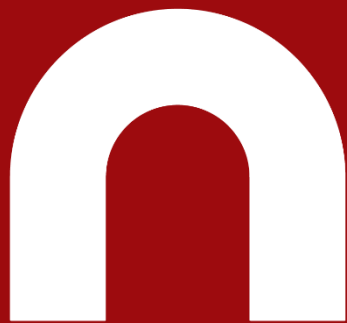




isec
Engenharia

**MESTRADO
ELETROTÉCNICA**

EM

ENGENHARIA

DEFINITIVO

Sistemas de Produção Fotovoltaica – Estágio na SunEnergy

Autor

Maria do Rosário Miranda Ferreira Fortes

Orientador

Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira

Coimbra, janeiro de 2021

INSTITUTO
POLITÉCNICO DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

Sistemas de Produção Fotovoltaica – Estágio na SunEnergy

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

Maria do Rosário Miranda Ferreira Fortes

Orientador

Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira

Co-Orientador

Doutora Rita Manuela da Fonseca Monteiro Pereira

Supervisor na empresa NRG – Sistemas de Energias Renováveis, Lda. (SunEnergy)

Engenheiro Paulino Oliveira

Coimbra, janeiro de 2021

AGRADECIMENTOS

Durante a realização do estágio curricular, tive a oportunidade de contar com a ajuda de inúmeras pessoas que, com a sua disponibilidade, conhecimento e experiência puderam contribuir de forma positiva na realização deste relatório, e às quais quero aqui expressar os meus sinceros agradecimentos.

Gostaria primeiramente de agradecer à família e namorado pelo suporte e apoio. Agradeço-lhes pela compreensão e habitual motivação com que pude contar ao longo deste estágio.

A todos os colaboradores da NRG - Sistemas de Energias Renováveis Lda., pela disponibilidade e acolhimento em especial ao Dr. Raul Santos, ao Sr. Rui Oliveira, ao Sr. Carlos Morais, ao Engenheiro Paulino Oliveira, meu supervisor na empresa, e aos Engenheiros Pedro Toscano, Pedro Pinto, André Duarte, e Pedro Oliveira.

Aos orientadores de estágio, Professor Doutor Adelino Jorge Coelho Pereira e a Professora Doutora Rita Manuela da Fonseca Monteiro Pereira pela dedicação e disponibilidade assinaláveis na realização do mesmo.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Coimbra que se tornou uma segunda casa, assim como todos os funcionários, professores, aos colegas e amigos que partilharam comigo o meu percurso académico.

A todos, um muito obrigado!

RESUMO

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular “Estágio” do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, com especialização no ramo de Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), e apresenta o percurso e alguns trabalhos realizados em contexto empresarial, na NRG – Sistemas de Energias Renováveis, Lda., a seguir designada por SunEnergy.

A SunEnergy opera no mercado das energias renováveis, sobretudo da energia solar, e da eficiência energética, oferecendo soluções de instalações fotovoltaicas, climatização e solar térmico quer para empresas como para particulares.

No presente relatório será realizado inicialmente um breve enquadramento das energias renováveis, dando especial atenção à energia solar fotovoltaica, sendo descritas as principais tecnologias constituintes destes sistemas, bem como uma breve descrição da legislação que regulamenta a implementação dos mesmos.

Os trabalhos executados ao longo do estágio basearam-se fundamentalmente no estudo e dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos para a produção de energia elétrica em autoconsumo.

Será demonstrado o processo de elaboração de projetos de sistemas fotovoltaicos ligados à rede, desde o primeiro contacto com o cliente, passando pelas condições de cálculo, seleção dos equipamentos a utilizar, os sistemas de monitorização escolhidos até à realização do registo desses sistemas.

Este estágio com duração de 8 meses, decorreu de novembro de 2019 a julho de 2020, permitiu a aplicação de conceitos teóricos, adquiridos ao longo da formação académica, a situações práticas, o que possibilitou obter uma visão mais esclarecedora destes, a aquisição de conhecimentos e competências socioprofissionais.

Palavras-Chave: Autoconsumo; Dimensionamento de Sistemas Solares Fotovoltaicos; Eficiência Energética; Energia Solar Fotovoltaica, Energias Renováveis.

ABSTRACT

This report was developed within the scope of the “Internship” of the Master in Electrotechnical Engineering, with specialization in the field of Automation and Communications in Energy Systems, at Polytechnic of Coimbra — School of Engineering (ISEC), and presents the course and some works carried out in a business context, at NRG - Sistemas de Energias Renováveis, Lda., hereinafter referred as SunEnergy.

SunEnergy operates in the renewable energy market, especially solar energy, and energy efficiency, offering solutions for photovoltaic, air conditioning and solar thermal systems for both companies and individuals.

In this report, a brief overview of renewable energies will be carried out, paying special attention to photovoltaic solar energy, describing the main technologies that make up these systems, as well as a brief description of the legislation that regulates their implementation.

The works carried out throughout the internship were fundamentally based on the study and design of solar photovoltaic systems to produce electric energy in self-consumption.

The process of preparing projects for photovoltaic systems connected to the network will be demonstrated, from the first contact with the customer, through the calculation conditions, selection of the equipment to be used, the monitoring systems chosen until the registration of these systems.

This 8-month internship, which took place from November 2019 to July 2020, allowed the application of theoretical concepts, acquired throughout academic formation, to practical situations, which made it possible to obtain a more enlightening view of these, the acquisition of knowledge and socio-professional skills.

Keywords: Dimensioning of Photovoltaic Solar Systems; Energy Efficiency; Photovoltaic Solar Energy; Renewable Energies; Self-consumption.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DA TABELAS.....	XV
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS	7
1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.3. LIMITAÇÕES.....	8
1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO.....	8
2. EMPRESA NRG - SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, LDA. (SUNENERGY)	9
2.1. RECURSOS HUMANOS E ORGANIZAÇÃO INTERNA	11
2.2. ATIVIDADE DA EMPRESA.....	12
2.2.1. SOLUÇÕES PARA CLIENTES EMPRESARIAIS.....	12
2.2.2. SOLUÇÕES PARA CLIENTES PARTICULARES.....	13
2.3. VISÃO, VALORES E MISSÃO DA EMPRESA.....	13
2.3.1. VISÃO.....	13
2.3.2. VALORES.....	13
2.3.3. MISSÃO	13
3. TECNOLOGIAS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	15
3.1. ENERGIA SOLAR	15
3.1.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA EUROPA.....	16
3.2. LEGISLAÇÃO VIGENTE EM PORTUGAL	18
3.3. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	25
3.4. CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA	26
3.5. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	33
3.6. ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	37
3.6.1. ASSOCIAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM SÉRIE	37
3.6.2. ASSOCIAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM PARALELO	39
3.6.3. ASSOCIAÇÃO MISTA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	40
3.7. CURVAS CARACTERÍSTICAS <i>I-V</i> E <i>P-V</i> DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	42

3.7.1.	CURVAS CARACTERÍSTICAS POR INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA	44
3.7.2.	CURVAS CARATERÍSTICAS POR INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR	45
3.8.	INVERSOR FOTOVOLTAICO	45
3.8.1.	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	49
3.8.2.	INVERSORES <i>ON-GRID</i>	51
3.8.3.	INVERSORES <i>OFF-GRID</i>	52
3.8.4.	INVERSORES HÍBRIDOS	53
3.8.5.	MICRO INVERSORES.....	54
4.	ATIVIDADES REALIZADAS	55
4.1.	MONITORIZAÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	55
4.2.	IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	58
4.2.1.	VISITA TÉCNICA AO LOCAL	59
4.2.2.	ANÁLISE DO PERFIL DE CONSUMO DA INSTALAÇÃO E ESCOLHA DOS COMPONENTES DO SISTEMA.....	59
4.2.3.	PROJETO EM <i>SKETCHUP®</i> E <i>PV*SOL PREMIUM</i>	60
4.2.4.	ELABORAÇÃO DA PROPOSTA E ORÇAMENTAÇÃO	61
4.2.5.	REGISTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	66
4.3.	CASO DE ESTUDO_ RODI - SINKS & IDEAS, S.A.....	72
4.3.1.	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	73
4.3.2.	SELEÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	74
4.3.3.	SELEÇÃO DOS INVERSORES	76
4.3.4.	CONFIGURAÇÕES	77
4.3.5.	SIMULAÇÃO DO SISTEMA NO <i>PV*SOL PREMIUM</i>	80
4.4.	CASO DE ESTUDO_ PALÁCIO DE JUSTIÇA DE TOMAR	86
5.	CONCLUSÕES	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
A.	Anexo A - Listagem de entidades inspetoras de instalações Elétricas (EIIEL)	101
B.	Anexo B – <i>Datasheet</i> Fronius Datamanager 2.0.....	102
C.	Anexo C - <i>Datasheet</i> do ITRON SL7000	104
D.	Anexo D – <i>Datasheet</i> Canadian Solar HIKU CS3K-400P	106
E.	Anexo E – Inversor ABB modelo PVS - 100 -TL	108
F.	Anexo F – <i>Datasheet</i> do Sistema de monitorização - Aurora Vision	111
G.	Anexo G – Relatório <i>PV*Sol premium</i> do projeto RODI.....	113
H.	Anexo H – Esquema unifilar do sistema instalado na RODI.....	115
I.	Anexo I - <i>Datasheet</i> descarregador de sobretensões AC da marca OBO, modelo V20.....	116
J.	Anexo J – <i>Datasheet</i> Meter B24 M-Bus.....	117
K.	Anexo K – <i>Datasheet</i> Jinko Solar modelo JKM280PP – 280 W	120
L.	Anexo L - <i>Datasheet</i> inversor da marca Fronius Symo 10.0-3-M	122

M.	Anexo M – <i>Datasheet</i> Monitorização - Fronius Solar.Web	124
N.	Anexo N – <i>Datasheet</i> Fronius Smart Meter 50kA-3.....	126
O.	Anexo O – Esquema unifilar do sistema instalado em Tomar	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Evolução da potência instalada em energias renováveis desde 2011 a agosto de 2020 (DGEG, 2020)	4
Figura 1.2-Evolução da Produção Fotovoltaica em Portugal (GWh) (DGEG, 2020)	5
Figura 1.3- a) Distribuição da radiação solar anual na Europa b) Distribuição da radiação solar em Portugal (SOLARGIS, 2020)	6
Figura 1.4-Evolução da Potência instalada em Portugal (IRENA, 2020).....	6
Figura 2.1-Logotipo SunEnergy (SunEnergy, 2020).....	9
Figura 2.2-Representação das várias delegações presentes no país (SunEnergy, 2020).....	10
Figura 2.3-Ortofotografia das instalações (Google maps, 2020)	10
Figura 2.4-Estrutura organizacional da empresa	11
Figura 3.1-Capacidade instalada em solar fotovoltaico na UE_2000-2019 (Europe, 2019).....	17
Figura 3.2-Capacidade total instalada em solar fotovoltaico na UE_2000-2019 (Europe, 2019).....	18
Figura 3.3 - Esquema de ligação à rede de uma UPAC (Técnica Viçosa_Energia Solar, 2015).....	24
Figura 3.4- Edmond Becquerel - O descobridor do Efeito Fotovoltaico (Solenergy System Inc., 2020)	25
Figura 3.5-Células silícios tipo P e tipo N (Australian Academy of Science, 2020)	26
Figura 3.6-Célula de Silício monocristalino (CRESESB, 2008)	27
Figura 3.7-Célula de Silício Policristalino (CRESESB, 2008)	28
Figura 3.8-Célula fotovoltaica de telureto de cádmio (Chenche, 2019)	29
Figura 3.9-Representação da estrutura de uma célula de CdTe (Malhotra, 2019).....	29
Figura 3.10-Célula de Silício de Amorfo (Eldin, Refaey, & Farghly, 2015).....	30
Figura 3.11- a) Célula CIGS e b) Célula de CIS (Eldin, Refaey, & Farghly, 2015).....	30
Figura 3.12-Células Fotovoltaicas Orgânicas (Freire, 2017).....	31
Figura 3.13-Esquema referente a associação de células fotovoltaicas em série (Carneiro, 2010).....	33
Figura 3.14-Película Encapsulante (EVA) (Portal Solar, 2018)	33
Figura 3.15-Vidro Especial (Portal Solar, 2018)	33
Figura 3.16-Moldura de Alumínio (Svarc, 2019).....	34
Figura 3.17-Backseet (Portal Solar, 2018)	34
Figura 3.18-Caixa de junção (Portal Solar, 2018)	35
Figura 3.19-Representação esquemática do módulo fotovoltaico sombreado (Vieira, 2012)	35
Figura 3.20— Representação esquemática do módulo fotovoltaico sombreado com díodos by-pass (Vieira, 2012)	36
Figura 3.21- a) módulo na posição horizontal, b) módulo na posição vertical (Energia, 2004)	37
Figura 3.22-Representação esquemática da estrutura de um módulo fotovoltaico (Portal Solar, 2018)	37
Figura 3.23-Associação de módulos fotovoltaicos em série (Rabaça, 2014)	38
Figura 3.24-Curva característica I-V resultante da associação em série de 3 módulos fotovoltaicos (Carneiro, 2010)	39

Figura 3.25-Associação de módulos fotovoltaicos em paralelo (Rabaça, 2014)	39
Figura 3.26-Curva característica I-V resultante da associação em paralelo de 3 módulos fotovoltaicos (Rabaça, 2014).....	40
Figura 3.27-Associação mista de módulos fotovoltaicos (Rabaça, 2014)	41
Figura 3.28-Curva característica I-V resultante da associação mista de módulos fotovoltaicos (Rabaça, 2014).....	41
Figura 3.29-Esquema ilustrativo do fator de forma (Solmetric, 2011)	42
Figura 3.30-Curvas características I-V e P-V de uma célula de silício (Herrero, Pos. Efic. de PV em plantas sol. no amb. urb., 2016).....	44
Figura 3.31-Curva I-V em função da temperatura (Herrero, Pos. Efic. de PV em plantas sol. no amb. urb., 2016)	45
Figura 3.32-Influência da variação da irradiação solar na curva característica I-V de uma célula de silício a 25°C (Pinho & Galdino, 2014).....	45
Figura 3.33 - Sistema Fotovoltaico (Sol e Energia, 2018).....	46
Figura 3.34-Símbolo usado para descrever um inversor (Luque & Hegedus, 2003).....	46
Figura 3.35-Inversor com apenas um MPPT (Canal Solar, 2019).....	47
Figura 3.36 - Inversor com um MPPT (Canal Solar, 2019).....	47
Figura 3.37-Inversor com quatro entradas de MPPT (Canal Solar, 2019)	48
Figura 3.38 - Entradas e conexões de um inversor com dois MPPT (Canal Solar, 2019).....	48
Figura 3.39 - Inversor com duas entradas de MPPT (Canal Solar, 2019)	49
Figura 3.40 - Curva potência x tempo sem clipping (curva a cor de laranja), e curva potência versus tempo com clipping (curva a cor azul) (Souza, 2019).....	50
Figura 3.41 - Curvas I-V de um sistema fotovoltaico sobredimensionado (Andorka, 2013)	50
Figura 3.42 - Sistema com ligação à rede (Imeon Energy, 2020).....	51
Figura 3.43 - Sistema sem ligação á rede (BMC ENERGIA, 2020)	52
Figura 3.44 - Sistema Híbrido (Imeon Energy, 2020)	54
Figura 4.1 - Fronius Datamanager 2.0 (Fronius, 2020)	56
Figura 4.2 – Esquema representativo do sistema de monitorização (Fronius Solar.Web, 2020).....	56
Figura 4.3-Gráfico da geração diária de um sistema fotovoltaico (SolarWeb, 2019).....	56
Figura 4.4-Gráfico da geração mensal de um sistema fotovoltaico (SolarWeb, 2019)	57
Figura 4.5 - SolaX Pocket WiFi (SolaXPower, 2020).....	58
Figura 4.6-Logotipo do Software Sketchup (totalCAD, 2019).....	60
Figura 4.7-Logotipo do software PV*Sol® premium (The Solar Design Company, 2020).....	61
Figura 4.8-Dados do cliente	62
Figura 4.9-Dados da instalação e económicos.....	63
Figura 4.10-Garantias do sistema	63
Figura 4.11-Equipamentos que compõe a UPAC.....	64
Figura 4.12-Estimativa mensal de poupança e de produção elétrica em kWh.....	64
Figura 4.13-Estimativa anual de poupança de energia ao longo de 25 anos	65
Figura 4.14-Preços finais sem IVA e com IVA.....	65

Figura 4.15-Assinatura para Revisão, Verificação e Validação do documento.....	66
Figura 4.16-Formulário do registo dos dados do produtor e da instalação	67
Figura 4.17-Formulário do registo dos dados a preencher no Registo UPAC.....	67
Figura 4.18-Termo Responsabilidade.....	69
Figura 4.19-Esquema unifilar de uma instalação.....	70
Figura 4.20-Quadro DC.....	71
Figura 4.21-Quadro AC.....	71
Figura 4.22-Contador de produção	72
Figura 4.23-Imagem aérea do local do projeto (Google Maps, 2020).....	73
Figura 4.24-Modelo 3D dos edifícios da RODI	74
Figura 4.25 - Módulo fotovoltaico Canadian Solar, Hiku CS3-400P	75
Figura 4.26 - Inversor ABB modelo PVS-100-TL	76
Figura 4.27 - Distribuição das strings.....	80
Figura 4.28 - Capa do relatório obtida da simulação dos Edifícios da RODI em PV*SOL premium	81
Figura 4.29-Projeção 3D	82
Figura 4.30 – Principais dados do projeto	82
Figura 4.31 - Resultado do Rendimento do Sistema elaborado em PV*SOL premium	83
Figura 4.32 - Análise financeira do projeto	83
Figura 4.33 - Preço do serviço e as condições de pagamento.....	84
Figura 4.34 - Quadro AC do sistema fotovoltaico.....	85
Figura 4.35 - Meter B24	86
Figura 4.36 - Imagem aérea dos painéis instalados na RODI.....	86
Figura 4.37 - Fronius Smart Meter 50kA-3	87
Figura 4.38 - Distribuição das strings.....	88
Figura 4.39 - Zona técnica.....	88
Figura 4.40 - Imagens aéreas dos painéis instalados no Palácio da Justiça de Tomar.....	89
Figura B.1 - Datasheet Fronius Datamanager 2.0.....	103
Figura C.1 - Datasheet do ITRON SL7000	105
Figura D.1 - Datasheet Canadian Solar HIKU CS3K-400P	107
Figura E.1 - Inversor ABB modelo PVS - 100 -TL.....	110
Figura F.1 - Datasheet do Sistema de monitorização - Aurora Vision	112
Figura G.1 - Áreas do módulo fotovoltaico, elaborado em PV*SOL premium_Edifício 04_Água Noroeste	113
Figura G.2 - Configuração do primeiro inversor	114
Figura G.3 - Resultados do Sistema Completo.....	114
Figura H.1 - Esquema unifilar do sistema instalado na Rodi	115
Figura I.1 - Datasheet descarregador de sobretensões AC da marca OBO, modelo V20	116
Figura J.1 - Datasheet Meter B24 M-Bus.....	119
Figura K.1 - Datasheet Jinko Solar modelo JKM280PP – 280 W	121

Figura L.1 - Datasheet inversor da marca Fronius Symo 10.0-3-M	123
Figura M.1 - Datasheet Monitorização - Fronius Solar.Web.....	125
Figura N.1 - Datasheet Fronius Smart Meter 50kA-3	127
Figura O.1 - Esquema unifilar do sistema instalado em Tomar	128

ÍNDICE DA TABELAS

Tabela 1.1 - Produção anual de energia elétrica a partir de fontes renováveis entre 2011 a agosto de 2020 (DGEG, 2020).....	3
Tabela 1.2 - Potência instalada em MW a partir de fontes renováveis entre 2011 e agosto de 2020 (DGEG, 2020).....	4
Tabela 3.1 – Tipos de instalações UPAC.....	21
Tabela 3.2-Tipos de instalações UPAC	23
Tabela 3.3 - Taxas aplicadas as UPAC (Ambiente e Ação Climática_Portaria n.º 16/2020, 2020)	24
Tabela 4.1 - Características principais do módulo escolhido.....	75
Tabela 4.2 - Características mais relevantes do inversor escolhido.....	76
Tabela A.1 - Listagem de entidades inspetoras de instalações Elétricas (EIEL)	101

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

A – Área;
A- Ampère;
AC – Corrente alternada;
Al – Alumínio;
Au – Ouro;
AQS - Águas Quentes Sanitárias;
a-Si - Silício de amorfo;
CdS -Sulfato de Cádmio;
CdTe - Telureto de cádmio;
CEO - *Chief executive officer*;
CER - Comunidades de energia renovável;
CIGS - Disseleneto de cobre, índio e gálio;
CIS - Disseleneto de cobre e índio;
CO₂ - Dióxido de carbono;
CUR - Comercializador de último recurso;
DC - Corrente contínua;
DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia;
DL - Decreto-Lei;
EPS - *Emergency Power Supply*;
EU - União Europeia;
EVA - Etileno acetato de vinilo;
FF - Fator de forma;
G - Radiação solar incidente por unidade de superfície (W/m^2);
GaAs - Arsénio de gálio;
GW – Gigawatt;
GWh – Gigawatt-hora;
HIT - Células fotovoltaicas hídras ou de heterojunção;
I – Corrente;
Imp/ I_{MPP} - Corrente de potência máxima;
Isc - Corrente de curto-circuito;
ITO - Óxido de Estanho e Índio;
IU - Instalação elétrica de utilização;
IVA – Imposto sobre o valor acrescentado;

KW – Kilowatt;

KWh – Kilowatt-hora;

LAN – Rede de área local;

MPP - Ponto de Potência Máxima;

MW – Megawatt;

NRG - Sistemas de Energias Renováveis, Lda;

OPV - Células fotovoltaicas orgânicas;

P – Potência;

PC - Computador Portátil;

PERC - *Passivated Emitter Rear Cell*;

Pinc - Potência luminosa incidente na célula;

Pmax - Potência máxima gerada por uma célula;

Pmp - Potência de pico;

QGBT - quadro geral de baixa tensão;

RESP - Rede Elétrica de Serviço Público;

SERUP - Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção;

SnO2 - Óxido de Estanho;

SRIESP - Sistema de Registo de Instalações Elétricas de Serviço Particular;

STC - *Standard Test Conditions*,

TWh – Terawatt-hora;

UPAC - Unidades de Produção para Autoconsumo;

UPP - Unidades de Pequena Produção;

UTP – Unshielded Twisted Pair;

V – Tensão (volt);

Vmp/ V_{MPP} - Tensão de máxima potência;

Voc - Tensão de circuito aberto;

W - Watt;

Watts/m²– Watts por metro quadrado;

WLAN – Rede de área local sem fio;

ZnTe -Telureto de Zinco;

€/kWh - Euros por kilowatt-hora;

°C – Graus celsius;

η – Rendimento.

1. INTRODUÇÃO

O presente documento que assume a forma de relatório de estágio, enquadra-se no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica no ramo de Automação e Comunicações em Sistemas de Energia do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, corresponde a uma síntese dos projetos realizados ao longo de oito meses na *SunEnergy*, por forma a obter o grau de Mestre.

Neste capítulo, é feito um enquadramento do tema que é abordado ao longo deste relatório de estágio, os motivos que levaram à escolha do estágio, os objetivos inerentes a sua realização, os projetos desenvolvidos ao longo do mesmo, e por fim, é abordada a estrutura deste documento de trabalho.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

As transformações verificadas durante a Terceira Revolução Industrial levaram a uma crescente procura e necessidade por energia, aliada a um grande crescimento económico e populacional que se manifestou por grande parte do mundo, entre o final do século XX e início do século XXI, intensificando assim a busca por fontes de energia.

Os combustíveis fósseis, constituem a principal fonte primária de produção de energia, estando muitos países, inclusive Portugal fortemente dependentes destes.

Esses combustíveis além de serem esgotáveis, a sua extração e consumo implicam graves impactes ambientais, como a emissão de gases com efeito de estufa, contribuindo para o aumento do aquecimento global.

No entanto, é de se referir que a utilização desses recursos, contribuíram para as transformações sociais, tecnológicas e económicas, não obstante, as consequências para o meio ambiente foram e continuam a ser extremamente severas.

Na última década muito se tem feito para se reduzir a dependência desses recursos naturais, como por exemplo, o investimento em recursos renováveis, diminuindo não só a dependência dos combustíveis fósseis como também permite a diversificação das fontes de energia, melhorar a segurança energética assim como contribui para a redução das emissões de gases com efeito de estufa.

A tomada de consciência por parte de governantes e não só, sobre as desvantagens causadas pelo uso de combustíveis fósseis tem permitido a crescente participação das renováveis assim como a implementação de medidas de eficiência energética.

Neste sentido, a União Europeia adotou um conjunto de metas para 2030, de modo a atingir os objetivos europeus de energia e clima, de entre os quais (PNEC 2030, 2019):

- 40% de redução dos gases com efeito de estufa em relação ao ano de 1990;
- 32% do consumo de energia final fornecido por fontes de energia renovável;

- 32,5% de melhoria no consumo de energia primária através de medidas de eficiência energética;
- Nos transportes, a quota das renováveis deverá representar, pelo menos, 14% até 2030.

Em linha com as metas definidas pela União Europeia quanto à transição energética, Portugal definiu no âmbito do Plano Nacional de Energia-Clima para o período 2021-2030, metas muito ambiciosas (PNEC 2030, 2019):

- 45 a 50 % de redução dos gases com efeito de estufa;
- 47% do consumo de energia final fornecido por fontes de energia renovável;
- 35% de melhoria no consumo de energia primária através de medidas de eficiência energética.

