Figura 17:dispositivos de Proteção AC e DC, Fonte: Hager, Euro Vial.....	18
Figura 18: Descarregador de sobretensão, Fonte: IPB.....	18
Figura 19:Controlador de Carga Solar PWM, Fonte: 3MCE.....	20
Figura 20: Smart Power Sensor, Fonte: Siministro del Sol.....	20
Figura 21:Sunny Home Manager, Fonte: Trilhos energéticos .....	21
Figura 22:Medidor de energia .....	21
Figura 23:Smart Meter, Fonte: Fronius, Solax Power .....	21
Figura 24:Estrutura de Suporte .....	22
Figura 25:Seguidor Solar .....	23
Figura 26:Distanciamento entre fileiras .....	23
Figura 27:Cabo Solar e AC Monofásico, Bifásico e trifásico.....	26
Figura 28:Ligação de cabo Terra .....	27
Figura 29:Sistemas solar fotovoltaica Ligados a rede.....	27
Figura 30:Critério para o dimensionamento do inversor .....	29
Figura 31: Esquema para sistemas Autónomos.....	32

Figura 32:Sistemas Fotovoltaico Híbridos, Fonte: Tecnovitas .....	32
Figura 33:Configuração do ângulo de Inclinação .....	33
Figura 34:Unidade de Pequena Produção, Fonte: FF Solar .....	34
Figura 35:Localizações das instalações, Fonte: Sunny Design.....	37
Figura 36:Energia FV estimada por mês.....	40
Figura 37:Consumo de energia elétrica por mês .....	41
Figura 38: Esquema elétrico de Instalação PV.....	42
Figura 39:Estrutura de suporte no edifício em estudo.....	43
Figura 40:Análise de Sensibilidade do VAL.....	49
Figura 41: Instalação de painéis Fotovoltaico no edifício.....	49
Figura 42:Controlo online do sistema, Fonte: FusionSolar.....	50
Figura 43:Energia FV estimada ao longo dos meses .....	52
Figura 44:Consumo de eletricidade mensal .....	53
Figura 45:Estrutura no edifício .....	54
Figura 46: Esquema da Instalação FV.....	54
Figura 47:Instalação PV realizada no edifício .....	58
Figura 48:Análise de sensibilidade económica .....	59
Figura 49: Software de Gestão online, Fonte FusionSolar.....	60
Figura 50:Conexão direta trifásica, de três fios a smart power sensor.....	60
Figura 51:Estimativa de Energia Fotovoltaica .....	62
Figura 52:Perfil de Consumo de energia elétrica por mês .....	63
Figura 53: Estrutura em Triângulo, com Lancil, Fonte: DGTEC .....	64
Figura 54:Análise de sensibilidade económica de var .....	66
Figura 55: Esquema do sistema PV.....	67
Figura 56:Esquema do Sistemas em Autocard.....	67
Figura 57: Instalação do Sistema Fotovoltaico .....	67
Figura 58: Instalação sistemas híbridos e autónomo.....	68
Figura 59:Instalação realizada na escola .....	72
Figura 60:Instalação feita na escola .....	73
Figura 61:Monitorização do sistema.....	73
Figura 62:Processo de Licenciamento.....	74

# Lista de Tabelas

Tabela 1: Características técnicas do painel e do Inversor .....	39
Tabela 2: Resultado e Verificação .....	39
Tabela 3: Radiação Mensal em kwh/m <sup>2</sup> .....	40
Tabela 4: Preço em função ao ciclo horário .....	41
Tabela 5: Matérias utilizados na estrutura de fixação e Suporte .....	43
Tabela 6: Dimensionamento do Cabo DC .....	44
Tabela 7: Dimensionamento Cabo AC .....	46
Tabela 8: Dimensionamento do Fusível .....	47
Tabela 9: Orçamento do sistema .....	48
Tabela 10: Valores de parâmetros financeiros .....	49
Tabela 11: Características técnicas do módulo e do inversor .....	51
Tabela 12: Resultados e Verificação do Sistema .....	51
Tabela 13: Radiação solar mensal em kWh/m <sup>2</sup> .....	52
Tabela 14: Preço relativamente ao ciclo horário .....	53
Tabela 15: Materiais utilizados no projeto .....	54
Tabela 16: Dimensionamento do Cabo DC .....	55
Tabela 17: Dimensionamento Cabo AC .....	56
Tabela 18: Dimensionamento Dispositivo de Proteção .....	57
Tabela 19: Orçamento do Sistema .....	58
Tabela 20: valores de parâmetros financeiros .....	59
Tabela 21: Características Técnicas do Painel e Inversor .....	61
Tabela 22: Resultado e Verificação .....	61
Tabela 23: Radiação solar mensal em kwh/m <sup>2</sup> .....	62
Tabela 24: Preço dos ciclos horário .....	63
Tabela 25: Materias utilizados no Sistema .....	64
Tabela 26: Orçamento do sistema .....	65
Tabela 27: Valores dos parâmetros financeiros .....	66
Tabela 28: Conclusão dos Projetos .....	69

# Lista de Abreviaturas

BTN-Baixa Tensão Normal

CA-Corrente Alternada

CC-Corrente Contínua

DDP-Diferença de Potência

ER-Energias Renováveis

IPB-Instituto Politécnico de Bragança

MPP-Maximum Power Point

MPPT-Maximum Power Point Tracking

NOCT-Nominal Operating Cell Temperature

PVGIS-Photovoltaic Geographical Information System

QGBT-Quadro Geral de Baixa Tensão

RESP-Rede Elétrica de Serviço Público

RTIEBT-Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão

SERUP-Registro de Unidades de Produção

SF-Sistema Fotovoltaico

STC-Standard Testing Conditions

TIR-Taxa Interna de Retorno

UPAC-Unidade de Produção para Autoconsumo

UPP-Unidade de Pequena Produção

VAL-Valor atualizado Líquido

# 1. INTRODUÇÃO

À procura por novas fontes ou formas alternativas de produção de energia tornou-se um dos desafios importantes da sociedade moderna, à aposta nas energias renováveis (ER) como forma de diminuir a dependência energética sobre tudo nos países desenvolvidos vem crescendo ao longo dos anos, com o aperfeiçoamento e surgimento de novas tecnologias vem contribuindo para melhoria do seu aproveitamento. O surgimento da revolução industrial marca, de forma muito clara, o início de um processo de transformação, autossustentado do avanço da tecnologia e do conhecimento, que ocorrem em diversas áreas da humanidade, sobretudo na economia, sociedade, na tecnologia e no meio ambiente [1].

Assim, as energias renováveis surgem para dar respostas as necessidades energéticas causadas pelo aquecimento global e alterações climáticas, sendo uma das formas viáveis, eficientes e sustentáveis para diminuir o consumo de combustíveis fósseis e da dependência energética que tem trazidos repercussões que terão impactos direto sobre todos os aspectos da vida social, econômica e política [1].

As energias renováveis são resultantes de ciclos naturais que o ser humano pode aproveitar diretamente da natureza, por isso são praticamente inesgotáveis, podendo apresentar um impacto ambiental muito baixo ou quase nulo e não alterando o balanço térmico da terra, tornando-as muito viáveis e eficientes. As formas e fontes renováveis mais conhecidas são a solar para obter eletricidade e calor que provém da radiação do sol, a energia hídrica a partir do aproveitamento dos rios, caudais e correntes de água a partir do seu desnível, a energia eólica a partir da energia cinética de massa de ar vinda do vento, a biomassa que é resultante de matérias orgânicas, a energia geotérmica explorada através do calor da terra e a energia maremotriz provinda dos mares e oceanos. Estas energias apresentam muitas vantagens decorrentes na sua utilização sendo pouco ou nada poluentes em comparação com as outras fontes de energia convencionais, além de estarem mais disponíveis geograficamente [1], [2].

A utilização das ER tornará os países autossuficientes em termos energéticos e melhorará a sua distribuição, o que possibilitaria que um maior número de consumidores tenha acesso a este bem essencial.

O avanço das tecnologias mudou a forma como pensamos e com ela a ciência irá transformar o mundo em que vivemos. O surgimento das energias renováveis exploradas com tecnologia sofisticada revela indícios de reestruturação, pois à medida que os recursos derivados de petróleo se forem tornando mais caros e menos disponíveis, o homem terá de optar cada vez mais por recursos energéticos alternativos [2].

## **1.1 Objetivo**

O estágio teve como objetivo compreender o real funcionamento do mercado energético, aprender o dimensionamento de todo tipo de sistemas fotovoltaicos, desenvolver competências técnicas e profissionais ao nível de trabalho em equipa.

Neste relatório são apresentados estudos sobre a produção fotovoltaica para o autoconsumo residencial, desde à análise de consumos energéticos à produção fotovoltaica. Foram criados 4 diferentes projetos detalhados, com o mesmo tipo de módulo e inversor, porém, com quantidade de equipamentos e instalação diferentes. O nível de tensão da rede em que os projetos foram instalados é de 230 V (baixa tensão). Nas simulações, foram assumidas temperaturas mínimas e máxima de -10 e 70 °C, respetivamente. A energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos destina-se ao consumo interno da rede elétrica. Pretende-se, dentro do possível, obter uma quota de autoconsumo elevada, e desta forma, ter uma melhor rentabilidade de forma a reduzir o valor da fatura energética ao longo do ano.

## **1.2 Estrutura do Relatório**

O primeiro capítulo é apresentada à introdução do trabalho, o objetivo e à estrutura do relatório.

O capítulo 2 descreve temas relacionado com todo tipo de sistemas fotovoltaicos, são abordados assuntos sobre a produção de energia à partir da fonte solar fotovoltaica, seus conceitos e características, um estudo e apresentação dos principais componentes de sistemas fotovoltaicos e sua tecnologia, princípio de funcionamento de uma célula – efeito FV (tipos de células FV, curvas características de células FV, efeito de intensidade de radiação e temperatura sobre à curva característica, fator de forma e rendimento, potência elétrica e características de módulos FV) também é feito o enquadramento da legislação que regula a atividade da produção descentralizada de energia elétrica.

O terceiro capítulo aborda assuntos sobre os trabalhos práticos desenvolvidos durante o estágio e sobre os projetos desenvolvidos em escolas da região da Amadora para a instalação de painéis fotovoltaicos e estudos sobre eficiência energética.

O quarto capítulo apresenta as conclusões sobre o trabalho e do estágio.

## **2. Fontes de Energia Renováveis**

### **2.1 Introdução**

Um dos maiores problemas da humanidade está relacionado com os impactos ambientais causado pelo consumo enorme de combustíveis fósseis resultante do crescimento da atividade industrial e econômica.

No mundo as pessoas estão cada vez mais dependentes da energia elétrica e a maior parte da energia utilizada pela Humanidade provém dos recursos fósseis como carvão, o petróleo e o gás natural, que para além de gerarem uma grande quantidade de poluição para a atmosfera através da sua queima, também constituem um destruidor do meio ambiente e da ecologia [2], [3].

### **2.2 Energia Solar**

A radiação solar é a energia proveniente do sol que chega a terra sobre formas de ondas eletromagnéticas que se podem propagar na água, no vidro, nos materiais transparentes ou até mesmo no ar, e a intensidade com que a radiação solar incide a superfície da terra é denominado por irradiação [3]. A quantidade de radiação solar que atinge a superfícies da terra depende de vários fatores como parâmetros geográficos que incluem a latitude e altitude, condições meteorológicas ou atmosféricas que estão relacionados com as estações do ano, coberturas das nuvens e a variação de números de horas. Nem toda a radiação emitida pelo sol atinge a superfícies da terra, outra é absorvida, refletida ou espalhada na atmosfera. Na superfície, a radiação solar pode ser absorvida de três formas diferentes, por radiação direta onde toda a luz solar é absorvida diretamente e radiação indireta (albedo) ou difusa [3], [4].

A conversão de energia associada a radiação solar pode ser efetuada de duas maneiras: a forma ativa e passiva. A forma ativa consiste na obtenção de energia elétrica e de energia térmica. No primeiro caso usam-se painéis fotovoltaicos com a finalidade de produzir a eletricidade e no segundo caso coletores solares com o objetivo de produzir calor. A forma passiva baseia-se no aproveitamento da energia para o aquecimento de edifícios ou prédios através de concepções e estratégias de construção [4]. Conhecer o ângulo de incidência dos raios solares é crucial para quantificar a energia proveniente do Sol. Para tal é necessário conhecer os fatores geográficos do local, como a latitude, o ângulo horário, declinação solar, ângulo da superfície em relação ao plano horizontal e a direção para a qual se vão colocar os módulos fotovoltaicos [4].

## 2.3 Energia Solar Fotovoltaica

A energia elétrica produzida à partir do sol pode ser gerada de forma indireta, convertendo a energia solar em energia térmica e em seguida em eletricidade, ou de forma direta usando o efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico resulta da conversão direta da luz solar em energia elétrica. Alguns materiais semicondutores exibem efeito FV que consiste na absorção de fótons com consequente emissão de elétrons, base da corrente elétrica. Os sistemas de energia solar fotovoltaica convertem a energia proveniente da radiação solar que atinge a superfície terrestre em energia elétrica. Uma célula fotovoltaica constituída por cristais de silício puro não produziria energia elétrica. Para haver corrente elétrica é necessário que exista um campo elétrico, isto é, uma diferença de potencial entre duas zonas da célula. Através do processo conhecido como dopagem do silício, que consiste na introdução de elementos estanhos com o objetivo de alterar as suas propriedades elétricas, é possível criar duas camadas na célula: a camada tipo p e a camada tipo n, que possuem, respetivamente, um excesso de cargas positivas e um excesso de cargas negativas, relativamente ao silício puro [2].

O efeito fotovoltaico converte a luz solar em energia elétrica recorrendo as células solares. Os materiais utilizados neste processo são os semicondutores como o *Silício*, o *Arsenieto de gálio*, o *Telureto de cádmio* ou *Disseleneto de cobre e Índio*. As células estão composta por duas camadas de materiais semicondutores, como mostra a figura 1, a camada N com excesso de eletrões periféricos e a camada P com défices de eletrões. Na junção das duas camadas estabelece-se uma diferença de potência (d.d.p) entre as camadas N e P, os eletrões periféricos ao absorverem a energias dos fótons, saltam a barreira de potencial criando deste modo uma corrente contínua (CC) [3].

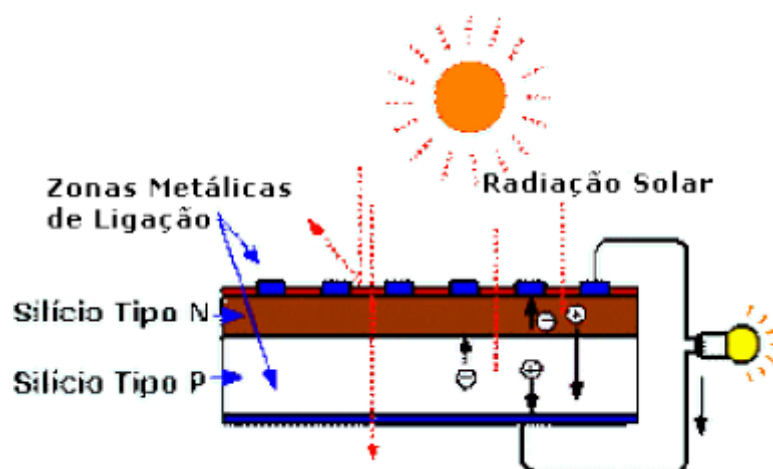


Figura 1: Efeito Fotovoltaico, Fonte: Energia Solar

### 2.3.1 Corrente de Curto-Circuito e Tensão de Circuito Aberto

A corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) representa o valor máximo da corrente de carga, igual a corrente gerada por efeito fotovoltaico. O seu valor é apresentado pelo fabricante e representa uma características da célula nas condições de radiação e temperatura. A corrente em curto-circuito, geralmente é de 5% superior à corrente máxima.

A tensão de circuito aberto ou em vazio ( $V_{oc}$ ) é o valor máximo de tensão aos terminais da célula, sem a presença de cargas, que ocorre quando esta é medido em circuito aberto. As condições normais de teste (STC-Standard Testing Conditions) normalizados de acordo com os padrões da indústria solar para a realização de medidas dos parâmetros em que o painel solar é testado. Essas condições são:

- Temperatura da célula a 25°C
- Radiação solar incidente a 1000W/m<sup>2</sup>
- Massa de ar:1,5

A corrente elétrica gerada pelo módulo fotovoltaico varia de 0 ao  $I_{sc}$ , enquanto a tensão entre terminais varia de 0 até  $V_{oc}$  sob diferentes condições de irradiância e temperatura.

A tensão de máxima potência ( $V_{MPP}$ ) é considerada como a tensão máxima gerada módulo fotovoltaico, em seu ponto de Potência máxima, sobre as condições padrões de teste (STC).

A corrente em máxima potência ( $I_{MPP}$ ) é a corrente máxima que um módulo pode fornecer à uma carga, em condições padrão de teste.

A potência máxima é o produto da tensão pela corrente, essa só será a máxima para uma única combinação de tensão e corrente. Um módulo fotovoltaico fornecerá a máxima potência quando o circuito externo possuir uma resistência tal, que determine os valores máximos de tensão e corrente e, portanto o seu produto será o máximo. A potência máxima de um gerador fotovoltaico (módulo ou painel) varia com as condições ambientais, designadamente com a temperatura e a radiação incidente, tendo uma influência direta na intensidade de corrente e tensão nos terminais do módulo/painel. Naturalmente, é desejável que o módulo funcione sempre à máxima potência. A fim de posicionar o painel solar fotovoltaico no ponto de operação correspondente à potência máxima, os painéis fotovoltaicos são também equipados com um sistema eletrônico que é designado por conversor DC/DC com o controlo do ponto de potência máxima [3], [4], [5].

### 2.3.2 Curvas Características I-V e P-V

A curva I-V, corrente versus tensão, descreve o comportamento da corrente em função da tensão em uma célula fotovoltaico. Utiliza-se o modelo de um díodo de cinco parâmetros para descrever matematicamente a curva característica do módulo fotovoltaico. A sua análise é fundamental para a caracterização de um módulo fotovoltaico, pois a partir dela é possível obter os principais parâmetros que determinam a sua qualidade e desempenho.

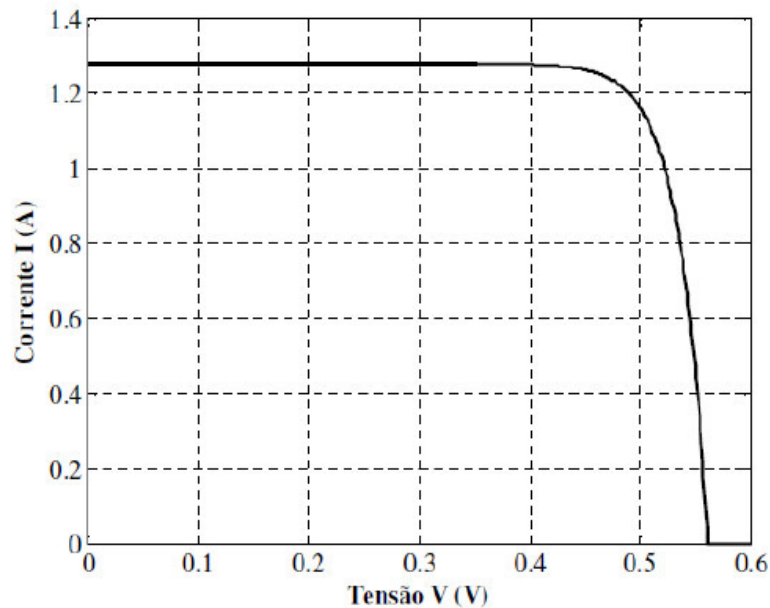


Figura 2: Curva I-V de uma célula solar fotovoltaica, Fonte: E-LEE

A MPP (maximum power point) é o ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico. Encontra-se no joelho da curva I-V e no pico da curva P-V.

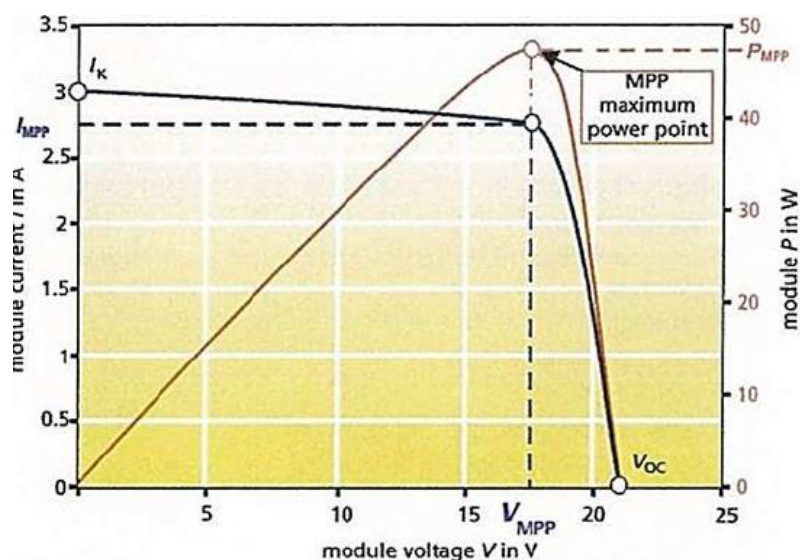


Figura 3: Curva I-V, P-V de uma célula solar fotovoltaica, Fonte: (E-ELL),E-Learning Electrical Engineering

### 2.3.3 Fator de Forma e Rendimento

O Fator de Forma (FF) corresponde à aproximação e representação, mede a distância em que a curva I-V está a um formato retangular. A curva pode ser utilizada para qualificar uma célula, quando maior for a qualidade das células, mais próxima da forma retangular será a curva I-V.

$$FF = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I_{SC} \times V_{OC}} \quad (1)$$

Onde:

$I_{MPP}$ : Corrente Máxima;

$V_{MPP}$ : Tensão Máxima;

$I_{SC}$ : Corrente de Curto-circuito;

$V_{OC}$ : Tensão de Circuito Aberto;

$FF$ : Fator de Forma.

Outro parâmetro muito importante nas células FV é a sua eficiência. O rendimento é a relação entre o ponto máximo de uma célula e a potência da radiação solar incidente sobre a célula, ou seja quociente entre a potência gerada e a irradiância incidente sobre o módulo.

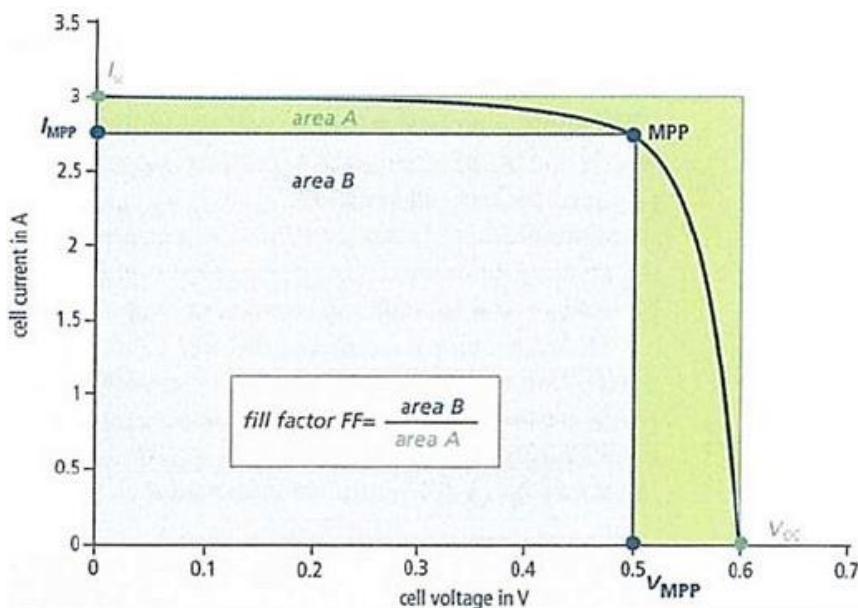


Figura 4: Fator de forma de um módulo, Fonte: Blue Solar

### 2.3.4 Efeito de Temperatura

A temperatura de funcionamento de sistemas FV pode ser obtida de várias formas a partir da utilização de sensores de temperatura acoplados aos módulos e sensores baseados em infravermelhos, também podem ser calculadas de forma indireta baseado no parâmetro NOCT (Nominal Operating Cell Temperature). A temperatura é um parâmetro importante uma vez que, estando as células expostas aos raios solares, o seu aquecimento é considerável. Além disso, uma parte da incidência solar absorvida não é convertida em energia elétrica, mas sim dissipada sob a forma de calor.