Portugal é um dos países com grande interesse na intensificação do uso das fontes de energias renováveis, uma vez que este, não detém combustíveis fósseis em seu território.

A participação dos combustíveis fósseis tem diminuído consideravelmente desde 2004, já a participação das renováveis tem seguido a tendência oposta.

A partir de 2005, verificou-se um aumento gradual da potência renovável instalada, com uma taxa de crescimento média de 7% ao ano, tomando assim um papel fundamental no *mix* de eletricidade no país, podendo enumerar-se diversas fontes, sendo que umas apresentam uma maior relevância no panorama nacional do que outras, destacando-se a energia eólica, hídrica e solar (Agreira, 2019), (APREN, 2020).

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), entre setembro de 2019 e agosto de 2020, a produção de energia elétrica por fontes de energias renováveis foi de 32 515 GWh, onde 1 524 GWh são provenientes da energia solar fotovoltaica, 13 032 GWh provenientes da energia eólica e 14 081 GWh provenientes da hídrica (DGEG, 2020). A Tabela 1.1 apresenta os valores de produção em GWh associados aos diferentes tipos de energias renováveis, desde o ano 2011 até o mês de agosto de 2020.

Tabela 1.1 - Produção anual de energia elétrica a partir de fontes renováveis entre 2011 a agosto de 2020 (DGEG, 2020)

	Produção Anual (GWh)									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total Renovável ²	24 692	20 410	30 611	32 453	25 514	33 503	24 309	30 637	28 726	32 515
Hídrica	12 114	6 660	14 868	16 412	9 800	16 916	7 632	13 628	10 165	14 081
Grande Hídrica (>30MW)	10 615	5 683	12 931	14 168	8 669	14 909	6 696	11 855	8 635	12 255
em bombagem	578	1 038	1 138	843	1 139	1 186	1 735	1 235	1 425	1 617
PCH (>10 e <=30 MW)	620	367	739	866	379	780	313	735	641	774
PCH (<= 10 MW)	879	611	1 198	1 377	752	1 227	623	1 038	889	1 052
Eólica	9 162	10 260	12 015	12 111	11 608	12 474	12 248	12 617	13 738	13 032
Biomassa ³	2 467	2 496	2 516	2 578	2 518	2 481	2 573	2 558	2 735	3 090
c/ cogeração	1 722	1 710	1 780	1 813	1 723	1 721	1 775	1 717	1 666	1 661
s/ cogeração	745	786	736	765	795	760	799	841	1 068	1 429
Resíduos Sólidos Urbanos	592	490	571	481	584	610	632	573	619	592
Fração renovável	296	245	286	240	292	305	360	327	353	338
Biogás	161	210	250	278	294	285	287	271	244	242
Geotérmica	210	146	197	205	204	172	217	230	215	208
Fotovoltaica	282	393	479	627	799	871	993	1 006	1 275	1 524

Os valores apresentados permitem afirmar que a energia solar, tem crescido a um ritmo mais lento que a eólica e a hídrica, devendo-se isto, sobretudo a questões técnicas e económicas, uma vez que o investimento em centrais fotovoltaicas ainda acarreta custos elevados.

A Tabela 1.2 apresenta os valores de potência instalada em MW associados aos diferentes tipos de energias renováveis, desde o ano 2011 até o mês de agosto de 2020.

Na Tabela 1.2, assim como no gráfico da Figura 1.1, pode-se observar, que a hídrica, entre 2011 e agosto de 2020, foi a tecnologia que mais cresceu em termos de potência instalada (1,8 GW).

No entanto, é de reconhecer, que em termos de amadurecimento da tecnologia, a energia solar fotovoltaica foi a que mais evoluiu, passando de 175 MW de potência instalada em 2011, para 957 MW em agosto de 2020 (DGEG, 2020).

Esta evolução deve-se aos grandes avanços tecnológicos verificados nesta área, a diminuição de custos de equipamentos e melhorias na eficiência dos módulos fotovoltaicos. (E. V. A, 2020).

Tabela 1.2 - Potência instalada em MW a partir de fontes renováveis entre 2011 e agosto de 2020 (DGE, 2020)

	Potência Instalada (MW)									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total Renovável	10 624	11 053	11 309	11 676	12 272	13 415	13 762	13 993	14 453	14 512
Hídrica	5 330	5 537	5 533	5 570	6 031	6 812	7 086	7 098	7 129	7 129
Grande Hídrica (>30MW)	4 666	4 877	4 877	4 916	5 367	6 147	6 417	6 417	6 447	6 447
PCH (>10 e ≤ 30 MW)	279	257	257	254	255	254	254	266	266	266
PCH (≤ 10 MW)	385	403	399	400	409	410	414	414	415	415
Eólica	4 378	4 531	4 731	4 953	5 034	5 313	5 313	5 379	5 457	5 456
Biomassa	575	564	564	539	552	564	564	629	744	753
c/ cogeração	459	441	441	416	428	434	434	484	506	511
s/ cogeração	116	123	123	123	123	130	130	144	238	242
Resíduos Sólidos Urbanos	86	86	86	86	89	89	89	89	89	89
Biogás	51	62	67	81	85	89	91	92	93	93
Geotérmica	29	29	29	29	29	29	34	34	34	34
Fotovoltaica	175	244	299	418	454	519	585	672	906	957
FV de concentração	0	0	0	6	9	9	14	15	15	15

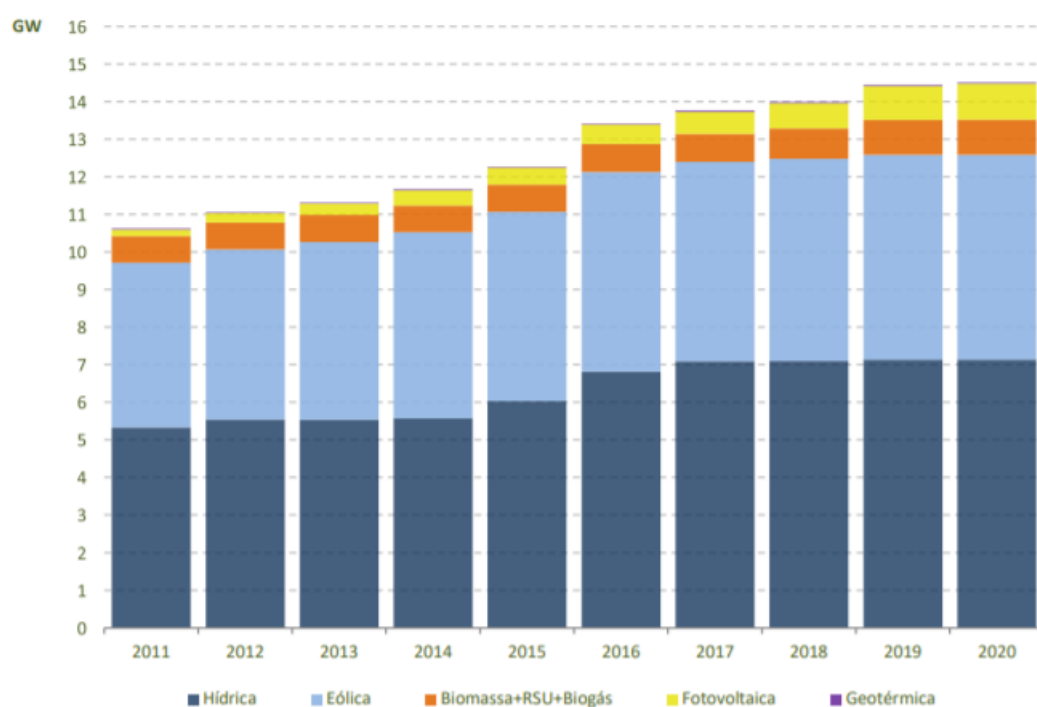


Figura 1.1 - Evolução da potência instalada em energias renováveis desde 2011 a agosto de 2020 (DGE, 2020)

Em 2018, a produção de eletricidade fotovoltaica na União Europeia (EU) atingiu os 127 TWh, representando 3,9% da produção bruta de eletricidade da EU (E. V. A, 2020).

O crescimento do sector fotovoltaico deveu-se muito aos sistemas de produção descentralizada de energia, designadas por Miniprodução e Microprodução até o ano de 2014, ano em que surgiram os sistemas de Unidades de Pequena Produção (UPP) e as Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC).

A Figura 1.2, apresenta a evolução da produção de eletricidade a partir da energia solar fotovoltaica nas diversas regiões de Portugal desde 2011 a agosto de 2020.

Em agosto de 2020, a região do Alentejo era responsável por 48% da produção fotovoltaica em Portugal. À escala do fotovoltaico, a região é a que mais contribui para a produção fotovoltaica nacional, devido aos seus elevados registos de radiação solar, as condições topográficas, a disponibilidade de território e o escasso povoamento (Rodrigues, 2015).

Ocupa uma posição de destaque, quer a nível de produção fotovoltaica, tendo registado entre setembro de 2019 a agosto de 2020, 752 GWh dos 1 524 GWh registados em Portugal, quer a nível de potência instalada, sendo que registou no mesmo período, 439 MW do total de 957 MW de potência instalada em Portugal (DGEG, 2020).

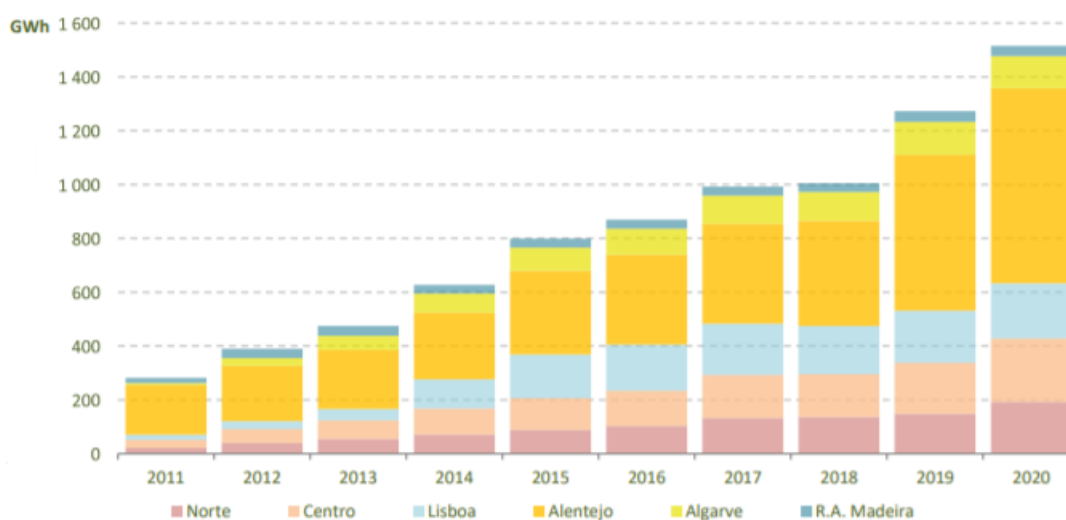


Figura 1.2-Evolução da Produção Fotovoltaica em Portugal (GWh) (DGEG, 2020)

Todas as fontes de energias renováveis, permitem a implementação de sistemas de autoconsumo, no entanto, sendo Portugal um dos países com maior exposição solar da Europa, faz sentido falar em autoconsumo recorrendo a energia solar, oferecendo a possibilidade de os cidadãos produzirem a sua própria energia através da radiação solar, contribuindo para a redução das faturas de energia elétrica, e para a preservação do meio ambiente.

A disponibilidade de radiação solar incidente em toda a Europa e particularmente em Portugal é apresentada na Figura 1.3.

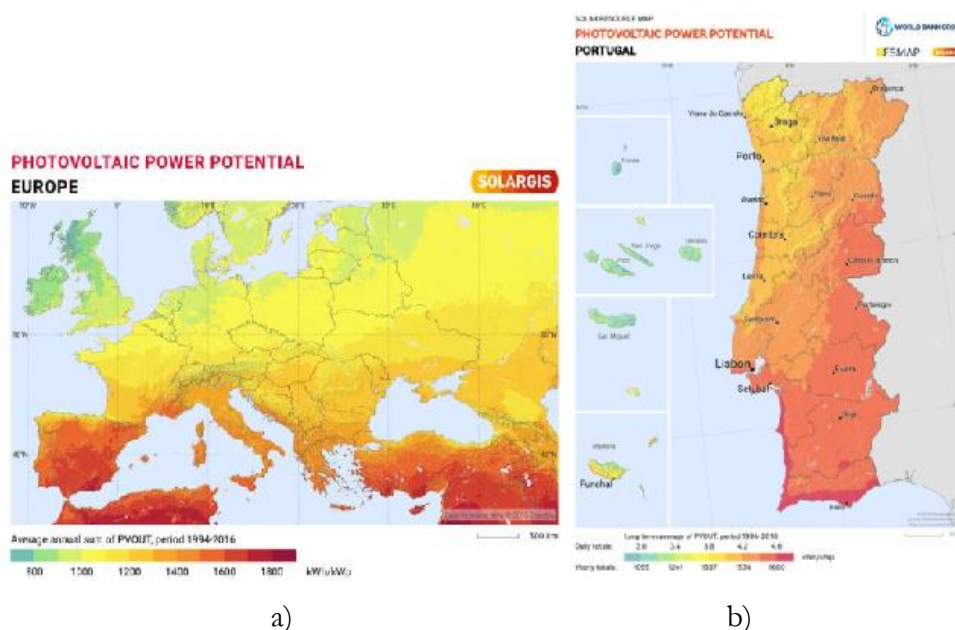


Figura 1.3- a) Distribuição da radiação solar anual na Europa b) Distribuição da radiação solar em Portugal (SOLARGIS, 2020)

Embora Portugal seja um dos países da Europa que desfruta de uma das maiores taxas de exposição solar ao longo do ano, a sua evolução no sector fotovoltaico tem sido lenta quando comparada com outros países da Europa, como por exemplo a Alemanha, que apesar de menos ensolarada, possui uma maior capacidade instalada.

Portugal, em 2019 possuía uma capacidade instalada de cerca de 828 MW (Figura 1.4), muito aquém do esperado, o que permite concluir que o aproveitamento da energia do sol em Portugal, é ainda muito reduzido.

Este valor de capacidade ainda se torna mais relevante quando comparado com um país que dispõe de clima, área territorial e situação financeira semelhante à realidade de Portugal, como por exemplo a Grécia, que possuía em 2019 cerca de 3 vezes mais capacidade instalada que Portugal (IRENA, 2020).

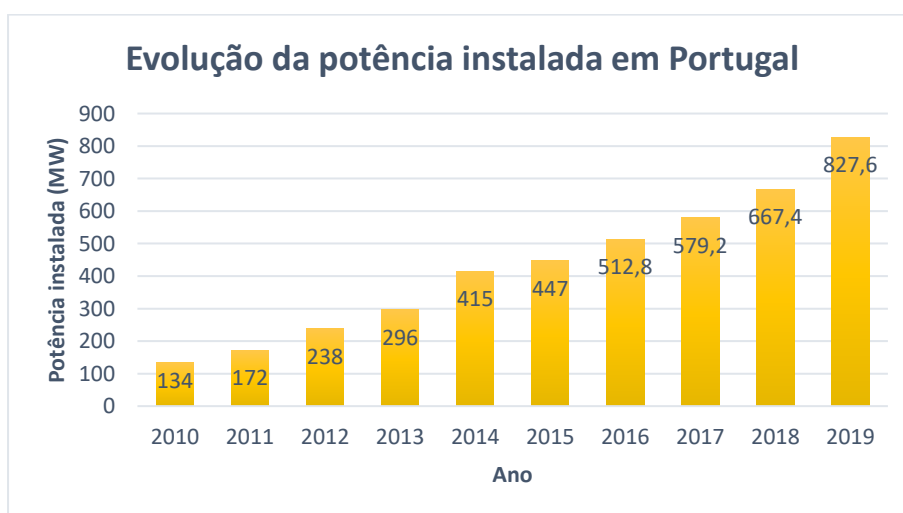


Figura 1.4-Evolução da Potência instalada em Portugal (IRENA, 2020)

E para contornar estes baixos valores, Portugal deverá não só apostar em centrais fotovoltaicas, mas também em sistemas de produção descentralizada, levando assim ao autoconsumo, que admite uma menor dependência face à rede e menores oscilações de preços.

1.2. MOTIVAÇÕES E OBJETIVOS

Um estágio tem como principal objetivo, complementar a formação académica de um estudante do ensino superior, uma vez que proporciona ao mesmo, o primeiro contato com o ambiente de trabalho, onde terá de colocar em prática todo o conhecimento e conteúdos adquiridos ao longo da formação académica. E é com base nesse objetivo, e pelo facto de as empresas valorizarem a experiência de trabalho, que se explica a preferência e logo, a escolha do estágio em detrimento da realização de um projeto ou dissertação.

Para além disso o estágio permite a aquisição de conhecimentos, competências socioprofissionais e vivências, como a capacidade de trabalhar em grupo, que de uma outra forma não seria possível.

O principal objetivo deste relatório consiste na descrição dos trabalhos realizados ao longo do período de estágio na *SunEnergy*.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

As atividades realizadas na empresa são direcionadas às energias renováveis, mais precisamente, a elaboração e execução de projetos de sistemas fotovoltaicos para a produção de energia em autoconsumo. E deste modo, neste relatório pretende-se descrever mais concretamente:

- Análise de dados, tais como faturas de energia elétrica e curvas de consumo, para a escolha do melhor sistema a implementar;
- Visita prévia ao local de instalação para garantir o correto dimensionamento do projeto assim como a sua viabilidade;
- Elaboração de orçamentos;
- Dimensionamento e elaboração de projetos de sistemas fotovoltaicos de autoconsumo para o setor doméstico e empresarial, recorrendo a utilização de *softwares* como *ZWCAD*, *Sketchup®* e *PV*SOL premium*;
- Monitorização dos sistemas fotovoltaicos instalados;
- Elaboração de projetos para quadros elétricos utilizando o *software ZWCAD*.

1.3. LIMITAÇÕES

Um dos objetivos deste estágio era a realização do trabalho de campo, que incluía visitas prévias aos locais de instalação, a presença na implementação de sistemas fotovoltaicos, e a realização de manutenção preventiva dos mesmos.

Com todas as restrições impostas, ao combate da Covid-19, este objetivo não pôde ser completamente cumprido.

1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Este relatório de estágio é constituído por 5 capítulos, sendo o presente, Capítulo 1, de carácter introdutório, onde é feito a contextualização do tema, onde são apresentadas as motivações que levaram à escolha do estágio, os objetivos da sua realização e limitações.

No Capítulo 2, é feita uma apresentação da empresa na qual foi realizado o estágio que levou à elaboração deste relatório.

O Capítulo 3, apresenta uma breve descrição da energia fotovoltaica na Europa, as suas vantagens e desvantagens, conceitos históricos, descreve a legislação que regulamenta a implementação de sistemas solares fotovoltaicos em Portugal, bem como uma breve descrição da sua evolução até chegar aos dias de hoje, e as principais tecnologias utilizadas nos sistemas fotovoltaicos.

No Capítulo 4, são abordados algumas das atividades realizadas ao longo do estágio.

No Capítulo 5, são apresentadas as principais conclusões e análise de resultados.

2. EMPRESA NRG - SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, LDA. (SUNENERGY)

A Empresa NRG – Sistemas de Energias Renováveis, Lda., é uma empresa que vende e presta serviços na área de Energias Renováveis sob a marca *SunEnergy*.

A *SunEnergy* beneficia de uma ótima localização geográfica, cuja sede está localizada na Rua José Augusto Frutuoso na localidade de Relvinha, concelho de Coimbra, tendo sido fundada em 2009 em sociedade de 4 sócios, estando atualmente detida em sociedade de 3 sócios.

Os objetivos desta organização passam por contribuir para o desenvolvimento sustentável, a otimização do consumo de recursos energéticos, bem como contribuir para o aumento da eficiência energética quer para habitações, empresas e entidades públicas, recorrendo a realização de projetos, instalação, manutenção e monitorização de sistemas de geração de eletricidade e calor, adaptados sempre as necessidades de cada cliente.

Na Figura 2.1, pode-se observar o logotipo da *SunEnergy*.



Figura 2.1-Logotipo SunEnergy (SunEnergy, 2020)

Atualmente existem dez delegações da *SunEnergy* espalhadas por Portugal, estrategicamente bem localizadas, em Coimbra, Caldas da Rainha, Braga, Albufeira, Faro, Sesimbra, Cascais, Mafra, Setúbal e Marinha Grande como pode ser observado na Figura 2.2.



Figura 2.2-Representação das várias delegações presentes no país (SunEnergy, 2020)

Na Figura 2.3 apresenta-se a vista aérea da sede da empresa em Coimbra.

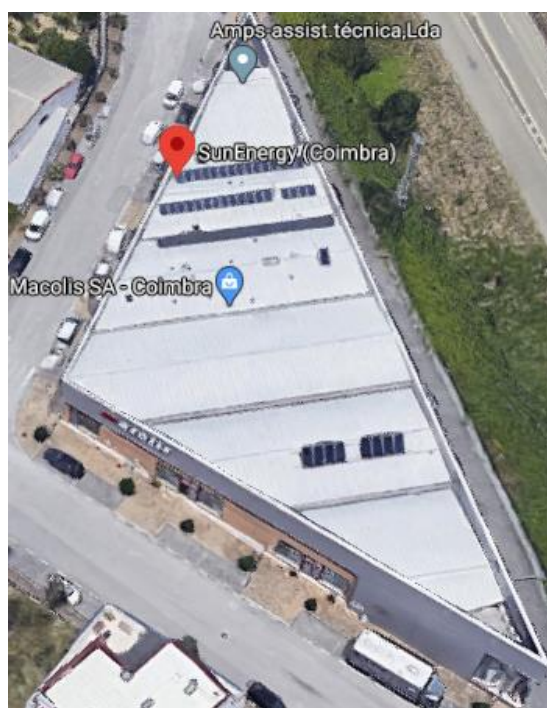


Figura 2.3-Ortofotografia das instalações (Google maps, 2020)

2.1. RECURSOS HUMANOS E ORGANIZAÇÃO INTERNA

A estrutura organizacional da empresa, pode ser visualizada no organograma da Figura 2.4.

A empresa é constituída pela direção geral, sendo o CEO um dos sócios, responsável por gerenciar os recursos e operações gerais da organização, definição de estratégias, acompanhando também a sua execução de modo a garantir que os objetivos sejam implementados e cumpridos.

Conta ainda com uma colaboradora responsável pela gestão de qualidade, ambiente e segurança no trabalho.

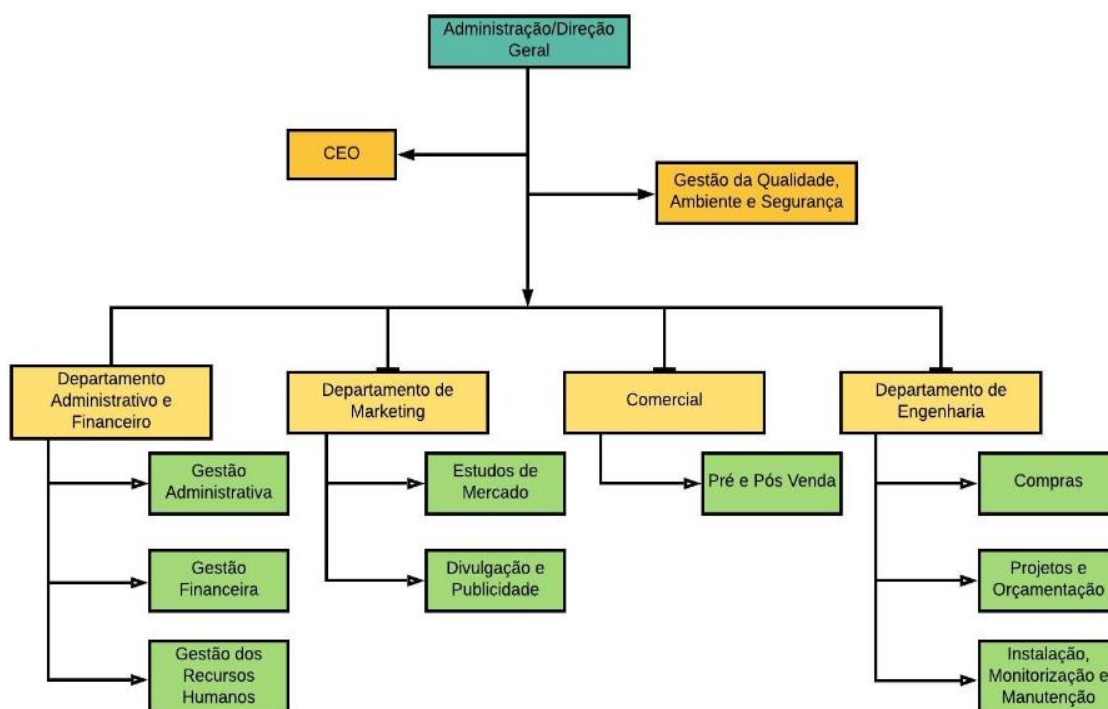


Figura 2.4-Estrutura organizacional da empresa

O departamento administrativo e financeiro está a cargo de três colaboradores que têm a função de executar as tarefas de âmbito fiscal e financeira da empresa, e gestão dos recursos humanos.

O departamento de marketing está a cargo de uma colaboradora, responsável pela realização dos estudos de mercado, que permitem definir as melhores estratégias comerciais da empresa, pela divulgação e publicidade.

Quanto ao sector comercial, todos os membros da equipa desempenham o papel de gestor comercial, garantindo um ritmo de venda, e logo a produção de receitas para a empresa.

O departamento de engenharia, é constituída por um Engenheiro Mecânico e por um Engenheiro Eletromecânico que projetam e orçamentam soluções no âmbito da energia solar térmica e da climatização, por um responsável pela execução de obras (um dos

sócios), por um Engenheiro Eletrotécnico que tem a função de diretor do departamento de engenharia fotovoltaica, e por mais dois Engenheiros Eletrotécnicos, com funções de projetar e orçar soluções no âmbito da energia solar fotovoltaica. Estes Engenheiros ainda têm a função de orientar a equipa de instalação na execução das obras.

A empresa também conta com um Diretor de projeto e desenvolvimento de negócios, cujo objetivo é apresentar resultados para o cliente ou mercado.

Os projetos realizados durante o estágio tiveram lugar sobretudo no departamento de engenharia, na área da eletrotecnia, sob a devida orientação do Engenheiro responsável por este setor, e pelo suporte e apoio dos restantes colegas.

2.2. ATIVIDADE DA EMPRESA

A empresa tem vindo a expandir a sua atividade, devido ao seu excelente serviço prestado e pela consciencialização das pessoas pelos diversos benefícios trazidos pelo aproveitamento das fontes de energias renováveis, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e para a proteção do meio ambiente.

A *SunEnergy*, é uma empresa especializada na oferta de soluções baseadas em energias renováveis, sobretudo da energia solar, para clientes empresariais e particulares.

O aproveitamento da energia solar traz inúmeras vantagens tanto a nível ambiental, por se tratar de uma energia renovável, e pela não emissão de poluentes durante a sua utilização, como a nível económico, por permitir a redução das faturas de eletricidade ou pela obtenção de uma fonte de rendimento adicional.

Ao longo da última década, a *SunEnergy* alcançou um volume de instalações de cerca de 35 000 painéis fotovoltaicos, totalizando 10 MW de potência instalada, permitindo uma redução de 7 200 toneladas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) por ano.

2.2.1. SOLUÇÕES PARA CLIENTES EMPRESARIAIS

- Implementação de sistemas de Unidades de Produção em Autoconsumo (UPAC) com ou sem utilização de baterias para o armazenamento de energia até 1 000 kW, e sistemas de Unidades de Pequena Produção (UPP), para a venda da energia à rede elétrica de serviço público (RESP) até 250 kW.
- Águas quentes, iluminação e sistemas elétricos autónomos.

2.2.2. SOLUÇÕES PARA CLIENTES PARTICULARES

- Implementação de sistemas de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC) com ou sem utilização de baterias para o armazenamento de energia, e sistemas de Unidades de Pequena Produção (UPP), para a venda da totalidade da energia à rede elétrica de serviço público (RESP).
- Soluções de climatização, como Águas Quentes Sanitárias (AQS), aquecimento de piscinas e aquecimento central, tendo como fontes de calor, os painéis solares térmicos, caldeiras a biomassa pela utilização de *pellets*, lenha ou misto, salamandras a *pellets* ou a lenha, bombas de calor, recuperadores de calor, e sistemas de difusão como radiadores de parede.

2.3. VISÃO, VALORES E MISSÃO DA EMPRESA

As preocupações ambientais, sociais e económicas assumem um papel fundamental numa sociedade que augura por um desenvolvimento sustentável. E neste sentido, serão abordados nesse ponto a visão, os principais valores e missão da empresa.

2.3.1. VISÃO

A *SunEnergy*, visa conquistar a confiança de todos os seus clientes, sendo eles particulares, empresas e instituições, afirmar-se como entidade reconhecida no mercado de Energia Renovável, assim como promover o aproveitamento das energias renováveis, através da colaboração com fornecedores de referência no mercado, garantindo deste modo equipamentos de qualidade, um serviço de qualidade, contando sempre com profissionais qualificados e dedicados.

2.3.2. VALORES

A ética, transparência, compromisso com a verdade, respeito com às pessoas e com o meio ambiente, aperfeiçoamento das relações com clientes, fornecedores e consumidores, qualidade e compromisso com resultados, rigor, espírito de equipa e de inovação, representam os principais valores da *SunEnergy*.

2.3.3. MISSÃO

A empresa tem como missão, promover o desenvolvimento sustentável e a eficiência energética, ao oferecer soluções para a produção de energia renovável com responsabilidade socioambiental adaptadas as necessidades de cada cliente, procurando a melhor relação custo, benefício e qualidade para os clientes.

Para além disso, a *SunEnergy* tem como missão demonstrar, que para além dos benefícios ambientais trazidos pelo investimento neste tipo de energia, também se trata de um bom investimento do ponto de vista económico.

3. TECNOLOGIAS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Este capítulo centra-se na energia solar fotovoltaica, onde será apresentada uma perspetiva da situação relativamente à energia solar fotovoltaica na Europa, as suas vantagens e desvantagens, a legislação vigente em Portugal, uma breve história da energia solar, e das várias tecnologias disponíveis no mercado.

3.1. ENERGIA SOLAR

A energia solar tem registado um crescimento notável nos últimos anos, tendo em conta a versatilidade desta tecnologia, que permite a implementação de pequenas e grandes centrais, assim como a sua integração em edifícios residenciais ou empresariais.

São duas, as formas de se captar a energia solar, e a diferença está na forma como a radiação solar é aproveitada.

Uma dessas formas, consiste na transformação da energia do sol em eletricidade através do processo fotovoltaico, pela utilização de painéis que normalmente são constituídas por células de silício.

A outra forma, é através da energia solar térmica, em que são utilizados coletores solares térmicos que captam e utilizam o calor do sol para o aquecimento de um fluído, usualmente água ou gás (Solsticio energia, 2017).

A *SunEnergy* trabalha com ambas as formas de energia solar, porém neste trabalho será abordado apenas a energia solar fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica possuirá no futuro um papel fundamental na cadeia de fornecimento de energia, sendo que possivelmente se tornará na principal fonte energética do futuro, devido à crescente aceitação, desenvolvimento da tecnologia envolvente e pela consciencialização sobre os seus benefícios.

A energia do sol traz benefícios a nível económico, pelo número de empregos que gera, por permitir a redução das faturas de eletricidade ou pela obtenção de uma fonte de rendimento adicional, e pelo facto desta tecnologia estar cada vez mais eficiente ao mesmo tempo que seu custo vem diminuindo.

Os sistemas que utilizam a radiação solar não poluem durante o seu uso, sendo que a fonte de poluição deste tipo de sistema ocorre no processo de fabrico dos equipamentos necessários à construção dos painéis, contudo, já existem processos que minimizam e controlam estes níveis de poluição.

Quanto à manutenção do sistema, é mínima quando comparada com outros tipos de centrais de produção de energia, limitando-se a uma limpeza das placas com água quando estas necessitarem.

O processo fotovoltaico é extremamente silencioso, e ideal para implementação em lugares remotos, de difícil acesso, regiões isoladas onde não existe rede elétrica, não implicando grandes investimentos em redes de distribuição.

O aproveitamento da energia proveniente do sol permite diminuir não só a dependência dos combustíveis fósseis como também permite a diversificação das fontes de energia, assim como melhorar a segurança energética.

Apesar das inúmeras vantagens, apresenta algumas desvantagens, de entre às quais o facto de o rendimento dos painéis ainda ser reduzido. A maioria dos painéis fotovoltaicos têm uma eficiência entre 15% e 20% (Jesus, 2020).

No período noturno não há produção de energia, sendo necessário por vezes a compra de baterias para o armazenamento da energia para posterior utilização durante a noite, no entanto, as formas de armazenamento da energia solar quando comparadas com outras formas de energia, como por exemplo dos combustíveis fósseis ainda são pouco eficientes.

Embora nos últimos anos tenha-se verificado uma diminuição acentuada dos custos da tecnologia, a sua aquisição ainda acarreta um custo relativamente elevado (Portal Solar, 2020), (Kisoltec, 2019), (Reis, 2017).

3.1.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA EUROPA

A Europa em 2012, liderava o sector fotovoltaico, tendo sido responsável por 75% da produção mundial, com grande potência instalada na Alemanha, Espanha e Itália. Esta liderança era associada sobretudo às políticas governamentais de apoio e incentivo às fontes de energias renováveis, conjugada com uma diminuição acentuada dos custos associados à tecnologia.

Com as sucessivas crises económicas, os investidores tornam-se mais cautelosos no sector energético, e é posto fim aos subsídios europeus que incentivavam ao crescimento das renováveis. Esses fatores levaram ao declínio da energia solar na Europa (Bordalo, 2015).

No entanto, durante o ano de 2019, verificou-se o maior crescimento no sector fotovoltaico desde 2010 na Europa, tendo sido adicionados 16,7 GW de potência instalada, que correspondeu ao dobro do que tinha sido adicionado em 2018, representando um aumento de 104% sobre os 8,2 GW adicionados em 2018 (Figura 3.1). Este aumento é justificado pela redução dos custos associados a esta tecnologia, que a tem tornado cada vez mais competitiva, e mais popular no ceio europeu, assim como assegurar o cumprimento das metas nacionais de energia renovável para 2020, tendo também em vista as metas de energia e clima para 2030.

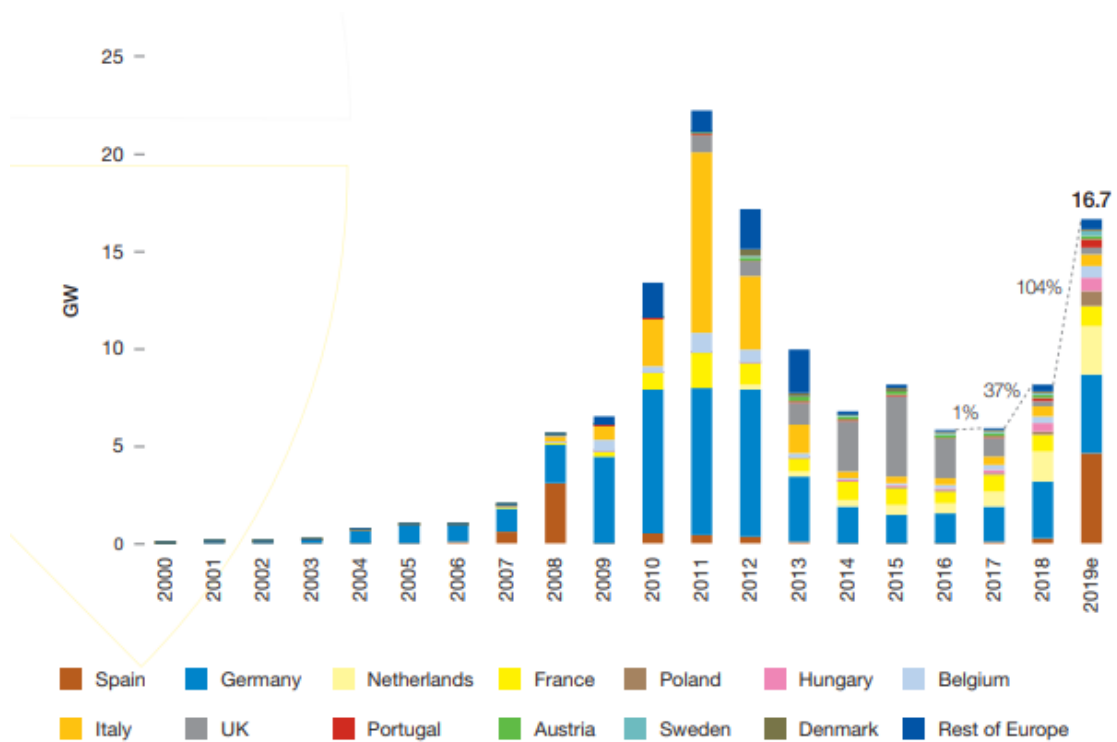


Figura 3.1-Capacidade instalada em solar fotovoltaico na UE_2000-2019 (Europe, 2019)

No entanto, a utilização desta tecnologia como fonte de energia na Europa, ainda é baixa quando comparada por exemplo com o continente Asiático, que se encontra numa posição de liderança.

A Espanha em 2019, foi o país da Europa que mais contribuiu para o aumento da capacidade instalada proveniente da energia solar, tendo adicionado 4,7 GW, seguida da Alemanha com 4 GW, Países Baixos com 2,5 GW, e França com 1,1 GW, como se pode observar no gráfico da Figura 3.1.

A participação da energia solar na União Europeia, no final de 2019, era de apenas 5%, perfazendo um total de 131,9 GW de capacidade instalada (Figura 3.2), tendo ainda um longo caminho a percorrer em direção à liderança desta tecnologia, e rumo ao ambicioso objetivo de se tornar o primeiro continente a atingir a neutralidade carbónica em 2050 com o Acordo Verde Europeu (Europe, 2019).

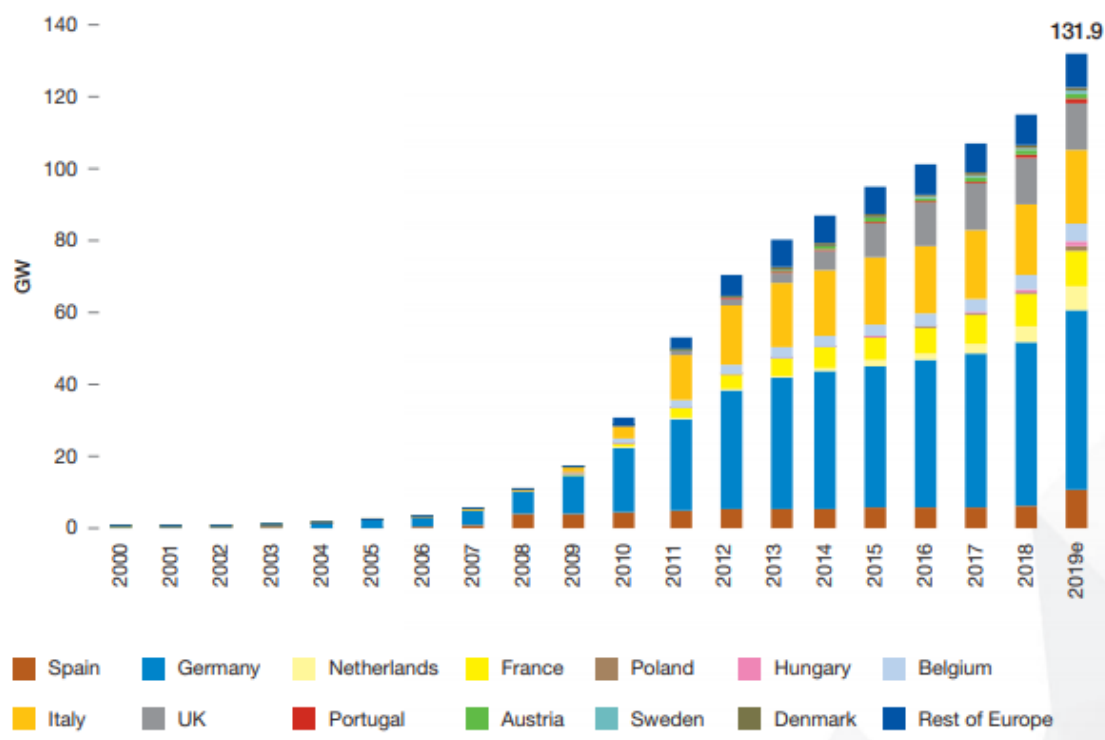


Figura 3.2-Capacidade total instalada em solar fotovoltaico na UE_2000-2019 (Europe, 2019)

3.2. LEGISLAÇÃO VIGENTE EM PORTUGAL

O setor fotovoltaico em Portugal teve o seu primeiro impulso a partir do ano 2002, com a publicação do **Decreto-Lei nº 68/2002**, de 25 de março, que regulamentava o exercício da atividade de produção de energia elétrica em Baixa Tensão (BT), desde que a potência a entregar a rede pública não fosse superior a 150 kW.

No entanto, apenas atingiu um desenvolvimento considerável em 2007, com a publicação do **Decreto-Lei nº 363/2007**, de 2 de novembro, que regulamentava o primeiro regime de produção descentralizada focado na energia fotovoltaica.

Este Decreto-Lei (DL), estabeleceu o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de instalações de pequena potência, designadas por unidades de Microprodução.

O DL nº 363/2007, definiu as regras que permitiram a instalação de sistemas de produção de energia elétrica de venda total à RESP, cuja remuneração dependia do regime no qual o produtor estava incluído:

- **Regime geral**, para a generalidade das instalações, em que o DL estipula que “a tarifa de venda de eletricidade é igual ao custo da energia do tarifário aplicável pelo comercializador de último recurso (CUR) do fornecimento à instalação de consumo.”

- **Regime bonificado**, em que segundo o DL é “apenas aplicável às fontes renováveis de energia, cujo acesso é condicionado à existência no local de consumo coletores solares térmicos para aquecimento de água com um mínimo de 2 m² de área de coletor, no caso de produtores individuais, e da realização de auditoria energética e implementação de medidas de eficiência energética identificadas nesta auditoria com período de retorno de até dois anos, no caso de condomínios.” A tarifa aplicada neste regime era de 650 €/MWh com um decréscimo de 5% por cada 10 MW instalados.

Em 2011 foi publicado o **Decreto-Lei nº 34/2011**, de 8 de março, que estabeleceu o regime jurídico aplicável a produção de eletricidade, a partir de recursos renováveis, por intermédio de unidades de Miniprodução, cuja potência máxima para ligação à rede era de 250 kW.

Este decreto estabeleceu que a potência de ligação da unidade de Miniprodução não pode exceder 50% da potência contratada, não podendo injetar na RESP mais de 50% da potência contratada pela instalação de consumo.

Foram adotados 3 escalões mediante a potência de ligação à rede:

- **Escalão I** – referente as unidades cuja potência de ligação não seja superior a 20 kW;
- **Escalão II** – referentes as unidades cuja potência de ligação seja superior a 20 kW ou igual ou inferior a 100 kW;
- **Escalão III** - referentes as unidades de Miniprodução cuja potência de ligação seja superior a 100 kW ou igual ou inferior a 250 kW.

Este DL também contempla os dois regimes de renumeração:

- **Regime geral**, que segundo este DL, “o produtor vende a energia segundo as regras estabelecidas para a comercialização de eletricidade ao abrigo do regime ordinário de produção de eletricidade, ou seja, em condições de mercado.”
- **Regime bonificado**, em que a tarifa de referência é fixada em 250 €/MWh, com um decréscimo de 7 % anualmente.

Posteriormente, a publicação do **Decreto-lei 25/2013**, de 19 de fevereiro, procede à alteração do **Decreto-Lei nº 363/2007**, de 2 de novembro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de unidades de Microprodução, e a alteração do **Decreto-Lei nº 34/2011**, de 8 de março, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de unidades de

Miniprodução. Este DL inicia o processo de revisão dos regimes remuneratórios, tanto para a Miniprodução como para a Microprodução, e isto deveu-se a dificuldades práticas e operacionais a nível de adaptação ao mercado de ambos os regimes.

Estes sistemas, denominados Sistemas de Miniprodução e Microprodução eram vistos como fontes de rendimento, sendo que toda a energia produzida era vendida a um preço muito superior ao da compra e injetada diretamente na rede nacional.

A medida que o interesse por esses sistemas aumentava (entre 2008 e 2011), constata-se uma redução crescente do preço de venda do kWh.

Em 20 de outubro de 2014, foi publicado o **Decreto-Lei nº 153/2014**, que vem revogar o **Decreto-Lei nº 363/2007** e o **Decreto-Lei nº 34/2011**, renunciando às tarifas subsidiadas e dando origem ao conceito PROSUMER, isto é, produtor consumidor. Este DL, estabeleceu o regime jurídico aplicável aos sistemas de **Unidades de Produção para Autoconsumo**, vulgarmente conhecidas por **UPAC**, e pelas **Unidades de Pequena Produção**, as **UPP**.

Todos os sistemas fotovoltaicos de Unidade de Produção para Autoconsumo e Unidade de Pequena Produção ficaram integrados numa só legislação.

Em relação às UPP, este decreto estabelecia o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, vendida na sua totalidade à rede elétrica de serviço público (RESP), por intermédio de instalações de pequena potência, a partir de recursos renováveis.

Relativamente às UPAC, este decreto veio possibilitar ao consumidor final ser simultaneamente, produtor e consumidor da sua própria energia, tendo apenas de instalar um sistema de fonte renovável, ou não, de autoconsumo em sua casa.

O autoconsumo permite a diminuição das importações de energia da rede, sendo que a energia elétrica produzida é instantaneamente injetada na instalação de consumo.

O produtor e consumidor tem agora o poder de decisão de estar ou não ligado à rede nacional, podendo instalar baterias para melhor gerir a sua produção e o seu consumo de energia.

Em relação ao processo de licenciamento, tanto para as UPAC como para as UPP, o processo era feito recorrendo ao portal eletrónico da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), na plataforma do Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP).

Quanto as UPP, são necessários o registo e o certificado de exploração.

No que diz respeito às UPAC, estas encontravam-se divididas em diferentes escalões, sendo diferente o processo de licenciamento para cada um desses, os quais são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Tipos de instalações UPAC

Potência instalada na UPAC	Procedimento
≤ 200 W	Não necessita de controlo prévio
200 W – 1,5 kW	Mera comunicação prévia
1,5 kW – 1 MW	Registo prévio e certificado de exploração
> 1 MW	Licença de produção e de exploração

Para as instalações que não se encontrem ligadas à RESP, apenas era necessária uma mera comunicação prévia de exploração.

Incentiva-se assim, a instalação de sistemas para autoconsumo que garantam as necessidades energéticas do produtor consumidor, e desencoraja-se em parte, a venda de energia à rede (Magnus commodities, 2017).

No entanto, o decreto anterior foi em parte revogado e em janeiro de 2020, entrou em vigor o **Decreto-Lei nº162/2019** de 25 de outubro, cujo âmbito de aplicação passa a abranger exclusivamente o autoconsumo a partir de fontes de energia renovável, diferentemente da anterior, que também abrangia o autoconsumo recorrendo a fontes de energia não renováveis.

Para as instalações de produção de eletricidade a partir de fontes de energia não renováveis já existentes aplica-se o regime previsto no **Decreto-Lei nº153/2014**, de 20 de outubro.

O **Decreto-Lei nº162/2019**, também veio introduzir o conceito de autoconsumo coletivo, permitindo aos consumidores organizados em condomínios ou mesmo empresas e indústrias localizadas na mesma zona, investirem numa instalação fotovoltaica de maior dimensão e partilhar a energia produzida.

Para se executar o registo de uma instalação de sistema de autoconsumo coletivo, é necessária uma autorização prévia da respetiva assembleia de condóminos, deliberada por maioria simples, sendo posteriormente imprescindível a designação de um técnico responsável devidamente qualificado e entidade gestora do autoconsumo coletivo.

Este diploma não regula o regime jurídico aplicável às Unidades de Pequena Produção (UPP), para venda da totalidade de energia produzida, encontrando-se atualmente regulada pelo **Decreto-Lei n.º 76/2019**, de 3 de junho.

O **Decreto-Lei nº162/2019**, também estabelece o regime jurídico aplicável às comunidades de energia renovável (CER), transpondo parcialmente a Diretiva (UE) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, que permite aos consumidores de energia renovável produzir, consumir, armazenar, partilhar e vender eletricidade sem serem confrontados com encargos desproporcionados (Decreto-Lei n.º 162/2019, 2019).

Estas comunidades irão contribuir para a produção e desenvolvimento do consumo de energia renovável, de modo a assegurar que Portugal cumpra as metas e objetivos estabelecidos pela União Europeia no que concerne à transição energética.

Em linha com as metas definidas pela União Europeia quanto à transição energética, Portugal definiu no âmbito do Plano Nacional de Energia-Clima para o período 2021-2030, metas muito ambiciosas, de entre os quais alcançar uma quota de 47% de energia final fornecida por fontes de energia renovável. Para tal, é essencial o contributo da produção descentralizada de eletricidade a partir de fontes renováveis, possível através do regime estabelecido pelo **Decreto-Lei nº162/2019**.

Segundo este decreto, as pessoas que aderem ao sistema de autoconsumo estão restringidos de vender energia à rede elétrica de serviço público, só podendo fazê-lo no caso de se verificar um excesso de energia face ao consumo, de modo a que a maioria da energia seja consumida localmente, evitando assim o desperdício.

O produtor tem a possibilidade de escolher a quem quer vender o seu excedente de energia, o que não acontecia com o decreto anterior, cuja venda de excedentes apenas podia ser estabelecida por meio de contrato entre o produtor e o comercializador de último recurso.

Todavia, o produtor venderá o excesso de energia a um preço muito inferior do que aquele a que compra, a uma tarifa de até cerca de 0,05 €/kWh, o que não será vantajoso do ponto de vista financeiro para o mesmo, sobretudo se ele investir em um sobredimensionamento do seu sistema fotovoltaico, sendo que dificilmente irá recuperar o investimento feito.

Torna-se indispensável a contagem da energia elétrica produzida pelos sistemas de autoconsumo coletivo, assim como, para os sistemas de autoconsumo individuais com potência instalada superior a 4 kW (decreto anterior - 1,5 kW).

Segundo o presente DL, as UPAC encontram-se divididas em 4 escalões, sendo diferente o processo de licenciamento para cada um deles (Tabela 3.2).

Tabela 3.2-Tipos de instalações UPAC

Potência instalada na UPAC	Procedimento
$\leq 350 \text{ W}$	Não necessita de controlo prévio
$350 \text{ W} - 30 \text{ kW}$	Mera comunicação prévia
$30 \text{ kW} - 1 \text{ MW}$	Registo prévio e certificado de exploração
$> 1 \text{ MW}$	Licença de produção e de exploração

Como se pode observar na Tabela 3.2, uma UPAC com potência instalada igual ou superior a 350 W, e que não ultrapasse os 30 kW de potência instalada, apenas necessita de uma Mera Comunicação Prévia (MCP) da instalação, estando isentas ao pagamento de taxas de registo. UPAC's com potência instalada até 4 kW não necessitam de contagem da produção, evitando assim adquirir um contador próprio para contagem da energia produzida.