NOCT corresponde a um valor fornecido pelo fabricante, que indica a temperatura da célula quando trabalham em condições normalizadas de funcionamento que são: temperatura ambiente de 20°C; radiação incidente de 800 W/m<sup>2</sup> com velocidade média do vento de 1 m/s e com o plano perpendicular ao sol ao meio dia [4].

$$NOCT = (T_C - T_A) + 20^\circ C \quad (2)$$

$$T_C = T_A + \frac{G}{800} \times (NOCT - 20) \quad (3)$$

Onde:

$T_C$ -Temperatura da célula em °C;

$T_A$ -Temperatura ambiente em °C;

$G$ -índice de claridade.

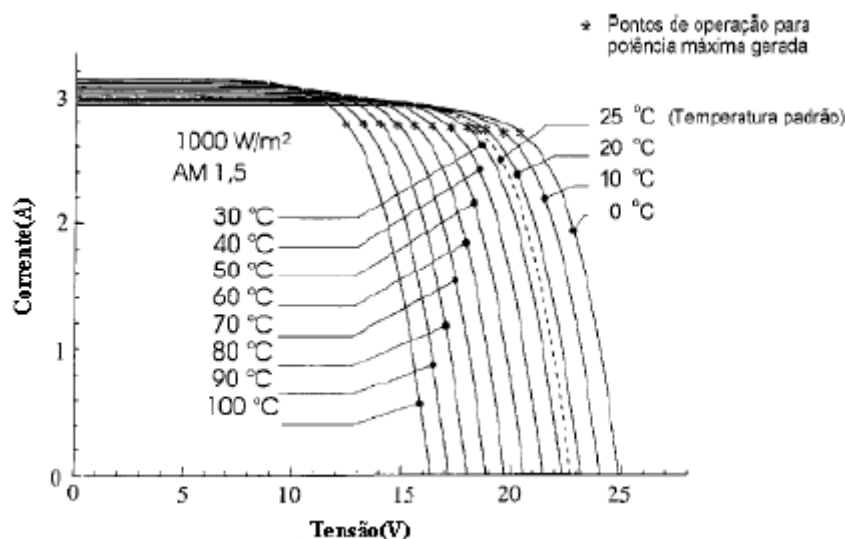


Figura 5: Efeito Causado pela temperatura na célula, Fonte: IPB, Blue Solar

### 2.3.5 Efeito de Radiação

O gráfico seguinte mostra o efeito da radiação em relação à corrente e tensão, onde se pode ver que a radiação solar é diretamente proporcional à potência de saída e a corrente de curto-circuito aumenta de forma linear de acordo com o aumento da radiação enquanto há uma pouca variação da radiação solar em relação à tensão de circuito aberto [4].

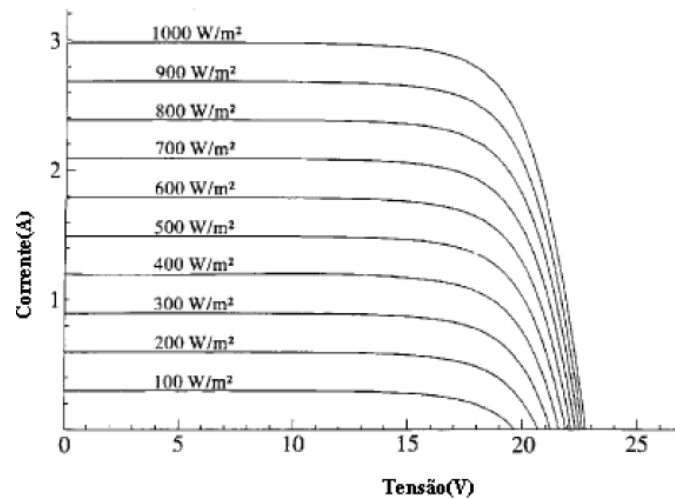


Figura 6: Variação causada pela radiação solar, Fonte: IPB

### 2.3.6 Horas de Pico Sol

A radiação solar tem a sua maior intensidade ao meio-dia solar, desde o surgimento do sol no horizonte até ao seu pôr, a radiação solar vai do máximo até mínimo (ao meio-dia solar), e de volta ao mínimo. As nuvens influenciam a irradiação direta, fazendo com que nas horas de pico possamos absorver menos energia no começo da manhã e ou no final da tarde [4].

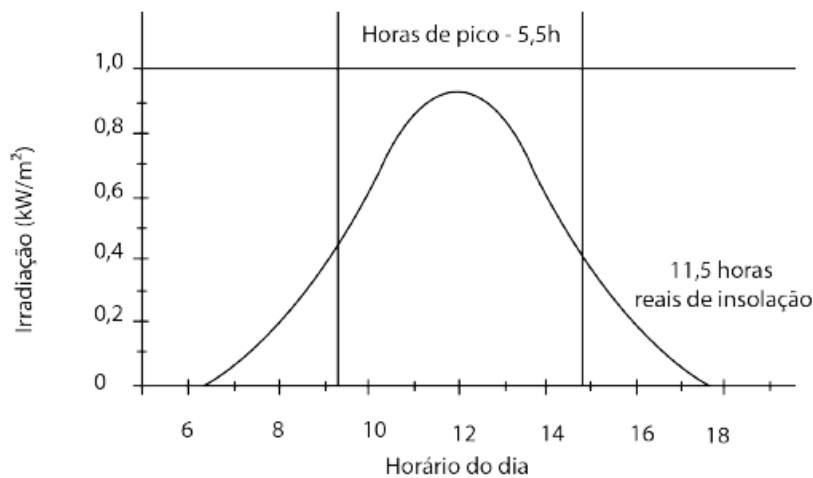


Figura 7: Horas de pico sol, Fonte: Blue Sol

## 2.4 Sistemas Fotovoltaicos e seus componentes

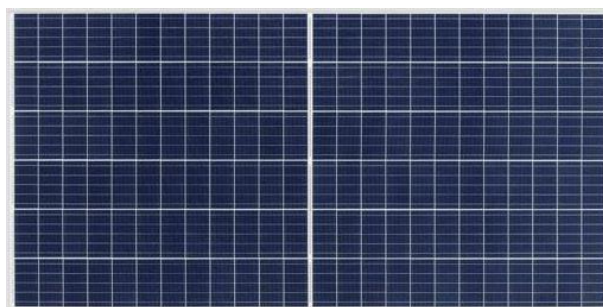
### 2.4.1 Painel solar Fotovoltaicos

O painel solar fotovoltaico converte a luz solar em eletricidade, utilizando uma tecnologia baseada no efeito fotoelétrico. Considerada uma fonte de energia renovável, inesgotável e não poluente, que pode ser gerada em instalações que vão desde os pequenos geradores para autoconsumo até as grandes centrais fotovoltaicas.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados em qualquer local que tenha radiação solar suficiente. Sistemas fotovoltaicos não utilizam combustíveis e por serem dispositivos de estado sólido, requerem menor manutenção. Durante o seu funcionamento não produzem ruído, e não emitem gases tóxicos ou outro tipo de poluição ambiental.

As principais aplicações dos painéis fotovoltaicos são a eletrificação remota, sistemas autónomos usados na bombagem de água para a irrigação, sinalização e centros de telecomunicação, aplicação de micropotência e na integração de edifícios.

Na escolha do módulo fotovoltaico devemos levar em consideração as condições de qualidade, benefícios, custo e área disponível. Os módulos fotovoltaicos são formados por agrupamentos de células que podem ser ligadas em série e/ou em paralelo de forma a obter valores desejáveis de tensão e corrente [3], [4], [5]. Na construção de módulos FV, estes devem ser dotados de meios que lhes permitam resistir às condições ambientais em que vão ser colocados.

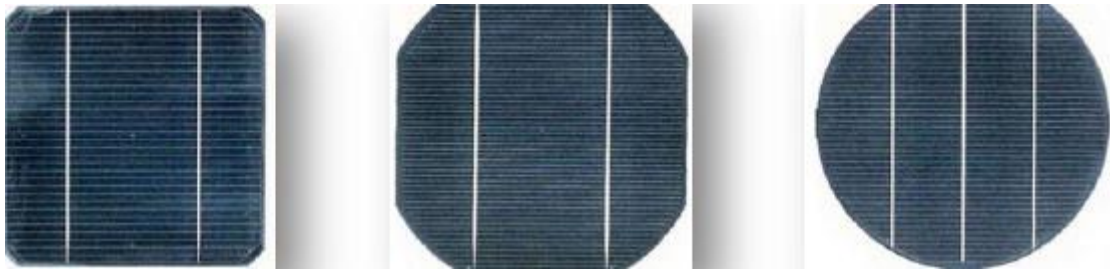


**Figura 8:** Painel Fotovoltaico, Fonte: Energia Total

### 2.4.1.1 Células Fotovoltaicas

O módulo fotovoltaico constituído por conjunto de células interligadas e responsável por transformar diretamente a energia da radiação solar em eletricidade, na forma de corrente contínua. Na construção e fabrico de módulos fotovoltaicos podem ser utilizados várias matérias, sendo o silício mais usado amplamente no mercado, sendo os tipos mais comuns de células: monocristalinas, policristalinas e amorfas.

As células Monocristalinas são mais utilizadas no mercado, possuem uma eficiência entre 18% a 21%, ideal para potenciar o efeito fotovoltaico devido a sua estrutura molecular. As desvantagens neste tipo de célula é o elevado preço e o período de retorno do investimento [4].



**Figura 9:** Células Monocristalinas, Fontes: Blue Sol

Nas células Policristalinas, o seu processo de fabricação é mais barato, menor potência a saída e menos eficientes do que o silício monocristalino e são constituídas por um número muito elevado de pequenos cristais.



**Figura 10:** Células Policristalinas, Fonte: Blue Sol, IPB

As células amorfas são as mais baratas de produzir e com baixa eficiência mas com correntes razoáveis, constituídas por um suporte de vidro ou outra matéria sintética, com uma camada fina de silício cristalino. Apresentam melhores desempenhos a temperatura elevadas pelo fato de poderem reagir com melhor eficiência na absorção da luz difusa [5], [6].

Para determinar a eficiência (ou rendimento) de uma determinada célula é necessário calcular o coeficiente entre a energia fornecida pela célula e a radiação solar incidente na mesma.

$$\eta = \frac{P_{Máx}}{A \times G} \quad (3)$$

Onde:

$\eta$  : Eficiência da célula (%);

$P_{Max}$ : Potência máxima medida nas condições STC ( $W_p$ );

$G$ : Radiação solar incidente por unidade de superfície ( $W/m^2$ );

$A$ : Área da célula ( $m^2$ ).

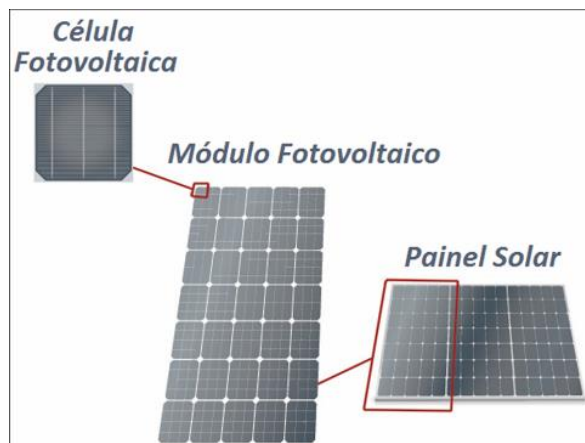


Figura 11: Composição de um painel fotovoltaico, Fonte Nasa Science

#### 2.4.1.2 Associação das Células e dos Módulos Fotovoltaicos

Um painel fotovoltaico representa um conjunto de módulos eletricamente ligados entre si, que fornecem um determinado potencial, e geralmente estarão ligados a um dispositivo de condicionamento de potência e/ou controle. Em sistemas ligados à rede, os módulos fotovoltaicos são normalmente ligados em série formando fileiras, pelo que o valor máximo da tensão da fileira deve ser inferior ao valor máximo da tensão nominal do inversor. Na maioria dos casos, será necessário associar os módulos em série, para alcançar a tensão nominal do sistema, e também em paralelo, para alcançar a potência-pico calculada no projeto. Nesses casos, temos as características das duas associações anteriores, e maiores perdas ao utilizar módulos de características diferentes [5].

##### 2.4.1.2.1 Associação em Série

Na ligação em série é obtida a soma das tensões aos terminais de cada módulo, sendo a tensão do painel o somatório das tensões individuais de cada módulo e a mesma intensidade da corrente elétrica. A corrente será a média das correntes de cada módulo, por isso não é aconselhável associação dos módulos com capacidades diferentes.

#### 2.4.1.2.2 Associação em Paralelo

As células ligadas em paralelo irá aumentar a corrente elétrica, sendo a corrente de saída do painel dada pela adição das correntes que atravessam cada fileira de módulos fotovoltaicos. A tensão será a mesma à saída do painel.

#### 2.4.1.3 Díodos de Proteção, Pontos Quentes e Sombreamentos

Uma célula solar quando sujeita a sombreamento em determinadas condições de funcionamento, a área sombreada funciona como resistência elétrica podendo aquecer fazendo com que o material semicondutor se danifique com o calor dando origem a um ponto quente. Isto acontece quando a corrente elétrica flui no sentido inverso, que acontece quando, ao invés de gerar o módulo recebe corrente, ou seja, a célula passa a estar polarizada inversamente, passando a absorver a energia elétrica, convertendo-a em calor, dando origem à um ponto quente.

Para prevenir a ocorrência de pontos quentes, a corrente deve ser desviada da célula solar através de uma derivação que, por sua vez, é conseguida através de um diodo de derivação também chamados de By-pass conectados de modo inversamente polarizada em relação a um conjunto de células ligados em antiparalelo impedindo assim o aparecimento de tensões inversas elevadas nas células solares [6].

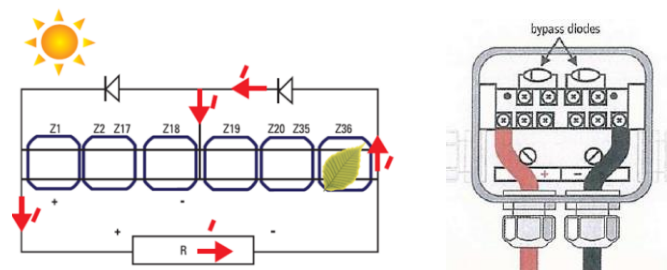


Figura 12: Efeito de Diodo By-pass, Fonte: Blue solar, IPB

O sombreamento de uma célula solar restringe o fluxo de elétrons que circulam pelo módulo solar fotovoltaico, assim, a corrente em todo o módulo solar é reduzida, o que significa diminuir a irradiação solar e conseqüentemente, à geração produzida [5], [6].

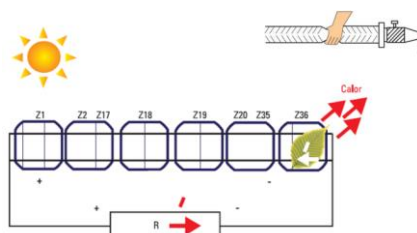


Figura 13: Sombreamento, Fonte: IPB

#### 2.4.1.4 Características Físicas e Mecânicas

Os módulos no mercado são classificados de acordo com a sua potência e tipo de célula com diferentes tecnologias utilizadas. As caixas de conexão possuem o isolamento necessário para a conexão dos cabos e a outros módulos. Além disso, os módulos possuem um ponto de aterramento, para os casos em que as conexões entre módulos apresentam tensões elevadas. Os módulos vêm de fábrica com os conectores especiais para conexão rápida. Os mais comuns são os modelos MC3 e MC4, desenvolvidos pela empresa “Multi-contact”, mas que são fabricados por diversos outros fabricantes no mesmo padrão.

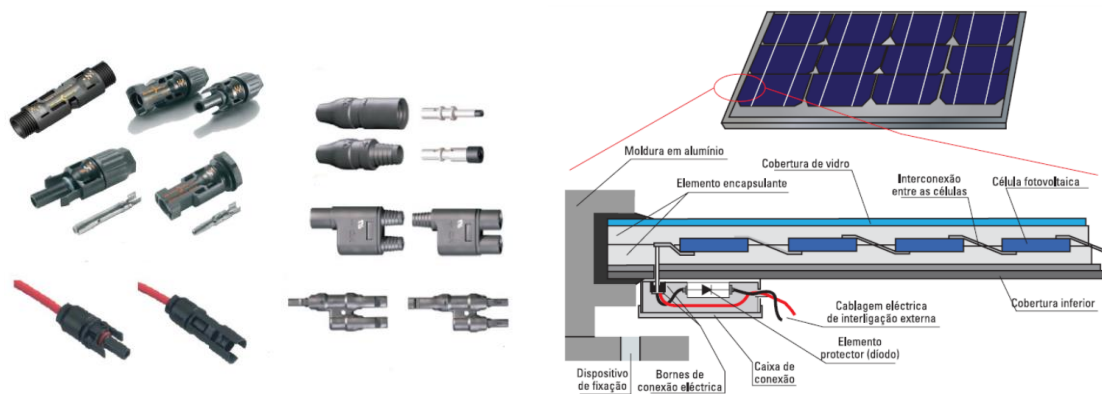


Figura 14: Pormenores de Interligações de módulos e conectores, Fonte: IPB

Em locais sujeitos às radiações solares, os materiais devem ser adequados à ação de fortes radiações solares, e deverá ser garantida a proteção mecânica das canalizações em todo o seu percurso. Os testes mecânicos determinam a capacidade dos módulos resistirem às intempéries, os testes de isolamento são para os elementos condutores e moldura. Os testes de torção detetam defeitos que possam aparecer em caso de montagem de módulos em estrutura inadequada. A interconexão das células é uma etapa que exige atenção. As células são conectadas entre si por meio de fios condutores [6], [7].

O processo de montagem do módulo fotovoltaico pode ser feito de maneira automática, através de maquinário especializado, ou por manufatura, onde o processo de produção não permite uma alta produção em escala.

Os testes mecânicos determinam a capacidade dos módulos resistirem às intempéries, os testes de isolamento são para os elementos condutores e moldura. Os testes de torção detetam defeitos que possam aparecer em caso de montagem de módulos em estrutura inadequada.

### 2.4.2 Inversor

Os conversores são dispositivos eletrônicos que possuem a capacidade de converter a energia elétrica produzida em corrente contínua CC pelo painel fotovoltaico em corrente alternada CA em rede monofásica ou trifásica de acordo com características de tensão e frequência específicas para sua ligação em sistemas isolados ou ligados à rede elétrica. Assim o inversor fotovoltaico realiza a ligação entre o sistema fotovoltaico e à rede elétrica. A sua principal função é converter o sinal elétrico contínuo do painel em um sinal elétrico alternado, fazendo o ajuste da frequência e o nível da tensão da rede no qual está ligado [7]. Para o dimensionamento do inversor, tem que se levar em consideração a potência que se pretende atribuir no sistema de forma a garantir as necessidades das cargas em CA, sendo assim o número do inversor é calculado com base na fórmula seguinte:

$$N_{Inv.} = \frac{P(W)}{P_{Inv}} \quad (4)$$

Onde:

$N_{Inv}$ : Número de Inversor;

$P_{(W)}$ : Potência do sistema;

$P_{(INV.)}$ : Potência do inversor.

Os inversores on-grid são conectados à rede elétrica de duas formas:

- Diretamente à rede – onde a energia é rapidamente circula para o sistema e utilizada pelos consumidores mais próximos;
- Através do ponto de conexão da edificação com a distribuidora – onde a energia elétrica gerada é consumida pela própria edificação/residência, e somente o excedente é fornecido à rede.

As funções do Inversor são:

- Converter a corrente contínua, gerada pelo sistema fotovoltaico, em corrente alternada, de acordo com funcionamento da rede de distribuição;
- Ajustar-se ao ponto de máxima potência (MPP) do arranjo fotovoltaico, conseguindo o seu maior rendimento;
- Registo Operacional, guardando/transmitido os dados durante o seu funcionamento, através de displays, cartões de memória, transmissão direta a computador, etc;
- Possuir dispositivos de proteção em CC e CA, como por exemplo: proteção contra curtos-circuitos (CC/CA), proteção contra inversão de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobre tensões, proteção para a conexão com a rede.

### 2.4.2.1 Associação dos Inversores

Os inversores on-grid para sistemas com potência-pico até 5 kWp são, geralmente, monofásicos e deve utilizar um único inversor. Para sistema com potências elevadas, são geralmente trifásicos, e são agrupados mais que um inversor.

Neste contexto podem ser definidas as seguintes configurações de inversores:

- Inversor Central, quando a conversão CC/CA de todo o sistema fotovoltaico é assegurada por um único inversor;
- Inversor de fileira, quando é utilizado um inversor por fileira para efetuar a conversão CC/CA;
- Inversor de várias fileiras, no caso da conversão CC/CA de uma ou várias fileiras ser realizada por um inversor;
- Inversor com módulo integrado, quando é utilizado um inversor por cada módulo.

#### 2.4.2.1.1 Inversor Central

Neste tipo de instalação os painéis fotovoltaicos são ligados a um único inversor, a sua utilização é condicionada a módulos com mesmas características elétricas e sujeito condições de orientação e sombreamento idênticos, de forma a não reduzir a sua eficiência. Esses inversores possuem uma alta eficiência e custo reduzido e estão sujeitos a trabalharem com a mesma corrente e tensão à entrada do inversor, sendo o ponto de potência máxima determinado em base nesses valores de tensão e corrente. Por ser único inversor, em caso de avaria pode pôr em causa o mau funcionamento de toda instalação [7], [8].

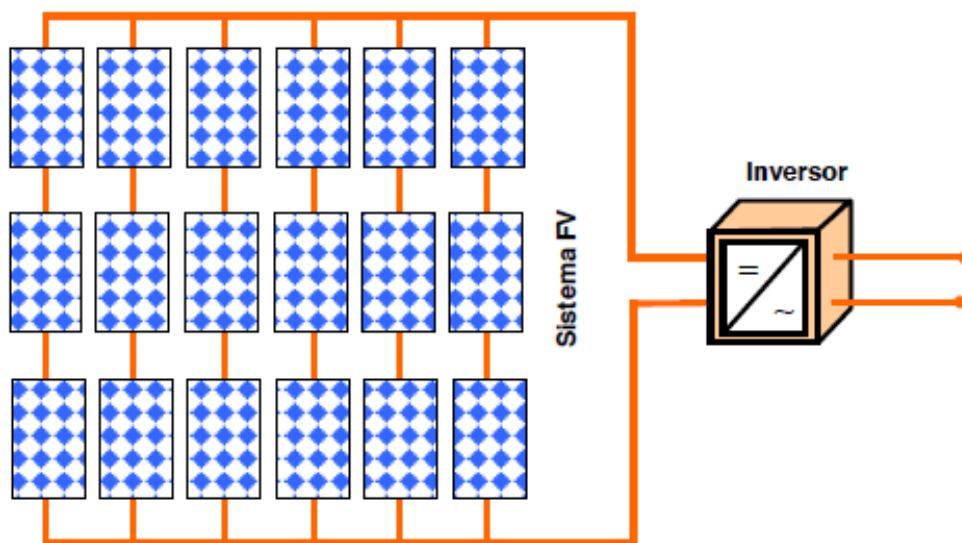


Figura 15:Esquema Inversor Central, Fonte: Docplayer, IPB

### 2.4.2.1.2 Inversor de Fileira

Neste tipo de sistema, os inversores são conectados individualmente a cada conjunto de fileiras de módulos, permitindo um melhor ajuste da potência, são geralmente configurados em sistemas de grandes dimensões constituído por várias fileiras com diferentes orientações ou sujeitos a diferentes condições de sombreamento, permitindo uma melhor adaptação do ponto de potência máxima às condições de radiação. Os módulos devem estar ligados entre se na mesma fileira com as mesmas características de funcionamento e por sua vez ligado ao inversor de fileira.

A utilização de inversores de fileiras favorece a instalação de sistema fotovoltaica e contribui na redução seus custos de instalação. Os inversores são geralmente montados próximo do sistema FV. Por este motivo devem ter um elevado grau de proteção – IP65. Mesmo considerando-se essa proteção, as condições climáticas mais adversas podem causar falhas e diminuir a vida útil dos inversores. Por isso é recomendável que sejam instalados em local protegido da radiação solar direta [7], [8], [9].

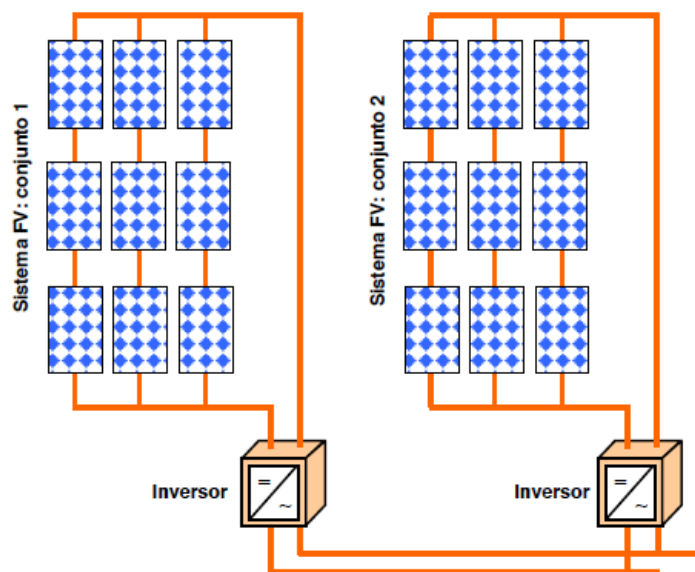


Figura 16: Esquema Inversor de Fileira, Fonte: IPB, Docplayer

### 2.4.3 Dispositivos de Proteção

Os disjuntores são componentes de proteção contra sobre intensidade, isolam o sistema fotovoltaico automaticamente da rede elétrica, caso ocorra sobrecarga ou curto-circuito e são frequentemente utilizados em circuitos CA.

Os Disjuntores diferenciais são aparelhos de proteção sensíveis à corrente de distribuição residual e controlam a corrente que flui nos condutores de ida e de retorno do circuito elétrico.

Os fusíveis são dispositivos de segurança de um circuito elétrico, a sua principal função é de interromper a circulação da corrente elétrica no circuito, quando a corrente ultrapassar o limite permitido pelo fusível, evitando um curto-circuito no sistema [10].



Figura 17: dispositivos de Proteção AC e DC, Fonte: Hager, Euro Vial

#### 2.4.3.1 Descarregadores de Sobretensões

Esses dispositivos são utilizados para proteger os circuitos dos equipamentos e instalação das eventuais descargas atmosféricas e de sobretensões de manobras e normalmente são classificados pela sua capacidade de descarga de corrente [11].



Figura 18: Descarregador de sobretensão, Fonte: IPB

Esquema de ligação dos descarregadores:

- O terminal (L+) do descarregador liga ao cabo positivo do PV;
- O terminal (L-) do descarregador liga ao cabo negativo do PV;
- O terminal (PE) liga o cabo de terra que irá ser equipotencializado no Quadro Geral.

#### 2.4.4 Baterias

A possibilidade de armazenar a energia elétrica fornecida pelo módulo fotovoltaico durante o dia para o consumo noturno contribuir de forma positiva no melhoramento e aproveitamento da energia que é produzida.

As baterias são sistemas de armazenamento de energia capazes de transformar diretamente a energia elétrica em energia química e posteriormente converter a energia potencial química armazenada em energia elétrica. As baterias no seu interior estão composta por conjunto de células eletroquímicas ligadas em série de modo a obter tensão elétrica desejada, devem possuir tempos de vida útil longos em condições de carga e descarga diárias. A profundidade de descarga é o nível máximo recomendado representa-se em (%), do total da sua capacidade. Durante a descarga ocorrem reações químicas nos dois elétrodos gerando um fluxo de elétrons através de um circuito externo. Aplicando uma tensão externa através dos elétrodos o processo é reversível permitindo que a bateria seja carregada.

As baterias podem ser associadas em série ou em paralelo para obter a tensão e correntes necessárias. O critério de associação é idêntico ao dos painéis fotovoltaicos onde a ligação em serie soma-se a tensão, mantendo – se a mesma intensidade da corrente, e em paralelo soma-se a corrente, mantendo-se os mesmos valores de tensão. As baterias devem ser projetadas para armazenar todos os dias a energia, desta forma o sistema pode fornecer energia em dias de pouca radiação, como em dias nublados, compensar as perdas do sistema e assegurar que a carga da bateria não ultrapasse o nível de profundidade de descarga máximo permitido 6], [7].

No dimensionamento das baterias deve leva-se em consideração os dias de autonomia que variam entre 2 a 5 dias para os períodos de verão e inverno respectivamente. O cálculo das baterias para menos de 2 dias provoca a redução do seu ciclo de carga, tendo como consequência a minimização do tempo da vida útil da bateria. Por outro lado o custo do sistema pode aumentar consideravelmente se forem projetadas para mais de 5 dias, podendo comprometer o orçamento do projeto. A capacidade de uma bateria depende fortemente do tempo de descarga, assim, para pequenos tempos de descarga, ou seja, elevadas correntes de descarga, a capacidade da bateria diminui. Por outro lado, para altos tempos de descarga, que implica pequenas correntes de descarga, a capacidade da bateria aumenta.

Estando cientes que o comportamento de uma bateria é não linear, não basta analisá-lo tendo em conta apenas o valor da sua capacidade (por exemplo, 2000 Ah).

Portanto, se uma bateria apresentar as seguintes características: 2000 Ah, C100, 25°C, 1,75 V<sub>corrente</sub>, significa que a uma temperatura de 25°C poderá fornecer 20 A durante 100 horas, após as quais a tensão nos terminais de cada célula será de 1,75 V [8], [9], [10].

#### 2.4.5 Regulador de Carga

De forma a proteger as baterias contra as sobrecargas são utilizados os controladores de cargas, esses controladores são dispositivo eletrônico que têm a função de controlar a carga da bateria com a energia elétrica procedente dos módulos fotovoltaicos. Os reguladores estão ligados eletricamente em série entre os módulos e os circuitos a alimentar [8], [9], [10].



**Figura 19:**Controlador de Carga Solar PWM, Fonte: 3MCE

#### 2.4.6 Interface de Comunicação, Gestão de Energia e Monitorização

Os sistemas de comunicação servem para monitoramento online e manutenção que permitem obter uma visão geral rápida e fácil, controlo em tempo real e manutenção online, análise profissional, relatório disponíveis para download, podem ser utilizados e partilhados em PC e telemóvel. [10]. Podem ser usados dispositivos inteligentes de gerenciamento para gestão de energia entre os pontos de consumo ou geração de eletricidade.

##### 2.4.6.1 Smart Power Sensor

Este módulo deve ser instalado no quadro elétrico e destina-se a medir a produção e os consumos da instalação fotovoltaica do tipo monofásico ou trifásico, utilizando uma garra amperimétrica. A comunicação é feita no protocolo RS485.



**Figura 20:** Smart Power Sensor, Fonte: Siministro del Sol

### 2.4.6.2 Sunny Home Manager

O Sunny Home Manager é um gestor inteligente de energia usado para gerir o armazenamento e limitar a injeção de potência ativa. Este produto otimiza o autoconsumo, faz a medição da injeção na rede e o consumo de energia da instalação.



Figura 21: Sunny Home Manager, Fonte: Trilhos energéticos

### 2.4.7 Controladores e Medidores

Os medidores e controladores são dispositivos que controlam e medem a quantidade de energia elétrica que esta a ser produzida ou consumida.

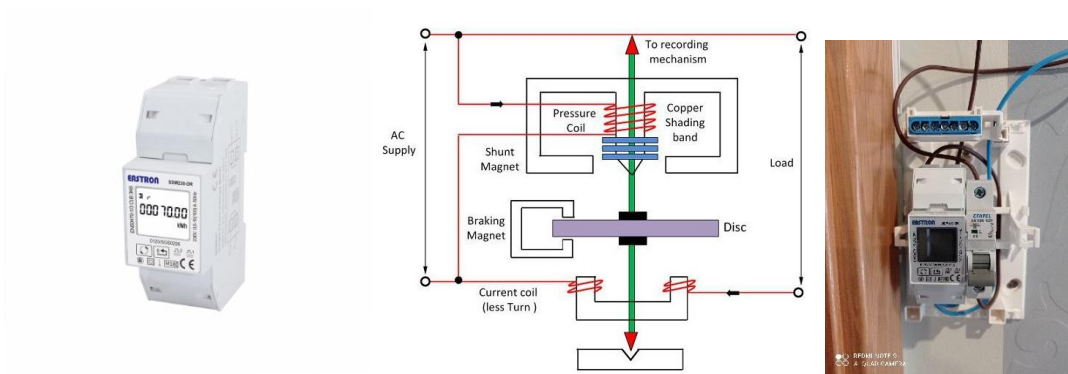


Figura 22: Medidor de energia

As concessionárias de energia elétrica usam medidores elétricos instalados nas instalações dos clientes para medir a energia elétrica entregue aos seus clientes para fins de faturamento. Estes são normalmente calibrados em unidades de faturação, sendo a mais comum o quilowatt-hora [kWh]. Geralmente são lidos uma vez a cada período de faturação.



Figura 23: Smart Meter, Fonte: Fronius, Solax Power

### 2.4.8 Estrutura de Suporte

A estrutura de fixação é a base do sistema de energia fotovoltaico, uma boa base assegura a eficiência do seu sistema, a segurança e o retorno de seu investimento. A disposição dos módulos fotovoltaicos sobre as telhas facilita a integração arquitetônica. Um conjunto de ferramentas permite configurar e ajustar uma estrutura metálica fixadas nas telhas, no qual se instala o módulo fotovoltaico. Este procedimento garante mais segurança, sobretudo em locais com enormes intensidades de ventos. A sua escolha depende muito de inúmeras ocasiões, uma solução de compromisso entre rendimento e integração do edifício [6], [7], [8].

As estruturas de suporte geralmente são feitas de alumínio ou aço inoxidável, sendo a maioria das estruturas de fixação para painéis fotovoltaicos realizadas para aplicações universais, como: coberturas de telha de barro, telha de concreto, telhado metálico, telha de fibrocimento, seguidores solares e fixação direta sobre o solo. No momento da instalação temos que levar em consideração as condições de uso do telhado.

Para fixar os módulos em telhados é necessário instalar um perfil de suporte que pode ser fixado nas telhas (no caso de telhas metálicas) ou no suporte do telhado (no caso de telhas de cerâmica/argila ou concreto [10], [11]).

Uma boa estrutura de suporte para fixação de painéis fotovoltaicos deve ser fácil de instalar, feita com materiais de alta qualidade e possuir proteção contra corrosão. Para uma correta fixação deve calcular-se o espaço entre a superfície dos módulos e a cobertura do telhado, de modo a minimizar o escoamento de águas e permitir a passagem do vento. O espaço entre módulos deverá ter a largura suficiente que compense a ação da pressão do vento (aproximadamente 2 cm, no mínimo) [10], [11].



**Figura 24:**Estrutura de Suporte

### 2.4.8.1 Seguidor Solar

Os seguidores solares são estruturas que variam varias vezes as posições dos painéis solares durante todo dia com movimento automático por meios de sensores, seguindo todo o caminho do sol de este a oeste de forma a otimizar o seu rendimento energético. Deste modo, o módulo estará todo tempo perpendicular ao sol, maximizando a energia elétrica num valor disponível entre 10% e 15%. [10].



Figura 25:Seguidor Solar

### 2.4.9 Distância entre Fileiras

Um aspeto a considerar são as sombras que podem afetar os módulos fotovoltaicos, pois durante o dia as sombras variam de posição, mas também durante as diferentes estações do ano. No inverno, por exemplo, a radiação solar atinge a Terra numa direção menos perpendicular à superfície da Terra do que no verão, sendo então as sombras muito mais longas. A figura abaixo descreve o cálculo da distância entre as fileiras.

$$d = b \times \left( \cos \beta + \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} \right) \quad (5)$$

Onde:

$d$ : Afastamento entre as fileiras dos módulos;

$b$ : Altura a partir da horizontal;

$\beta$ : Ângulo da altura mínima do Sol a 22 dezembro, no local \*;

$\alpha$ : Inclinação do módulo.

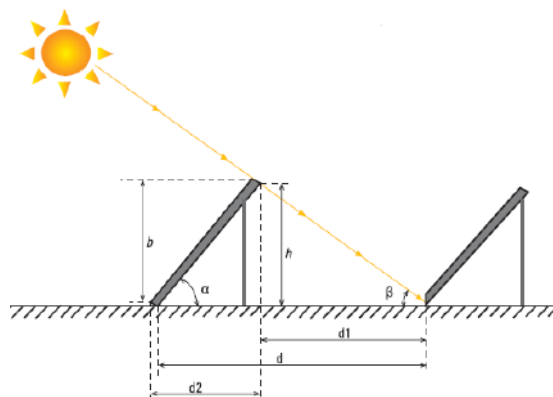


Figura 26:Distanciamento entre fileiras

#### 2.4.10 Cabos Elétricos

Os cabos elétricos são utilizados na interligação nas instalações elétricas dos módulos fotovoltaicos e dos componentes de regulação, acumulação e conversão para a corrente alternada e entre as cargas a serem alimentadas e devem ser dimensionados de forma correta para não provocar perdas excessivas de energia [6], [10], [11].

Os critérios que devem ser levados em consideração:

A cor, mesmo não sendo imprescindível nas instalações, é aconselhável ter em conta os critérios de cor:

- Circuitos de corrente contínua: Vermelho para o positivo e preto para o negativo;
- Circuitos de corrente alternada: Castanho, preto cinzento para as fases e o azul para o neutro;
- A terra em instalações: Verde/ Amarelo.

A secção considera-se aceitáveis para efeitos de cálculo de secção do cabo as seguintes perdas:

- Do módulo fotovoltaico ao regulador 1%;
- Do regulador ao acumulador 1%;
- Do regulador aos elementos de consumo 3%.

##### 2.4.10.1 Queda de Tensão

$$\Delta V = \mathcal{R}_c \times I ; \mathcal{R}_c = \rho \times \frac{L}{S} \quad (6), (7)$$

Onde:

$\Delta V$ : Queda de tensão num condutor;

$\mathcal{R}_c$ : Resistência do condutor do cabo;

$I$ : Corrente que percorre o cabo;

$\rho$ : Resistividade ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ );

$L$ : Comprimento do cabo (m);

$S$ : Secção do condutor ( $\text{mm}^2$ ).

O cabo passará por dois ou três dispositivos, dependendo do caso. O primeiro é o fusível, é preciso deste componente para a proteção de uma possível sobre corrente do seu sistema, em seguida um disjuntor de corrente alternada que servirá apenas como uma chave seccionadora, ou "liga e desliga". Logo após, o dispositivo DPS "Dispositivo de Proteção Contra Surtos", com ele protegemos o circuito de sobretensões. No dimensionamento da secção do cabo devemos levar em consideração a distância entre componentes, ter em conta a corrente em circulação (em amperes) e a sua queda de tensão % (em percentagem) [10], [11].

$$S(mm^2) = \frac{0,0036 \times L}{\Delta V} \quad (8)$$

$$S_{Fileira}(mm^2) = \frac{2 \times V_{MPP} \times P_{Fileira}}{1\% \times V_{MPP} \times \sigma} \quad (9)$$

Onde:

$\sigma$ : Condutividade do condutor (cobre 56 m/Ω mm<sup>2</sup>; Alumínio 34 m/Ω mm<sup>2</sup>);

$V_{MPP}$ : Valor da tensão da fileira;

$\Delta V$ : Queda de tensão num condutor.

Deve-se ter especial cuidado no dimensionamento de cabos em DC

- Esforços eletrodinâmicos (correntes paralelas de sentido inverso);
- Aquecimento por efeito de Joule;
- Os condutores de polaridade (+ e -) devem ser independentes (não agrupados num só cabo);
- Os contactos elétricos devem ser de elevada qualidade.

#### 2.4.10.2 Cálculo de Perdas nos Cabos do Lado DC

Para garantir a segurança e fiabilidade do transporte de corrente no sistema, a secção transversal do cabo de fileira é utilizada para determinar a corrente do corte do fusível de proteção. Como visto anteriormente, está omissa que a queda de tensão admitida no dimensionamento é de 1 %. De acordo com a norma IEC 60364-7-712 os cabos de fileira devem suportar correntes 1.25 vezes superiores à corrente de curto-circuito do Painel Fotovoltaico, e devem estar protegidos contra falhas de terra [7], [11].

$$Perdas_{M(W)} = \frac{2 \times N \times L_{Fileira} \times I_{Fileira}^2}{S_{Fileira} \times \sigma} \quad (10)$$

$$Perdas_{M(W)} = \frac{2 \times N \times L_{DC} \times I_N^2}{S_{DC} \times \sigma} \quad (11)$$

$$Perdas_{M(W)} = \frac{2 \times I_{Fileira}^2}{\sigma} \times \left( \frac{L_{Fileira1}}{S_{Fileira2}} + \frac{L_{Fileira2}}{S_{Fileira2}} + \dots \right) \quad (12)$$

Onde:

$N$ : N.º de fileiras;

$L$ : Comprimento da fileira (m);

$I$ : Corrente nominal na fileira (A);

$S$ : Secção do cabo (mm<sup>2</sup>);

$\sigma$ : Condutividade do condutor.

### 2.4.10.3 Cálculo de Perdas nos Cabos lado AC

O cabo de ligação de corrente alternada liga o inversor à rede recetora, através do equipamento de proteção. No caso dos inversores trifásicos, a ligação à rede de baixa tensão é efetuada com um cabo de cinco polos. Para os inversores monofásicos é usado um cabo de três polos. No cálculo da secção transversal do cabo de alimentação AC, assume-se uma queda de tensão máxima admissível na linha de 3% [5], [7], [11].

$$S_{AC(mm^2)} = \frac{2 \times L_{nAC} \times \cos \varphi}{3\% \times U_n \times \sigma} \quad (13)$$

$$Perdas_{AC(W)} = \frac{2 \times L_{AC} \times I_{nAC}^2 \times \cos \varphi}{S_{AC} \times \sigma} \quad (14)$$

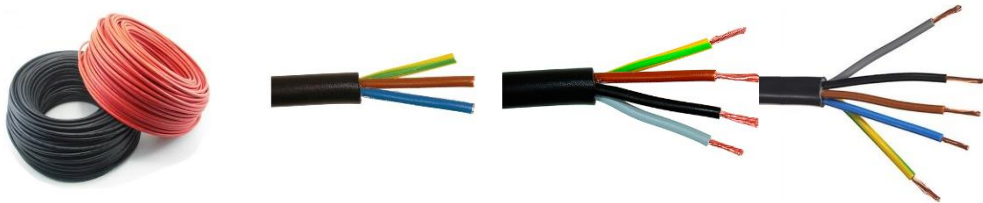
Onde:

$U_n$ : Tensão nominal da rede (230/400V);

$L_{AC}$ : Comprimento do ramal (m);

$I_{nAC}$ : Corrente nominal do inversor (A);

$\cos \varphi$ : fator de potência (0.8 a 1).



**Figura 27:** Cabo Solar e AC Monofásico, Bifásico e trifásico

Equipamentos como os módulos fotovoltaicos, os inversores e toda a cablagem envolvida nos processos de transformação e transporte, têm um fator de perda consoante o modelo escolhido, mas também são afetados pela temperatura que muitas das vezes é consequência das exigências a que o sistema está sujeito, assim como das condições climáticas do local e da radiação solar.

#### 2.4.10.4 Aterramento Elétrico

No caso de um isolamento mal feito, fios e cabos descascados e sobrecarga elétrica, por exemplo, essa eletricidade pode se acumular, sobrecarregando a instalação e os equipamentos. De forma a proteger as pessoas, animais e bens, o condutor de terra elimina esse excesso de energia, através do aterramento escoando as corrente de fugas para a terra. Por forma a reduzir as tensões induzidas pelas descargas atmosféricas, a área formada pelos anéis dos condutores deve ser tão pequena quanto possível [6], [10], [11].



Figura 28:Ligação de cabo Terra

#### 2.4.11 Sistemas Ligados à Rede (On-Grid)

Para sistemas ligados à rede, a tensão a saída do inversor deve ser (230/400 V) alternada de componente fundamental sinusoidal e com 50 Hz de frequência, contendo baixo conteúdo harmônico. Para além da conversão do sinal o inversor assume outras funções como ajuste do ponto operacional do inversor ao MPP do gerador através do seguidor de potência Maximum Power Point Tracking (MPPT), dispositivo de proteção AC e DC e registro de dados operacionais e sinalização [4], [6], [8].

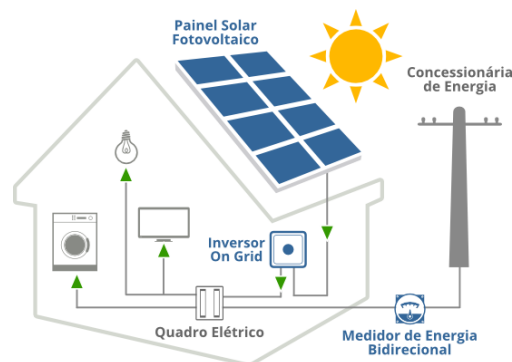


Figura 29:Sistemas solar fotovoltaica Ligados a rede

## 2.4.11.1 Dimensionamento de Sistemas Ligados à Rede

### 2.4.11.1.1 Escolha do Módulo

Para a seleção do módulo fotovoltaico é necessário conhecer a potência de pico do painel desejada, determinada pela área disponível que é influenciada pela dimensão da superfície e do painel, a levar em consideração o número de módulos por fileiras tendo em conta o tipo de ligação a ser feita de forma a satisfazer as necessidades da produção, sendo ligado em série de forma a aumentar a tensão ou em paralelo para aumentar o valor da corrente. O número de módulo é calculado através da divisão entre a potência de pico do painel e a potência de pico do módulo [3], [9], [10].

$$n_{\text{Módulos}} = \frac{P_{\text{Pico do Painel}}}{P_{\text{Pico de módulo}}} \quad (15)$$

Verificar a tensão de módulos para diferentes condições de funcionamento, uma vez que os valores de tensão variam de acordo com as temperaturas para os períodos de verão e inverno, o efeito da temperatura condiciona de forma inversa, tendo em conta que na estação de inverno onde as temperaturas são baixas se registram valores elevados de tensão, enquanto no verão onde as temperaturas apresentam valores elevados e a tensão atinge valores baixos. Os parâmetros necessários para a verificação da tensão para as temperaturas máximas e mínimas são:

- Tensão e corrente no ponto máximo de potência do módulo,  $V_{MPP}$ , e  $I_{MPP}$ ;
- Tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ) para baixas temperaturas ( $-10^{\circ}\text{C}$ ).