As UPAC com potência instalada entre os 30 kW e 1 MW estão sujeitas a registo prévio e obtenção do respetivo certificado de exploração.

As UPAC com potência instalada superior a 1 MW estão sujeitas a atribuição de licença de produção e de exploração.

Para potências instaladas superiores a 30 kW, deste modo sujeitas a registo ou licença, é necessário a realização de um seguro de responsabilidade civil para a reparação de danos corporais ou materiais causados a terceiros em resultado do exercício das atividades de produção de eletricidade por UPAC.

De acordo com a presente legislação, é necessário a inspeção periódica da instalação, quando a UPAC possuir uma potência instalada superior a 20,7 kW:

- Deverão ser feitas inspeções a cada 10 anos, para as UPAC com potência instalada inferior a 1 MW
- Deverão ser feitas inspeções a cada 8 anos, para as UPAC com potência instalada superior a 1 MW.

A Tabela A.1 do Anexo A, apresenta a lista das entidades inspetoras de instalações elétricas de serviço particular que estão acreditadas para realizar, inspeções prévias à emissão dos certificados de exploração, inspeções periódicas e inspeções em sequência de alterações.

Será necessário o pagamento de uma taxa de registo junto da SRIESP (Sistema de Registo de Instalações Elétricas de Serviço Particular), antiga SERUP, que varia em função do valor da potência instalada e pela condição de injeção ou não na RESP, conforme se pode observar na Tabela 3.3 (Decreto-Lei n.º 162/2019, 2019).

Tabela 3.3 - Taxas aplicadas as UPAC (Ambiente e Ação Climática_Portaria n.º 16/2020, 2020)

Procedimento administrativo	Potência (kW)	Registo de UPAC com injeção na RESP	Registo de UPAC sem injeção na RESP
Apreciação do pedido de registo	≤30 kW	Isento	Isento
	>30 kW e ≤100 kW	200 €	140 €
	>100 kW e ≤250 kW	400 €	240 €
	>250 kW e ≤1000 kW	600 €	400 €
Apreciação do pedido de certificado de exploração sem inspeção DGEG	>30 kW e ≤250 kW	80 €	80 €
	>250 kW e ≤1000 kW	120 €	120 €
Apreciação do pedido de certificado de exploração com inspeção DGEG	>30 kW e ≤250 kW	240 €	240 €
	>250 kW e ≤1000 kW	360 €	360 €
Pedido de averbamento de alterações que não careçam de novo certificado de exploração		50 €	50 €
Pedido de averbamento de alterações que careçam de novo certificado de exploração		70 €	70 €
Pedido de inspeção periódica		40 €	40 €

Na Figura 3.3, pode ser observado um esquema de ligação à rede de uma UPAC, com a injeção do excedente de energia na rede.



Figura 3.3 - Esquema de ligação à rede de uma UPAC (Técnica Viçosa_Energia Solar, 2015)

3.3. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Em 1839, o físico francês *Alexandre Edmond Becquerel* (Figura 3.4), observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, constituídas por um material semicondutor, normalmente, o silício.



Figura 3.4- Edmond Becquerel - O descobridor do Efeito Fotovoltaico (Solenergy System Inc., 2020)

O senhor *Edmond*, observou uma diferença de potencial nas extremidades de uma superfície semicondutora, quando esta se encontrava sob exposição solar.

A maior parte das células fotovoltaicas tem por base o silício, que em sua forma pura possui poucos eletrões livres, que é a condição necessária para criar eletricidade, o que o torna um mau condutor.

Para alterar esta condição são adicionadas substâncias, denominadas dopantes, normalmente o boro e o fósforo, que permitem a criação de uma camada tipo P, que possui um excesso de cargas positivas e uma camada tipo N, que possui um excesso de cargas negativas, como se pode observar na Figura 3.5.

Cada célula solar é composta por uma camada fina de material tipo N, e por uma camada de maior espessura de material tipo P.

Na região onde as camadas se encontram, junção P-N, forma-se um campo elétrico devido aos eletrões livres do silício tipo N que ocupam as lacunas da estrutura do silício tipo P.

A corrente elétrica surge por meio de um condutor externo, que resulta da migração dos eletrões da camada negativa para a positiva, cuja intensidade varia em função da intensidade da luz incidente (Australian Academy of Science, 2020).

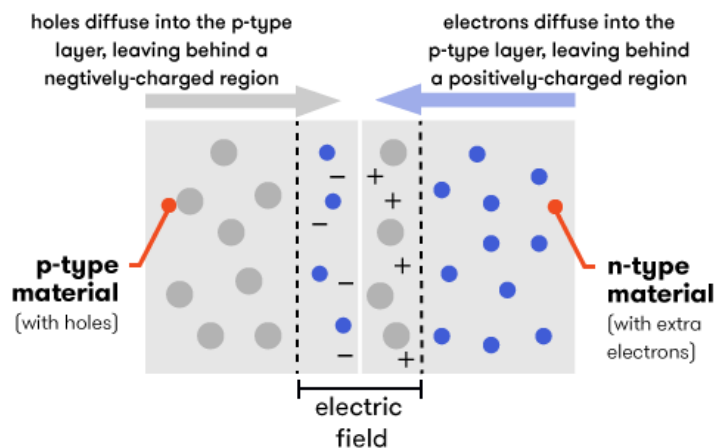


Figura 3.5-Células silícios tipo P e tipo N (Australian Academy of Science, 2020)

A eletricidade que resulta do efeito fotovoltaico, é obtida na forma de corrente contínua, que deve ser convertida em corrente alternada, atendendo aos padrões da rede elétrica de serviço público. E para este processo, utilizam-se inversores de corrente, que farão a conversão da corrente contínua em corrente alternada.

3.4. CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em 1954, *Calvin Fuller*, um químico dos *Bell Laboratories* nos Estados Unidos, desenvolveu o processo de dopagem do silício, em primeiro lugar com arsênio e depois com boro, obtendo a primeira célula moderna com uma eficiência de 6%.

Estes sistemas começaram a ser comercializados a partir de 1955 pela companhia americana, *Western Electric*. Entretanto, o seu alto custo impossibilitou a sua utilização em larga escala.

Mais tarde, em 1960, a indústria espacial americana, impulsionou o avanço da tecnologia fotovoltaica, pela sua utilização em naves aeroespaciais.

A crise do petróleo em 1970 e pela consciencialização crescente da população e governos pela ameaça das alterações climáticas, levaram a uma intensificação pela busca de novas tecnologias e soluções na área fotovoltaica, que permitissem uma redução da dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia, e por consequência diminuir os impactes ambientais gerados pela utilização dos combustíveis fósseis.

A primeira central fotovoltaica com 1 MW de potência instalada, foi construída em 1982, na Califórnia, seguido por uma outra instalação de 5,2 MW em 1984 na planície de *Carrizo* também na Califórnia.

Em 1998, as células em silício monocristalino atingiram uma eficiência record de 24,7%.

Em 2005, os cientistas do Instituto *Fraunhofer* para Sistemas de Energia Solar, anunciaram uma eficiência superior a 20% para as células em silício policristalino.

A energia solar fotovoltaico tornou-se uma atividade industrial em larga escala, pelas constantes melhorias e avanços tecnológicos, tendo atingido um nível de maturidade, e representando futuramente uma das mais importantes formas de produção de energia elétrica (Vallêra & Brito, 2006) (Green, Emery, Igari, & Warta, 2004).

As associações de várias células fotovoltaicas, em série ou em paralelo, dão origem a um módulo fotovoltaico.

Por conseguinte, o painel fotovoltaico resulta da associação de vários módulos fotovoltaicos, geralmente ligados em série. As células fotovoltaicas são classificadas em três gerações distintas, em que a primeira geração é constituída por células de silício cristalino, que consiste numa junção P-N de material cristalino e que representam cerca de 90% das células disponíveis no mercado, devido à sua elevada eficiência, podendo ainda ser dividida em dois tipos:

- Células de silício monocristalino:

São feitas a partir de um único cristal de silício puro (barra de silício de forma cilíndrica), tendo uma estrutura e cor uniforme e cantos normalmente arredondados (Figura 3.6).

As células são obtidas do corte da barra de silício, que resultam em lâminas de silício individuais, que irão ser transformadas em células fotovoltaicas.

Estas células possuem uma eficiência superior aos policristalinos, e um processo de fabrico mais complexo e dispendioso, que requer uma grande quantidade de energia durante a sua produção, devido a processos de texturização da superfície para reduzir a refletividade da célula, e de purificação, que permitem atingir níveis de pureza de 99,999% (Dobr., Szcz., Szind., & Dryg., 2013).

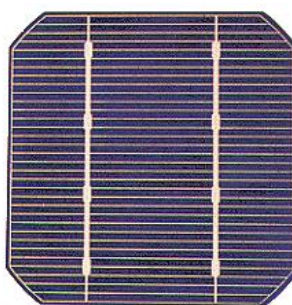


Figura 3.6-Célula de Silício monocristalino (CRESESB, 2008)

- Células de silício policristalino:

São fabricadas a partir de silício puro com múltiplos cristais. Este, por sua vez sofre um processo de fusão em moldes quadrados, que posteriormente são cortados em lâminas de silício quadradas (Figura 3.7).

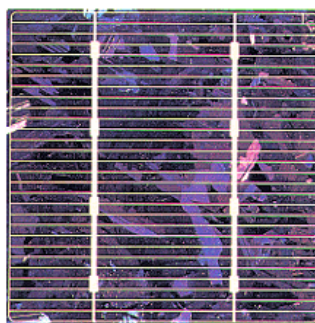


Figura 3.7-Célula de Silício Policristalino (CRESESB, 2008)

Este tipo de células possuem um menor desempenho quando comparadas com as células monocristalinas, um nível de impureza maior e um menor custo de produção por utilizarem processos de fabricação mais simples e por necessitarem de uma menor quantidade de energia no seu fabrico.

Para gerar a mesma quantidade de Watts/m² que as células monocristalinas, é necessária uma área maior de painéis policristalinos, e por este motivo, atualmente os painéis policristalinos são maiores que os painéis monocristalinos de modo a obterem a mesma potência.

Devido ao seu menor custo, e devido à constante evolução do processo de fabrico das células policristalinas, que tem feito com que a diferença de eficiência entre as mesmas e as monocristalinas seja pouco significativa, as células policristalinas são atualmente as mais utilizadas na produção de energia solar fotovoltaica (Dobr., Szcz., Szind., & Dryg., 2013), (Neville, 1995).

A segunda geração consiste nas células de Películas finas sobre substratos rígidos.

São painéis construídos com materiais leves e flexíveis, tendo superfícies curvas e aparência homogênea.

Estas são categorizadas mediante o material fotovoltaico que é depositado sobre o substrato: Células de silício de amorfo, disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), em que o índio forma uma liga com o gálio, telureto de cádmio (CdTe) e arsénio de gálio (GaAs).

Embora o rendimento dessas células seja inferior ao das células de silício cristalinos, possuem uma ótima absorção de radiação solar, menor perda de eficiência a altas temperaturas e sombreamento, e requerem uma menor quantidade de energia e de material

no seu fabrico, possuindo portanto, um custo mais baixo (Energysage, 2019), (Energia Solar, 2019).

- Célula fotovoltaica de telureto de cádmio (CdTe):

É a tecnologia de película fina mais utilizada, sendo que representa cerca de 50% das células de película fina disponíveis no mercado (Figura 3.8).

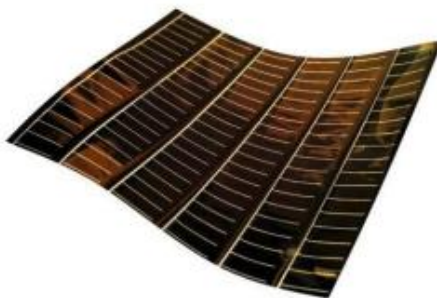


Figura 3.8-Célula fotovoltaica de telureto de cádmio (Chenche, 2019)

O cádmio por ser um elemento tóxico, gera preocupações ambientais, e pelo facto de ser um elemento não abundante na natureza, também pode representar um problema na viabilidade económica da tecnologia (Energysage, 2019).

Na Figura 3.9, é possível observar o modelo ilustrativo da construção de uma célula de CdTe. Estas células são fabricadas em um substrato de vidro transparente, com uma camada de um óxido condutor transparente como contato frontal, onde normalmente são utilizados o Óxido de Estanho e Índio (ITO) ou Óxido de Estanho (SnO₂).

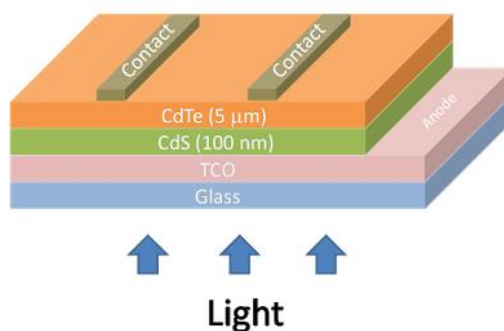


Figura 3.9-Representação da estrutura de uma célula de CdTe (Malhotra, 2019)

O contato frontal é revestido por uma camada anti reflexiva de Sulfato de Cádmio (CdS) tipo-N, depois por uma camada de Telureto de Cádmio (CdTe) do tipo-P, que darão origem a junção P-N desses dois semicondutores (BlueSol Energia solar, 2017).

Para completar, é necessário formar um contato óhmico de baixa resistência para transportar a corrente gerada. Geralmente utiliza-se o Ouro (Au) ou Alumínio (Al), e vem acompanhado de uma camada de Telureto de Zinco (ZnTe) (Falcão, 2005).

- Célula fotovoltaica de silício de amorfo (a-Si):

É a segunda tecnologia de película fina mais utilizada, possuindo uma estrutura não cristalina, mas sim uma rede irregular (Figura 3.10).

O seu processo de produção, quando comparado ao das células da primeira geração, é mais barato, no entanto, por possuir uma menor densidade de potência, necessita de maiores áreas, e logo de uma mão de obra mais cara e um custo em estruturas e cabos elétricos mais caros (Energysage, 2019).



Figura 3.10-Célula de Silício de Amorfo (Eldin, Refaey, & Farghly, 2015)

- Células fotovoltaicas de disseleneto de gálio, índio e cobre (CIGS), e disseleneto de cobre e índio (CIS):

As células de CIS têm por base o cobre, o índio e o selênio, e as células de CIGS também são constituídas pelos mesmos elementos, tendo a particularidade do índio formar uma liga com o gálio, obtendo melhores desempenhos. A tecnologia CIGS é a líder em eficiência entre as células de película fina.

A aparência estética e a flexibilidade destas tecnologias, garantem uma variedade de aplicações. São muitas vezes escolhidos pelos consumidores para a integração em edifícios, para revestimentos e formas de telhados (Figura 3.11).

Também apresentam problemas ligados a toxicidade, e pouca abundância desses elementos químicos na natureza (Eldin, Refaey, & Farghly, 2015).



a)



b)

Figura 3.11- a) Célula CIGS e b) Célula de CIS (Eldin, Refaey, & Farghly, 2015)

- Células fotovoltaicas de arseneto de gálio (GaAs):

Representa uma tecnologia muito cara, de elevada eficiência, destinando-se sobretudo a aplicações espaciais.

As células da terceira geração, ainda constituem uma tecnologia recente, em fase de teste, cujo objetivo, é alcançar elevados níveis de eficiência, utilizando materiais não tóxicos e abundantes na natureza.

Pode-se incluir nessa definição, células de multijunção recorrendo a diferentes materiais semicondutores, células constituídas por matérias orgânicas semicondutoras, da qual fazem parte as tintas sensibilizadas, a base de polímeros e de pequenas moléculas.

Ainda fazem parte as células de silício, nomeadamente as células de heterojunção (HIT) (Energysage, 2019).

- Células fotovoltaicas orgânicas (OPV):

É um tipo de célula solar de polímero que usa a eletrónica orgânica para a produção de energia elétrica (Figura 3.12).



Figura 3.12-Células Fotovoltaicas Orgânicas (Freire, 2017)

O seu processo de produção é simples e necessita de pouca quantidade de energia, mostrando-se assim uma tecnologia sustentável, e também reciclável.

O seu custo de fabricação quando comparado com as células de silício pode ser mais baixo, e possui uma estrutura flexível, leve e semitransparente, o que permite ser colocada em vários tipos de superfícies, com diferentes geometrias, e em estruturas transparentes como é o caso de vidraças e janelas (Merck_Organic Photovoltaics, 2020).

Apesar das inúmeras vantagens, estas células são relativamente frágeis quando comparadas com as células inorgânicas, e as eficiências de conversão de energia alcançadas ainda são baixas para que possam ser competitivas (Noct. Consult. em Amb., 2019).

- Células fotovoltaicas hídras ou de heterojunção (HIT):

A sigla HIT vem do inglês, *Heterojunction Intrinsic-layer Technology*, que combina as vantagens das células de silício cristalino e a tecnologia de película fina de silício amorfo, permitindo atingir maiores níveis de eficiência com menor custo de produção.

Resulta da adição de camadas de silício amorfo intrínseco e camadas de silício amorfo dopado nas duas superfícies da célula.

Consiste numa célula hídrica de alta potência, com baixo coeficiente de temperatura quando comparado com as células de silício convencionais, o que significa que a eficiência do módulo sofre menos influência com o aumento da temperatura, produzindo desta forma mais energia em locais quentes que os módulos que empregam células cristalinas (Pickerel, 2019), (Meyer Burger, 2020).

- Células *PERC*:

As células *PERC*, do inglês *Passivated Emitter Rear Cell*, *Passivated Emitter Rear Contact* ou *Passivated Emitter and Rear Cell*, foi desenvolvida a mais de 30 anos, no entanto, só agora começaram a ser empregues comercialmente, por permitirem obter uma melhor eficiência.

Estas células incorporam na parte traseira uma camada de passivação muito fina, que apresenta benefícios que permitem aumentar a eficiência da célula, como por exemplo, permite uma maior captação da radiação solar, reduz a velocidade de recombinação de eletrões na superfície do silício, assim como uma menor absorção de calor, e logo uma menor energia térmica na célula.

Geram uma menor quantidade de calor quando comparada com as células tradicionais, o que as tornam ideais para regiões com elevadas temperaturas.

Esta tecnologia é considerada atualmente um dos melhores potenciais para a produção de painéis solares de elevada eficiência e a preços competitivos (Marsh, Energysage, 2018).

- Células fotovoltaicas *half cut*:

Consiste em células de silício cortadas ao meio utilizando um *laser*. Essas células oferecem uma maior durabilidade e melhor desempenho quando comparados com as células tradicionais, isto porque, são mais resistentes aos efeitos de sombra, e pelo facto de serem cortadas ao meio a corrente produzida por cada célula é reduzida pela metade o que leva a menores perdas resistivas (Marsh, 2018).

Como analisado anteriormente, são muitos os tipos de células disponíveis no mercado, cada uma com as suas especificidades, vantagens e desvantagens.

As atuais investigações feitas nesta área procuram construir células mais eficientes, aliadas a um menor custo de produção.

Atualmente as células mais comercializadas são as fabricadas a base de silício, sendo que na empresa onde decorreu o estágio, são usados geralmente módulos de silício policristalino.

3.5. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Um módulo fotovoltaico consiste na associação de um conjunto de células fotovoltaicas normalmente em série, como pode ser observado na Figura 3.13.

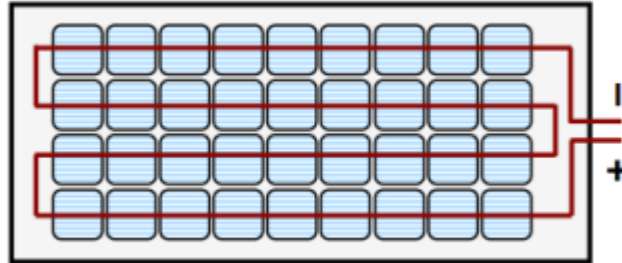


Figura 3.13-Esquema referente a associação de células fotovoltaicas em série (Carneiro, 2010)

As células após serem associadas em série, são cobertas por películas encapsulantes (Figura 3.14), tradicionalmente conhecidas como EVA, etileno acetato de vinilo, tratando-se de um material translúcido, flexível, não refletor da radiação solar, resistente mecanicamente, eletricamente e termicamente, protegendo as células contra as temperaturas extremas, humidade, envelhecimento, assim como, asseguram o isolamento elétrico das mesmas (Mun & Kim, 2015).



Figura 3.14-Película Encapsulante (EVA) (Portal Solar, 2018)

A película encapsulante que fica por cima das células, é coberta por um vidro especial ultrapuro (Figura 3.15), que deixa o máximo de luz passar através dele, com um baixo índice de reflexão, resistente a impactos, que irá garantir a proteção e eficiência do equipamento (Svarc, 2019).



Figura 3.15-Vidro Especial (Portal Solar, 2018)

A moldura de alumínio ionizado (Figura 3.16), é colocada ao redor de todos os componentes que compõe o painel com o objetivo de dar-lhe robustez e resistência mecânica (Carneiro, 2010).



Figura 3.16-Moldura de Alumínio (Svarc, 2019)

A parte de trás do painel leva um filme branco, o qual é denominado de *Backseet* (Figura 3.17), cuja função principal é proteger os componentes internos do módulo, assim como garantir o isolamento elétrico das células (Svarc, 2019).



Figura 3.17-Backseet (Portal Solar, 2018)

Na parte posterior do módulo, é fixado uma caixa de junção, também chamada de *String Box* (Figura 3.18), que contem díodos *by-pass*, cujo número de díodos vai depender da configuração do módulo, ou seja, do número de células. Por exemplo, para um módulo de 60 células, são colocados 3 díodos, sendo um diodo para cada 20 células.

Dentro da caixa de junção, as células interconectadas em série (*strings*), são conectadas eletricamente. Para a interconexão dos módulos, são utilizados cabos e conectores (designados conectores MC4) que vêm agregados na caixa de junção (Mun & Kim, 2015).



Figura 3.18-Caixa de junção (Portal Solar, 2018)

Uma vez que as células são conectadas em série, o efeito de sombreamento numa célula pode afetar o rendimento de todas as outras células da série.

O sombreamento nos painéis fotovoltaicos é extremamente prejudicial ao sistema, na medida em que, para além de diminuir o rendimento do sistema, também pode danificar as células fotovoltaicas.

As sombras que se formam sobre os painéis fotovoltaicos podem ser causados pela neve, vegetação, poeiras, por chaminés, antenas dos edifícios, e pelo ambiente que circunda a instalação, como outros edifícios.

Deste modo, no momento do dimensionamento do sistema, é essencial ter em conta o sombreamento, sendo, portanto necessário realizar visitas ao local da instalação, realizar estudos de sombreamento utilizando *softwares* como o *SketchUp*, o *PV*Sol*, o que irá permitir definir o melhor local para se instalar os painéis, evitando o sombreamento total ou parcial do sistema.

De forma a minimizar o efeito do sombreamento, são introduzidos os díodos de *by-pass*, que permitem a passagem da corrente sem danificar a célula.

A tensão de uma célula quando sombreada (Figura 3.19) é negativa, isto é, a célula passa a estar inversamente polarizada, o que faz com que a célula consuma energia em vez de a produzir, sobreaquecendo-a, formando os chamados *hot-spots*, ou pontos quentes, que a longo prazo podem levar a eventual queima da célula. A tensão da *sub-string* onde se encontra a célula sombreada torna-se negativa, e nestes casos a corrente em vez de passar pela célula sombreada, passa pelo diodo *by-pass*.

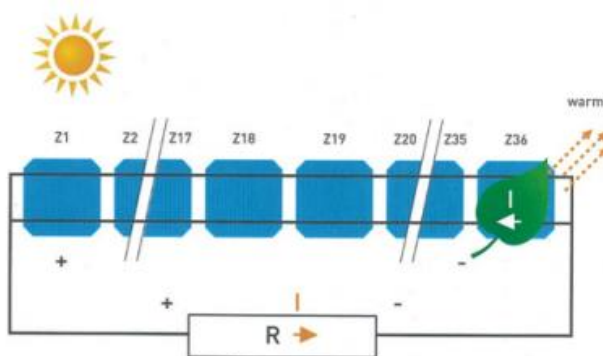


Figura 3.19-Representação esquemática do módulo fotovoltaico sombreado (Vieira, 2012)

A Figura 3.20 mostra o esquema de um módulo fotovoltaico contendo díodos *by-pass*.

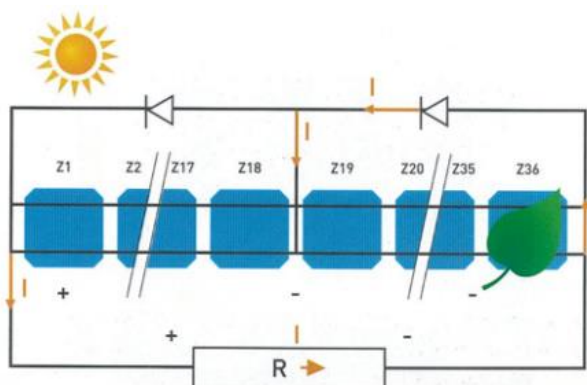


Figura 3.20— Representação esquemática do módulo fotovoltaico sombreado com díodos *by-pass* (Vieira, 2012)

Estes díodos, garantem o bom funcionamento do painel, ao impedirem a circulação de correntes inversas entre as sub-*strings*, que podem ocorrer em caso de sombreamento.

O depósito de neve sobre os módulos fotovoltaicos, constitui um dos fenômenos que mais pode prejudicar a eficiência de um sistema fotovoltaico, uma vez que gera a formação de sombras. Assim, é necessário ter em atenção a disposição dos módulos fotovoltaicos, visando minimizar os efeitos adversos provocados pela ação do sombreamento.