Esses valores de tensão e corrente são encontrados na ficha fornecida pelo fabricante (datasheet) em condições de STC no plano do painel.

$$V_{OC(x^{\circ}C)} = V_{OC(stc)} + \Delta T \times COF_{(V_{OC})} \quad (16)$$

$$I_{SC(x^{\circ}C)} = I_{SC(stc)} + \Delta T \times COF_{(I_{SC})} \quad (17)$$

Onde:

$V_{oc}$ : Tensão de circuito aberto;

$\Delta T$ : Variação de temperatura;

$COF_{(V_{OC})}$ : Coeficiente Tensão de circuito aberto;

$I_{SC}$ : Corrente de curto-circuito.

Cálculo da tensão para as temperaturas extremas do módulo (considera-se  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $+70^{\circ}\text{C}$ ) valores limites para funcionamento das células FV, a diferença relativamente a temperatura nas condições STC de  $25^{\circ}\text{C}$  é de  $-31$  e  $+20^{\circ}\text{C}$  [9], [11].

$$V_{MPP(-10)} = V_{MPP(stc)} + \Delta T \times COf_{(V_{oc})} \quad (18)$$

$$V_{MPP(+70)} = V_{MPP(stc)} + \Delta T \times COf_{(V_{oc})} \quad (19)$$

Onde:

$V_{MPP}$ : Tensão no ponto máximo de potência;

$\Delta T$ : Variação de temperatura;

$COf_{(V_{oc})}$ : Coeficiente tensão de circuito aberto;

$Stc$ : Standard Testing Conditions.

#### 2.4.11.1.2 Escolha do Inversor

A potência nominal do inversor é determinada pela potência de pico do módulo, dados fornecidos pelo fabricante nas mesmas condições de STC ( $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $M_{ar}=1,5$ ). O inversor pode ser subdimensionado “na zona A” da figura 30 até cerca de 70% da potência de pico do módulo Fotovoltaico.

O inversor pode ser sobredimensionado “na zona B” tipicamente de 10% a 20% da potência de pico do gerador FV. Aqui é garantido o maior aproveitamento da  $P_{m\acute{a}x(pv)}$  que é gerada.

$$COf_{PN} = \frac{P_{DC(Inv.)}}{P_{Pico(FV)}} \quad (20)$$

Onde:

$COf_{PN}$ : Coeficiente de potência nominal;

$P_{DC(Inv.)}$ : Potência nominal contínua do inversor;

$P_{Pico(FV)}$ : Potência de pico sistema fotovoltaico;

$P_{m\acute{a}x(pv)}$ : Potência máxima do inversor;

$M_{ar}$ : Massa de ar.

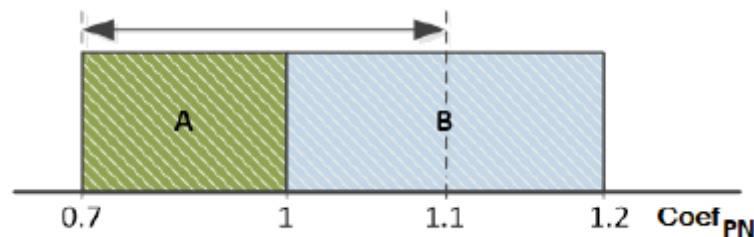


Figura 30: Critério para o dimensionamento do inversor

Um dos fatores a ter em consideração é a compatibilidade entre o inversor e o painel FV, onde a potência do inversor pode ter valores na ordem de 5% a 10% mais baixos do que a potência de pico do módulo e nunca exceder os valores limites do inversor (tensão e corrente) a entrada nas condições de temperatura extremas consideradas.

Aproveitar o rendimento máximo do inversor, se for possível o  $V_{mpp}$  do gerador fotovoltaico durante a NOCT, deverá situar-se, perto do valor da tensão que maximiza a curva do rendimento do inversor [4], [6], [11].

As características técnicas do inversor (datasheet) apresenta informações úteis para a sua correta instalação, possuindo diversos níveis de potência, utilizada de acordo com uma determinada área. Há uma relação entre a potência do inversor com o painel fotovoltaico [8], [9], [10], [11].

$$0.7 \times P_{FV} < P_{max}^{Inv} \times 1.2 \times P_{FV} \quad (21)$$

Onde  $P_{max}^{Inv}$  representa a potência máxima (nominal) do Painel fotovoltaico e  $P_{MAX}$  a potência DC máxima (nominal) do inversor.

#### 2.4.11.1.3 Verificação dos Limites de Corrente e Tensão

Deve haver uma concordância na tensão dos terminais das fileiras com o inversor, onde os valores de limite mínimo e máximo da tensão devem corresponder ao ponto de potência máxima do inversor, estando dentro da gama da variação da tensão para qual o inversor se adapta ao ponto equivalente à máxima extração de potência da fileira.

O valor da tensão em circuito aberto ( $V_{oc}$ ) da fileira deve também ser verificado de forma a assegurar que é inferior ao valor máximo suportado da tensão a entrada do inversor [7], [8], [9].

Feito toda a verificação e tendo em conta as condições necessária, é preciso determinar o número de módulos a ligar em série, ou paralelo, e o número de fileiras.

$$N_{m\acute{a}x.m\acute{o}d/Fil} = \frac{V_{m\acute{a}x(inv.)}}{V_{OC(-10^{\circ}C)}} \quad (22)$$

$$N_{min.m\acute{o}d/Fil} = \frac{V_{min(inv.)}}{V_{mpp(+70^{\circ}C)}} \quad (23)$$

A corrente do painel fotovoltaico caracteriza-se pela soma das correntes de cada fileira, e essa não pode exceder o limite máximo da corrente de entrada no inversor, onde é possível calcular o número máximo de fileiras em paralelo.

$$n_{max}^{fileira} \leq \frac{I_{max}^{inv}}{n_n^{fileira}} \quad (24)$$

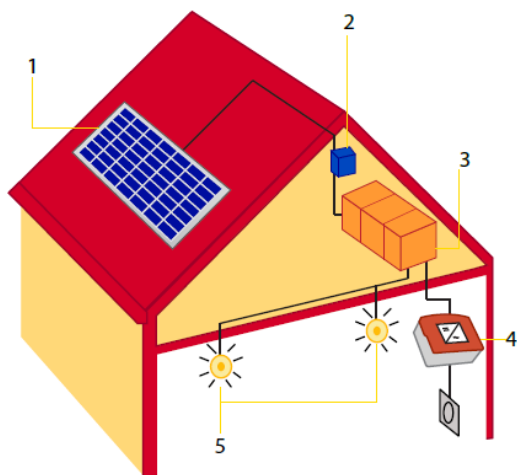
#### **2.4.12 Sistemas Autónomos (Off-Grid)**

Os sistemas autónomos são usados para alimentar um conjunto de cargas que funcionam isoladas da rede elétrica, durante todo o ano. Devem ser definidas características do Sistema Fotovoltaico como a consumo diário média e a potência do(s) Inversor(s) Autônomo (s), fazer o dimensionamento de bancos de baterias, calcular a sua capacidade útil, profundidade de descarga, capacidade real e configuração dos seus elementos [3], [10].

##### **2.4.12.1 Dimensionamento de Sistemas Autónomos**

O dimensionamento desse tipo de sistemas é efetuado através do conhecimento da intensidade da radiação solar disponível. Estes sistemas para além de integrarem com os painéis solares, são também constituídos por equipamentos como as baterias que têm a função de assegurar a alimentação dos consumos de energia elétrica nos dias em que existe pouca irradiação e quando não há disponibilidade de recursos solares como é o caso de períodos noturnos. Dado que a produção de energia muitas vezes não coincidem, quer ao longo do dia ou ao longo dos anos, o armazenamento de energia assume um papel importante [7], [8], [9].

O painel fotovoltaico para sistemas autónomos é configurado para fornecer tensões entre 12 a 48 Volts, sendo as tensões de 12 e 24 Volts as mais utilizadas, enquanto a tensão de 48 Volts é usada em instalações de grande dimensões. O painel é dimensionado para fornecer o potencial elétrico para um dia médio de uso. Essa energia será armazenada em baterias ou utilizadas diretamente em caso de sistemas autónomos sem armazenamento. No sistema isolado o armazenamento de energia e o seu fornecimento ao consumo é realizado em CC (corrente contínua). Os inversores neste tipo sistema são utilizados de forma a permitir a alimentação em aparelhos elétricos convencionais que requerem o uso em CA (corrente alternada), ( $V=230$  Volts e  $f=50\text{Hz}$ ) a partir da rede CC [5], [6], [9].

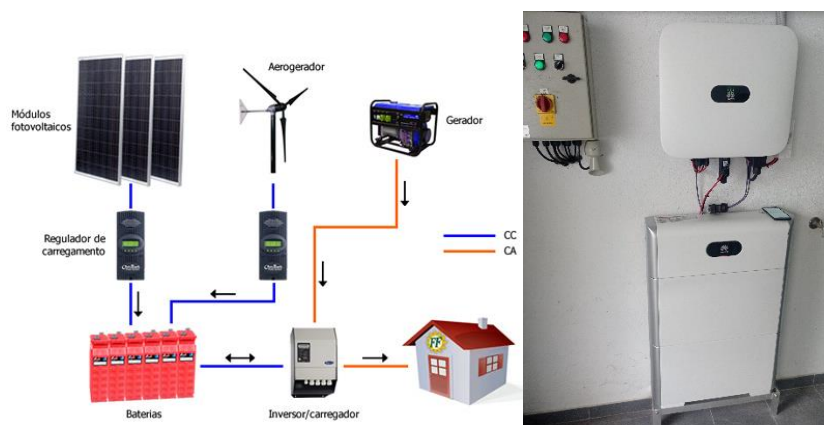


Onde:  
 1– Painel fotovoltaico;  
 2– Controlador de Carga/Descarga das baterias;  
 3– Banco de baterias;  
 4– Inversor autônomo para cargas em CA;  
 5– Cargas CC ou CA.

**Figura 31:** Esquema para sistemas Autônomos

### 2.4.13 Sistemas Híbridos

Sistemas híbridos de energia elétrica são aqueles sistemas que fazem a combinação de duas ou mais fontes de produção de energia, a fim de proporcionar maior eficiência no sistema e confiabilidade no fornecimento de energia. As fontes de produção poderão compreender fontes renováveis, tais como energia solar, eólica, hídrica, da biomassa e células de combustíveis, e outras fontes, podendo ser complementadas com fontes de produção convencionais, tais como gerador a diesel, centrais termoelétricas e nucleares, combinando-se em um sistema único de geração de energia [8], [10], [11]. Uma vez que os sistemas híbridos são explorados na ausência da rede elétrica convencional, torna-se necessária a existência de um sistema de gestão e controle das diferentes fontes de energia, de modo a satisfazer os consumidores e assegurar o menor custo de produção. Para tal é necessário maximizar a eficiência do sistema, em função do consumo e da disponibilidade dos recursos.



**Figura 32:** Sistemas Fotovoltaico Híbridos, Fonte: Tecnovitas

## 2.5 Orientação e Inclinação

A geração de energia fotovoltaica não depende apenas da irradiação e da temperatura, outros fatores como a orientação e o ângulo de inclinação dos módulos influenciam na produção de energia. Para um melhor dimensionamento de sistemas solares cujo objetivo é aproveitar a máxima energia solar, um ângulo de inclinação ideal varia dependendo das estações do ano e da localização geográfica. O melhor seria se a radiação solar atingisse de forma perpendicular a superfícies do painel maximizando a quantidade de radiação solar e consequentemente melhor produção energética e sua rentabilidade. Há uma dificuldade em otimizar o ângulo de inclinação do painel nos sistemas fixos com a horizontal devido ao fato no verão o sol se encontra mais alto e no inverno acontecer o oposto [5], [6], [7].

A inclinação dos painéis depende de acordo com a variação da latitude do local e o tipo de sistema escolhido. Recomenda-se uma maior inclinação para sistema isolados de forma a captar maior radiação solar. A orientação ótima dos módulos fixos é aquela que permite o melhor aproveitamento da irradiação solar incidente. Para que esse aproveitamento se verifique, os módulos devem estar orientados para o sul (azimute zero) em países acima do meridiano equatorial, ou para norte em locais pertencentes ao hemisfério sul [10], [11].

Para sistema isolado utiliza-se essa fórmula no cálculo da inclinação:

$$\beta = \phi + (\phi/4) \quad (25)$$

Onde:

$\beta$  = Inclinação do painel em relação ao plano horizontal;

$\phi$  = Latitude da localidade.

Para sistema conectado a rede utiliza-se a seguinte equação:

$$\beta = 3,7 + 0,69\phi \quad (26)$$

Em latitudes acima de entre 15° e 30° podemos aproximar os cálculos:

- Latitude + 5°, para sistemas autônomos;
- Latitude – 5°, para sistemas on-grid.

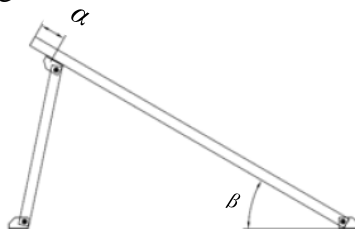


Figura 33: Configuração do ângulo de Inclinação

## 2.6 Enquadramento Legal

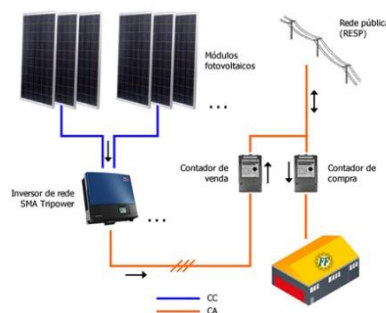
### 2.6.1 Sistemas UPAC

As unidades de autoconsumo produzem eletricidade de forma a satisfazer as necessidades de consumo. A energia produzida é consumida instantaneamente, reduzindo assim a compra de energia da rede. O aproveitamento da energia produzida pelo sistema fotovoltaico na instalação elétrica ocorre apenas quando existe consumo. A energia excedente é injetada na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP).

De acordo com a legislação em vigor, a UPAC (Unidade de produção para Autoconsumo) tem de ter um equipamento de medida da energia adequado para registo, quer da energia consumida como Cliente, quer da energia injetada como produtor, em períodos de contagem de 15 minutos. Os titulares das UPAC com potência instalada superior a 350W e igual ou inferior a 30 kW e das unidades de produção sem ligação à RESP apresentam uma mera comunicação prévia de exploração, dirigida à DGEG, através do SERUP, estando dispensados de efetuar o registo (Decreto de Lei 162/2019 de 25 de outubro, 2019) [14].

### 2.6.2 Sistema UPP

A instalação de uma unidade de pequena produção (UPP) é direcionada exclusivamente a venda de energia e está sujeita a um registo prévio onde sua entrada em funcionamento requer um certificado de exploração para o efeito, o que pode ser distinto do procedimento de entrada em exploração para o autoconsumo, consoante a sua dimensão e a sua intenção de fornecer excedente de energia à RESP (Rede Elétrica de Serviço Público). O mesmo diploma estabelece ainda o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, através de uma unidade de pequena produção (designadas por Unidades de Pequena Produção - UPP) a partir de energias renováveis, baseada em uma só tecnologia de produção, cuja potência de ligação à rede seja igual ou inferior a 350 kW, destinada à venda na sua totalidade à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) [14].



**Figura 34:** Unidade de Pequena Produção, Fonte: FF Solar

### 3. Análise económica

Nesta etapa resultam no cálculo da viabilidade económica. O estudo do desempenho do sistema na conversão energética, associado ao sistema tarifário aplicado na altura, traduz a rentabilidade financeira do projeto. Com base neste estudo é possível, a partir da quantidade de energia injetada na rede durante o tempo de vida útil do sistema fotovoltaico, planificar o tipo de investimento, avaliar a sua fiabilidade, e estimar o tempo de retorno desse investimento. No estudo de viabilidade económica, serão analisados critérios como VAL (Valor Atual Líquido), TIR (Taxa Interna de Rentabilidade), Amortização (Payback) e o Período de Retorno.

O **Valor Atualizado Líquido (VAL)** compara o valor presente do investimento com o valor presente do benefício proveniente do projeto, ou seja, as receitas, este valor corresponde à diferença dos valores atualizados ou descontos, para um momento comum, de todas as despesas e receitas referente a determinado projeto, ao longo do prazo de vida útil do projeto. O VAL pode assumir valores positivos, negativos ou nulos. Quando o valor é positivo, a instalação da UPAC é economicamente viável, permite cobrir o investimento e ainda gerar excedentes financeiros. Se o valor for negativo, a instalação da UPAC não é economicamente viável. No caso de o valor ser nulo, o projeto é economicamente viável, mas não irá gerar excedentes financeiros [14].

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (27)$$

Onde:

$CF_t$ : Cash flow gerado pelo projeto no período t;

$I$ : Taxa de atualização.

Na obtenção de um **Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)** maior que à taxa de atualização considerado no cálculo do VAL significa que o projeto consegue gerar uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital, o que significa, em princípio, que estamos perante um projeto economicamente viável. Já o contrário quer dizer que a rentabilidade mínima exigida não é alcançada. Os parâmetros que mais influenciam o TIR são, o valor do investimento, a atualização anual e a receita líquida.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+TIR)^t} \quad (28)$$

A determinação da rentabilidade de um projeto é feita com a comparação entre o **cash flows de exploração** e de investimento, sendo estes de carácter previsional. Assim, um projeto só é aceitável e rentável caso o somatório do cash flows de exploração seja superior ao valor do somatório do cash flows de investimento, em termos de valores atualizados. Para tal, o cash flows gerados são atualizados e isso implica descontar um fluxo futuro através de uma taxa de atualização ( $i$ ).

A **taxa de atualização ( $i$ )** permite descontar os custos e benefícios gerados ao longo de um período de estudo do projeto para haver possibilidade de serem comparados. Dependendo da ótica de avaliação - do projeto ou do investidor - a taxa de atualização pode ser considerada taxa de capital próprio (custo de oportunidade) ou custo médio do capital [14].

Quando a potência instalada for superior a 1,5 kW e inferior 1 MW, é necessário a realização de um registo junto do SERUP – Sistema Eletrónico de Registo das UPAC e das Unidades de Pequena Produção (UPP) a obtenção de um certificado de exploração junto da DGEG, devendo ainda serem pagas uma das seguintes taxas de registos:

- 70€, caso a potência instalada seja superior a 1,5 kW e igual, ou inferior, a 5 kW;
- 175€, caso a potência instalada seja superior a 5 kW e igual, ou inferior, a 100 kW;
- 300€, caso a potência instalada seja superior a 100 kW e igual, ou inferior, a 250 kW;
- 500€, caso a potência instalada seja superior e 250 kW e igual, ou inferior, a 1 MW.

Os **tempos de amortização** para os investimentos a realizar para cada projeto, para que posteriormente, os resultados sejam comparados e, tendo em conta outras conclusões, seja então encontrada a solução ótima, ou seja, a melhor solução técnico-económica. Para qualquer investimento num projeto, este de início possui um período de despesas a qual se segue um período de receitas líquidas, receitas essas que irão recuperar todo o capital investido.

O período de tempo necessário para as receitas recuperarem a despesa do investimento é o período de amortização, ou seja, é o tempo necessário para pagar a dívida. Para determinar o tempo de amortização do investimento de cada projeto teve-se em consideração a legislação em vigor para o setor fotovoltaico, de forma a apurar o regime remuneratório aplicável para que fosse possível determinar o tempo de retorno dos investimentos com rigor [14].

## 4. Casos Práticos de Estudo e Projetos Realizados

O objetivo deste capítulo é fazer uma análise de algumas instalações para autoconsumo, realizadas durante o período de estágio, onde serão abordados 4 projetos que incluem sistemas conectados a rede, autónomos e híbridos com inversores e micro inversores. Serão abordados assuntos técnicos e económicos, pretende-se efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, e também estimar a energia produzida, face à intensidade de radiação solar incidente no local da instalação.

### 4.1 Localização das Instalações

Os projetos de estudo estão localizado na região de Lisboa



Figura 35:Localizações das instalações, Fonte: Sunny Design

O devemos ser criterioso na especificação dos equipamentos para garantir um projeto econômico e funcional. O desenvolvimento matemático e critérios de avaliação desenvolvidos irão auxiliar o projetista na verificação da viabilidade de se implantar em um determinado local um sistema fotovoltaico, no índice de radiação e da temperatura local, cujos dados podem ser coletados por aparelhos de medição ou obtidos em mapas de insolação, obtendo-se assim características do desempenho das placas, assim como efetuar cálculos para dimensionar os equipamentos à serem utilizados, baseado no tipo de configuração e da carga solicitada pelo consumidor.

## **4.2 Dimensionamento de Sistemas Ligados à Rede (Projeto 1)**

O primeiro procedimento consiste em realizar uma visita técnica ao local a fim de identificar e escolher a área mais adequada para a realização da instalação do sistema fotovoltaico. Deve realizar-se uma ficha de registro de dados relativos às especificações dos sistema, levar em consideração o acesso ao local de fixação e instalação dos equipamentos, a orientação, inclinação, área disponível, sombreamento, comprimentos dos cabos, análise das faturas energéticas, para o conhecimento do consumo de eletricidade, sobretudo nos períodos de inverno e verão, saber tipo de ligação elétrica à rede da residência, podendo ser monofásico ou trifásico e ter informações relativos a estrutura de telhado e telha para a fixação correta dos módulos.

### **4.2.1 Características e Dimensionamentos do Sistema**

Para dimensionar corretamente o sistema é necessário conhecer o perfil de consumo energético do edifício. Por isso há necessidade de recorrer à análise das faturas de eletricidade e às leituras dos consumos que são obtidos através do dispositivo de contagem. Foram levados em consideração para o dimensionamento as seguintes características, o potência elétrica a ser injetado na rede de distribuição, integração mecânica dos módulos fotovoltaicos, tensão máxima (em ponto de máxima potência) do inversor, tensão máxima de funcionamento do inversor, corrente máxima à entrada do inversor, conhecer a eficiência média do inversor, potência de pico dos módulos fotovoltaicos, temperaturas de funcionamento das células fotovoltaicas e a perda de potência elétrica nos condutores.

A quantidade total de energia que é necessário prever de maneira a garantir a alimentação diária de todos os equipamentos, corresponde ao somatório das energias parciais consumidas pelos diferentes equipamentos utilizados. Deve-se Multiplicar a potência em Watts do aparelho pelo tempo de uso, e assim obtemos o seu consumo elétrico em Watt-hora por dia (Wh/dia). Soma-se o consumo de todos os aparelhos e teremos o potencial elétrico que o sistema fotovoltaico deverá fornecer às cargas. Selecionar o inversor e o módulo certo que cumpra os requisitos para a aplicação pretendida, tem grande influência no funcionamento dos sistemas FV.

O modelo do módulo fotovoltaico selecionado para o sistema em estudo é o da Canadian solar CS3W-450MS e o inversor da Huawei SUN2000-3-10KTL-M1, onde as informações mais relevantes se encontram na tabela abaixo. Optou-se por uma potência de ligação próxima da potência média, de 8 kW, correspondendo a uma potência instalada de 5.4 kWp, Estes inversores são equipados com dispositivos que permitem a deteção de falhas na rede de cabos AC, e acionam o corte assim que se detete algum defeitos na linha. Estes inversores também estão equipados com proteção contra polaridade inversa nos cabos CC, incluem monitorização no caso falha de aterramento, e tipo de proteção I e II de acordo com IEC 62103 e IEC 60664-1.

**Tabela 1:** Características técnicas do painel e do Inversor

Módulos Fotovoltaicos		Inversor	
Marca	Canadian solar	Marca	HUAWEI
Modelo	CS3W-450MS	Modelo	SUN2000-8KTL-M1
$P_{mpp}$	450 W	$P_{mpp}$	8000 W
$V_{oc}$	49,1 V	$V_{Máx}$	1100 V
$I_{sc}$	11,60 A	$I_{sc}$	15 A
$V_{mpp}$	41,1 V	$V_{mpp}$	140 - 980 V
$I_{mpp}$	10,96 A	$DC_{nominal}$	600 V
$CO_{tem.}$	-0,29	$I_{mpp}$	11 A
Número	12 Módulos	$\eta_{inv}$	98,66%
		$I_{output}$	13,5 A
		Número	1 Inversor

Existem várias tipologias de inversores e módulos desenvolvidos para que cumpram os requisitos do Sistema FV a serem aplicados, sejam estes para sistemas ligados à rede ou para sistemas isolados. Na tabela 2 faz-se os cálculos de verificação das tensões e correntes bem como da potência instalada, de acordo com as fórmulas (15;16;17;18;19 e20).

**Tabela 2:** Resultado e Verificação

Resultados		Verificação	
$P_{Pico(FV)}$	5400 W	$V_{oc}(-10)$	771 V
$N_{Máx}$	18,5654 Módulos	$I_{sc} (70)$	11,852 A
$N_{min}$	4,99109 módulos	$V_{mpp} (70)$	336,6 V
$Coef_{PN}$	1,48%	$V_{mpp}(-10)$	615 V
Ligação	Serie	Fileira	2

## 4.2.2 Estimativa da Produção de Energia

A radiação solar incidente é obtida com bases nas medições que são realizadas em um plano horizontal, mas de forma a maximizar a produção energética normalmente refere-se que o plano fixo, que mais ajuste ao aumento da absorção da radiação solar, deve ter uma inclinação aproximadamente idêntica a latitude do local. Recorrendo ao Software PVGs é possível obter uma estimativa da produção anual de energia, bem como o perfil diário de produção e do rendimento do lugar em função da temperatura. Para tal, basta introduzir as coordenadas do local, sendo que o programa gera automaticamente valores médios diários de radiação mensal para esse local.

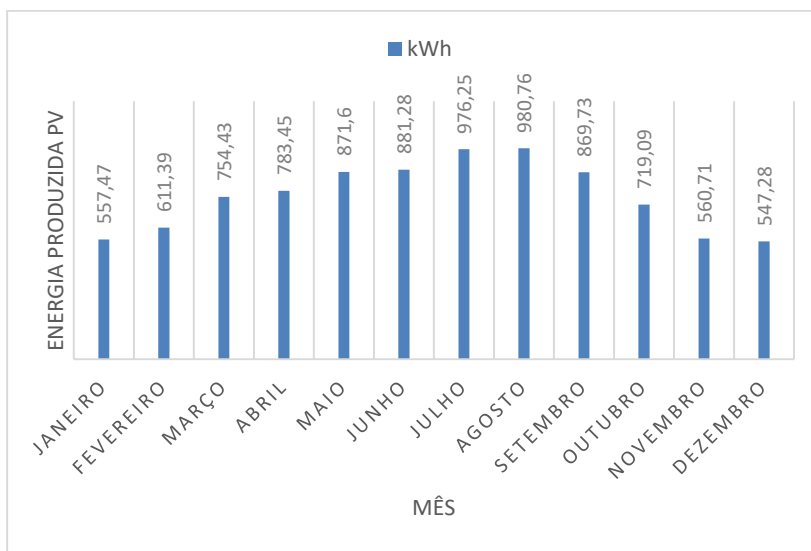


Tabela 3: Radiação Mensal em kwh/m<sup>2</sup>

Mês	Radiação
Jan	121,67
Fev	135,26
Mar	168,72
Abri	177,59
Mai	198,39
Jun	200,69
Jul	222,79
Ago	223,60
Set	195,85
Out	159,10
Nov	122,72
Dez	118,92

Figura 36: Energia FV estimada por mês

A quantidade de energia ideal diária produzida pelo sistema FV é avaliada conforme cálculos abaixo, é preciso conhecer os parâmetros como, número de hora de sol  $H_S$  que é obtido pela divisão entre energia absorvida em um plano (irradiação) pela radiação incidente, o fator de correção da temperatura do módulo  $K_T$ , bem como a potência máxima produzida pelo sistema  $P_{máx}$ .

$$H_S = \frac{E_{(Wh/m^2)}}{G_{(W/m^2)}} \quad ; \quad H_S = \frac{4056,66_{(Wh/m^2)}}{1000_{(W/m^2)}} = 4,056 \text{ horas} \quad (29)$$

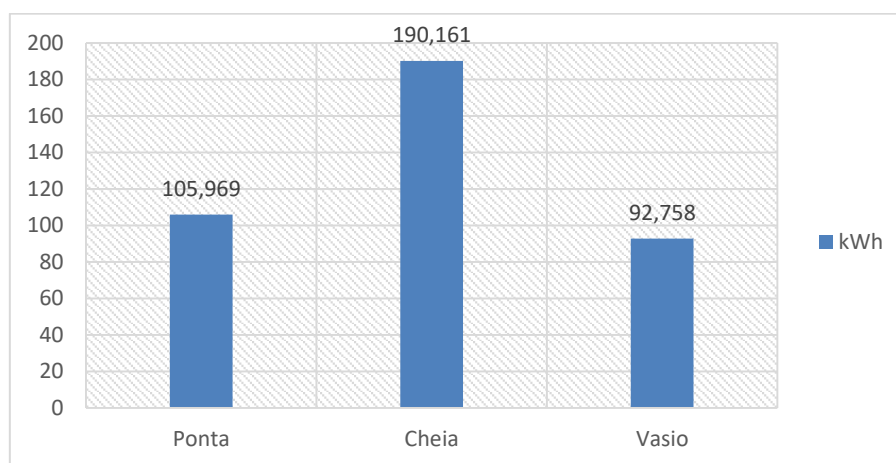
$$K_T = [1 - 0,005 \times (T - 25^\circ C)] \quad ; \quad K_T = 1 \quad (30)$$

$$E_{ideal} = K_T \times H_S \times P_{máx} \quad ; \quad E_{ideal} = 1 \times 4,056_{(horas)} \times 5400_{(W)} = 21902,4 \text{ wh} \quad (31)$$

### 4.2.3 Consumo Energético

O diagrama de carga ou um perfil de consumo corresponde a um gráfico que mostra a variação diária com o tempo da energia total consumida pelo edifício constitui um fator importante na determinação da potência a instalar. Os perfis de carga variam muito dependendo da utilização, do clima do lugar, estação do ano e tipos de dias (úteis e fins de semana).

Tal como referido, de modo a que se consiga fazer um correto dimensionamento do sistema a implementar, torna-se necessário conhecer o perfil de consumo da habitação. Para tal, é importante determinar quais os equipamentos que consomem energia, quais as suas potências e tempos de utilização, recorreu-se à análise das faturas de eletricidade disponibilizadas com o objetivo final de traçar o perfil do consumidor.



**Figura 37:**Consumo de energia elétrica por mês

A entidade responsável pelo processo de distribuição de eletricidade é a SUELETRICIDADE com uma tarifa de BTN-Bi-Horária=<20,7 kVA, com uma potência contratada de 13,8 kVA e ciclo horário semanal sem feriados. Portanto, a energia consumida varia em função da altura do dia, (horas de vazio, ponta e cheias), conforme a figura 39. O consumo médio diário das potências das cargas corresponde a um valor de 12,96 kW. A Tabela 4 corresponde aos preços de energia em função ao ciclo horário.

**Tabela 4:** Preço em função ao ciclo horário

Horas	€/kWh	€
Ponta	0,2244	23,77
Cheias	0,1549	29,45
Vazio	0,0968	8,97

#### 4.2.4 Esquema

O esquema abaixo apresenta o layout de todo sistema, representa as configurações e regras que se aplicam nas instalações elétricas FV, incluindo os sistemas que integrem módulos com o inversor AC. Toda a figura deve ser identificada e padronizada de acordo com as normas elétricas. Para que o sistema realmente apresente alto grau de confiabilidade, é preciso que sejam utilizados componentes de alta qualidade e que a instalação seja criteriosa e bem-feita.

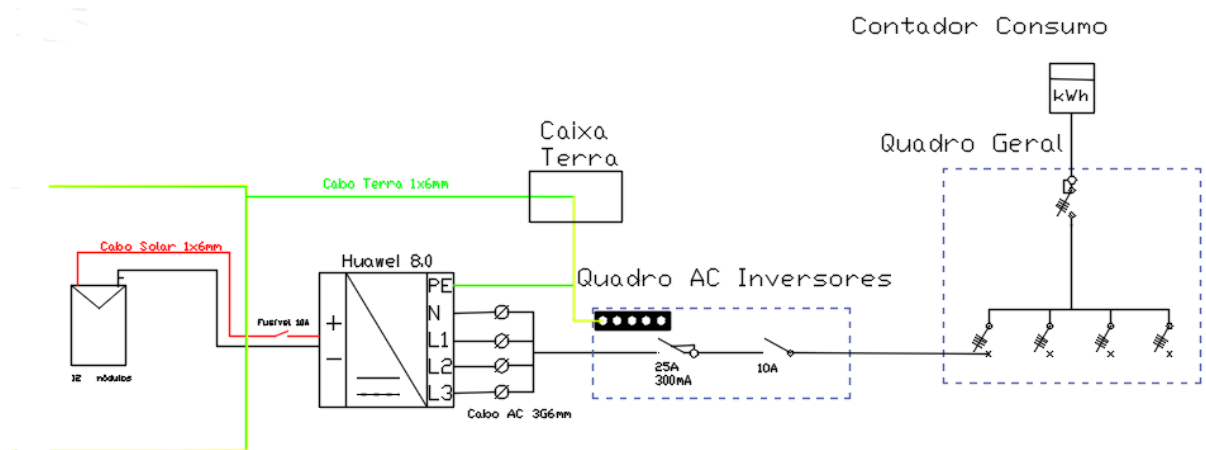


Figura 38: Esquema elétrico de Instalação PV

De forma a garantir que o sistema fotovoltaico possa funcionar por toda a vida útil do sistema é fundamental que haja uma manutenção, seja ela preventiva ou corretiva. A ausência de manutenção por um longo período e o estado de abandono das instalações do sistema fotovoltaico podem gerar na população um descrédito na utilização dessa energia. A logística deve garantir a disponibilidade local de reposição de componentes, mantendo-se a disponibilidade do serviço. Um sistema fotovoltaico terá vida útil de vinte anos, caso as condições mencionadas sejam levadas em conta.

## 4.2.5 Estrutura de Suporte

A estrutura de fixação dos módulos para o sistema em estudo é para telhados inclinados com vigas. A escolha da estrutura de suporte depende do tipo de cobertura do edifício. Para fixar os módulos no telhado, é necessário instalar um perfil de suporte que pode ser fixados nas telhas que sirva de base para os painéis. Esta base é constituída por perfil de aço inoxidável, sendo estas montadas nos pontos mais seguros do telhado (de forma a não danificar nenhuma das telhas). Os painéis podem ser montados individualmente e diretamente na estrutura já colocada no telhado. De seguida, proceder-se à fixação da estrutura no telhado. Para tal, utilizam-se dispositivos de fixação em forma de gancho, que ultrapassam a cobertura do telhado e que são aparafusados às vigas. Assim sendo, a estrutura escolhida para suporte dos painéis deverá ter a capacidade de se acoplar diretamente às telhas.

**Tabela 5:** Matérias utilizados na estrutura de fixação e Suporte

Gancho  
Telhado inclinado  
2 Estrutura para 12 módulos

6

Materiais	Quantidade
Perfil Light K2 3,15 metros	4
Perfil Light K2 4,20 metros	0
Empalme Light Kit (união)	2
Porca M10 Dentada	10
Parafuso T	10
Fixador Fecho	4
Fixador Intermédio	10
Porca Asa	14
Parafuso Sextavado Interno M8	14
Gancho Ajustável Telhado	10
Esquadro	20
Varão Roscado M8	5
Porca M8 Dentada	80
Distancia entre as Fixações	1,086 Metros
<b>Preço Total</b>	<b>189,926 €</b>



**Figura 39:** Estrutura de suporte no edifício em estudo

No cálculo da fixação devemos ter informações necessária como a largura do painel de 1,05 metro, a largura dos fixadores finais e intermédios e o comprimento total do perfil para podermos saber o número de fixação e a distância entre elas. A tabela 4 mostra quantidade de matérias utilizados nas montagens das estruturas conforme figura 41. Os módulos FV estão orientados todos para o sul conforme a inclinação do telhada de 30° de forma a captar uma maior incidência de radiação possível, desde o nascer do sol. Pode ser no caso uma intenção clara do cliente instalar o conjunto de painéis fotovoltaicos no telhado da casa, por motivos estéticos e de utilização do espaço. Este é um dos fatores limitantes e que não poderá ser excluído.

#### 4.2.6 Cabos e Dispositivo de Proteção

Nas instalações elétricas é essencial utilizar cabos que cumpram os requisitos para uma utilização correta para diferentes tipos de aplicações, uma vez que os cabos de corrente contínua DC ficam sujeitos a forças eletromagnéticas (correntes paralelas de sentido inverso) e também ao efeito de joule causado pelo aquecimento. Verificar a correta polaridade dos cabos de ligação entre o sistema FV e o inversor, ou seja, conectar o terminal positivo de uma string de painéis à entrada positiva do inversor. O mesmo para o terminal negativo. Depois de selecionar os equipamentos principais dos geradores fotovoltaicos (módulos e Inversores), e de ter escolhido o local de instalação dos mesmos, estão reunidas as condições necessária para efetuar o dimensionamento das cablagens dos sistemas, tanto no lado DC, como no lado AC.

O cabo DC faz a ligação entre os painéis fotovoltaicos e o inversor, caso estiverem exposto no exterior do edifício dever ser entubados de forma a proteger contra raios ultravioletas, eventual ocorrências de falhas de terras, bem como curto-circuitos e sobretensões, há que ter em atenção a sua polaridade evitando assim a sua junção. Os cabos de fileira fazem a ligação entre os painéis. A tabela abaixo mostra os resultados de cálculo de secção mínima e de corrente máxima suportada pelo cabo de fileiras de corrente contínua.

$$secção_{(Cabo\ DC\ mm^2)} > \frac{2 \times L_{cabo\ DC} \times I_{módulo}}{\Delta V \times V_{mpp} \times \sigma} \quad (32)$$

O cabo tem ainda de ser capaz de transportar uma corrente de 25% superior à corrente de curto-circuito dos módulos. Essa corrente máxima é calculada da seguinte forma:

$$I_{Máx.Cabo\ DC} = I_{SC} \times 1,25 \quad (33)$$

**Tabela 6:** Dimensionamento do Cabo DC

<b>Cabo DC</b>	
<b>Cabo fileira</b>	
<b>Símbolos</b>	<b>Resultados</b>
$\Delta V$	0,01%
$\sigma$	56 m/ $\Omega$ mm <sup>2</sup>
L	20 m
n <sub>fileira</sub>	2
V <sub>mpp</sub>	336,6 V
I <sub>mpp</sub>	10,96 A
I <sub>(máx cabo)</sub>	14,5 A
Secção	2,325779 mm <sup>2</sup>

#### 4.2.6.1 Cabo de String

O cabo de string estabelece a ligação entre os módulos individuais em cada fileira do painel fotovoltaico com a caixa de proteção para o inversor. Para o seu dimensionamento é necessário conhecer o comprimento total do cabo desde o painel até o inversor, intensidade da corrente elétrica de circuito e levar em consideração os números de fileiras, neste caso duas.

$$secção_{(string\ mm^2)} > \frac{2 \times L_{cabo\ DC} \times n \times I_{módulo}}{\Delta V \times V_{mpp} \times \sigma} \quad (34)$$

$$I_{Máx.Cabo\ DC} = I_{SC} \times n \times 1,25 \quad (35)$$

Onde:

$\Delta V$ : Queda de tensão (V)

$L_{Cabo\ DC}$ : Comprimento em metros (m)

$\sigma$ : Condutividade do cabo cobre (56 m/ $\Omega$ mm<sup>2</sup>)

$n$ : Número de Fileiras

$I_{módulos}$ : Corrente nominal do módulo (A)

$$secção_{(string\ mm^2)} > 4,65\ mm^2 ; I_{Máx.Cabo\ DC} = 36,25\ Amperes$$

O cabo selecionado é o ZZ-F (AS) 1x6 mm<sup>2</sup> de cobre estanhado. Proceder-se agora a verificação das condições. A secção mínima do cabo tem de garantir a condição da queda de tensão. Como referido esta queda de tensão terá de ser no máximo 1% da tensão total da fileira. A condição a garantir de sobreaquecimento é a seguinte:

$$L_{DC} = \frac{G_{M(mm^2)} \times \Delta V \times V_{mpp} \times \sigma}{n \times I_{max}} ; L_{DC} = \frac{6 \times 0,01 \times 336,6 \times 56}{2 \times 10,96} = 51,59\ metros \quad (36)$$

Isto significa que o comprimento máximo dos cabos, com a secção de 6 mm<sup>2</sup>, não deve exceder os 51,59 metros de comprimento.

$$I_{Máx.Cabo\ DC} \leq I_z \quad (37)$$

Onde:

$I_z$ : Corrente máxima admissível no cabo (A);

$R_c$ : Resistência do condutor ( $\Omega$ mm<sup>2</sup>/m).

$$R_c = \rho \times \frac{l}{S} = 0,0573\ \Omega mm^2/m \quad ; \quad \Delta V = R_c \times I = 2,06\ \% \quad (38); (39)$$

#### 4.2.6.2 Cabo AC (Corrente Alternada)

O cabo de corrente alternada faz a ligação entre o inversor e o quadro de distribuição através dos dispositivos de proteção e cortes, no seu dimensionamento devemos tomar em conta a corrente de saída do inversor a ser injetada no quadro de distribuição do edifício, conhecer o comprimento total do cabo desde o inversor até ao quadro e saber a queda de tensão nos condutores, dependendo do tipo de material utilizado.

O dimensionamento do cabo AC para ligar ao inversor ao ponto de ligação a rede terá de garantir a condição de sobreaquecimento e a da queda de tensão, no máximo de 3%. De modo a evitar acidentes provenientes de sobreaquecimento, é crucial uma cablagem devidamente ajustada as grandezas elétricas e térmicas do sistema.

$$S_{AC(mm^2)} = \frac{2 \times L_{nAC} \times \cos \varphi}{3\% \times U_n \times \sigma} = 0,010 \text{ mm}^2 \quad (40)$$

**Tabela 7:** Dimensionamento Cabo AC

<b>Cabo AC</b>	
<b>Cabo do Inv. à rede</b>	
<b>Símbolos</b>	<b>Resultados</b>
$\Delta V$	3%
$R_c$	0,005733 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
$\sigma$	56 $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$
$L_{nac}$	2 m
$I_{\text{output.Inv}}$	13,5 A
$\rho$	0,0172 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
$U_n$	230 V
Secção	4 $\text{mm}^2$

Onde:

$\Delta V$ : Queda de tensão (v);

$I_{\text{output Inv}}$ : Corrente a saída do inversor (A);

$L_{nac}$ : Comprimento do cabo em metros (m);

$\rho$ : Resistividade (Cobre)  $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ;

$R_c$ : Resistência do condutor do cabo;

$\cos \varphi$ : Fator de Potência (0,8 a 1);

$U_n$ : Tensão da rede (230/400) A.

$$Perdas_{AC(W)} = \frac{2 \times L_{AC} \times I_{nAC}^2 \times \cos \varphi}{S_{AC} \times \sigma} = 2,50 \text{ w} \quad (41)$$

#### 4.2.6.3 Dispositivos de Proteção DC e AC

O cabo de alimentação FV no lado AC deve ser protegido contra os curto-circuitos por um dispositivo de proteção contra as sobreintensidades, colocado num quadro de distribuição da instalação elétrica.

A corrente nominal e tensão de trabalho do fusível mostrado na tabela 8 são calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

$$I_{n(fusivel)} \geq 1,4 \times I_{sc(STC)} \quad (42)$$

$$V_{(fusivel)} \geq N \times 1,15 \times V_{OC} \quad (43)$$

Onde:

$V_{(fusivel)}$ : Tensão a entrada do inversor (V);

$I_{n(fusivel)}$ : Corrente nominal a entrada do inversor (A);

$N$ : Número de módulos em série de cada fileira.

**Tabela 8:** Dimensionamento do Fusível

<b>Cálculo do dispositivo de proteção</b>			
<b>Proteção DC</b>		<b>Proteção AC</b>	
<b>Fusível tensão</b>		<b>Disjuntores</b>	
<b>Símbolos</b>	<b>Resultados</b>	<b>Símbolos</b>	<b>Resultados</b>
N	12	$I_{output\ inv}$	13,5 A
$V_{fusivel}$	817,65 V	$I_n$	34,78 A
$V_{oc(-10)}$	59,25 V		
<b>Fusível Corrente</b>			
$I_{fusivel}$	16,59 A		
$I_{sc}$	11,85 A		

$$I_N = \frac{P_{inver(AC)}}{V_{N(rede)}} \quad (44)$$

O fusível recomendado deve possuir uma tensão de 1000 V e uma corrente  $I_n$  de 20 Amperes. A saída do inversor é selecionado 1 disjuntor diferencial  $I_n$ : 40 A e um disjuntor de corte  $I_n$ : 16 A.

Onde:

$N$ -Número de módulo;

$V_{fusivel}$ -Tensão do Fusível (V);

$I_{fusivel}$ : Corrente do Fusível (A);

$I_{sc}$ : Corrente de curto-circuito (A);

$I_n$ : Corrente nominal aceitável (A);

$V_{N(rede)}$ : Tensão da rede (230/400) V.

#### 4.2.7 Orçamentação

Os orçamentos são realizados de acordo com os valores fixos da empresa comparando com os preços do mercado, para o estudo da viabilidade económica de um sistema de autoconsumo fotovoltaico numa habitação é fundamental a existência de registos de consumos para adequar o sistema às suas necessidades. Os custos englobam todas as atividades e recursos que são necessário para a execução com qualidade de cada projeto, onde estão todas as tarefas técnicas referentes a serviço de transporte, instalação e registo (mão de obras), matérias e equipamentos associados a estrutura de suporte, módulo, inversor, cablagem bem como dispositivos de proteção e comunicação. Deve-se ter em conta ainda o gasto anual com as operações de manutenção (O&M).