Uma das formas de minimizar estes efeitos, é a colocação dos painéis com um ângulo mínimo de inclinação de 12°, por forma a promover a remoção da neve, assim como de folhas, da superfície dos módulos.

Outra forma de diminuir o impacto do sombreamento é pela disposição dos módulos, ou seja, a sua orientação na horizontal ou na vertical, tal como mostra a Figura 3.21.

Ao analisar a Figura 3.21 a) e b), pode observar-se que a melhor solução será a colocação dos painéis na horizontal, uma vez, que apenas uma fileira de células em série é afetada, diferentemente da disposição vertical em que implicaria o sombreamento de todas as fileiras (Energia, 2004).

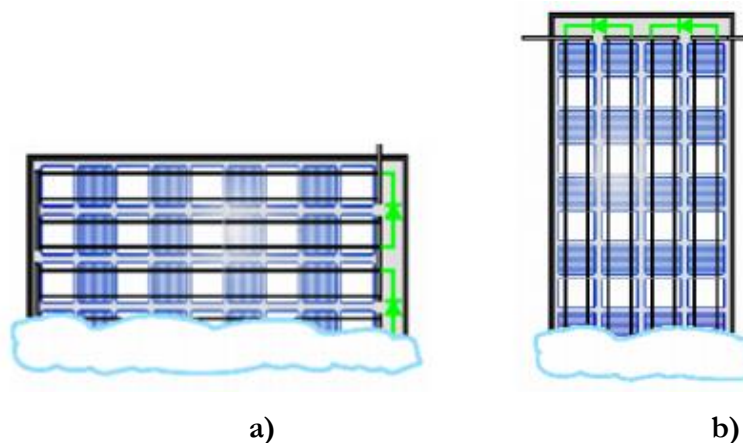


Figura 3.21- a) módulo na posição horizontal, b) módulo na posição vertical (Energia, 2004)

A Figura 3.22, representa o esquema da estrutura de um módulo fotovoltaico, onde podem ser vistos os componentes que o constituem.

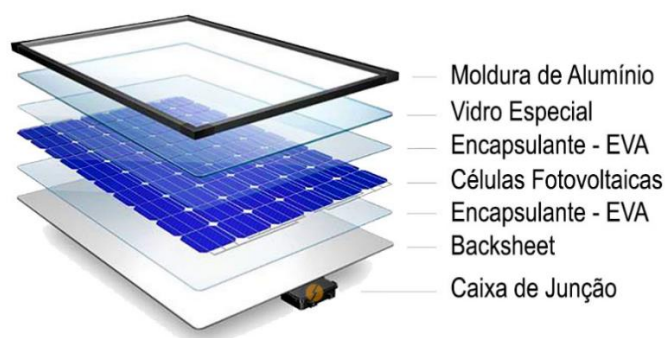


Figura 3.22-Representação esquemática da estrutura de um módulo fotovoltaico (Portal Solar, 2018)

3.6. ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos podem ser associados em série, paralelo ou simultaneamente em série e em paralelo.

3.6.1. ASSOCIAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM SÉRIE

A ligação dos módulos em série implica um aumento da tensão, mantendo o valor de corrente para todos os módulos, sendo que quanto maior os níveis de tensão menores serão as perdas de energia ao longo dos cabos.

A tensão total é igual a soma das tensões de cada módulo e a corrente total é igual a corrente de cada um dos módulos.

A ligação é efetuada conectando o terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro módulo, como pode ser observado na Figura 3.23 (Carneiro, 2010).

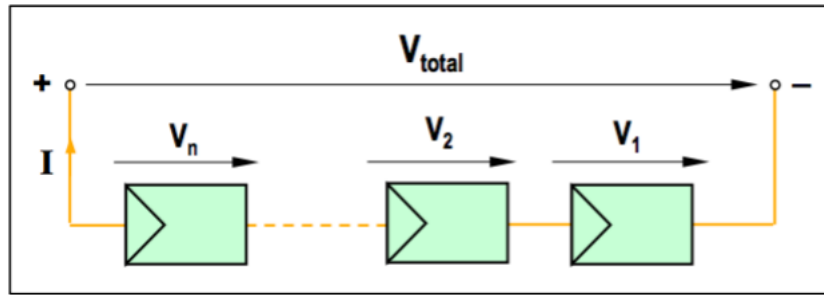


Figura 3.23-Associação de módulos fotovoltaicos em série (Rabaça, 2014)

Da Figura 3.23 obtém-se as seguintes equações gerais:

$$V_{sistema} = V1 + V2 + ... Vn \quad (3.1)$$

$$I_{sistema} = I1 = I2 = ... = In \quad (3.2)$$

$$P_{sistema} = V_{sistema} \times I_{sistema} \quad (3.3)$$

Onde:

$V1, V2, Vn$ – Tensão em cada módulo (V);

$V_{sistema}$ – Tensão total dos módulos entregue ao inversor (V);

$I1, I2, In$ – Corrente em cada módulo (A);

$I_{sistema}$ – Corrente total (A);

$P1, P2, Pn$ – Potência em cada módulo (W);

$P_{sistema}$ – Potência de pico total (W).

A Figura 3.24, corresponde a representação gráfica da curva característica de Corrente - Tensão, referente a associação em série de três módulos fotovoltaicos.

Ao analisar a Figura 3.24 é possível constatar que a corrente de curto-circuito se mantém inalterada, havendo um aumento de tensão mediante o número de painéis fotovoltaicos utilizados no sistema.

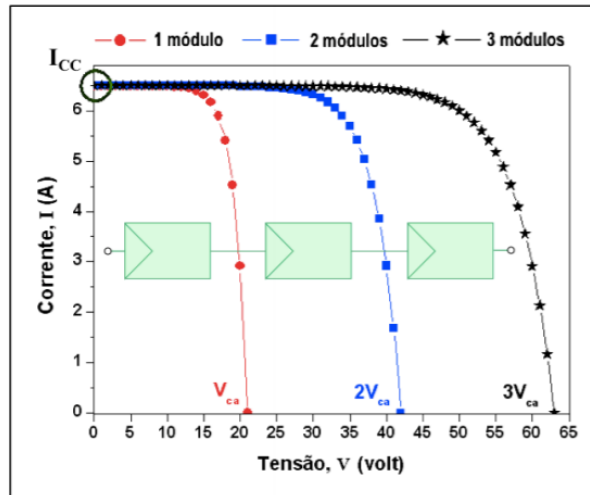


Figura 3.24-Curva característica I-V resultante da associação em série de 3 módulos fotovoltaicos (Carneiro, 2010)

A associação de módulos de potências diferentes não é aconselhável, pois ocasiona grandes perdas de energia, uma vez que todos os módulos terão de trabalhar a menor potência.

Em caso de sombreamento, os módulos não devem ser ligados em série, pois o sombreamento de um único módulo poderá afetar o desempenho de toda a *string*, inviabilizando o sistema (Núcleo ATS, 2019).

3.6.2. ASSOCIAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM PARALELO

A ligação dos módulos em paralelo implica um aumento da corrente, mantendo o valor de tensão para todos os módulos.

A corrente total é igual a soma das correntes de cada módulo e a tensão total é igual a tensão de cada um dos módulos.

A associação é efetuada conectando os terminais positivos de todos os módulos, procedendo da mesma forma com os terminais negativos, como pode ser observado na Figura 3.25 (Carneiro, 2010).

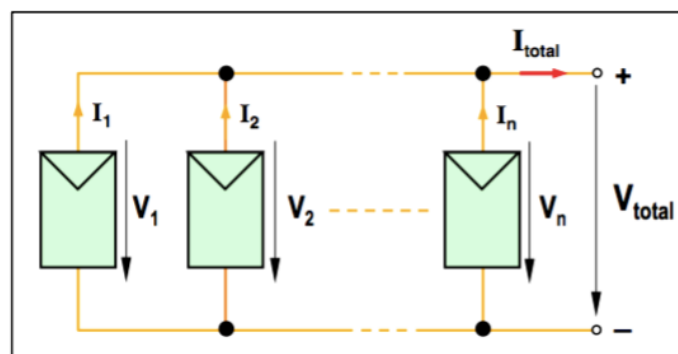


Figura 3.25-Associação de módulos fotovoltaicos em paralelo (Rabaça, 2014)

Da Figura 3.25 obtém-se as seguintes equações gerais:

$$I_{sistema} = I1 + I2 + \dots + In \quad (3.4)$$

$$V_{sistema} = V1 = V2 = \dots = Vn \quad (3.5)$$

$$P_{sistema} = V_{sistema} \times I_{sistema} \quad (3.6)$$

A Figura 3.26, corresponde a representação gráfica da curva característica de Corrente - Tensão, referente a associação em paralelo de três módulos fotovoltaicos.

Ao analisar a curva é possível constatar que há um aumento de corrente mediante o número de painéis fotovoltaicos utilizados no sistema, mantendo-se sempre o valor de tensão do módulo.

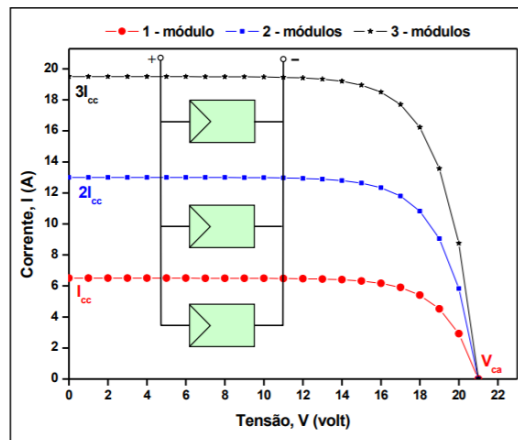


Figura 3.26-Curva característica I-V resultante da associação em paralelo de 3 módulos fotovoltaicos (Rabaça, 2014)

Assim como na ligação em série, também deve-se evitar a associação de painéis em paralelo com características diferentes a fim de minimizar as perdas do sistema.

3.6.3. ASSOCIAÇÃO MISTA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A associação mista, consiste na ligação dos módulos em série, dando origem as *strings*. Estas *strings*, por sua vez são conectadas em paralelo, sendo que todas elas devem ser constituídas pelo mesmo número de módulos.

Este tipo de associação irá permitir tanto o aumento de corrente, pelo número de *strings* ligados em paralelo, como de tensão pelo número de módulos conectados em série.

A associação mista é sem dúvida a mais recomendada quando se pretende aumentar a potência final do sistema, pela manipulação simultânea dos níveis de tensão e de corrente (Lopes, 2018).

A Figura 3.27, mostra a associação mista de $n \times m$ módulos fotovoltaicos, assim como o descrito anteriormente, sendo que m representa o número de módulos associados em série, e n o número de *strings* associados em paralelo.

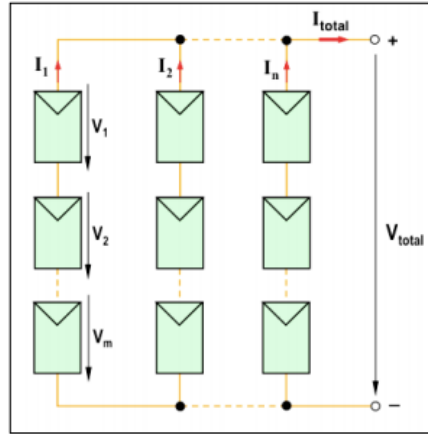


Figura 3.27-Associação mista de módulos fotovoltaicos (Rabaça, 2014)

Tendo em consideração a Figura 3.27 e assumindo que o sistema é constituído por módulos com as mesmas características, a corrente I que percorre cada *string* de módulos é igual, do mesmo modo a queda de tensão em cada módulo também é igual, obtém-se as seguintes equações gerais:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (3.7)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_m \quad (3.8)$$

Deste modo a corrente total será calculada pela equação 3.9:

$$I_{sistema} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \Leftrightarrow I_{sistema} = n \times I \quad (3.9)$$

Deste modo a tensão total é obtida pela equação 3.10:

$$V_{sistema} = V_1 + V_2 + \dots + V_m \Leftrightarrow V_{sistema} = m \times V \quad (3.10)$$

A Figura 3.28, corresponde a representação gráfica da curva característica de Corrente - Tensão, referente a associação mista de módulos fotovoltaicos.

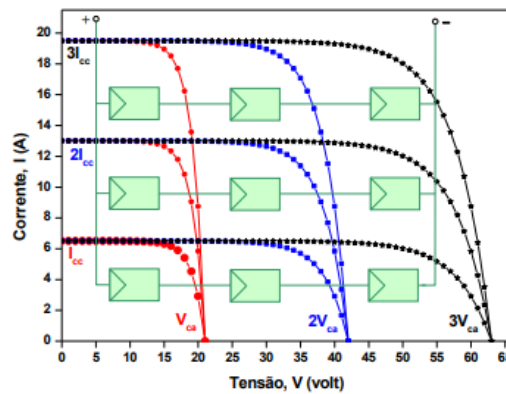


Figura 3.28-Curva característica I-V resultante da associação mista de módulos fotovoltaicos (Rabaça, 2014)

3.7. CURVAS CARACTERÍSTICAS I - V E P - V DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Os módulos fotovoltaicos são constituídos pela ligação de células fotovoltaicas. Sendo assim, as características e o comportamento das células irão se refletir nas características elétricas do módulo.

Sob determinadas condições de radiação e temperatura, os módulos têm como principais parâmetros elétricos, os seguintes (Godinho, 2016), (Moreira, 2016):

- Corrente de curto-circuito (I_{sc}), representa o valor máximo de corrente que pode ser entregue a uma carga, correspondendo a um valor nulo de tensão, e consequentemente uma potência nula.
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}), representa o valor máximo de tensão que pode ser entregue a carga, correspondendo a um valor de corrente nulo e consequentemente uma potência nula.
- Potência de pico (P_{mp}), representa o valor máximo de potência que pode ser entregue a carga, correspondendo ao ponto da curva onde o produto da corrente pela tensão é máximo.
- Corrente de potência máxima (I_{mp}), representa a corrente nominal do módulo, ou seja, é o valor de corrente que pode ser entregue a uma carga à máxima potência.
- Tensão de máxima potência (V_{mp}), representa a tensão nominal do módulo, ou seja, é o valor de tensão que pode ser entregue a uma carga à máxima potência.
- Fator de forma (FF), é um importante indicador de desempenho, visto que compara a qualidade das células solares, sendo que quanto mais a curva característica I - V , se aproxima de uma forma retangular, maior será o valor do FF e logo, melhor será a qualidade da célula. O FF normalmente está compreendido entre os 50% e 85%.

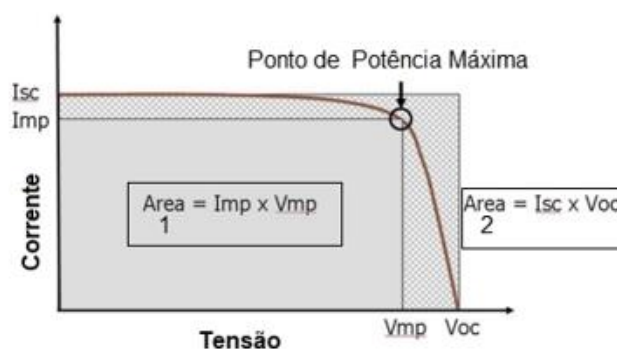


Figura 3.29-Esquema ilustrativo do fator de forma (Solmetric, 2011)

Pelo gráfico da Figura 3.29, é possível verificar que o fator de forma é calculado pela razão entre as áreas 1 e 2, sendo que a primeira área assume o valor do ponto de potência

máxima (*MPP*), definida pelo produto entre *Vmp* e *Imp*, e a área 2 assume o valor do produto entre *Voc* e *Isc* (Solmetric, 2011).

Assim sendo, calcula-se o *FF* da seguinte forma:

$$FF = \frac{\text{Área 1}}{\text{Área 2}} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \Leftrightarrow V_{oc} \times I_{sc} \times FF = V_{mp} \times I_{mp} \Leftrightarrow P_{mp} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (3.11)$$

- **Rendimento (η)**, indica a percentagem de eficiência de conversão da energia solar incidente no painel em energia elétrica. É indiscutivelmente a figura de mérito mais importante para uma célula fotovoltaica. Para o cálculo do rendimento utiliza-se a equação 3.12 (Vaz, 2017), (Luque & Hegedus, 2003).

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} \times 100\% = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{A \times G} \times 100\% \quad (3.12)$$

Em que:

η – Eficiência da conversão da radiação solar em energia elétrica, em percentagem (%)

P_{max} = Potência máxima gerada por uma célula (Wp);

P_{inc} = Potência luminosa incidente na célula (W);

G = Radiação solar incidente por unidade de superfície (W/m²);

A = Área da célula (m²).

Os parâmetros elétricos anteriormente descritos, estão dependentes das condições ambientais, sendo as mais importantes a variação da radiação solar incidente G e a temperatura T de operação das células que constituem os módulos.

As condições-padrão (*STC - Standard Test Conditions*) para a obtenção das curvas características dos módulos, são definidas para uma radiação de 1000 W/m², sob uma distribuição espectral padrão para AM 1.5 e temperatura de célula de 25°C. A Figura 3.30, ilustra as curvas características da corrente em função da tensão (*I-V*) e da potência em função da tensão (*P-V*) (Machado, 2002).

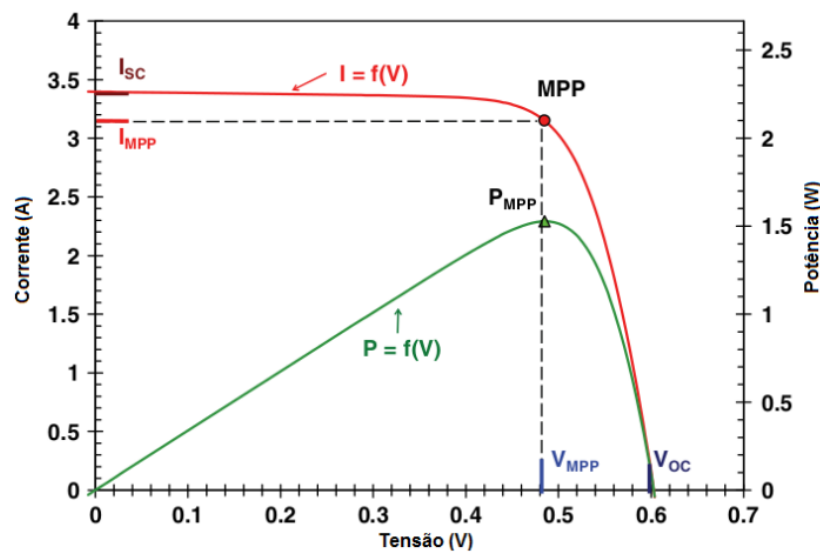


Figura 3.30-Curvas características I-V e P-V de uma célula de silício (Herrero, Pos. Efic. de PV em plantas sol. no amb. urb., 2016)

Na curva P - V , pode-se observar o ponto com o máximo valor de potência (P_{MPP}), sendo que é desejável que o módulo opere neste ponto, de modo a obter um máximo rendimento.

A este ponto, P_{MPP} , na curva de potência corresponde a um ponto na curva de corrente, conhecido como Ponto de Máxima Potência (MPP), com valores de tensão e corrente de máxima potência, respetivamente, V_{MPP} e I_{MPP} (Luque & Hegedus, 2003).

Em relação a curva I - V , nota-se que a corrente de saída se mantém praticamente constante dentro da amplitude de tensão de funcionamento (Machado, 2002).

3.7.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS POR INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

Ao analisar o gráfico da Figura 3.31, e avaliando o efeito da temperatura na curva I - V , pode-se verificar que a tensão de circuito aberto V_{OC} diminui com o aumento da temperatura, enquanto que a corrente de curto-circuito I_{SC} sofre uma pequena elevação, praticamente mantem-se constante, o que consequentemente irá provocar uma diminuição da eficiência do módulo, e logo da potência gerada.

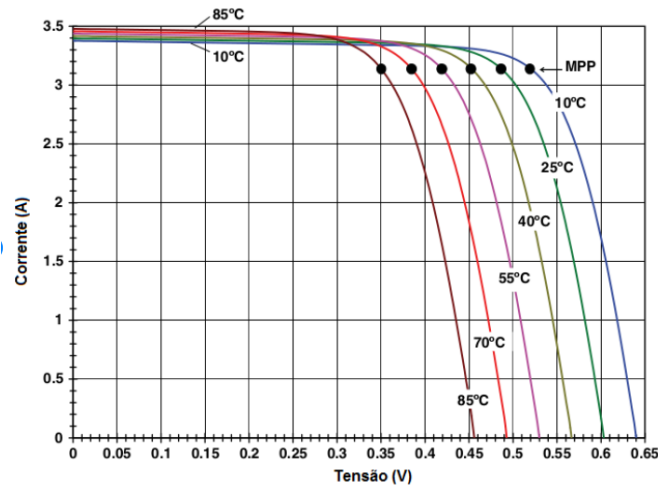


Figura 3.31-Curva I-V em função da temperatura (Herrero, Pos. Efic. de PV em plantas sol. no amb. urb., 2016)

Quanto mais elevadas as temperaturas de operação maior o grau de aquecimento dos módulos, o que irá contribuir para a degradação das células fotovoltaicas (Vieira, 2012).

3.7.2. CURVAS CARATERÍSTICAS POR INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR

Pode-se ver na Figura 3.32, que a corrente de curto-circuito aumenta de forma aproximadamente linear com o aumento da radiação solar incidente.

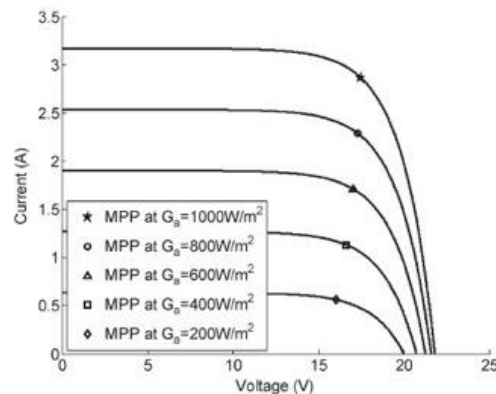


Figura 3.32-Influência da variação da irradiação solar na curva característica I-V de uma célula de silício a 25°C (Pinho & Galdino, 2014)

Em contrapartida a tensão de circuito aberto apresenta pequenas variações, com o aumento da radiação incidente. Também é possível verificar que com o aumento da radiação incidente, há um aumento do ponto de potência máxima (Vaz, 2017).

3.8. INVERSOR FOTOVOLTAICO

Os inversores são dispositivos eletrónicos de potência, obrigatórios e indispensáveis, usados em várias configurações de sistemas fotovoltaicos (PV):

- sistemas conectados à rede (*On-Grid*)

- sistemas isolados da rede (*Off-Grid*)

O inversor, assim como, os módulos fotovoltaicos, corresponde ao componente mais importante de um sistema fotovoltaico.

A principal função do inversor é converter a corrente contínua (DC), gerada pelos módulos, em corrente alternada (AC) (Figura 3.33), e ajustá-la para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado, para que possa ser utilizada pelos aparelhos elétricos. O símbolo usado para descrever um inversor está representado na Figura 3.34.



Figura 3.33 - Sistema Fotovoltaico (Sol e Energia, 2018)

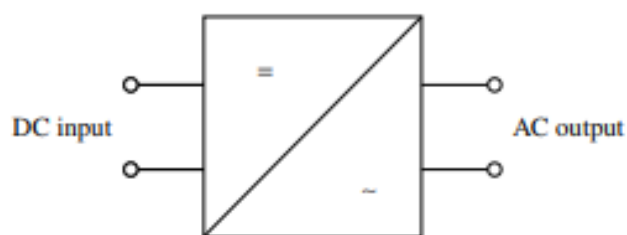


Figura 3.34-Símbolo usado para descrever um inversor (Luque & Hegedus, 2003)

Os inversores possuem dispositivos internos de proteção AC e DC, que garantem a segurança do sistema. Se o inversor estiver conectado a rede, e caso exista alguma perturbação na rede, como flutuações de tensão ou de frequência, quedas de tensão, estes dispositivos de proteção desconectam automaticamente o sistema, garantindo desta forma a segurança do sistema.

Os inversores também possuem sistemas de medição que permitem que os parâmetros de energia, como a tensão, corrente, e outros sejam registrados continuamente (Luque & Hegedus, 2003).

Possuem um determinado número de MPPT- *Maximum Power Point Tracking*, normalmente um ou dois de acordo com o fabricante ou modelo, que busca otimizar a geração de energia a procura do ponto de máxima potência do sistema (Neto, 2018).

Num inversor com apenas uma entrada de MPPT (Figura 3.35), o conjunto de *strings* é tratado como um único bloco, o que significa que as *strings* têm o seu ponto de máxima

potência rastreado simultaneamente pelo único sistema de MPPT disponível (Canal Solar, 2019).



Figura 3.35-Inversor com apenas um MPPT (Canal Solar, 2019)

Na Figura 3.36, pode-se observar o diagrama interno de um inversor com apenas uma entrada de MPPT.

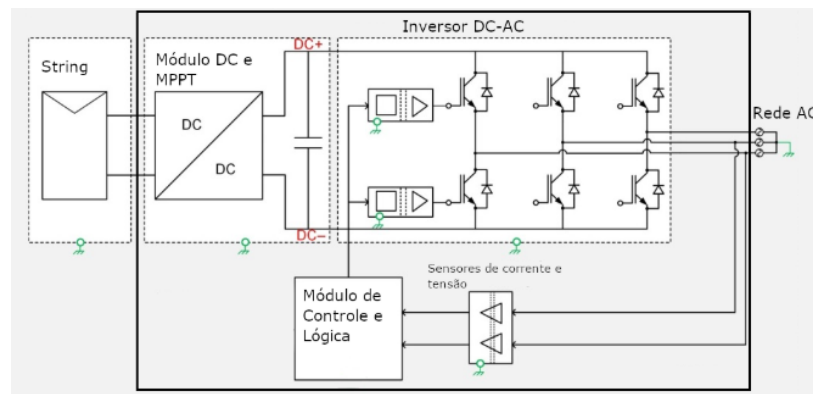


Figura 3.36 - Inversor com um MPPT (Canal Solar, 2019)

Num inversor com mais de um MPPT, as *strings* de módulos são divididas em blocos menores.