**Tabela 9:**Orçamento do sistema

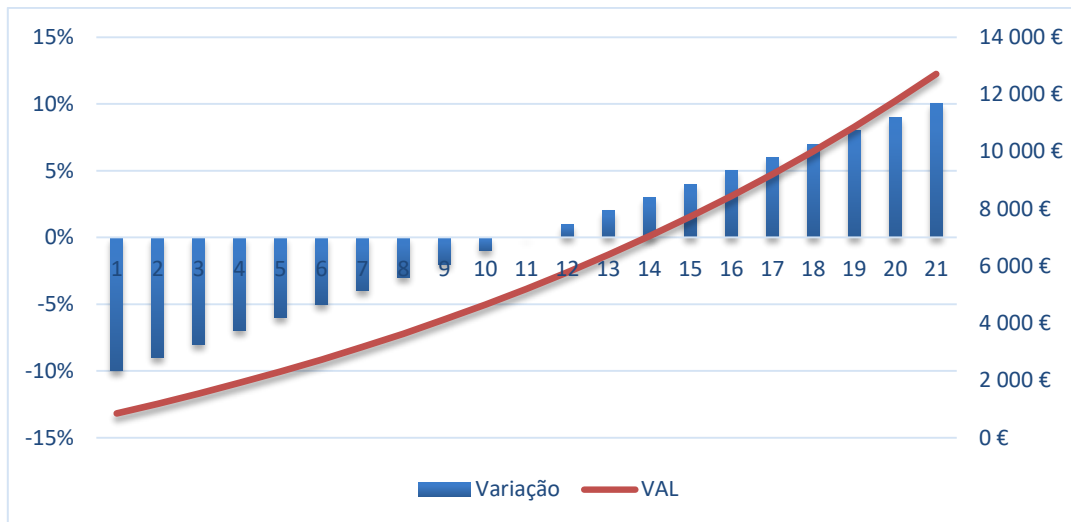
Designação	Unid.	Preço Unid.[€]	Preço [€]
Módulo fotovoltaico Canadian Solar 450 W	12	144,53	1 734,36
Inversor Huawei SUN2000-8KTL-M1 -	1	1 667,01	1 667,01
Estrutura para 6 módulos	2	189,93	379,86
Cabo AC 5G4 ** e Cabo DC	5	2,54	12,70
Proteção DC	1	12,00	12,00
Proteção AC	1	35,00	35,00
Cabo solar 1x6 mm **	20	0,79	15,80
Huawei smart power sensor	1	155,00	155,00
Serviço de transporte, instalação e registo	1	450,00	450,00
** o numero de metros pode variar consoante a instalação		Subtotal	4 461,73 €
		IVA 23%	1 026,20 €
		<b>Total</b>	<b>5 487,93 €</b>

O estudo económico tem como objetivo avaliar os elementos, como o capital investido, poupança energética, preço de venda de energia e encargos financeiros, com a instalação fotovoltaica os consumidores terão uma estimativa da recuperação e da rentabilidade do capital investido.

A determinação da rentabilidade de um projeto é feita com a comparação entre o cash flows de exploração e de investimento, sendo estes de carácter previsionial. Assim, um projeto só é aceitável e rentável caso o somatório do cash flows de exploração seja superior ao valor do somatório do cash flows de investimento, em termos de valores atualizados.

Para tal, o cash flows gerados são atualizados e isso implica descontar um fluxo futuro através de uma taxa de atualização ( $i$ ).

$$\text{Cash flow atualizado} = \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (45)$$



**Figura 40:** Análise de Sensibilidade do VAL

Para análise económica é considerado uma taxa de crescimento do preço da eletricidade de 1,5% todos os anos, de acordo com os valores fornecidos nos módulos, obteve-se uma taxa de atualização dos preços de 7%, de acordo com a evolução média da taxa de inflação dos últimos anos e riscos de 3%. Considerou-se ainda um gasto no valor de 100€ anuais para operações de manutenção e a vida útil da instalação de 10 anos. Dito isto, e efetuados os cálculos obteve-se um VAL de 52803,20 €, TIR de 27%, e um período de retorno de 3,09 anos.

**Tabela 10:** Valores de parâmetros financeiros

<b>VAL</b>	5 2803,20 €
<b>Taxa de Atualização</b>	7%
<b>TIR</b>	27%

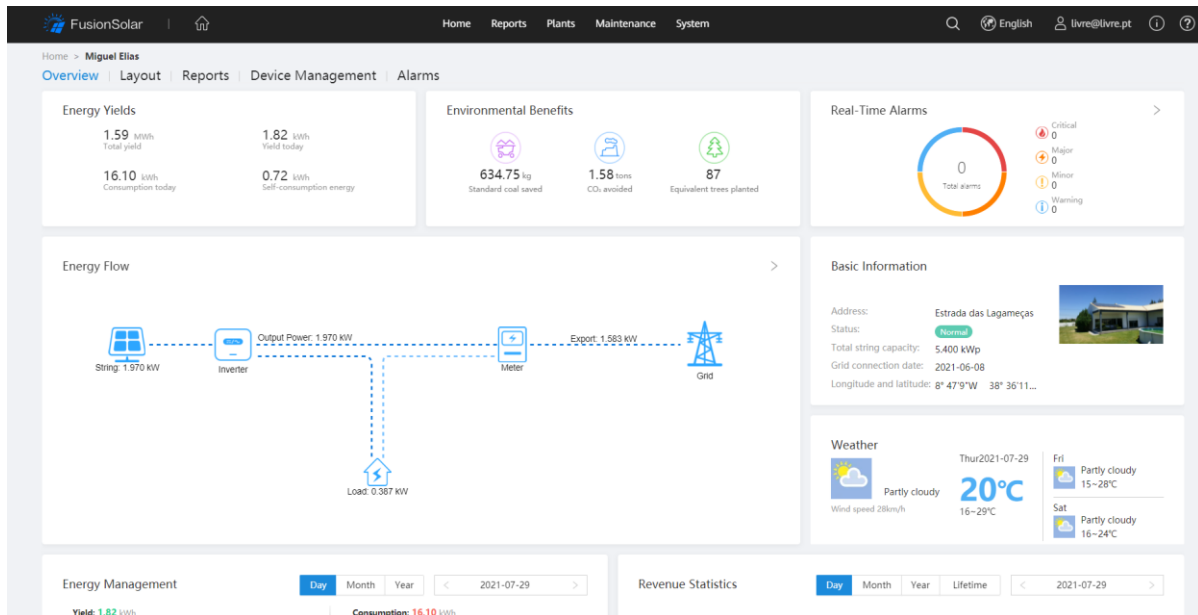


$$\text{payback} = \frac{\text{investimento}}{\text{poupança}} = \frac{5487,93}{1778,21} = 3,09 \text{ anos} \quad (46)$$

**Figura 41:** Instalação de painéis Fotovoltaico no edifício

## 4.2.8 Sistema de Gestão Online

Nos sistemas de monitorização, os dados podem ser visualizados em tempo real, tendo a possibilidade de aceder a históricos de consumos. O acesso à plataforma pode ser feito através de qualquer tipo de equipamento com acesso à internet. Para os inversores da Huawei é utilizada a plataforma da FusionSolar para poder controlar e obter os dados online da instalação. Para isso é preciso instalar um sistema de gestão de energia para medir o consumo e a produção.



**Figura 42:**Controlo online do sistema, Fonte: FusionSolar

O cabo de comunicação RS485, duplo torcido blindado externo de dois núcleos é usado para conectar a porta de sinal RS485 a um Smart Power Sensor para limitação de exportação). O Sensor de Potência Inteligente Tipo DDSU666-H (doravante denominado "Sensor") é especialmente projetado para o sistema fotovoltaico distribuído, para ser um novo sensor de potência inteligente, combinado com medição e comunicação, aplicado principalmente na medição de grandeza elétrica incluindo voltagem, corrente, potência, frequência, fator de potência, energia ativa, etc. no circuito elétrico. Ele pode realizar a rede com o dispositivo externo através da interface de comunicação RS485. Adotando a montagem em trilho DIN DIN35mm padrão, design de módulo estrutural, é caracterizado por pequeno volume, fácil instalação e rede, etc.

### 4.3 Sistemas com Triângulos Ligados à Rede Trifásica (Projeto 2)

No projeto 2, o modelo do painel utilizado foi da Trina solar com uma potência de pico 340 Wp para sistemas ligados à rede trifásica. O tipo do inversor é da marca Huawei SUN 2000-6KTL-M0 e foram utilizados 11 módulos em ligação série.

**Tabela 11:**Caraterísticas técnicas do módulo e do inversor

Módulos Fotovoltaicos		Inversor	
Marca	Trina solar	Marca	HUAWEI
Modelo	TMS-340MS	Modelo	SUN2000-6KTL-M0
$P_{mpp}$	340 W	$P_{mpp}$	6000 W
$V_{oc}$	41,1 V	$V_{Máx}$	1100 V
$I_{sc}$	10,55 A	$I_{sc}$	18 A
$V_{mpp}$	34,2 V	$V_{mpp}$	140 - 980 V
$I_{mpp}$	9,94 A	$DC_{nominal}$	600 V
$CO_{f_{tem.}}$	-0,29	$I_{mpp}$	11 A
Número	11 módulos	$\eta_{inv}$	98,66%
		$I_{output}$	10,1 A
		Número	1 Inversor

Este inversor é ideal para as instalações industriais, residenciais e comerciais, garante um alto nível de rendimento e eficiência, oferece maior flexibilidade no desenvolvimento do projeto e também compatibilidade com o módulo em estudo.

**Tabela 12:**Resultados e Verificação do Sistema

Resultados		Verificação	
$P_{Pico(FV)}$	3740 W	$V_{oc}(-10)$	552,2 V
$N_{Máx}$	21,9123 módulos	$I_{sc}(70)$	10,802 A
$N_{min}$	6,22 módulos	$V_{mpp}(70)$	247,5 V
$Coef_{PN}$	1,604%	$V_{mpp}(-10)$	476,3 V
Ligação	Serie	Fileira	1

Em baixas temperaturas, o valor máximo que a tensão de funcionamento do módulo pode atingir é a tensão de circuito aberto,  $V_{OC}(-10^{\circ}c)$ . Para o caso, a tensão de uma fileira corresponderá assim à soma das tensões,  $V_{OC}(-10^{\circ}c)$  dos módulos. Esta não deve ser maior que a tensão máxima do inversor, caso contrário o inversor corta o trânsito de energia. Os resultados do dimensionamento foram feitas com base nas equações (4,15,16,17,18 e 19).

### 4.3.1 Estimativa de Energia

A energia produzida pelo sistema FV a ser projetado terá como destino o consumo interno na rede elétrica. Procura mediante o dimensionamento atingir-se uma elevada taxa de autoconsumo, de forma a reduzir o valor da fatura energética ao longo do ano. O objetivo é encontrar um equilíbrio entre o autoconsumo, a injeção na rede e o consumo de energia elétrica. A produção de energia media anual a partir de fontes solar correspondem a 536,22 kWh.

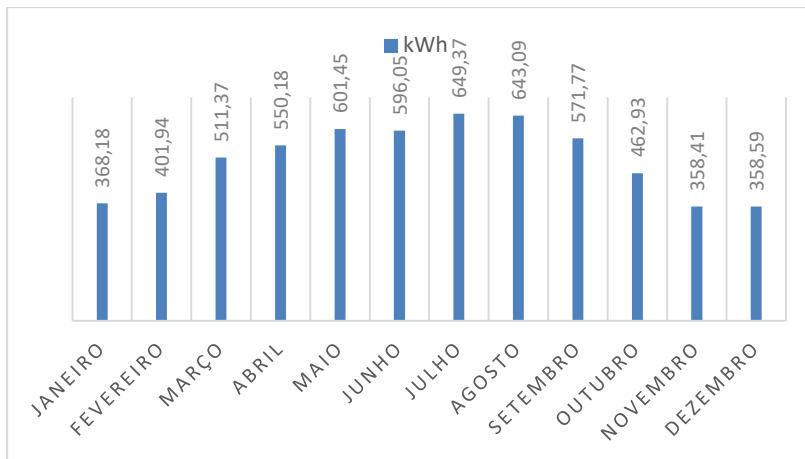


Figura 43: Energia FV estimada ao longo dos meses

Tabela 13: Radiação solar mensal em kWh/m<sup>2</sup>

Mês	Radiação
Jan	117,48
Fev	129,62
Mar	167,79
Abri	184,81
Mai	204,21
Jun	204,23
Jul	223,09
Ago	221,82
Set	195,21
Out	154,73
Nov	116,5
Dez	114,17

Deste modo, para se obter o valor relativo a números de hora de sol (H<sub>s</sub>), basta somente dividir o valor da energia da radiação global incidente E<sub>(wh/m<sup>2</sup>)</sub>, pelo valor da radiação solar incidente nas condições G<sub>(w/m<sup>2</sup>)</sub>, calculado para o mês de janeiro.

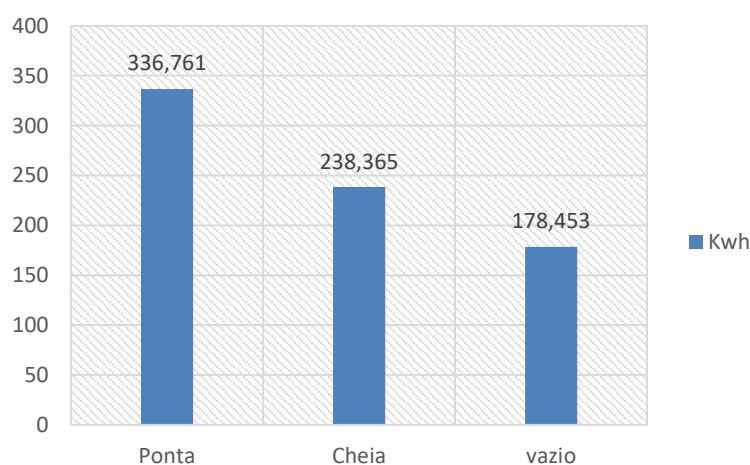
$$H_S = \frac{E_{(wh/m^2)}}{G_{(w/m^2)}} \quad ; \quad H_S = \frac{3916_{(wh/m^2)}}{1000_{(w/m^2)}} = 3,96 \text{ horas} \quad (47)$$

$$K_T = [1 - 0,005 \times (T - 25^\circ C)] \quad ; \quad K_T = 1 \quad (48)$$

$$E_{ideal} = K_T \times H_S \times P_{m\acute{a}x} \quad ; \quad E_{ideal} = 1 \times 3,96_{(horas)} \times 3740_{(w)} = 14645,84 \text{ wh} \quad (49)$$

### 4.3.2 Perfil de Consumo

A empresa responsável pela comercialização de energia é a ENDESA com uma potência contratada de 20,7 kVA com tarifa bi-horaria. Existem dois tipos de ciclos, um diário, em que os períodos são iguais em todos os dias do ano, e um semanal, em que existe diferença entre os dias úteis (segunda a sexta), fim-de-semana (sábado e domingo) e ainda entre a hora legal de inverno e verão. O consumo é feito com base na quantidade de cargas utilizadas, conforme a figura abaixo. De acordo com seu período de utilização, nota-se que o período de cheia é o que mais consome e corresponde ao período de maior funcionamento.



**Figura 44:**Consumo de eletricidade mensal

Realizar uma análise dos consumos energéticos dos edifícios é importante no dimensionamento de SF para o autoconsumo, de modo a que toda a energia produzida em excesso seja aproveitada. Por isso há necessidade de assemelhar a produção do SF com o diagrama de carga (perfil do consumo), tornando o sistema mais viável e eficiente. A cada ciclo horário (diário ou semanal) correspondem diferentes períodos horários relacionados com a procura por eletricidade. O período de ponta corresponde ao momento em que a procura é mais elevada, enquanto no período de cheias a procura é moderada e no período vazio a procura é menor. O número de horas de vazio é igual nos dois horários (10 horas), assim como o número de horas de cheia e ponta (10 e 4, respetivamente), apenas mudando a sua distribuição horária.

**Tabela 14:**Preço relativamente ao ciclo horário

Horas	€/kWh	€
Ponta	0,2344	78,93
Cheias	0,1649	39,30
Vazio	0,0868	15,48

### 4.3.2.1 Estrutura e Esquema

A estrutura de fixação dos módulos para o sistema em estudo é para telhados plano em sandwich com placas, sendo a estrutura em triângulos com 35° de inclinação. De forma a que seja feita uma correta colocação dos módulos, deverão ser criados na superfície do telhado pontos de fixação para os mesmos.

Tabela 15: Materiais utilizados no projeto

Materiais	Quantidade
Perfil Light K2 3,15m	4
Perfil Light K2 4,20m	0
Empalme Light Kit (união)	2
Porca M10 Dentada	20
Parafuso T	20
Fixador Fecho	4
Fixador Intermédio	10
Porca Asa	14
Parafuso Sextavado Interno M8	14
Triângulo 35°	5
Porca M8 Dentada	15
Parafuso Sextavado Externo M8	15
Gancho Ajustável Telhado	10
Esquadro	20
Varão Roscado M8	5
Porca M8 Dentada	80
<b>Preço Total</b>	<b>312,40 €</b>



Figura 45: Estrutura no edifício

O esquema em baixo representa a configuração do sistema em estudo, mostra o diagrama elétrico de cada componente do sistema FV, interligados e identificados de acordo com as especificações técnicas sujeitas.

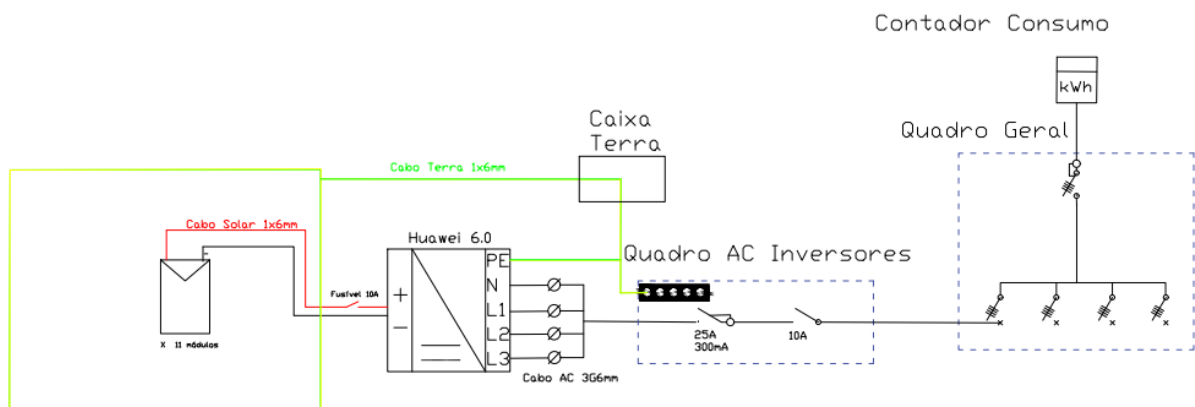


Figura 46: Esquema da Instalação FV

### 4.3.2.2 Cabos DC

O cabo principal DC faz a ligação entre as caixas de junção e os inversores. A queda de tensão máxima da instalação entre os ligadores do inversor e o ponto de ligação à rede não deverá ser superior a 3%, em condições de potência nominal do inversor. Também aqui é recomendável limitar este valor a 1%. Os módulos já vêm equipados com cabos com secção de 4 mm<sup>2</sup>. O painel fotovoltaico de 3,74 kWp está localizada na cobertura do edifício a uma distância de 40 m, dispõe de um inversor de 6 kWp, este possui duas fileiras ligados em série, a primeira constituída por 6 painéis e a segunda constituída por 5 painéis.

A proteção contra as sobrecargas pode ser dispensada para o cabo principal DC se a corrente máxima admissível do cabo for igual ou superior a 1,25 vezes a corrente de curto-circuito nas condições de ensaio normalizadas,  $I_{SC\ STC}$ , do gerador FV.

**Tabela 16:** Dimensionamento do Cabo DC

<b>Cabo DC</b>	
<b>Cabo fileira</b>	
<b>Símbolos</b>	<b>Resultados</b>
$\Delta V$	0,01%
$\sigma$	56 m/ $\Omega$ mm <sup>2</sup>
L	40 m
$N_{fileira}$	1
$V_{mpp}$	247,5 V
$I_{mpp}$	9,94 A
$I_{(m\acute{a}x\ cabo)}$	13,1875 A
Secção	2,868687 mm <sup>2</sup>

A tensão de uma fileira é a soma das tensões de cada módulo, visto que estes estão ligados em série, o que implica que a amplitude da tensão no inversor será portanto, igual à tensão da fileira. Uma vez que a tensão do módulo depende da temperatura, o inversor necessita de ser dimensionado para situações de operação extrema de Inverno e de Verão, por forma a definir-se um intervalo de funcionamento, em que deve ser ajustado em função da curva do painel fotovoltaico. Segue os resultados da secção e do comprimento maximo para o cabo DC:

$$secção_{(string\ mm^2)} > 5,73\ mm^2 ; I_{M\acute{a}x.Cabo\ DC} = 16,47\ Amperes \quad (50)$$

$$L_{DC} = \frac{G_{M(mm^2)} \times \Delta V \times V_{mpp} \times \sigma}{n \times I_{max}} = 83,66\ metros \quad (51)$$

### 4.3.2.3 Cabo AC

Para o dimensionamento dos cabos do lado AC, procurou-se para garantir uma queda de tensão inferior à 3 % desde a saída do inversor até a entrada ao quadro de distribuição do edifício. O cabo adequado para esta secção será portanto o cabo 3 G por 2,5 mm<sup>2</sup>, que são considerados cabos rígidos preparados para instalações interiores ou exteriores.

O cabo de alimentação PV no lado AC deve ser protegido contra os curto-circuitos por um dispositivo de proteção contra as sobreintensidades, colocado num quadro de distribuição da instalação elétrica.

$$S_{AC(mm^2)} = \frac{2 \times L_{nAC} \times \cos \varphi}{3\% \times U_n \times \sigma} = 0,051 mm^2 \quad (52)$$

Tabela 17: Dimensionamento Cabo AC

Cabo AC	
Cabo do Inv. à rede	
Símbolos	Resultados
$\Delta V$	13,89%
$R_c$	0,01376 $\Omega mm^2/m$
$\sigma$	56 m/ $\Omega mm^2$
L	10 m
$I_{output,Inv}$	10,1 A
$\rho$	0,0172
$U_n$	230 v
Secção	2,5 mm <sup>2</sup>

Onde:

$\Delta V$ : Queda de tensão (v);

$I_{output,Inv}$ : Corrente a saída do inversor (A);

$L_{nac}$ : Comprimento do cabo em metros (m);

$\rho$ : Resistividade (Cobre)  $\Omega mm^2/m$ ;

$R_c$ : Resistência do condutor do cabo ( $\Omega mm^2/m$ );

$\cos \varphi$ : Fator de Potência (0,8 a 1);

$U_n$ : Tensão da rede (230/400) V.

$$Perdas_{AC(W)} = \frac{2 \times L_{AC} \times I_{nAC}^2 \times \cos \varphi}{S_{AC} \times \sigma} = 14,57 \quad (53)$$

$$\Delta V = R_c \times I ; R_c = \rho \times \frac{L}{S} \quad (54)$$

$$\Delta V = 0,69; R_c = 0,0688 \Omega mm^2/m$$

#### 4.3.2.4 Dispositivo de Proteção DC e AC

Para proteger as cablagens deve ter-se em atenção que a corrente de curto-circuito é aproximadamente igual à corrente nominal, o que condiciona o tipo de fusível a utilizar para a proteção de curto-circuitos. De modo a evitar cortes inesperados, a corrente máxima no cabo  $I_{Cabo\acute{m}ax}$  deverá ser 25 % superior à corrente nominal do cabo  $I_{Cabo_n}$ .

$$I_{Cabo\acute{m}ax} \geq 1,25I_{Cabo_n} \quad (55)$$

No entanto, os fusíveis devem garantir que a corrente máxima admissível nos cabos se encontra entre a corrente nominal  $I_n$  fusível e a corrente de corte  $I_{corte}$  do respetivo aparelho de proteção. Por sua vez a corrente de corte não deve ser superior a 15% da corrente máxima admissível nos cabos.

$$I_{fusivel_n} \leq I_{Cabo\acute{m}ax} \leq I_{corte} 1,15I_{Cabo_n} \quad (56)$$

Quando o edifício possui proteção contra descargas atmosféricas, o sistema FV deverá ser ligado a esta. A distância entre a haste do sistema de proteção e a estrutura dos módulos FV deverá ser no mínimo de 2 metros.