Cada bloco fica sob o controle de uma entrada de MPPT, como pode ser observado na Figura 3.37, o que vai permitir uma flexibilidade na instalação do sistema, podendo ser dividido em partes independentes, com posições, orientação ou inclinação diferentes, assim como, a conexão de *strings* com potências diferentes (Canal Solar, 2019).

O inversor da Figura 3.37, possui quatro entradas de MPPT, e permite conectar duas *strings* por MPPT, totalizando oito *strings*.



Figura 3.37-Inversor com quatro entradas de MPPT (Canal Solar, 2019)

A imagem da Figura 3.38, mostra as entradas e conexões de um inversor com dois MPPT, e que permite a conexão de duas *strings* em cada MPPT.

As letras *A* e *B* representam as duas entradas de MPPT, *C*, *D*, *E* e *F* são os conectores AC e de comunicação.

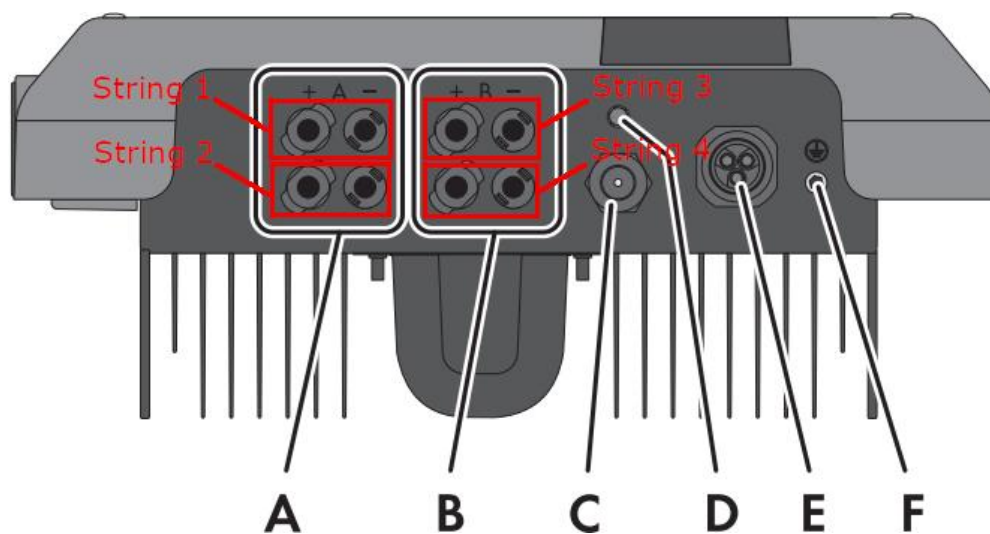


Figura 3.38 - Entradas e conexões de um inversor com dois MPPT (Canal Solar, 2019)

Na Figura 3.39, está representado um diagrama da organização interna de um inversor com duas entradas de MPPT.

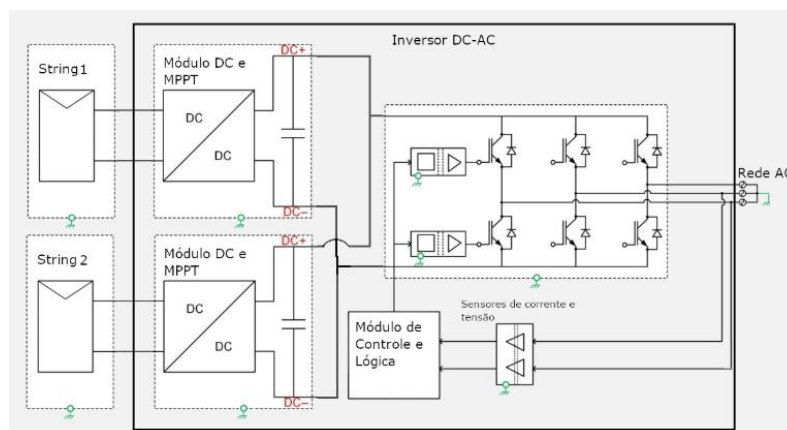


Figura 3.39 - Inversor com duas entradas de MPPT (Canal Solar, 2019)

3.8.1. DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Após o dimensionamento do sistema de energia fotovoltaica, é necessário escolher um inversor com potência compatível com o sistema calculado, sendo que o fator determinante para a escolha do valor de potência apropriado do inversor, é a potência do sistema fotovoltaico. Isto porque, o inversor deve ter capacidade para conseguir lidar com a energia produzida pelos painéis, uma vez que este terá de converter a corrente DC proveniente dos painéis em AC.

O dimensionamento do inversor é de extrema importância, visto que quando dimensionada de forma correta, a sua eficiência aumenta e em consequência permite aumentar a eficiência global do sistema fotovoltaico (Solar Choice, 2017).

3.8.1.1. SUB-DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

O sub-dimensionamento do inversor ou *overclocking*, constitui uma prática muito comum e recomendada, que visa atingir o aproveitamento máximo do sistema, uma vez que os sistemas fotovoltaicos dificilmente atingem a sua capacidade nominal.

O *overclocking* permite a otimização do sistema, podendo este alcançar uma melhor performance a um menor custo, sem causar perdas significativas na quantidade de energia gerada ao longo do ano e na qualidade do sistema.

Um dos objetivos do *overclocking*, é fazer com que um sistema fotovoltaico opere no limite de potência durante a maior parte do tempo, produzindo uma maior quantidade de energia ao longo do dia (Solar Choice, 2017).

Para o correto dimensionamento do inversor, a potência instalada dos módulos fotovoltaicos não deve ser superior a aproximadamente 30% da potência do inversor.

Uma das consequências do sub-dimensionamento, é o efeito de *clipping* ou corte de potência do inversor, que acontece quando o sistema fotovoltaico produz mais energia do que aquela que o inversor é capaz de converter. O inversor limita a saída de energia de modo a que não exceda a sua capacidade nominal (Solar Choice, 2017).

Pode-se observar na Figura 3.40, que a curva potência versus tempo com limitação de potência, apresenta um achatamento, a potência produzida pelo sistema fotovoltaico é limitada à potência máxima do inversor, o que implica que uma determinada quantidade de energia não seja produzida. A linha tracejada a azul corresponde a potência que não foi alcançada, devido ao efeito de *clipping* (Souza, 2019).

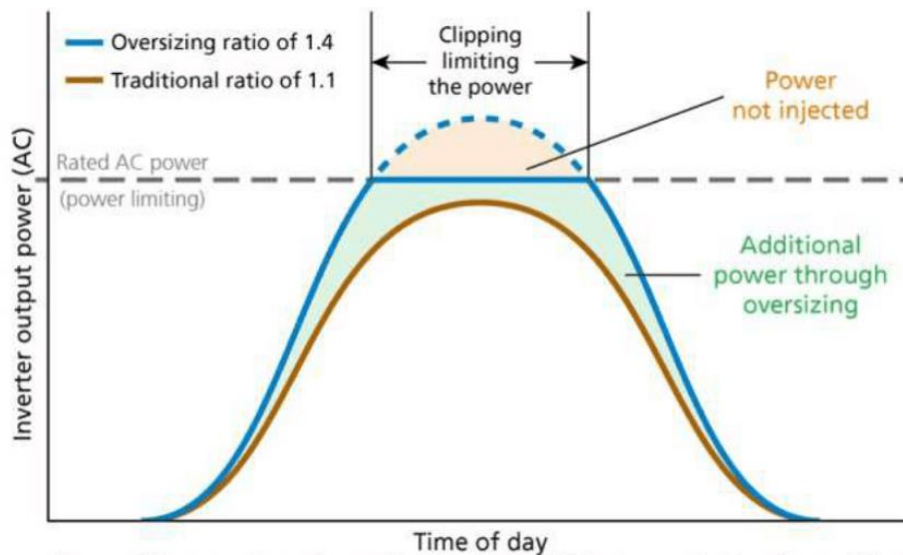


Figura 3.40 - Curva potência x tempo sem clipping (curva a cor de laranja), e curva potência versus tempo com clipping (curva a cor azul) (Souza, 2019)

O fenómeno de *clipping*, resulta da limitação da corrente de entrada proveniente dos módulos fotovoltaicos pelo inversor, ao deslocar o ponto de operação do sistema para uma tensão mais alta e um ponto de operação de corrente mais baixa, afastando-se do ponto de potência máxima do sistema fotovoltaico, como pode ser visualizado no gráfico da Figura 3.41 (Andorka, 2013).

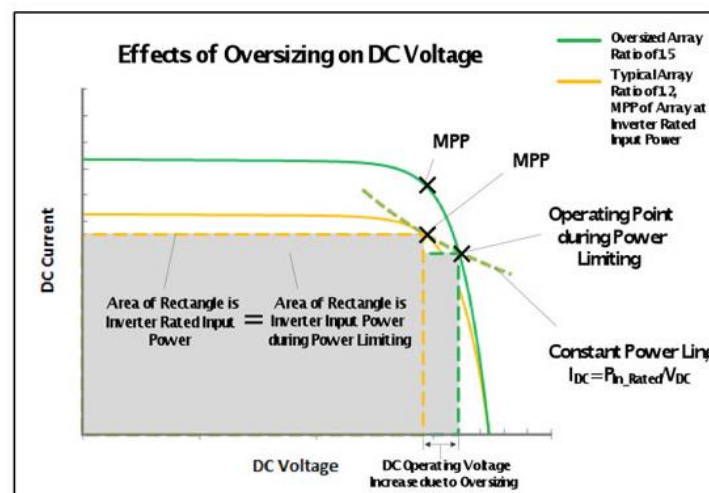


Figura 3.41 - Curvas I-V de um sistema fotovoltaico sobredimensionado (Andorka, 2013)

3.8.1.2. SOBREDIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

Instalar um inversor cuja potência nominal seja superior ao do sistema fotovoltaico, torna-se uma opção quando se pretende no futuro aumentar o número de módulos fotovoltaicos do sistema.

No entanto, é necessário ter em atenção que o sobredimensionamento do inversor, provoca perdas de eficiência no sistema, devido a diminuição da tensão das *strings* (curva de tensão mais baixa) (Haluche, 2019).

3.8.2. INVERSORES ON-GRID

Nos sistemas fotovoltaicos com ligação à rede (Figura 3.42), o inversor é ligado à rede elétrica principal de forma direta. Os sistemas em rede são sistemas solares fotovoltaicos que só produzem energia quando a rede elétrica está disponível, sendo que em caso de falha de energia pela rede, o inversor desliga-se.

Após a conversão da corrente DC em AC, esta é injetada num quadro elétrico da unidade consumidora, e os aparelhos ligados à rede elétrica são alimentados com essa energia.

Nos casos em que a energia produzida é menor que o consumo, a rede irá fornecer a energia necessária para suprir as cargas. Se a energia produzida for maior que o consumo, o excedente de energia solar pode ser injetado na RESP, podendo este ser remunerado ou não. Caso o produtor não pretenda injetar o excedente de energia na rede é necessário adquirir um *Meter* que se liga ao inversor por cabo de rede medindo o consumo da habitação em tempo real. O sistema de monitorização ao detetar que há um excesso de produção face ao consumo, envia um sinal ao inversor para que limite a sua produção. (Andres, 2015).

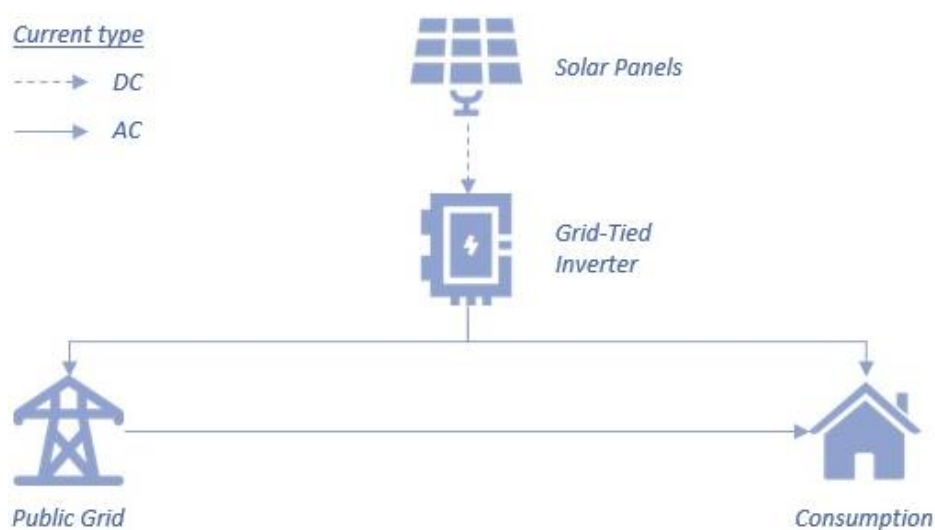


Figura 3.42 - Sistema com ligação à rede (Imeon Energy, 2020)

3.8.3. INVERSORES *OFF-GRID*

Os inversores *off-grid*, são utilizados em sistemas fotovoltaicos que funcionam independentemente da rede elétrica (Figura 3.43), denominados de sistemas isolados ou *off-grid*.

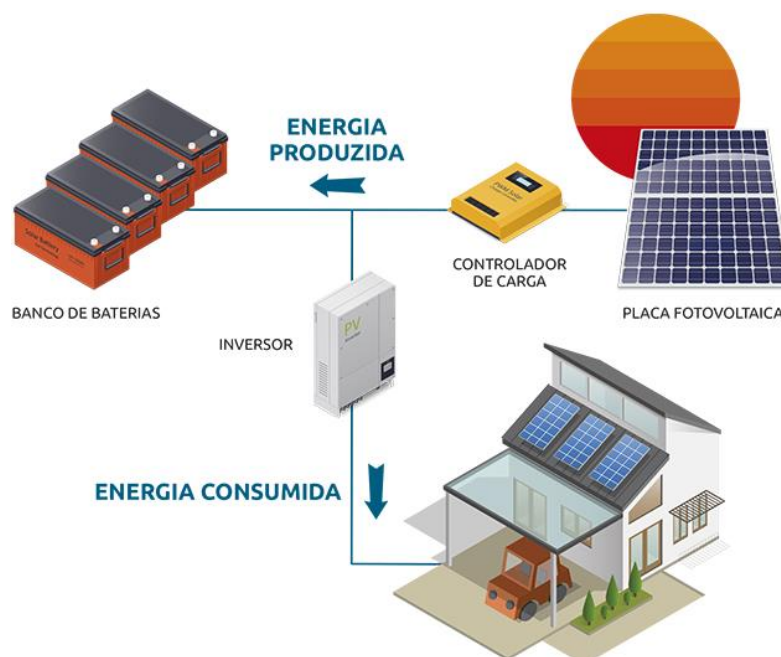


Figura 3.43 - Sistema sem ligação à rede (BMC ENERGIA, 2020)

Estes sistemas são normalmente implementados em regiões de difícil acesso, isoladas, que não tenham acesso à rede elétrica.

Os inversores *off-grid*, são responsáveis pela conversão da corrente DC proveniente dos módulos fotovoltaicos e armazenada nas baterias, em corrente AC.

Estes sistemas normalmente necessitam de baterias para garantirem a sua autonomia.

Nos momentos do dia em que a produção seja superior ao consumo, o excesso de energia é enviado as baterias para posterior utilização, quando o consumo de energia ultrapassar a produção.

As baterias irão armazenar energia que por sua vez garantem o funcionamento do sistema em períodos em que não haja produção de energia, como em dias nublados ou à noite.

Estas baterias possuem tensões nominais normalmente de 12 V, 24 V, 36 V ou 48 V, e uma vez que a tensão dos módulos varia ao longo do dia, é necessário a utilização de um controlador de carga.

Para além das baterias, recomenda-se a utilização de outros apoios suplementares, como geradores para garantir o abastecimento em períodos em que o sistema não seja suficiente para alimentar a instalação em causa.

O controlador de carga é um dispositivo eletrónico que gerência a carga e descargas intensas que possam prejudicar as baterias e, portanto, o sistema.

O sistema *off-grid* para além de ser utilizado em residências, também é utilizado em sistemas de bombeamento de água, postes de iluminação, antenas de comunicação, entre outras aplicações.

É de extrema importância que a energia necessária ao funcionamento dessas aplicações seja dimensionada com cuidado, para evitar o descarregamento das baterias utilizadas, ou seja, é fundamental adquirir baterias com capacidade de armazenamento de energia suficiente para garantir o correto funcionamento destas aplicações, sendo, de antemão, necessário o levantamento dos dados de consumo de todos os equipamentos elétricos envolvidos.

3.8.4. INVERSORES HÍBRIDOS

É a junção dos sistemas *on-grid* e *off-grid*, combinando as vantagens do inversor solar *on-grid* e do inversor *off-grid*.

Um dos maiores benefícios de um inversor híbrido é que ele combina a funcionalidade de dois equipamentos separados em um. Ou seja, ele faz a conversão da energia DC proveniente do sistema fotovoltaico em AC, ao mesmo tempo que possui uma ligação com um banco de baterias para o armazenamento do excesso de energia produzido, não sendo, portanto, necessário a utilização de um inversor específico para baterias (Thoubboron, 2019).

Pode-se injetar ou não, o excedente de energia na rede quando o banco de baterias estiver carregado.

Estes inversores, ainda possuem uma saída separada para cargas essenciais ou de emergência, permitindo a utilização de equipamentos específicos, como é o caso de um EPS, do inglês *Emergency Power Supply*. Em caso de falha na rede, o EPS permite que o inversor continue a sua operação e consiga fornecer as cargas essenciais, como sistemas de alarme, vigilância ou sistemas de iluminação, a energia armazenada no banco de baterias (Imeon Energy, 2020).

Estes inversores também podem ser utilizados sem integração de baterias. Em algumas instalações, por vezes, opta-se por instalar um inversor híbrido para no futuro permitir adicionar baterias ao sistema.

Pode ser observado na Figura 3.44 um sistema híbrido.

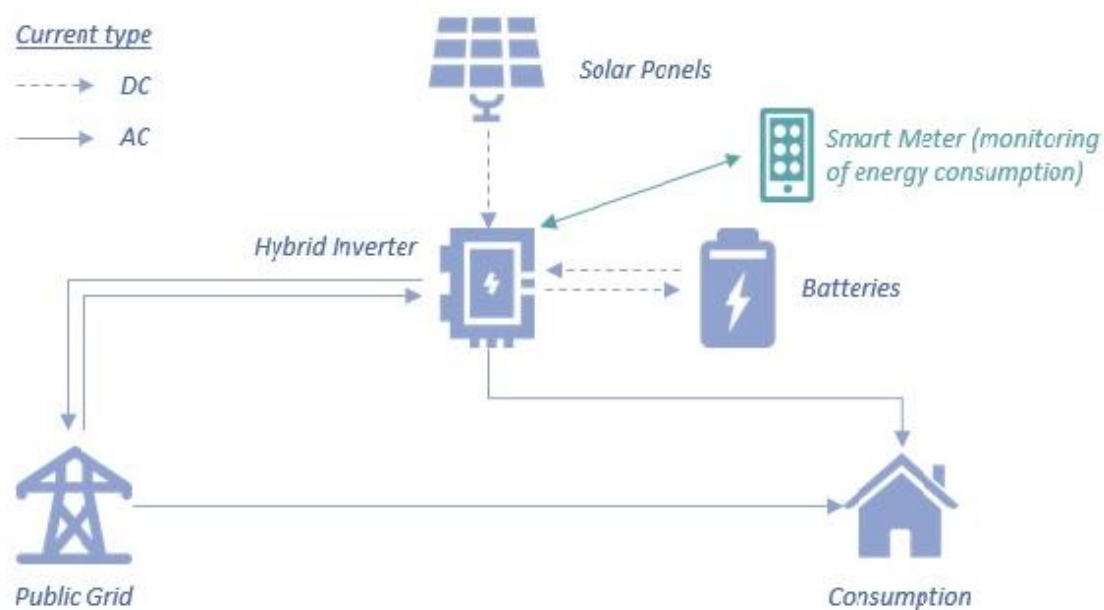


Figura 3.44 - Sistema Híbrido (Imeon Energy, 2020)

3.8.5. MICRO INVERSORES

O micro inversor, é um inversor solar *on-grid* miniaturizado, com potência muito pequena, dimensionado normalmente para operar com módulos fotovoltaicos individualmente. São habitualmente acoplados na parte de trás de cada módulo.

Esta operação individual possibilita a monitorização de cada módulo fotovoltaico, o que permite identificar de forma rápida e precisa qualquer problema que possa ocorrer num painel fotovoltaico, o que não aconteceria com um inversor central, em que a localização do módulo que possa estar com defeito é mais difícil, devido as *strings* de múltiplos painéis.

Uma outra vantagem, é que no caso de falha de algum micro inversor, os restantes continuam a funcionar normalmente, e deste modo o sistema apenas perde a produção de energia de um módulo.

Por funcionarem independentemente, estes podem ser colocados em telhados diferentes com orientações e inclinações díspares, sem que um painel afete a produção do outro.

4. ATIVIDADES REALIZADAS

Neste capítulo serão abordadas algumas das atividades realizadas durante o estágio. De entre elas, estão algumas das várias instalações monitorizadas durante o estágio, e a realização de projetos de alguns sistemas fotovoltaicos, sendo descritos todos os passos para o seu dimensionamento, a realização de orçamento em folha de cálculo e análise do retorno de investimento.

Durante este período ainda foi possível o acompanhamento da instalação de alguns sistemas, a sua manutenção e vistorias técnicas.

4.1. MONITORIZAÇÃO E CONTROLE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Após a instalação do sistema fotovoltaico, este pode ser acompanhado e avaliado de maneira rápida e eficiente através da monitorização em tempo real.

Estes sistemas permitem controlar remotamente através de um computador, *tablet* ou *smartphone*, a produção de energia das instalações fotovoltaicas em tempo real, assim como visualizar o histórico de consumo de eletricidade.

Permite avaliar o desempenho do sistema, pela análise do rendimento energético da instalação fotovoltaica, assim como identificar falhas ou possíveis avarias, que poderão ser desta forma, rapidamente solucionadas, o que irá permitir aumentar o rendimento do sistema fotovoltaico.

Com a monitorização é possível conhecer melhor o perfil de consumo de eletricidade de uma instalação, o que irá permitir a redução de custos, pela racionalização do consumo energético.

Durante o estágio fiquei responsável por monitorizar remotamente diversas instalações realizadas pela empresa.

Na realização destas tarefas, foram utilizadas algumas plataformas online, de entre as quais:

- *FRONIUS SOLAR.WEB*, um portal online de fácil perceção, extremamente intuitivo, com amplas possibilidades de análise, e permite ainda gerar relatórios detalhados e notificação de alarme automática, que é feita por via SMS ou email.

O portal recebe as informações pelo uso de um *Datamanager* (Figura 4.1) integrado no inversor.



Figura 4.1 - Fronius Datamanager 2.0 (Fronius, 2020)

O *Datamanager* envia os dados do sistema automaticamente para o *Fronius Solar.Web* através de uma conexão LAN ou WLAN. O *Fronius Datamanager* cujo *datasheet* pode ser visto no Anexo B, é o centro de comunicações dos inversores *Fronius* (Fronius, 2020).

A Figura 4.2, mostra como é feita a interação entre o sistema e o utilizador.

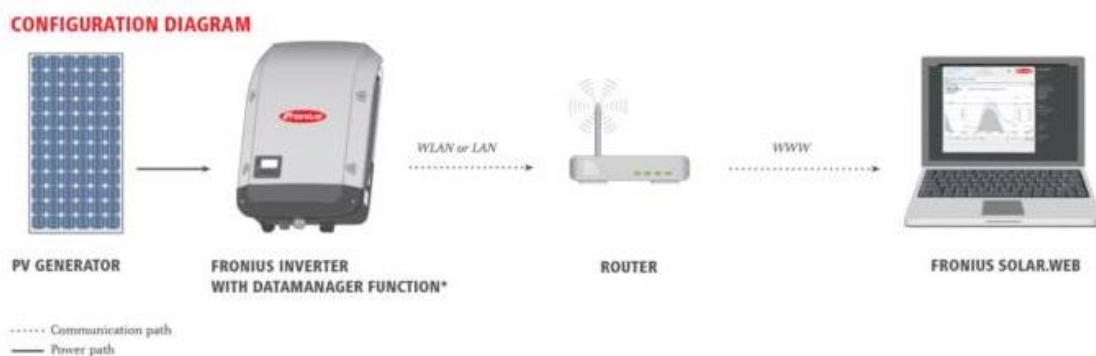


Figura 4.2 – Esquema representativo do sistema de monitorização (Fronius Solar.Web, 2020)

Na Figura 4.3 está ilustrada a forma como se comporta o gráfico do consumo de uma instalação doméstica em autoconsumo, relativo a um dia de verão, em termos de energia autoconsumida, e consumida da rede.

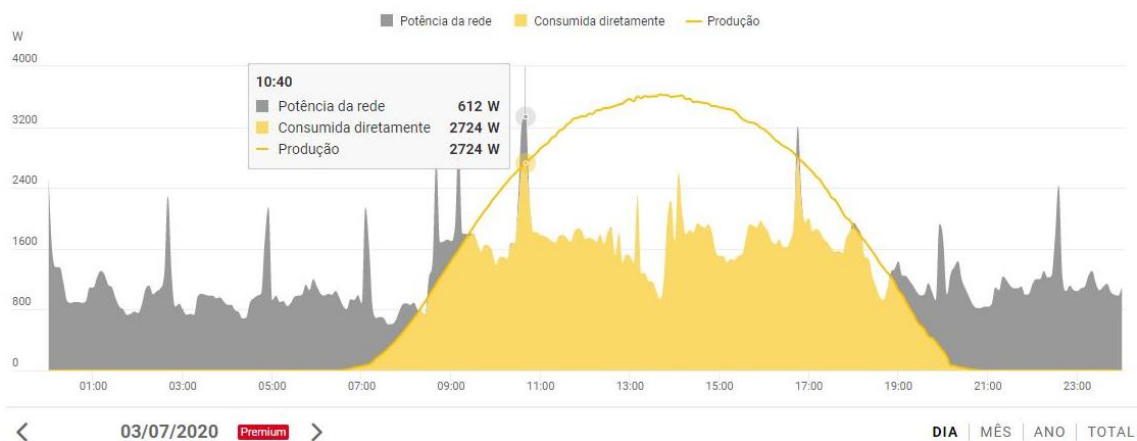


Figura 4.3-Gráfico da geração diária de um sistema fotovoltaico (SolarWeb, 2019)

Como se pode observar, os painéis fotovoltaicos produzem eletricidade sensivelmente entre as 7h00 e as 19h00, sendo que este período depende da época do ano (verão ou inverno) e da região onde se encontra localizada a instalação, atingindo o seu pico nas horas de maior incidência solar. Este horário coincide aproximadamente com as horas fora de vazio, onde o custo da eletricidade é mais caro, sendo que para um regime bi-horário a energia consumida nestes períodos tem um custo em torno de 0,19 €/kWh (Poupa Energia, 2020).

Também é de notar que praticamente todo o consumo de energia diurno da instalação está a ser satisfeita pela energia produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Nas horas em que não se verifique produção de energia pelos painéis, e não existindo baterias na instalação, o consumo de energia será coberto pela RESP. O acompanhamento mensal do sistema também pode ser monitorizado pelo portal.

A Figura 4.4 apresenta o gráfico da produção de energia de uma instalação ao longo do mês de novembro de 2019. Como se pode observar no gráfico, existe uma grande variação de produção de energia ao longo do mês, e isto deve-se a vários fatores, às condições climáticas como o surgimento de nuvens, maior ou menor incidência solar, bem como às características dos painéis fotovoltaicos.

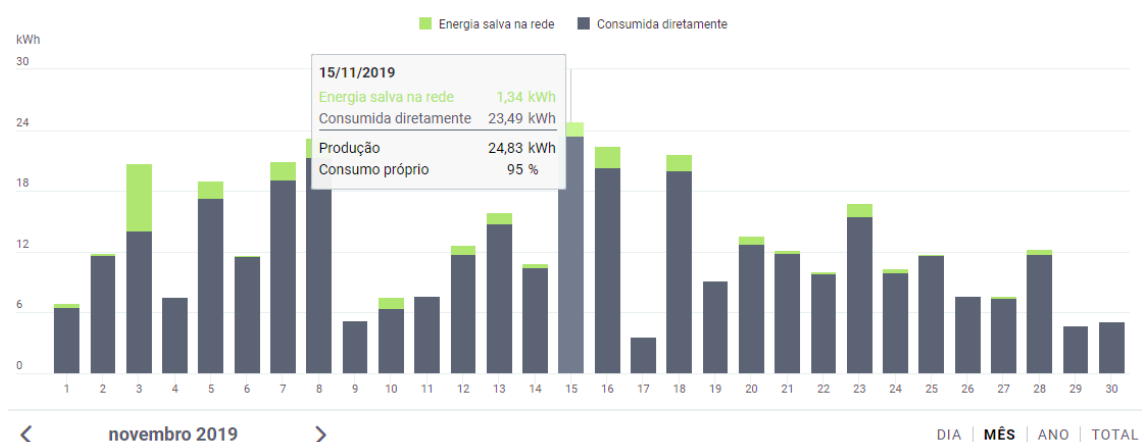


Figura 4.4-Gráfico da geração mensal de um sistema fotovoltaico (SolarWeb, 2019)

Pode-se observar que o dia que mais propiciou a geração de energia foi o dia 15, com uma produção de 24,83 kWh, em que 95% deste valor foi consumido diretamente, e os restantes 5% foram injetados na rede.

- *SOLAX CLOUD*, uma plataforma online, multifuncional, que permite a monitorização remota, seja de sistemas fotovoltaicos residenciais como comerciais.

Neste portal é possível aceder a dados atualizados de produção de energia e consumo, nível de carga das baterias, dados económicos. Também permite detetar possíveis ocorrências de falhas, assim como fornece relatórios por email sobre o estado do sistema.

Através do portal, é possível monitorizar os dados do sistema em qualquer *smartphone*, *tablet* ou PC.

Os inversores da *SolaX* possuem uma entrada para conexão do *pocket wiFi* (Figura 4.5), que é um sistema *plug-in* que permitirá que o utilizador final visualize o desempenho dos seus sistemas em qualquer lugar do mundo (SolaXPower, 2020).



Figura 4.5 - SolaX Pocket WiFi (SolaXPower, 2020)

4.2. IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Neste ponto, serão analisadas todas as variantes que influenciam um projeto durante a sua fase de conceção.

O projeto de um sistema fotovoltaico envolve de entre muitas outras coisas, a avaliação da área disponível para a colocação de painéis, a orientação e inclinação dos painéis, o meio envolvente, localização geográfica, fatores meteorológicos, e a radiação solar disponível.

A elaboração de projetos de sistemas fotovoltaicos pela empresa apresenta várias etapas fundamentais, sendo elas:

- Visita ao local de instalação, visando um estudo envolvente do local, de modo a identificar as melhores áreas para a instalação de painéis.
- Levantamento do consumo energético da instalação, que constitui a base para que se consiga fazer o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

- Projeto em *SketchUp®* e *PV*SOL premium*, *softwares* que permitem analisar e simular projetos para sistemas fotovoltaicos.
- Elaboração da proposta e orçamentação.
- Registo do sistema solar fotovoltaico.

4.2.1. VISITA TÉCNICA AO LOCAL

A primeira fase para a realização de um projeto de um sistema fotovoltaico, consiste numa visita ao local da instalação, por um Engenheiro. Essa visita é de extrema importância, uma vez que os sistemas são projetados mediante as necessidades e requisitos de cada cliente.

É necessário identificar as características físicas do local, como o tipo de material, inclinação e orientação do telhado a serem colocados os painéis, a área útil disponível, o tipo de instalação (monofásica ou trifásica), bem como uma vistoria aos quadros elétricos do local, identificando o ponto de interligação com a rede elétrica.

Averiguar as condições de trabalho, se é ou não necessário a utilização de guias, de escadas, entre outros, bem como analisar o espaço envolvente, de modo a identificar possíveis sombreamentos.

Nesta visita também é identificado o melhor local para a zona técnica, onde serão instalados os inversores, os quadros DC e AC.

4.2.2. ANÁLISE DO PERFIL DE CONSUMO DA INSTALAÇÃO E ESCOLHA DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Nesta fase os clientes deverão fornecer a equipe responsável pela elaboração do projeto, faturas de energia elétrica, que serão analisadas e que permitirão conhecer o perfil de consumo da instalação.

É necessário garantir que o sistema a ser projetado seja capaz de suprir grande parte da energia do local, amortizando deste modo, as faturas de energia elétrica.

Com base nesta informação é calculado a dimensão do sistema fotovoltaico, e são selecionados os equipamentos a utilizar.

Identifica-se a marca, modelo, o tipo de material (monocristalino ou policristalino), potência e a quantidade de painéis que vão compor o sistema, assim como os inversores mais adequados.

Os inversores são selecionados mediante a potência do sistema fotovoltaico, normalmente com uma potência até 20% menor que a potência total dos módulos fotovoltaicos, tendo estes que responder às necessidades de potência e de tensão de

funcionamento. Como referido anteriormente, normalmente os inversores são subdimensionados em relação aos módulos, com o intuito de otimizar a sua eficiência.

4.2.3. PROJETO EM *SKETCHUP*® E *PV*SOL PREMIUM*

Após o dimensionamento dos equipamentos, recorre-se a *softwares*, cujas simulações irão permitir a apresentação de dados de forma mais precisa e objetiva, que diminuem a probabilidade de erro e possibilitam uma perceção do sistema final muito próximo da realidade como são os casos do:

- *SketchUp*®, que se trata de um *software CAD* (desenho auxiliado por computador), utilizado para a criação, visualização e apresentação de modelos tridimensionais de boa qualidade.

É de fácil utilização, extremamente versátil e rápido. Para além de permitir a criação de modelos 3D de raiz, este *software* ainda apresenta uma biblioteca onde é possível encontrar diversos modelos já prontos a serem utilizados.

Com este *software* consegue-se dimensionar um sistema fotovoltaico com maior precisão e assertividade, uma vez que utiliza informações recolhidas do local de instalação, transmitindo a realidade do espaço a ser preenchido por painéis, proporcionando ao cliente a perceção real de como ficará o sistema fotovoltaico instalado na sua propriedade.

Para uma maior precisão na instalação do sistema fotovoltaico, o *software* permite a análise de sombreamento, para todas as horas do dia e todos os períodos do ano, recorrendo a ferramenta do *Google Earth* (totalCAD, 2019).

Na Figura 4.6, pode-se observar o logotipo do *SketchUp*®.

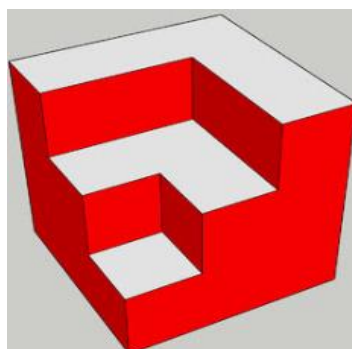


Figura 4.6-Logotipo do Software Sketchup (totalCAD, 2019)

- *PV*SOL premium*, representa um dos *softwares* mais utilizados para dimensionamento e simulação de sistemas de energia solar, pela sua facilidade de uso, versatilidade e perceção.

Este *software* de origem alemã, desenvolvido exclusivamente para sistemas fotovoltaicos, permite a criação de modelos 3D, a partir da utilização de mapas de satélite, recorrendo a ferramenta do *Google maps* ou *Google Earth*.

Para uma melhor precisão de resultados, o *PV*Sol* possibilita a utilização de dados meteorológicos da região onde se localiza a instalação em estudo, permitindo também a projeção de sombras.

Este *software* sofre constantes atualizações, o que permite a configuração de módulos fotovoltaicos e inversores sempre atualizados.

O final da simulação resulta num relatório, que irá conter os resultados da simulação, incluindo uma previsão económica para o sistema, e vários gráficos (Solarize, 2020). O logotipo do *software* encontra-se representado na Figura 4.7.



Figura 4.7-Logotipo do software PV*Sol® premium (The Solar Design Company, 2020)

4.2.4. ELABORAÇÃO DA PROPOSTA E ORÇAMENTAÇÃO

Nesta fase, procede-se à elaboração da proposta e orçamento para o sistema fotovoltaico instalado. Será demonstrado o caso particular de um cliente, que solicitou um orçamento para um kit de 4 painéis fotovoltaicos.

Foi criado pelo departamento de engenharia, um gerador de propostas para sistemas de autoconsumo solar fotovoltaico, que facilita em muito a elaboração das propostas. Este gerador consiste num ficheiro Excel, onde são introduzidos todos os dados necessários à elaboração de um orçamento para o sistema fotovoltaico.

Neste, introduzem-se os dados pessoais do cliente, como o nome, a localização do projeto, o número de identificação fiscal, e o número da proposta (Figura 4.8).




SISTEMA DE AUTOCONSUMO

SOLAR FOTOVOLTAICO

UPAC (Unidade de Produção p/ Autoconsumo)

 Nome cliente

 Covilhã
6200-901

 Delegação de Coimbra
 239 700 750

 8 de junho de 2020

Figura 4.8-Dados do cliente

Após a inserção dos dados pessoais do cliente, procede-se ao dimensionamento da instalação, onde são introduzidos os dados e custo dos módulos fotovoltaicos, o custo do Watt-pico, dados e custo do ou dos inversores, dados e custo das baterias (se for o caso), dados e custo do contador (se for o caso), e o sistema de monitorização (se for o caso).

De seguida são introduzidos os dados correspondentes a inclinação e orientação da instalação, o consumo anual real (kWh), o tipo de alimentação da instalação (monofásica ou trifásica), dados recolhidos da fatura, como o valor de potência contratada da instalação, o custo do kWh, e dados de manutenção (se for o caso).

Na Figura 4.9, pode-se observar uma das páginas com a informação apresentada ao cliente na proposta orçamental, relativamente aos dados da instalação e aos dados económicos.

Nesta página pode-se observar a potência nominal e de pico do projeto, o preço final com IVA, preço do Watt-pico instalado e da tarifa de consumo, poupanças previstas no primeiro ano, no décimo, e no vigésimo quinto ano.

1. INDICADORES PRINCIPAIS DO PROJETO

DADOS DA INSTALAÇÃO	
Nome do Projeto	Nome do cliente
Localização	Covilhã
Potência Nominal do Projeto	1,10kW
Potência Pico do Projeto	1,12kWp

DADOS ECONÓMICOS	
Preço Final (c/IVA)	2 250,00 €
Preço Wp Instalado (s/IVA)	1,63 €
Tarifa de Compra de Eletricidade (c/IVA)	0,19 €
Poupança Prevista - 1 ano (c/IVA)	250,72 €
Poupança Prevista - 10 anos (c/IVA)	2 765,13 €
Poupança Prevista - 25 anos (c/IVA)	8 152,08 €

Figura 4.9-Dados da instalação e económicos

Na Figura 4.10 é apresentado uma tabela com a indicação das garantias do sistema, que inclui a garantia da instalação, dos módulos, dos inversores, da estrutura e das baterias (se for o caso). Numa outra página é apresentado a quantidade e a descrição dos equipamentos que compõe a UPAC, como pode ser visto na Figura 4.11.

GARANTIAS DO SISTEMA			
	GARANTIA DE	PRESTAÇÃO POR	PRAZO
	INSTALAÇÃO	Sunenergy	2 ANOS
	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	Fabricante	Produto 10 ANOS
		Performance	10 ANOS 90% PRODUÇÃO INICIAL 25 ANOS 80% PRODUÇÃO INICIAL
	INVERSORES	Fabricante	10 ANOS
	ESTRUTURA	Fabricante	12 ANOS
	BATERIAS	Fabricante	Não incluída!

Figura 4.10-Garantias do sistema



Figura 4.11-Equipamentos que compõe a UPAC

É ainda gerado um gráfico (Figura 4.12) que apresenta a estimativa mensal de poupança de energia gerada pela instalação ao longo de um ano assim como a informação associada à produção prevista em kWh/mês.

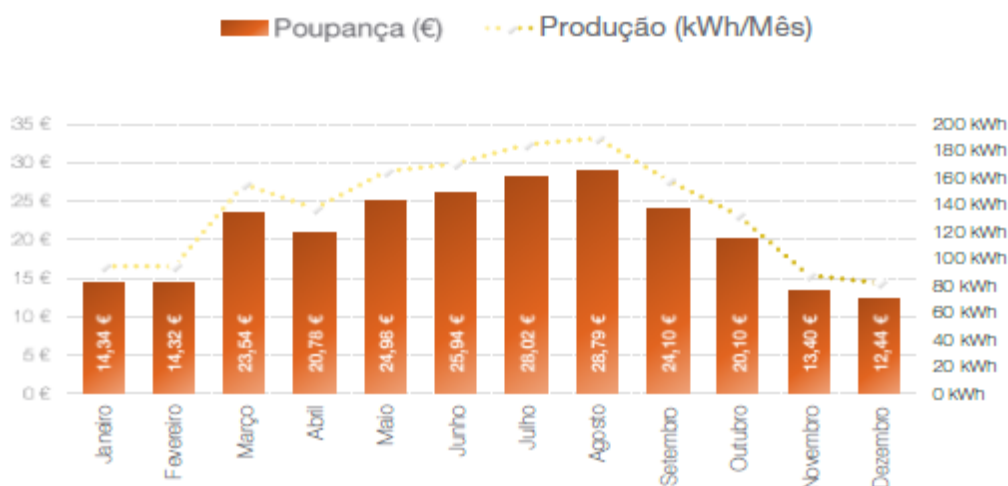


Figura 4.12-Estimativa mensal de poupança e de produção elétrica em kWh

No primeiro ano, estima-se uma produção de 1 650 kWh, representando uma poupança de eletricidade de 251 € com IVA, considerando um rácio de autoconsumo de 80%, o que quer dizer que foi considerado que 80% da eletricidade gerada é aproveitada, e os restantes 20% são injetados na rede.

O gráfico da Figura 4.13 apresenta a estimativa da poupança de energia gerada pela instalação em 25 anos.

Ao considerar-se o custo da instalação e a faturação prevista, calcula-se que neste caso, o investimento seja recuperado em oito anos.

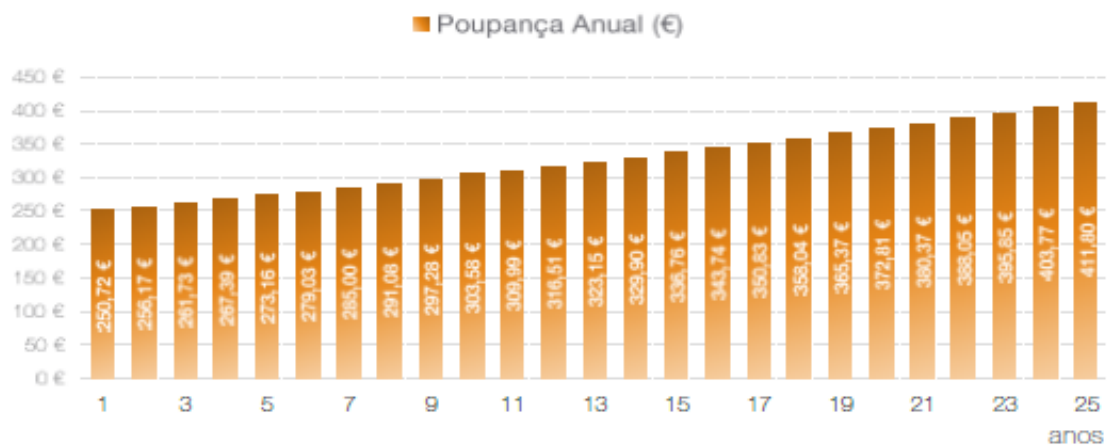


Figura 4.13-Estimativa anual de poupança de energia ao longo de 25 anos

Na Figura 4.14, é apresentado o preço chave-na-mão para a instalação do sistema.

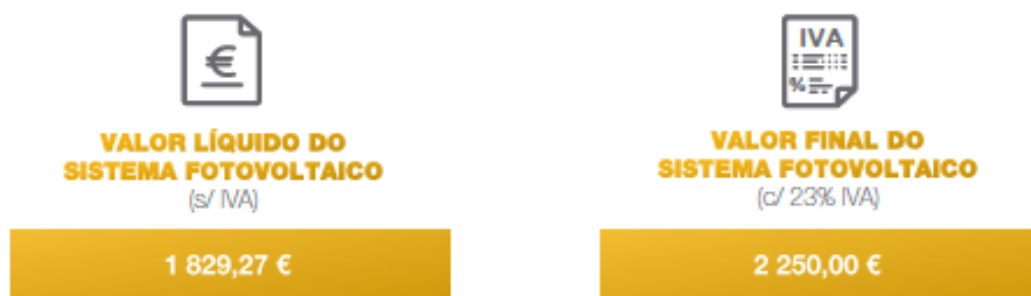


Figura 4.14-Preços finais sem IVA e com IVA

Por fim, as propostas são assinadas pelas pessoas habilitadas, sendo necessário assinaturas para a Revisão, Verificação e Validação do documento, antes de esta, ser entregue ao cliente (Figura 4.15).

REVISÃO	VERIFICAÇÃO	VALIDAÇÃO	ASSINATURA
☒	☒	☒	
☐	☐	☐	
☐	☐	☐	

Figura 4.15-Assinatura para Revisão, Verificação e Validação do documento

Caso o cliente decida avançar com a instalação do sistema, é celebrado um contrato de fornecimento e instalação de uma UPAC entre o cliente e a empresa, onde estão expressas as responsabilidades de ambas as partes.

Com o contrato assinado, segue-se o processo de pagamento, que normalmente é feito pelo pagamento de 50% do valor final com a adjudicação da proposta, e os restantes 50% com a finalização da instalação.

4.2.5. REGISTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Em seguida, é feito o registo do produtor (cliente) e da instalação através do portal eletrónico da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), na plataforma da SRIESP.

A Figura 4.16, representa o formulário a ser preenchido no site da DGEG para o registo do produtor e da instalação.

Este registo servirá para efetuar a solicitação de credenciais, um nome de utilizador e uma palavra-passe, (que serão enviadas para o email escolhido), que irão permitir o acesso à entrada na plataforma para o preenchimento de um formulário com todos os dados referentes à instalação.

Para as instalações com potências instaladas superiores a 350 W, é necessário o envio do Termo de Responsabilidade, e o Esquema Unifilar da Instalação.

Por se tratar de uma instalação com potência instalada, inferior a 30 kW, apenas será necessária uma mera comunicação prévia.

MCP

Registo de nova MCP

Denominação social: *
 NIF/NIPC: * 132470799 CPE: * Verificar Operador de rede: *
 Morada: * Código Postal: *
 Pessoa contacto: * Telemovel: * Potência contratada: * kW Potência certificada: * kW Tensão de alimentação: * V Tensão de contagem: * V
 Tipo Entidade: * Entidade instaladora (nº DGE): * Técnico responsável execução: *
 Termo responsabilidade: * Esquema unifilar: *
 Ficheiro upload... Ficheiro upload...
 Contador (marca/modelo): * Nº Série: * Modem marca: * Modem modelo: * Nº GSM: *
 (Selecione)
 Tipo de Fontes
 Solar: ☒ Hidrica: ☐ Eólica: ☐ Biomass... ☐ Biogás: ☐
 Potência Instalada: * 6.1 kW Potência de ligação: * 0 kW Injeta energia na rede: Limitador (marca/modelo): *
 (Selecione)
 Inversores
 Marca: * Modelo: * Nº Série: * Potência Nominal: * kW
 (Selecione) (Selecione)
 Painéis
 Número painéis: * Potência Unitária: * kW Tipo célula: *
 (Selecione)
 20 0.305 Policristalino
 Gravar Página Principal

Figura 4.16-Formulário do registo dos dados do produtor e da instalação

Com as credenciais, será possível preencher um novo formulário (Figura 4.17) com as indicações necessárias relativamente à instalação.

UPAC

Registo de nova UPAC

Denominação social: * NIF/NIPC: * 132470799 CPE: * Verificar Operador de rede: *
 Morada: * Código Postal: *
 Pessoa contacto: * Telemovel: * Comprovativo DGE: * Potência contratada: * kW Potência certificada: * kW Tensão de alimentação: * V Tensão de contagem: * V
 132470799 132470799 Ficheiro upload...
 Tecnologia: * Contratação pública: * Sujeito avaliação: * Injeta energia na rede: *
 (Selecione) Ficheiro upload... Ficheiro upload...
 Potência Instalada * kW
 Solar: 0 kW Hidrica: 0 kW Eólica: 0 kW Biomassa: 0 kW Biogás: 0 kW Não renovável: 0 kW
 Gravar Página Principal

Figura 4.17-Formulário do registo dos dados a preencher no Registo UPAC

Após o preenchimento do formulário, para potências instaladas superiores a 30 kW, são pagas as taxas respetivas, sendo estas validadas pela DGEG, e solicita-se o pedido de inspeção à emissão do certificado de exploração.

Após a inspeção das instalações com potências instaladas superiores a 30 kW, caso não haja nenhuma não conformidade, é emitido o certificado de exploração.

A *SunEnergy*® é responsável pelo processo de registo da instalação no portal da SRIESP da DGEG.

4.2.5.1. ESQUEMAS UNIFILARES EM ZWCAD E O TERMO DE RESPONSABILIDADE

O ZWCAD é um *software* de desenho assistido, compatível com o formato DWG. O ZWCAD permitiu a elaboração dos esquemas unifilares de diversos sistemas fotovoltaicos.

Para o registo dos sistemas fotovoltaicos é necessário a elaboração dos respetivos esquemas unifilares, e o termo de responsabilidade (Figura 4.18) que é assinada pelo CEO da empresa bem como pelo Engenheiro responsável pelo departamento de sistemas fotovoltaicos.



Instalações Elétricas Termo de responsabilidade

NRG – Sistemas de Energias Renováveis, Lda com sede na Rua José Augusto Frutuoso, Lote 8, n.º 6, 3025-029 COIMBRA, detentora de alvará n.º xxxxxx emitido pelo xxxxxxxx, com habilitação para o exercício de atividade devidamente enquadrado no regime jurídico aplicável à construção (Lei n.º 41/2015) de instalações de produção de energia elétrica, declara haver executado a unidade de produção que sita na xxxxxxxxxxxxxxxx, abaixo descrita em conformidade com a legislação vigente e as regras técnicas aplicáveis, sob a responsabilidade do técnico Paulino Oliveira, inscrito na OE como membro efetivo com o n.º xxxxxx.

Declara-se que a referida unidade de produção se encontra instalada e em condições de entrar em exploração.

Potência instalada	Potência de ligação (caso aplicável)	Fonte	Tecnologia utilizada
xxxxxxxxxx	xxxxxxxxxx	Solar	Fotovoltaico

Figura 4.18-Termo Responsabilidade

A Figura 4.19, ilustra um dos vários esquemas unifilares realizados ao longo do estágio.