**Tabela 18:** Dimensionamento Dispositivo de Proteção

<b>Cálculo do dispositivo de proteção</b>			
<b>Proteção DC</b>		<b>Proteção AC</b>	
<b>Fusível tensão</b>		<b>Disjuntores</b>	
<b>Símbolos</b>	<b>Resultados</b>	<b>Símbolos</b>	<b>Resultados</b>
N	11	$I_{output\ inver}$	10,1 A
$V_{fusivel}$	635,03 V	$I_n$	26 A
$V_{oc(-10)}$	50,2 V		
<b>Fusível Corrente</b>			
$I_{fusivel}$	15,825 A		
$I_{sc}$	10,55 A		

$$I_N = \frac{P_{inver(AC)}}{V_{N(rede)}} \quad (57)$$

O fusível recomendado deve possuir uma tensão de 1000 V e uma corrente  $I_n$  de 20 Amperes. A saída do inversor é selecionado 1 disjuntor diferencial  $I_n$ : 30 A e um disjuntor de corte  $I_n$ : 16 A.

Onde:

$N$ -Número de módulo;

$V_{usivel}$ -Tensão do Fusível (V);

$I_{fusivel}$ : Corrente do Fusível (A);

$I_{sc}$ : Corrente de curto-circuito (A);

$I_n$ : Corrente nominal aceitável (A).

### 4.3.3 Orçamentação

Na análise da viabilidade económica, a tabela 19 é apresentada a proposta de investimento para a instalação da UPAC. Com o estudo económico pretende-se avaliar vários fatores, como o capital necessário a investir, poupança energética, preço de venda de energia entre outras, com o objetivo de verificar a rentabilidade do projeto.

Tabela 19: Orçamento do Sistema

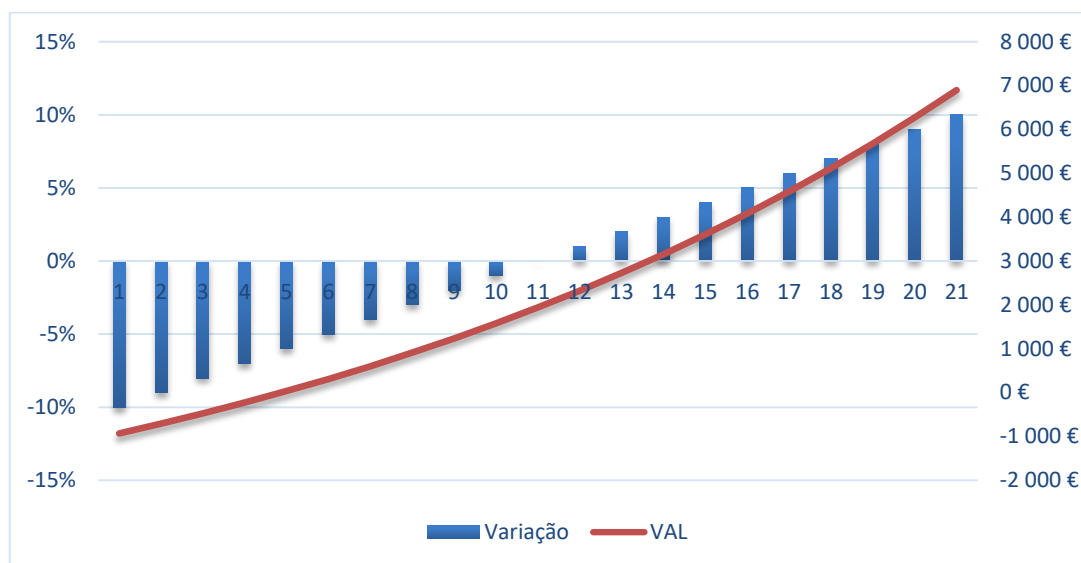
Designação	Unid.	Preço Unid.[€]	Preço [€]
Módulo fotovoltaico Trina Solar 340 W	11	144,53	1 589,83
Inversor Huawei SUN2000-6KTL-M1 -	1	1 004,78	1 004,78
Estrutura para 6 módulos	2	312,41	624,82
Cabo AC 5G4 ** e cabo DC	20	2,54	50,80
Proteção DC	1	12,00	12,00
Proteção AC	1	35,00	35,00
Cabo solar 1x6 mm **	20	0,79	15,80
Huawei smart power sensor	1	155,00	155,00
Serviço de transporte, instalação e registo	1	300,00	300,00
** o numero de metros pode variar consoante a instalação		<b>Subtotal</b>	<b>3 788,03 €</b>
		<b>IVA 23%</b>	<b>8 71,25 €</b>
		<b>Total</b>	<b>4659,28 €</b>

O VAL pode assumir valores positivos, negativos ou nulos. Quando o valor é positivo, a instalação da UPAC é economicamente viável, permite cobrir o investimento e ainda gerar excedentes financeiros. Se o valor for negativo, a instalação da UPAC não é economicamente viável. No caso de o valor ser nulo, o projeto é economicamente viável, mas não irá gerar excedentes financeiros.



Figura 47: Instalação PV realizada no edificio

A análise de sensibilidade permite, desta forma, traçar diversos cenários na análise da viabilidade do projeto e verificar até que ponto a viabilidade do projeto se mantém face a alterações, com diversos graus de intensidade, nas suas variáveis mais importantes.



**Figura 48:**Análise de sensibilidade econômica

O sistema apresenta um período de retorno de 3 anos e 10 meses e um VAL positivo de 1941,04 €. No entanto o TIR é de 16%, um valor inferior à taxa de atualização. Considerou-se ainda um valor de 100€ anuais para operações de manutenção e encargos com o pessoal durante 10 anos.

**Tabela 20:**valores de parâmetros financeiros

<b>VAL</b>	1 941,04 €
<b>Taxa de Atualização</b>	7%
<b>TIR</b>	16%

Para qualquer investimento num projeto, este de início possui um período de despesa a qual se segue um período de receitas líquidas, receitas essas que irão recuperar todo o capital investido. Desta maneira calcula-se o período do retorno de investimento ou payback, momento no qual o projeto começa a obter lucros, para isso é necessário conhecer a poupança gerada desde a instalação do sistema fotovoltaico.

$$payback = \frac{investimento}{poupança} \quad (58)$$

$$payback = \frac{4659,28}{1173,32} = 3,97 \text{ anos}$$

### 4.3.4 Sistemas de Gerenciamento Online

A monitorização do sistema proporciona acesso em tempo real a todos os dados de consumo de energia elétrica a partir de um PC, smartphone ou tablet, registrando e armazenando todos os dados recolhidos. A maioria dos fabricantes oferecem sistemas de aquisição dos dados de operação dos inversores, geralmente integrados a estes, ou com dispositivos externos que apresentam diretamente os dados ou os envia para um computador, permitindo a avaliação dos sistemas fotovoltaicos, em muitos casos em tempo real. Os mais novos modelos possuem ainda, interfaces mais modernas, como USB, Bluetooth e Wi-Fi, permitindo a comunicação de um dispositivo com os que estão próximos, e a unificação mais simples dos dados de vários aparelhos.

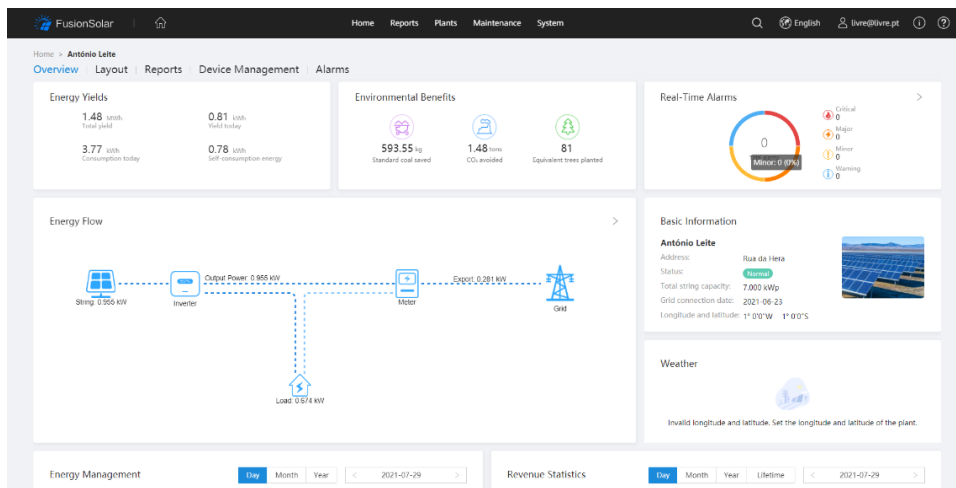


Figura 49: Software de Gestão online, Fonte FusionSolar

A figura 50 ilustra o esquema de ligação do smart power sensor que faz medição da quantidade de energia que é produzida, consumida e injetada na rede bem como toda a gestão de controlo para sistemas híbridos, função de medição de energia para a consulta de dados em tempo real.

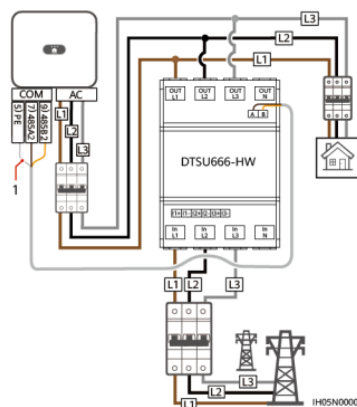


Figura 50: Conexão direta trifásica, de três fios a smart power sensor

#### 4.4 Sistemas com Micro inversor em Triângulos (Projeto 3)

O micro inversor desempenha as mesmas funções que o inversor solar: transformar a energia elétrica produzida pelos painéis solares de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) e sincronizar o sistema fotovoltaico com a rede elétrica da propriedade de uma forma segura e confiável. O projeto é dimensionado com autoconsumo, constituído por 12 módulos, correspondente à uma potência instalada de 3,96 kWp. O modelo do módulo fotovoltaico escolhido no projeto em estudo é o Trina solar, cuja potência nominal é de 330 Wp. No projeto realizado foram escolhidos 3 micro inversor do mesmo modelo, trifásicos da marca APsystems com a potência de 1 kW cada do lado AC.

**Tabela 21:**Caraterísticas Técnicas do Painel e Inversor

Módulos Fotovoltaicos		Inversor	
Marca	Trina solar	Marca	APsystems
Modelo	TMS-330MS	Modelo	QS1000-CA
$P_{mpp}$	330 W	$P_{mpp}$	1000 W
$V_{oc}$	40,5 V	$V_{Máx}$	60 V
$I_{sc}$	10,3 A	$I_{sc}$	18 A
$V_{mpp}$	33,7 V	$V_{mpp}$	20- 48 V
$I_{mpp}$	9,98 A	$DC_{nominal}$	20 V
$CO_{fem.}$	-0,26	$I_{mpp}$	12X4 A
Número	12 Módulos	$\eta_{inv}$	98,66%
		$I_{output}$	5 A
		Número	3 Micro Inversor

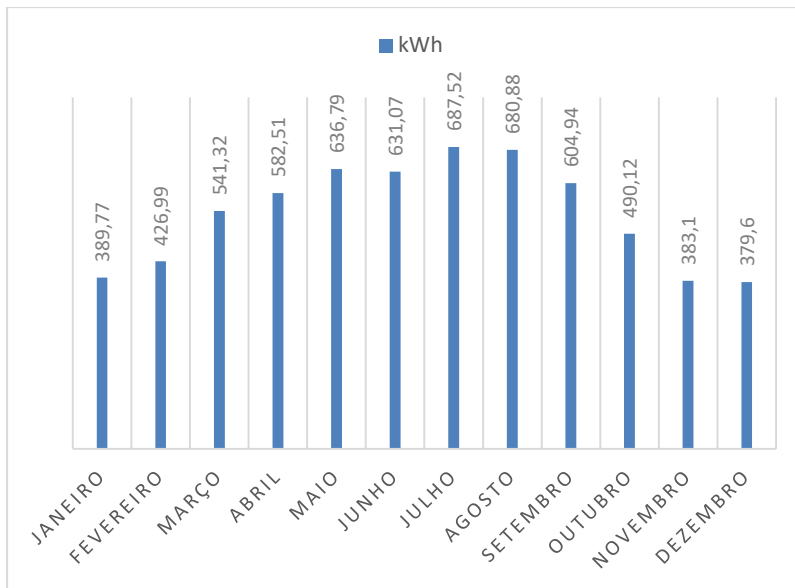
O limite de tensão e corrente são determinados individualmente entre cada módulo solar. O equipamento PV instalado no lado DC deve ser considerado como estando em tensão, mesmo quando o sistema estiver desligado do lado AC.

**Tabela 22:** Resultado e Verificação

Resultados		Verificação	
$P_{Pico(FV)}$	3960 W	$V_{oc}(-10)$	50,65 V
$N_{Máx}$	1,1894 módulos	$I_{sc} (70)$	42,208 A
$N_{min}$	1,06 53 módulos	$V_{mpp} (70)$	20,65 V
$Coef_{PN}$	0,75%	$V_{mpp}(-10)$	43,85 V
Ligação	Paralelo	Fileira	3

#### 4.4.1 Estimativa de Energia

A quantidade de energia estimada pelo sistema FV de acordo com o gráfico abaixo, os dados foram retirados do programa PVGs, embora existam outras ferramentas disponíveis na internet que facilite e apresente para um dado local da superfície da terra, indicadores como: radiação diária e mensal, ângulo ótimo de inclinação do painel e sua orientação e variações de temperaturas médias diárias e mensais.



**Tabela 23:** Radiação solar mensal em kwh/m<sup>2</sup>

Mês	Radiação
Jan	117,49
Fev	130,07
Mar	167,7
Abri	184,4
Mai	204,2
Jun	204,22
Jul	223,08
Ago	221,81
Set	195,03
Out	154,71
Nov	117,6
Dez	114,15

**Figura 51:** Estimativa de Energia Fotovoltaica

Os números de hora de sol foi obtido para o mês de dezembro. O sistema proposto a instalar terá que satisfazer a carga a considerar (seja esta diária, semanal ou mesmo mensal). Para além disso, a potência necessária de painéis solares a instalar depende da eficiência total do sistema a considerar.

$$H_S = \frac{E_{(Wh/m^2)}}{G_{(W/m^2)}} \quad ; \quad H_S = \frac{3805_{(wh/m^2)}}{1000_{(w/m^2)}} = 3,80 \text{ horas} \quad (59)$$

$$K_T = [1 - 0,005 \times (T - 25^\circ C)] \quad ; \quad K_T = 1 \quad (60)$$

$$E_{ideal} = K_T \times H_S \times P_{máx} \quad ; \quad E_{ideal} = 1 \times 3,80_{(horas)} \times 3960_{(w)} = 15067,8 \text{ wh} \quad (61)$$

#### 4.4.2 Perfil de Consumo dos Equipamentos

Para poder calcular-se a energia que é consumida pelas cargas deve proceder-se a uma listagem que identifique a potência nominal de cada que vai ser utilizado bem como o número de horas que o equipamento irá estar em funcionamento. Os valores dos consumos foram retirados na fatura de eletricidade da EDP, o consumo medio diário corresponde a 31,05 kWh.

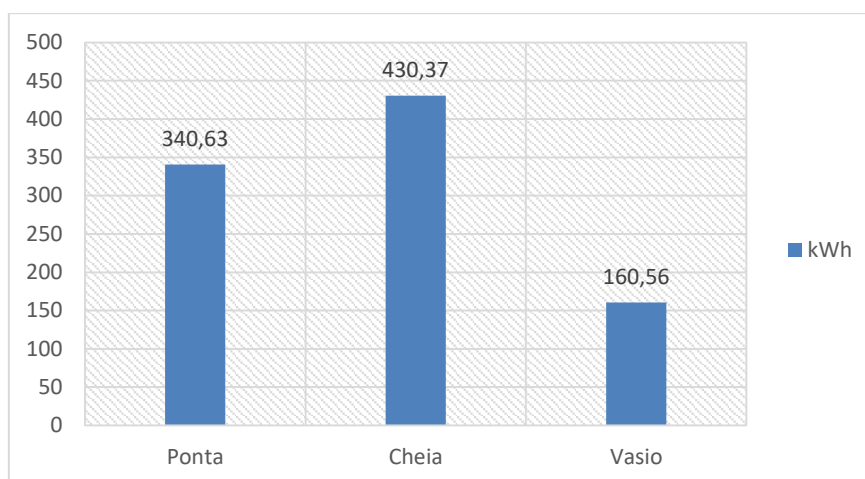


Figura 52: Perfil de Consumo de energia elétrica por mês

Na análise do gráfico é possível identificar o período em que as cargas consomem mais energia de maneira a procurar formas alternativas de as alimentar. Neste ponto deve incluir-se uma estimativa de perdas no sistema (baterias, inversores e cabos).

Tabela 24: Preço dos ciclos horário

Horas	€/kWh	€
Ponta	0,2344	79,84
Cheias	0,1649	70,80
Vazio	0,0868	13,93

Para se avaliar as oscilações de consumo ao longo do um ano é necessário verificar os valores mensais. Desta forma, é possível identificar meses “críticos” onde são verificadas maiores exigências de consumo. A metodologia utilizada para a quantificação mensal, consistiu no somatório dos valores horários num determinado mês. Os meses de inverno requerem uma maior exigência pela utilização de aparelhos de aquecimento que aumentam, em muito, os consumos energéticos mensais.

### 4.4.3 Estrutura

O tipo de estrutura utilizado é em triângulos com lancis de betão para cobertura plano. Os módulos estão com uma inclinação de 35° e o espaçamento entre fileiras é igualmente de 2,5m. A tabela 26 corresponde a lista de materiais utilizados na instalação onde foram assumidos 6 módulos, sendo calculado o dobro para 12 módulos.

Tabela 25: Materiais utilizados no Sistema

Terraço  
Lancil

Matérias	Quantidade
Perfil Light K2 3,15m	4
Perfil Light K2 4,20m	0
Empalme Light Kit	2
Porca M10 Dentada	10
Parafuso T	10
Fixador Fecho	4
Fixador Intermédio	10
Porca Asa	14
Parafuso Sextavado Interno M8	14
Triângulo 35°	5
Porca M8 Dentada	15
Parafuso Sextavado Externo M8	15
Bucha Metálica	10
Lancil Cimento	6
<b>Preço Total</b>	<b>232,69 €</b>



Figura 53: Estrutura em Triângulo, com Lancil, Fonte: DGTEC

Para se obter a inclinação a 35° dos módulos FV é necessário utilizar uma estrutura metálica que permita a fixação deles. Foi utilizada uma estrutura em forma de triângulo com inclinação fixa e ajustável. Este tipo de estrutura foi fixado na laje com parafusos e buchas metálicas. As fileiras estão distanciadas entre si em 3,92 metros. Este edifício possui um azimute de -12° tendo uma orientação praticamente a sul. Foram considerados os obstáculos, tais como chaminés.

Cálculos de distância entre fileiras:

Sendo:  $\beta$ : 28°, para a região de Lisboa ;  $\alpha$ : 35° ;  $b$ : 1,05 metros

$$d = b \times \left( \cos \beta + \frac{\sin \alpha}{\tan \beta} \right) = 2,05 \text{ m} \quad (62)$$

$b$ : altura do painel quando inclinado.

#### 4.4.4 Orçamentação

O custo do sistema fotovoltaico para a realização do orçamento foi realizado de acordo com uma estimativa dos preços utilizados na empresa e em Portugal. Os módulos estão sujeitos a condições climáticas durante o tempo de vida útil o que origina a sua perda de eficiência com o passar do tempo.

Tabela 26: Orçamento do sistema

Designação	Unid.	Preço Unid.[€]	Preço [€]
Módulo fotovoltaico Trina Solar 330 W	12	115,90	1 390,80
Inversor APS1000 w Trifásico	3	370,50	1 111,50
Estrutura para 6 módulos	2	232,7	465,40
Cabo AC 5G4 **	20	2,54	12,70
Proteção DC	1	12,00	12,00
Proteção AC	1	35,00	35,00
Cabo solar 1x6 mm **	20	0,79	15,80
Medidor de energia Trifásico	1	75,00	75,00
Serviço de transporte, instalação e registo	1	450,00	450,00
** O número de metros podem variar consoante a instalação		Subtotal	3 606,30 €
		IVA 23%	829,45 €
		<b>Total</b>	<b>4 435,75 €</b>

Os custos de investimentos determinam o custo de produção da energia elétrica gerada, já que os custos correntes - seguro civil, manutenção, são de reduzido significado. Considerando os custos de produção de energia, os sistemas fotovoltaicos podem ser comparados com outros sistemas de produção de energia. Convém também realçar que o retorno de capital investido tem uma influência decisiva no cálculo dos custos de produção de energia. O cálculo é efetuado através de um rácio entre o custo do investimento inicial, mais os custos gerais, nos quais se incorrerá durante o tempo de vida útil do sistema, denominado por CO&M (custo de Operação e Manutenção), onde também inclui custo de seguro civil, entre outros eventuais custos, e a energia total produzida durante a vida útil da central fotovoltaica.

$$C_{Energ.prod} = \frac{C_{Inv} + \sum_{t=0}^n CO\&M}{N \times E_a} = \text{€} / MWh \quad (63)$$

Onde:

$C_{Inv.in}$ : Custo do investimento inicial;

$CO\&M$ : Custo de Operação e Manutenção;

$E_a$ : Energia produzida anualmente pelo sistema fotovoltaico;

$N$ : Vida útil do sistema FV, geralmente é assumida uma vida útil entre 20 à 25 anos.

Na análise de sensibilidade são feitas estimativas otimistas e pessimistas sobre um grupo de variáveis, sendo estes importantes devido ao facto de apresentarem uma elevada incerteza que poderá ser importante na viabilidade do projeto. São parâmetros críticos como o tempo de construção e as despesas do investimento; os preços de venda e quotas de mercado; o preço das matérias-primas, energia e mão-de-obra.

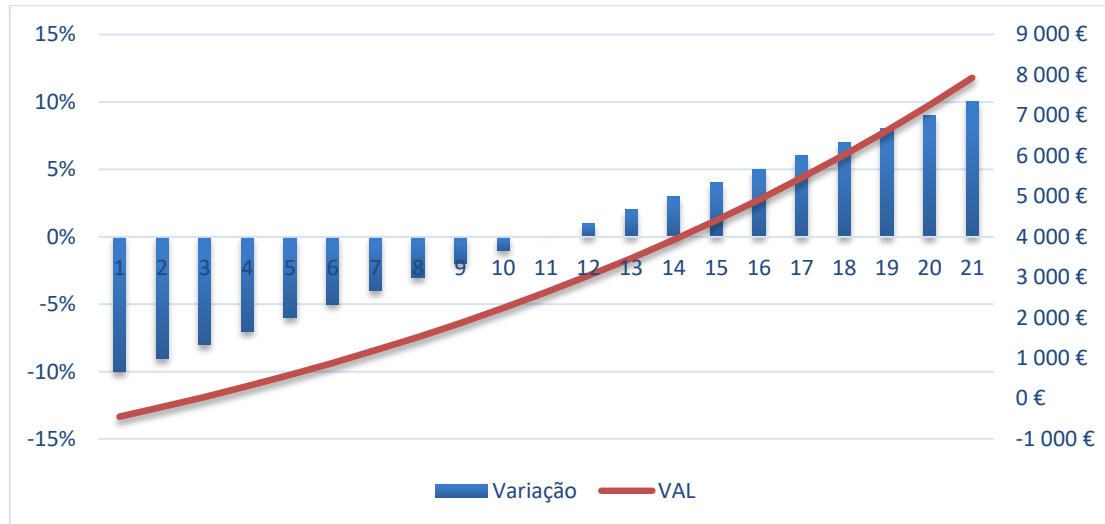


Figura 54: Análise de sensibilidade económica de var

Na tabela abaixo pode-se observar que a taxa de atualização é de 7%, com um TIR de 20%. Os custos anuais relativos à Operação e Manutenção, O&M foram estimados em 1% do valor do investimento, o seguro de responsabilidade civil foi estimado em 0,5% também do valor do investimento, e o imposto sobre lucros (IVA) considerado foi de 23%.

Tabela 27: Valores dos parâmetros financeiros

<b>VAL</b>	2 626,93 €
<b>Taxa de Atualização</b>	7%
<b>TIR</b>	20%

Para verificar a vantagem económica de instalar uma unidade para autoconsumo é necessário aferir qual a poupança que a mesma iria gerar.

$$payback = \frac{investimento}{poupança} \quad (64)$$

$$payback = \frac{4435,751}{1255,52} = 3,53 \text{ anos}$$

#### 4.4.5 Esquema

A imagem abaixo representa o esquema de ligação dos módulos por cada micro inversores e estes ligados entre si.

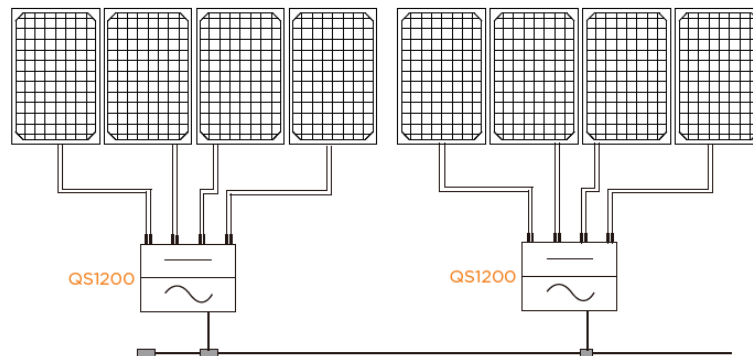


Figura 55: Esquema do sistema PV

O layout da figura 57 corresponde ao agrupamento de módulos PV e inversores interligados mecânica e eletricamente e outros componentes necessários para constituir em conjunto uma fonte de alimentação DC e AC.

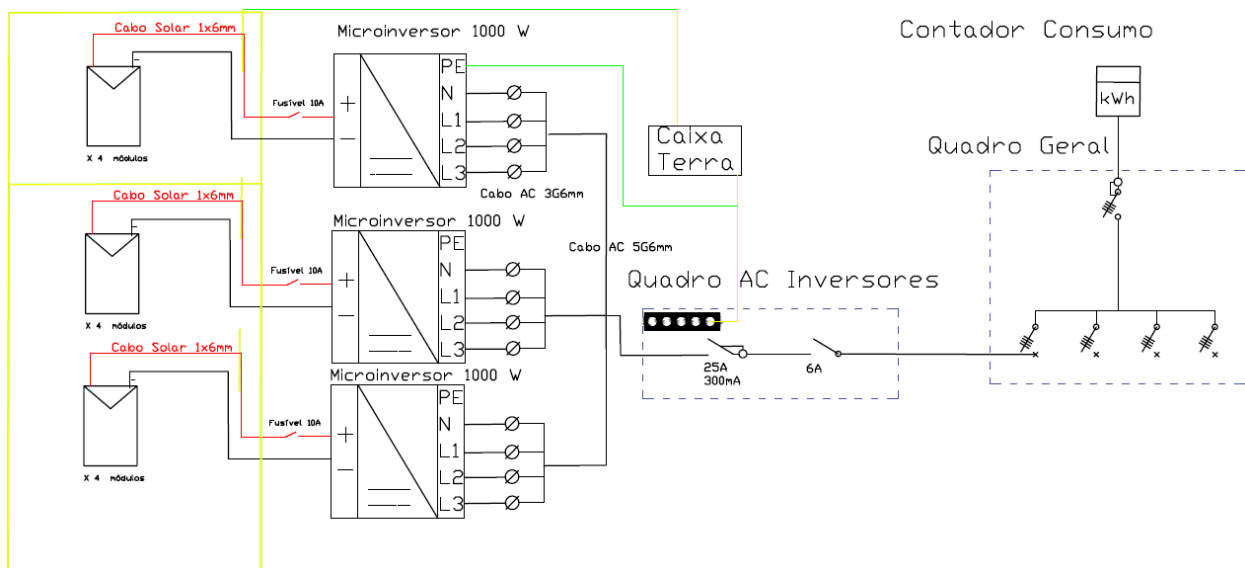


Figura 56: Esquema do Sistemas em Autocard

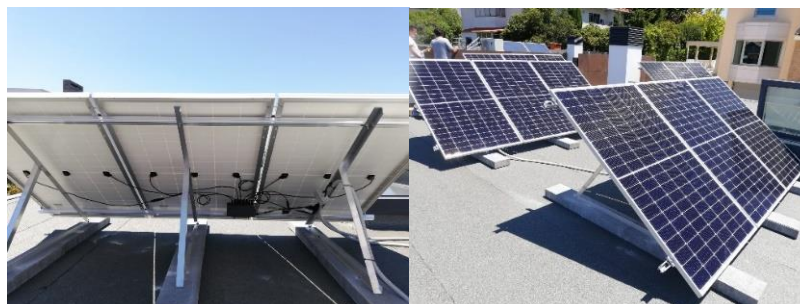


Figura 57: Instalação do Sistema Fotovoltaico

## 4.5 Sistemas Fotovoltaicos ligados à rede com baterias (Híbridos/isolados) (Projeto 4)

O sistema com a integração de baterias permite armazenar a energia produzida pelo SF, quando esta não é consumida. Então, para selecionar corretamente a capacidade das baterias é necessário conhecer as necessidades energéticas do edifício, e conseqüentemente as necessidades de armazenamento, esses sistemas de armazenamento são dimensionados de acordo à autonomia que o sistema deve possuir, e varia de acordo às condições climatológicas da localidade onde será implantado o instalado o sistema solar.

### 4.5.1 Baterias, Inversor, Pannel e Respetiva Capacidades

O inversor escolhido é da marca Axpert ks de 5 kW de potência, calculado para o valor de consumo do período de inverno com maior procura, de 12,36 kWh/dia. O dimensionamento da capacidade das baterias foi feito para o período de inverno e com número de dias de autonomia de 3 (armazena 5 kWh de energia). Para o autoconsumo, foi utilizada uma bateria de lítio da marca Dyness BX51100 com 100 Ah de capacidade e 48 V de tensão, pelo melhor custo-benefício, com capacidade nominal total de 5.12 kW, foram utilizados 12 painéis solar da marca Canadian de 450 wp de potência. Umas das vantagens desses sistemas é poderem funcionar na ausência da rede elétrica.

Considera-se que:

- Produção do sistema PV é analisada do ponto de vista semanal;
- A energia que o sistema tem de produzir por dia, refere-se ao valor de produção semanal dividido pelos 4 dias da semana, para que haja energia suficiente armazenada no fim-de-semana;
- A capacidade energética das baterias está dimensionada para acumular energia durante esses 4 dias da semana, para que possa ser utilizada no fim-de-semana.



Figura 58: Instalação sistemas híbridos e autónomo

O dimensionamento da bateria é feito de forma armazenar a energia que é produzida pelos painéis ao longo do dia e o excesso que é enviado a rede. Desta forma o sistema pode fornecer energia em dias em que a radiação solar é escassa, como por exemplo em dias nublados, compensar as perdas do sistema e assegurar que a carga da bateria não excede o nível de profundidade de descarga máximo permitido.

A capacidade mínima da bateria é calculada para satisfazer as necessidades do consumo de energia através da seguinte da expressão:

$$Q_{Bat} = E_{méd} \times N_{dias} / V \times T \times \eta_{inv} \times \eta_{Cabo} \quad (65)$$

$$Q_{Bat} = 12360_{Wh} \times 3_{dias} / 48 \times 0,9 \times 99\%_{inv} \times 10_{Cabo(\%)} = 86,7 Ah$$

Onde:

$Q_{bat}$ : Capacidade mínima da bateria (Ah);

$E_{méd}$ : Energia média diária consumida (Wh);

$N_{dias}$ : Número de dias de autonomia;

$T$ : limite de profundidade de carga de bateria;

$\eta$ : Rendimento do inversor;

$n_{Cabo}$ : Rendimento do cabo.

## 5. Resultados obtidos

Quanto maior a potência nominal dos painéis, menor será o número de painéis necessários para a obtenção da potência do sistema desejada. Embora seja importante utilizar painéis com potência nominal e com eficiência elevadas, conclui-se que a energia produzida pelo sistema não depende, necessariamente, desses fatores.

**Tabela 28:** Conclusão dos Projetos

Descrição	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3	Projeto 4
Potência Instalada (kW)	5,40	3,74	3,96	5.40
Energia Consumida (kWh)	2817,33	2325,33	2976,66	3708,00
Estimativa FV (kWh)	9113,44	6013,33	6434,61	8745,85
Investimento (€)	5487,93	4659,28	4435,75	9358,05
Poupança (€)	1778,21	1173,32	1 255,52	1706,48
VAL(€)	5 203,20	1 941,04	2 626,93	364,26
Taxa de atualização (%)	7	7	7	7
TIR (%)	27	16	20	8
Paybak (anos)	3,09	3,97	3,53	6,75

## **5.1 Projetos para melhoria da certificação energética em escolas (Projeto 5)**

### **5.1.1 EB1/JI BRANDOA**

#### **5.1.1.1 Descrição do edifício**

O edifício em estudo localiza-se na Rua Maria Amália Vaz de Carvalho, n.º 4, na Amadora e é constituído por 2 pisos.

#### **5.1.1.2 Dados Básico instalação**

A instalação corresponderá a um sistema fotovoltaico suportado por um total de 58 painéis fotovoltaicos cada um com 275 Wp, com capacidade para gerar de potência elétrica total de 15,95 kWp. A produção é entregue a um sistema composto por 1 inversor de 15 kW.

#### **5.1.1.3 Quadros elétricos**

A nova proposta de instalação prevê a colocação de 1 quadro DC a montante dos inversores, com proteção para cada string, composta por fusível e descarregador sobretensão. O SB.1 será instalado na cobertura, na treliça de suporte dos painéis e junto do inversor.

Os quadros elétricos deverão ser construídos de acordo com o disposto nas RTIEBT e com as seguintes normas específicas:

- Quadros elétricos: EN 61439 e EN 60947-2;
- Classe de proteção: CEI-529.

Todos os quadros da instalação serão de Classe II de isolamento, ou de isolamento equivalente.

As condições técnicas de serviço serão:

- Tensões nominais: 230/400 V, 50 Hz;
- Tensão nominal de comando e controlo: 24 V, 50 Hz;
- Regime de neutro da instalação: TT;
- Temperatura máxima no seu interior: 40°C.

Os quadros elétricos serão equipados com a aparelhagem de manobra e proteção indicadas nas peças desenhadas e obedecerão às prescrições regulamentares aplicáveis e às condições e características técnicas constantes no projeto.

A estrutura interior e dimensões de cada um serão tais que permitam alojar a aparelhagem indicada no respetivo esquema e protegê-la contra contactos diretos ou outras ações, por todas as faces. Os painéis apresentarão as furações correspondentes aos comandos dos disjuntores e mostradores de instrumentos.

O dimensionamento dos vários circuitos far-se-á com base nas correntes admissíveis nos condutores e nas quedas de tensão nas mesmas, as quais não deverão ser superiores ao estipulado regulamentarmente desde a origem da instalação até ao aparelho de utilização.

O cálculo da potência instalada foi determinado com base nas potências e quantidade dos painéis fotovoltaicos, que foram distribuídos pela área de disponível e enquadrados consoante estudo que resultou no apuramento do perfil de consumo do edifício.

Assim, a potência estimada para o sistema de produção será: 15.950 kWp (Produção Fotovoltaica). Para o dimensionamento das canalizações no lado AC e DC teve-se em conta os modos de instalação previstos em projeto (de acordo com o Quadro 52G e as particularizações presentes no Quadro 52H das RTIEBT).

As correntes admissíveis dos condutores e cabos, de acordo com o método de referência indicado na tabela anterior, é retirado dos Quadros 52-C1, 52-C3 e 52-C9, consoante se trate respetivamente de circuitos monofásicos ou trifásicos, para isolamento a PVC e cabos em esteiras de caminhos de cabos perfurados.

As correntes admissíveis consideradas para os condutores e cabos, foram retiradas de acordo com os métodos de referência indicados nas tabelas do RTIEBT, na serie 52-C, consoante se trate respetivamente de circuitos monofásicos ou trifásicos, conforme o seu isolamento, material condutor, modo de instalação e secção.

Os fatores de correção foram retirados na sua grande maioria dos quadros da série 52-D e 52-E do RTIEBT.

#### **5.1.1.4 Dimensionamento dos Circuitos**

Os circuitos foram dimensionados de acordo com os seguintes parâmetros:

- Intensidade de corrente máxima admissível no cabo ( $I_z$ );
- Os fatores de correção em função da temperatura máxima previsível de funcionamento e da proximidade de várias canalizações;
- A queda de tensão máxima admissível em função do comprimento e utilização dos circuitos;
- As proteções contra sobreintensidades foram determinadas a partir das intensidades máximas admissíveis nos condutores e indicadas nas Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

As características de funcionamento dos dispositivos de proteção das canalizações contra as sobrecargas, conforme estipulado na secção 433 do RTIEBT, devem satisfazer simultaneamente, às duas condições seguintes:

1)  $I_B \leq I_n \leq I_z$

2)  $I_2 \leq 1,45 I_z$  em que:

- $I_B$  é a corrente de serviço do circuito, em amperes;
- $I_z$  é a corrente admissível na canalização (veja-se 523), em amperes;
- $I_n$  é a corrente estipulada do dispositivo de proteção, em amperes;
- $I_2$  é a corrente convencional de funcionamento, em amperes (veja-se 254.2A).

Na prática  $I_2$  é igual:

- À corrente de funcionamento, no tempo convencional, para os disjuntores;
- À corrente de fusão, no tempo convencional, para os fusíveis do tipo gG.

#### 5.1.1.5 Quedas de tensão admissíveis

No lado DC, segundo a norma Alemã VDE 0100 Parte 712 (1988), afirma que para um bom desempenho do sistema fotovoltaico, a queda da tensão máxima admissível no circuito condutor não deve ser superior a 1% da tensão nominal, para condições de referência STC. Este critério determina que se limite a 1% as perdas de potência cabos DC do sistema. Assim sendo, é boa prática garantir que o inversor seja instalado o mais próximo possível do gerador fotovoltaico, de forma a reduzir ao máximo as perdas resistivas.

O nível de perdas, por feito de Joule nos cabos DC, está relacionado com a intensidade de corrente produzida pelo gerador fotovoltaico, logo quanto maior a intensidade da radiação absorvida pelo gerador, maiores as perdas nos cabos. Lado AC A queda de tensão máxima admissível entre o ponto de ligação à rede e o lado AC dos inversores, não deverá ser superior a 3%. O projeto equipou o edifício escolar, de medidas de eficiência energética, nomeadamente, de um sistema de produção de energia fotovoltaica para autoconsumo.



**Figura 59:** Instalação realizada na escola

## 5.1.2 EB 2/3 Almeida Garrett

### 5.1.3 Descrição Geral da Obra

A presente trabalho tem como objetivo a definição do conjunto das instalações Fotovoltaicas para autoconsumo, relativamente à obra de Melhoria da Certificação Energética da Escola EB 2/3 Almeida Garrett, localizada no Largo Rotary Club da Amadora, freguesia da Buraca, concelho da Amadora e distrito de Lisboa. O presente projeto teve como objetivo a implementação de projeto de sistema fotovoltaico no edifício escolar EB 2/3 Almeida Garrett. Foi feita a instalação de um sistema fotovoltaico em regime de autoconsumo com injeção do excedente na rede, composta por 64 painéis, agrupados em 1 campo de aplicação, compostos por 3 strings, de 22, 21, 21 painéis respetivamente, conectadas a um inversor de 17kW, totalizando uma instalação de 23,04 kWp (pot. pico), totalizando uma área de implantação 111,84 m<sup>2</sup>.



Figura 60: Instalação feita na escola

## 5.2 Sistema de Gerenciamento Online

A monitorização do sistema da Solaxpower, corresponde a uma plataforma web de gestão e análise do consumo energético disponível em tempo real, é possível aceder à informação do consumo elétrico. Basta ter acesso à Internet e poder consultar o consumo a partir de qualquer parte do mundo. Além dos custos e as emissões de CO<sub>2</sub>. Pode-se também aceder aos dados de consumo das últimas 24 horas, 30 dias e 12 meses.



Figura 61: Monitorização do sistema

## 5.2.1 Processo de Registo e Licenciamentos das UPAC

O primeiro passo consiste no preenchimento de um formulário disponibilizado no site online no SERUP, para uma comunicação prévia (registo no MCP), figura a baixo, que inclui o comercializador com o qual se pretende realizar o contrato de compra e venda de energia elétrica, tal como o tipo de regime remuneratório pretendido, que terá que ser aprovado pelo Diretor-geral da DGEG. Segundo passo deve preencher as características do Sistema FV. Deve ser submetidos uma declaração do engenheiro responsável da empresa e do esquema do sistema instalado. A figura abaixo apresenta informação necessária relativa ao promotor (Identificação completa, número de telemóvel, endereço eletrónico), à UPAC (Potência instalada, fonte primária a utilizar, indicação se pretende injetar excedente na rede e qual a potência de injeção) e à instalação de consumo associada à UPAC (Identificação do titular, indicação se a instalação se encontra ou não ligada à rede e comercializador, identificação do titular de contrato de fornecimento de energia elétrica e a potência contratada) o portal da DGEG onde é feita o registo das instalações realizadas pela empresa.

Depois da ORD se pronunciar acerca das condições técnicas e o comercializador acerca da conformidade dos dados de contrato de fornecimento de energia, o SERUP tem 10 dias úteis para validar a inscrição comunicando a aceitação, rejeição ou aceitação sob reserva da inscrição ao promotor. Após a aceitação do pedido, a instalação da UPAC é executada por uma entidade instaladora de instalações elétricas de serviço particular e esta deve assegurar que os equipamentos a instalar estão certificados e que a UPAC se encontra devidamente registada.

The image shows a web form titled "MCP" with the subtitle "Registo de nova MCP". The form contains several sections for data entry:

- Denominação social:** A text input field.
- NIF/NIPC:** A text input field containing "148707670".
- CPE:** A text input field.
- Operador de rede:** A text input field with a "Verificar" button next to it.
- Morada:** A text input field.
- Código Postal:** A text input field.
- Pessoa contacto:** A text input field containing "148707670".
- Telemovel:** A text input field containing "148707670".
- Comprovalto:** A "Ficheiro upload..." button.
- Potência contratada:** A text input field with a "kW" unit.
- Potência certificada:** A text input field with a "kW" unit.
- Tensão de alimentação:** A text input field with a "V" unit.
- Tensão de contagem:** A text input field with a "V" unit.
- Tipo de Fontes:** A section with radio buttons for "Solar", "Hídrica", "Eólica", "Biomassa", and "Biogás".
- Potência Instalada:** A text input field with a "kW" unit.
- Potência de ligação:** A text input field with a "kW" unit.
- Injeta energia na rede:** A checkbox.
- Limitador (marca/modelo):** A dropdown menu with "(Selecione)" selected.
- Tipo Entidade:** A dropdown menu with "Entidade instaladora" selected.
- Entidade instaladora (nº DGEG):** A text input field with a search icon.
- Técnico responsável execução:** A text input field with a search icon.
- Termo responsabilidade:** A "Ficheiro upload..." button.
- Esquema unifilar:** A "Ficheiro upload..." button.
- Gravar:** A button.
- Página Principal:** A button.

Figura 62: Processo de Licenciamento

## 6. Conclusão

Foi possível obter com o estágio, resultados significativos e conhecimento importantes na área de energias renováveis, com os trabalhos realizados no estágio foi possível desenvolver capacidade técnica no mercado de energias renováveis.

Na projeção um sistema FV de autoconsumo é importante alcançar um equilíbrio entre potência instalada, quota de autoconsumo e taxa de autonomia, para que o objetivo da instalação seja atingido de maneira a não inviabilizar o investimento financeiro.

Para minimizar o excesso de energia injetada na rede e obter uma maximização de autoconsumo, é necessário realizar o dimensionamento de bancos de baterias para armazenar a energia em excesso, otimizar a cota do consumo e observar alterações de comportamentos dos equipamentos, ou seja, a maioria das cargas devem ser utilizadas em horas em que existe excesso de produção do sistema FV, ao invés de se utilizarem em horários de grandes “picos” de consumo. Outra solução é aproveitar essa energia em excesso para fazer o dimensionado de bombas de calor ou também instalar pontos de carregamentos de carros elétricos.

A escolha do painel fotovoltaico está relacionado com o tipo de tecnologia e a potência podendo ser influenciada pelo local de instalação, com o surgimento de crises económicas e da pandemia que levou em consequência o aumento do consumo de energia. A utilização de sistemas fotovoltaicos no autoconsumo contribui na diminuição dessa procura energética. Embora a tecnologia FV ainda apresente custos elevados acredita-se que nos próximos anos haverá uma evolução considerável e melhores investimentos para instalações desses sistemas. Os sistemas fotovoltaicos híbridos têm uma vantagem sobre os sistemas somente de rede ou sistemas isolados, pois permitem armazenar energia fotovoltaica excedente gerada para uso posterior durante o dia, além de usar a rede elétrica como suporte, proporcionando uma economia significativa no preço de energia elétrica. Se durante o dia os painéis solares não fornecerem energia suficiente para abastecer a casa ou a indústria, o inversor híbrido poderá retirar mais energia da rede elétrica ou das baterias. Também é de notar que a perda de eficiência dos painéis ao longo dos anos não é tão prejudicial ao investimento levando em consideração dados reais de perdas de eficiência de 5% em 25 anos.

Para concluir, certificou-se que com os trabalhos realizados durante o estágio foi possível obter competências para ganhar autonomia, conhecimento e confiança.

## **Bibliografia**

- [1] E.D. Proença, “A energia solar fotovoltaica em Portugal”, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- [2] D.S. Cunha “Cenário atual das energias renováveis em Portugal”, Universidade da Beira Interior, 2008.
- [3] Rui Castro, “Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à Energia Fotovoltaica,” 2002.
- [4] E.S.João,” Metodologia de dimensionamento para instalações fotovoltaicas em autoconsumo”, técnico Lisboa, Abril de 2016
- [5] B. Guimarães, “Análise da Viabilidade Económica da Instalação de um Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico numa Habitação”, Universidade do Porto, 24 de fevereiro de 2016
- [6] Bluesol, “Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica”, 2010
- [7] J. Carneiro, “Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos”, Universidade do Minho, 2009
- [8] J.M.R. Vaz, “Dimensionamento de Um Sistema Fotovoltaico”, Universidade de Lisboa, Lisboa 2017
- [9] S.S.A. Freitas “Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos”, Instituto Politécnico de Bragança, Novembro de 2008
- [10] T.P. Benito, Praticas de energia solar fotovoltaica, 2011
- [11] J. Batista, Dimensionamento de sistemas Fotovoltaico para ligar a redes, Instituto Politécnico de Bragança, 2019
- [12] R.M.G.B.E. Silva, “Avaliação Energética de Um Sistema Fotovoltaico para Bombagem”, Universidade do Algarve, Faro 2014
- [13] M.J. Correia, ”Sistemas de bombagem de água utilizando energia solar fotovoltaica”, Instituto superior de engenharia de lisboa, dezembro 2015
- [14] S.A.M. Barbosa, “Eficiência energética e energias renováveis em edifícios”, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013
- [15] J.HM. Dias, Análise-Economico Financeira de um Projeto de Energia Fotovoltaica Numa Grande Superfície

[Click to my Website](#)