A figura apresenta um esquema unifilar tipo, de uma UPAC, com um sistema fotovoltaico de potência de pico de 25,6 kW, com uma potência nominal de 25 kW, associado a uma instalação elétrica com ligação à RESP.

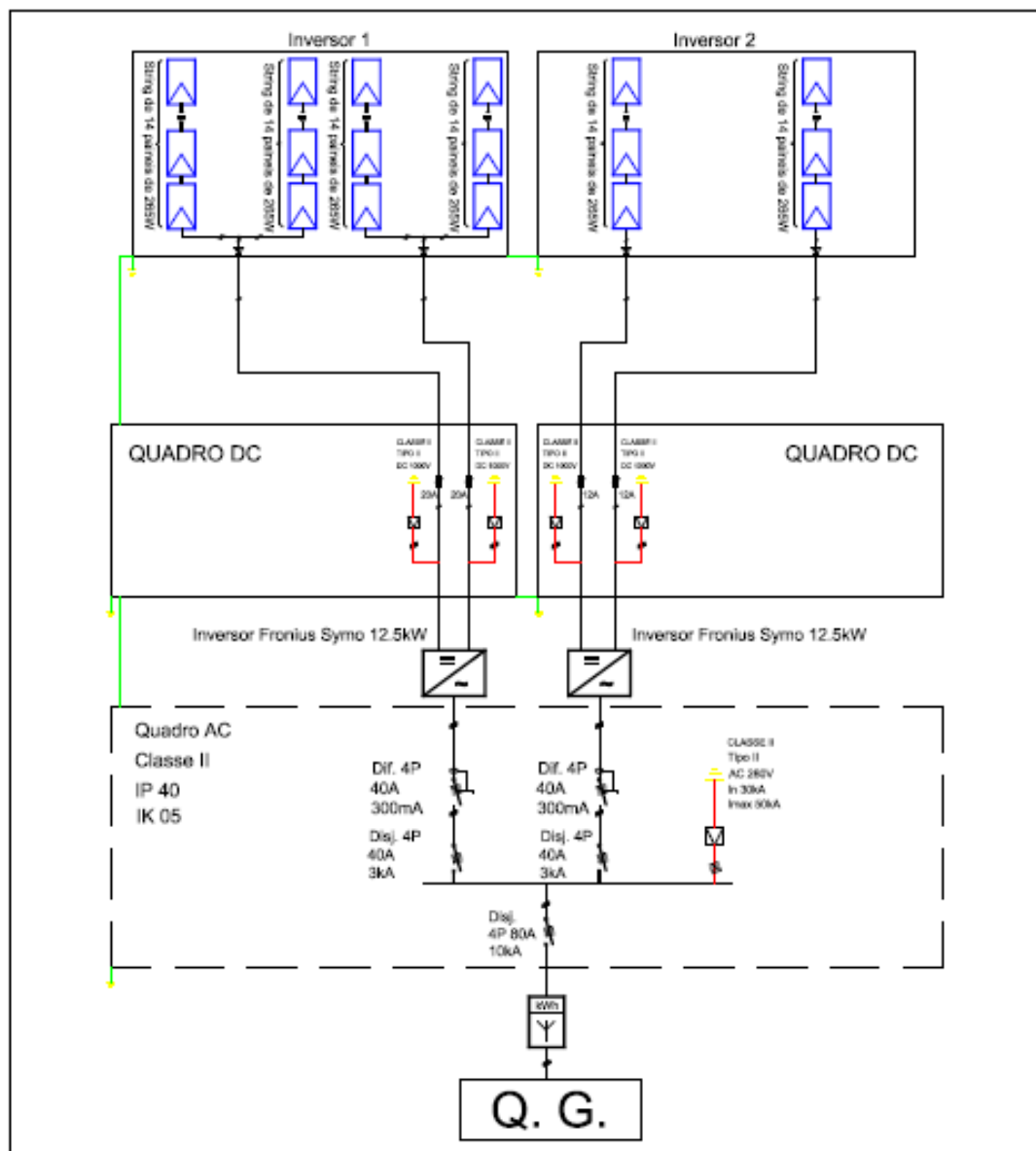


Figura 4.19-Esquema unifilar de uma instalação

A montante dos inversores, ou seja, o lado DC, é formado pelos painéis distribuídos em 6 *strings*, que estão ligados a um quadro DC por cabos que descem do telhado através de um eletroduto até chegar ao quadro DC.

Este quadro permite realizar a interligação entre a chegada da energia produzida pelos painéis em corrente contínua e a entrada dos inversores DC/AC, que farão a conversão da corrente contínua em corrente alternada.

Os quadros DC possuem fusíveis de fileira concebidos para funcionarem em corrente contínua, que protegem os módulos e cabos contra sobrecargas.

Por norma, também se instalam descarregadores de sobretensões à terra (DST), para proteção do sistema fotovoltaico contra a ação das descargas atmosféricas.

Na Figura 4.20, pode ser visualizado um dos quadros DC da obra associado ao esquema unifilar apresentado na Figura 4.19. Para cada *string*, existe um fusível (In=12A), e um DST.



Figura 4.20-Quadro DC

De seguida, os cabos seguem para os inversores onde a corrente contínua que chega dos módulos é transformada em corrente alternada e de lá seguem para um quadro elétrico AC.

Neste quadro estão localizados os dispositivos de proteção para o circuito AC, como disjuntores diferenciais que para além de proteger contra sobreintensidades também tem proteção diferencial ou interruptores diferenciais para proteção contra contactos indiretos e disjuntores para proteção contra sobreintensidades (sobrecargas e curto-circuitos), descarregadores de sobretensões para proteger os inversores contra transitórios com origem na rede. A Figura 4.21, apresenta o quadro AC da instalação.



Figura 4.21-Quadro AC

Posterior ao quadro AC, existe a ligação do contador associado à contabilização da produção de energia (Figura 4.22), visto que o sistema possui uma potência de pico superior a 4 kW.

Trata-se de um contador da marca *Itron* modelo SL 7000, bidirecional (*datasheet no Anexo C*), que é ligado a um modem para a comunicação de dados para a rede de processamento de informação (recolhe a contagem e envia informações ao utilizador).



Figura 4.22-Contador de produção

Posterior ao contador de produção, existe o quadro geral de Baixa Tensão que muitas vezes integra um disjuntor geral de corte do sistema fotovoltaico, e a seguir o contador de energia consumida pela instalação de utilização e o contador de energia excedente a vender à RESP.

No entanto, esses contadores podem ser substituídos por um contador bidirecional que mede a energia consumida e a vendida à RESP.

Se o dono da instalação, não pretender injetar o excedente de energia na RESP, não será necessário a instalação de um contador de energia excedente.

4.3. CASO DE ESTUDO_ RODI - SINKS & IDEAS, S.A.

Nos pontos anteriores foram descritos os vários componentes de um sistema fotovoltaico, os vários equipamentos a dimensionar, bem como as suas principais características.

Neste ponto, será apresentada a metodologia usada para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para autoconsumo para as instalações da RODI - SINKS & IDEAS, S.A.

Deste modo, será feito a caracterização do local, análise dos consumos energéticos, a seleção e especificação dos equipamentos, apresentação dos *softwares* utilizados, em particular o *SketchUp®*, o *PV*SOL premium* e *ZWCad*, e a análise económica.

4.3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O local escolhido para caso de estudo trata-se dos edifícios da RODI - SINKS & IDEAS, S.A., que é uma empresa portuguesa, com sede em Aveiro, especializada em metalurgia e metalomecânica, com grande foco na área do ciclismo.

Na Figura 4.23, apresenta-se uma foto da vista aérea dos edifícios da RODI.



Figura 4.23-Imagem aérea do local do projeto (Google Maps, 2020)

Para dar início ao planeamento do sistema fotovoltaico é necessário realizar um levantamento detalhado do local onde a instalação vai ser implementada.

Durante este processo foram feitas visitas técnicas ao local da instalação, onde se identificou a área disponível para a instalação dos painéis, o tipo de telha, a estrutura de suporte do telhado, o melhor local para a instalação da zona técnica, a forma de acesso ao telhado (guindaste, andaime, escadas), dados sobre sombreamento, bem como a recolha de dados associados ao consumo de energia elétrica.

4.3.1.1. ANÁLISE DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS

Para se fazer um correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico, é de extrema importância analisar em primeiro lugar as condições contratuais do abastecimento de energia elétrica (tarifa contratada, potência contratada) bem como os dados de consumo da instalação.

Neste sentido, foi feita uma análise do consumo energético da instalação, relativo ao ano de 2016, obtendo um consumo anual de 3 461 250 kWh.

A RODI, possui um contrato de fornecimento de energia elétrica em Média Tensão estabelecido com a ENDESA, com uma potência contratada de 900 kVA, alimentação trifásica, e um tarifário de ciclo diário tetra-horário.

Tendo em conta que a potência de ligação à rede do sistema fotovoltaico deve ser igual ou inferior à potência contratada da instalação de consumo, pode-se concluir que o sistema fotovoltaico não poderá ultrapassar os 900 kW de potência nominal.

Com a análise das faturas também foi possível constatar que a base de consumo da RODI era de 653 kW.

Com base neste consumo, optou-se pela instalação de um sistema de 600 kW de potência nominal.

4.3.2. SELEÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A partir do consumo base da empresa e da área disponível para a instalação do sistema, foi determinado o número de módulos a instalar.

Para realizar o estudo de área disponível na cobertura do edifício e para permitir uma melhor visualização do local e do espaço disponível, construiu-se um modelo 3D das instalações da RODI, onde foi possível verificar a quantidade máxima de módulos possíveis a instalar.

Na Figura 4.24, pode ser observado o modelo 3D, realizado no *software* gráfico *SketchUp®*, em que se pôde constatar que a área dos telhados dos edifícios era suficiente para a instalação dos painéis necessários.



Figura 4.24-Modelo 3D dos edifícios da RODI

Os módulos fotovoltaicos (Figura 4.25) considerados neste estudo foram os módulos policristalinos por terem uma melhor relação qualidade/preço quando comparado com os monocristalinos, da marca *Canadian Solar*, modelo *Hiku CS3 – 400P*, com uma potência

nominal de 400 *Watts*, constituídos por 144 células (2x(12x6)) com 10 anos de garantia (*datasheet* no Anexo D).

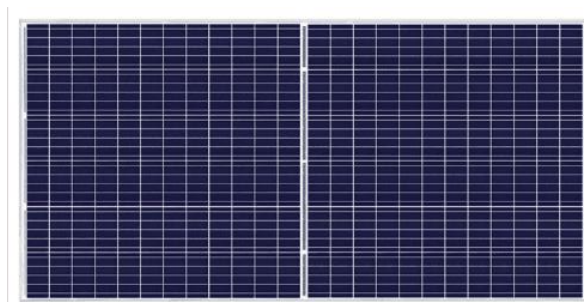


Figura 4.25 - Módulo fotovoltaico Canadian Solar, Hiku CS3-400P

Na Tabela 4.1, estão disponibilizadas as características mais relevantes a ter em conta na hora de escolher o módulo.

Estes valores são obtidos a partir das condições padrão de teste (STC), a uma temperatura de 25°C, radiação de 1000 W/m² e massa de ar (AM) de 1,5.

Tabela 4.1 - Características principais do módulo escolhido

Parâmetros	Canadian Solar, HIKU CS3 – 400P
Tipo de células	Policristalino
Eficiência (%)	18,11
Dimensões (mm)	2108 x 1048
Potência máxima nominal - <i>P_{máx}</i> (Wp)	400
Tensão máxima – <i>V_{mp}</i> (V)	38,7
Corrente máxima – <i>I_{mp}</i> (A)	10,34
Corrente circuito aberto – <i>I_{sc}</i> (A)	10,90
Tensão circuito aberto – <i>V_{oc}</i> (V)	47,2

Os telhados dos edifícios da RODI são constituídos por uma cobertura inclinada de chapa *sandwich* cinzenta.

Para este projeto são considerados 1 836 painéis fotovoltaicos a instalar, distribuídos pelos 5 edifícios da RODI, assentes através de uma estrutura designada *SpeedRails* da marca *K2 System* (chapas de alumínio para a fixação dos painéis), perfazendo uma potência de pico de 734,4 kWp.

4.3.3. SELEÇÃO DOS INVERSORES

Foram utilizados 6 inversores, com uma potência nominal de 100 kW cada, tendo estes, 6 MPPT e 4 *strings* independentes por cada MPPT, da marca ABB modelo PVS - 100 - TL (Figura 4.26).



Figura 4.26 - Inversor ABB modelo PVS-100-TL

Toda a informação associada ao inversor utilizado neste sistema pode ser consultada no Anexo E, no entanto, na Tabela 4.2 estão apresentadas as características mais relevantes.

Tabela 4.2 - Características mais relevantes do inversor escolhido

Tensão máxima DC (V)	1000
Tensão mínima DC (V)	360
Potência máxima (W)	100 000
Potência máxima DC (W)	102 000
Número de MPPT	6
Número de <i>string</i> por MPPT	4
Eficiência (%)	98,4
Corrente máxima DC para cada MPPT-Idc máx (A)	36
Dimensão – A x L x P (mm)	869x1086x419
Frequência (Hz)	50 / 60

A potência nominal por norma é subdimensionada em relação à potência de pico, com o intuito de otimizar a eficiência dos inversores, visando atingir o aproveitamento máximo do sistema.

Através do sistema de monitorização da *Aurora Vision*, cujo *datasheet* pode ser observado no Anexo F, com possibilidade de acesso através da internet, será monitorizado todo o consumo e produção, do sistema fotovoltaico.

4.3.4. CONFIGURAÇÕES

Neste ponto serão demonstrados os cálculos realizados para a determinação do número de módulos por *string*, e o número de *strings* que serão utilizados em cada inversor.

4.3.4.1. NÚMERO MÍNIMO DE MÓDULOS POR *STRING*

O número mínimo de funcionamento de módulos por *string*, é calculado pela relação entre a tensão mínima de funcionamento do inversor ($V_{(min.mppt)}$) e a tensão mínima de funcionamento do módulo ($V_{mp}(70^{\circ}C)$).

A tensão mínima de funcionamento do módulo ocorre quando este funciona à temperatura máxima.

No verão verificam-se elevados níveis de radiação e estima-se que os módulos colocados nos telhados podem estar sujeitos a temperaturas que poderão atingir os $70^{\circ}C$, e por essa razão utilizou-se esta temperatura para o cálculo da tensão mínima.

Os valores apresentados na ficha técnica do módulo, são obtidos a partir das condições de referência (STC), a uma temperatura de $25^{\circ}C$, e por isso, é necessário fazer a diferença entre os $70^{\circ}C$ e os $25^{\circ}C$.

Sendo assim, utilizou-se a equação 4.1 para se obter a tensão mínima, sendo que ΔU , corresponde ao valor do coeficiente de temperatura da tensão:

$$V_{mp}(70^{\circ}C) = \left(1 + \frac{(70^{\circ}C - 25^{\circ}C) \times \Delta U(\%) }{100}\right) \times V_{mp}(25^{\circ}C) \quad (4.1)$$

Ao substituir os valores na expressão 4.1, os quais foram obtidos do *datasheet* referente ao módulo fotovoltaico (Anexo D), obtém-se:

$$V_{mp}(70^{\circ}C) = \left(1 + \frac{(70 - 25) \times (-0,29)}{100}\right) \times 38,7 = 33,65 \text{ V} \quad (4.2)$$

Tendo em conta o valor de tensão mínima obtido, calcula-se o número mínimo de módulos em série numa *string* ($N_{\min, s}$), através da equação 4.3.

Recorrendo a Tabela 4.2, é possível verificar que o valor mínimo para a tensão de funcionamento do inversor é de 360 V.

$$N_{\min, s} = \frac{V(\min.mppt)}{V_{mp}(70^{\circ}\text{C})} = \frac{360}{33,65} = 11 \quad (4.3)$$

Tendo em conta o resultado anterior, o número mínimo de módulos em série por *string* é de 11.

4.3.4.2. Número máximo de módulos por *string*

Para efetuar o cálculo do número máximo de módulos em série é necessário calcular o valor máximo da tensão que o módulo poderá atingir (tensão de circuito aberto).

Este valor de tensão é atingido à temperatura mínima, -10°C , e uma vez que a informação presente no *datasheet* do módulo, são obtidos a partir das condições de referência (STC), a uma temperatura de 25°C , é necessário fazer a diferença entre os -10°C e os 25°C .

O valor da tensão em circuito aberto é calculado utilizando a equação 4.4.

$$V_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = \left(1 - \frac{(-10^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \times \Delta U(\%) }{100}\right) \times V_{oc}(\text{STC}) \quad (4.4)$$

Ao substituir o valor do coeficiente de temperatura da tensão, ΔU , por $-0,29\%$, e a tensão em circuito aberto do módulo, $V_{oc}(\text{STC})$, por $47,2\text{ V}$, o valor da tensão no módulo para a temperatura de -10°C será:

$$V_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = \left(1 - \frac{(35) \times (-0,29)}{100}\right) \times 47,2 = 51,9\text{ V} \quad (4.5)$$

Finalmente, calcula-se o número máximo de módulos em série na *string* ($N_{\max, S}$), ao aplicar-se o quociente entre a tensão máxima de funcionamento do inversor e a tensão máxima de funcionamento do módulo.

Ao consultar-se a ficha técnica do inversor, verifica-se que a sua tensão máxima de funcionamento, $V(\text{inv.max.})$, é de 1000 V .

Utilizando a equação 4.6, obtém-se o número máximo de módulos por *string*:

$$N_{\max, s} = \frac{V(\text{inv.max.})}{V_{oc}(-10^{\circ}\text{C})} = \frac{1000}{51,9} = 19 \quad (4.6)$$

Tendo em conta o resultado anterior, o número máximo de módulos em série por *string* é de 19.

4.3.4.3. NÚMERO MÁXIMO DE *STRINGS* EM PARALELO POR INVERSOR

O número máximo de *strings* em paralelo ($N_{p, \max}$) é calculado pelo quociente entre a corrente máxima do inversor ($I_{\max}$. MPPT) e a corrente máxima por *string* (I_{mp}), equação 4.7.

Recorrendo ao *datasheet* do inversor e do módulo, pode-se verificar que o valor da corrente máxima para cada MPPT do inversor é de 36 A e a corrente máxima por *string* é de 10,34 A.

$$N_{p, \max} = \frac{I_{\max, \text{mppt}}}{I_{mp}} \Leftrightarrow N_{p, \max} = \frac{36}{10,34} = 3 \quad (4.7)$$

Uma vez que o inversor possui 6 MPPT, e em cada MPPT poderão ser usadas no máximo 3 *strings*, isto significa que, por inversor serão no máximo utilizados 18 *strings*, sendo que o número de módulos em cada *strings* deverá estar compreendida entre 11 e 19. Deste modo optou-se por uma configuração em que são colocados 17 módulos em cada *string*, perfazendo no total 306 módulos por cada inversor:

$$17 \text{ módulos} \times 3 \text{ strings} \times 6 \text{ MPPT} = 306 \text{ módulos} \quad (4.8)$$

Na Figura 4.27, é possível observar o esquema de distribuição das *strings* em cada MPPT, (cada MPPT é representado na figura por Y), para os 6 inversores considerados.

Inv.	kWp	String	Nº painéis/string	Y
1	122	S1	17	Y1
		S2	17	
		S3	17	
		S4	17	Y2
		S5	17	
		S6	17	
		S7	17	Y3
		S8	17	
		S9	17	
		S10	17	Y4
		S11	17	
		S12	17	
		S13	17	Y5
		S14	17	
		S15	17	
		S16	17	Y6
		S17	17	
		S18	17	
2	122	S1	17	Y1
		S2	17	
		S3	17	
		S4	17	Y2
		S5	17	
		S6	17	
		S7	17	Y3
		S8	17	
		S9	17	
		S10	17	Y4
		S11	17	
		S12	17	
		S13	17	Y5
		S14	17	
		S15	17	
		S16	17	Y6
		S17	17	
		S18	17	
3	122	S1	17	Y1
		S2	17	
		S3	17	
		S4	17	Y2
		S5	17	
		S6	17	
		S7	17	Y3
		S8	17	
		S9	17	
		S10	17	Y4
		S11	17	
		S12	17	
		S13	17	Y5
		S14	17	
		S15	17	
		S16	17	Y6
		S17	17	
		S18	17	

Inv.	kWp	String	Nº painéis/string	Y
4	122	S1	17	Y1
		S2	17	
		S3	17	
		S4	17	Y2
		S5	17	
		S6	17	
		S7	17	Y3
		S8	17	
		S9	17	
		S10	17	Y4
		S11	17	
		S12	17	
		S13	17	Y5
		S14	17	
		S15	17	
		S16	17	Y6
		S17	17	
		S18	17	
5	122	S1	17	Y1
		S2	17	
		S3	17	
		S4	17	Y2
		S5	17	
		S6	17	
		S7	17	Y3
		S8	17	
		S9	17	
		S10	17	Y4
		S11	17	
		S12	17	
		S13	17	Y5
		S14	17	
		S15	17	
		S16	17	Y6
		S17	17	
		S18	17	
6	122	S1	17	Y1
		S2	17	
		S3	17	
		S4	17	Y2
		S5	17	
		S6	17	
		S7	17	Y3
		S8	17	
		S9	17	
		S10	17	Y4
		S11	17	
		S12	17	
		S13	17	Y5
		S14	17	
		S15	17	
		S16	17	Y6
		S17	17	
		S18	17	

Figura 4.27 - Distribuição das strings

4.3.5. SIMULAÇÃO DO SISTEMA NO PV*SOL PREMIUM

Utilizando o *software*, PV*SOL premium, foi possível realizar uma simulação da energia produzida pelo sistema fotovoltaico, o consumo energético, a análise financeira, e o retorno de investimento, resultados estes, que serão analisados ao longo deste ponto.

Ao iniciar um projeto neste *software*, em primeiro lugar é necessário introduzir os dados do projeto, como o nome do Engenheiro responsável pela execução do projeto, o número do cliente, o endereço da instalação, o nome do projeto, entre outras informações.

De seguida são introduzidos os dados associados ao tipo de sistema a instalar, podendo ser um sistema conectado ou não a rede, que utiliza ou não baterias, bem como outras opções.

Pode-se observar na Figura 4.28, a capa resultante da simulação do sistema fotovoltaico nos Edifícios da RODI. A capa contém os dados que foram introduzidos na primeira página do simulador.



Rodi, S.A.

Rua Monte Norte
3800-790 Eixo Norte S/N Eixo
Aveiro

SunEnergy
Rua José Augusto Frutuoso, 6
3025-029 Coimbra
Portugal

Contato:

Telefone: 239700750
E-mail: info@sunenergy.pt

N.º cliente: 7902
Nome do projeto: Rodi, S.A.
No. da proposta: CBR_FV_19_185

16-09-2019

Seu sistema fotovoltaico de SunEnergy

Endereço da instalação

Rua Monte Norte
3800-790 Eixo Norte S/N Eixo
Aveiro



Descrição do projeto:

Sistema de autoconsumo Instantâneo

Figura 4.28 - Capa do relatório obtida da simulação dos Edifícios da RODI em PV*SOL premium

Este *software* permite a introdução da localização do projeto, retornando os dados climáticos do local.

De seguida são introduzidas as informações relativas ao consumo da instalação para um ano completo, ou seja, fez-se a importação da curva de carga da instalação.

Depois de se representarem os edifícios com a altura, largura, inclinação reais, procede-se a distribuição dos módulos, tendo sempre em consideração o espaçamento colocado entre eles, de modo a permitir no futuro a sua manutenção, a altura das platibandas e projeção de sombras.

Na Figura 4.29 está representada o modelo 3D do projeto fotovoltaico.



Figura: Imagem panorâmica, Modelagem 3D

Figura 4.29-Projeção 3D

Após a colocação dos módulos, é necessário fazer a configuração dos inversores tendo em conta a potência total dos módulos configurados.

Na Figura 4.30, é possível visualizar a quantidade de módulos, a quantidade de inversores, a área do sistema fotovoltaico e a potência de pico da instalação.

Sistema fotovoltaico

3D, Sistema fv conectado à rede com consumo	
Dados climáticos	RODI, PRT (1991 - 2010)
Potência do gerador fotovoltaico	734,4 kWp
Area do gerador fotovoltaico	4.056,1 m²
Quantidade de módulos	1836
Quantidade de inversores	6

Figura 4.30 – Principais dados do projeto

De seguida, é introduzida a informação de que o sistema é sem injeção do excedente de energia na RESP, assim como os dados referentes as faturas elétricas cedidas pelo cliente.

O final da simulação resulta num relatório, que irá conter os resultados da simulação, incluindo uma previsão económica para o sistema.

Na Figura 4.31, é apresentada a informação relativa ao rendimento do sistema.

O rendimento

O rendimento

Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	916.463 kWh
Autoconsumo direto	601.486 kWh
Injeção na rede	314.977 kWh
Limitação no ponto de injeção	0 kWh
Autoconsumo	65,6 %
Fração solar	17,4 %
Rendimento anual específico	1.247,91 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	76,6 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	2,5 %/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	549.878 kg/ano

Figura 4.31 - Resultado do Rendimento do Sistema elaborado em PV*SOL premium

Ao analisar o rendimento do sistema, pode-se observar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, ou seja, a quantidade de energia que se espera ser produzida anualmente que é de 916 463 kWh, a taxa de desempenho do sistema, 76,6%, a percentagem de autoconsumo que é de 65,6%, e as emissões de CO₂ evitadas anualmente, 549,878 kg/ano.

Na Figura 4.32, pode ser observada parte da análise financeira do projeto, disponibilizada pelo *software*.

Análise financeira

Seus lucros

Investimento total	385.000,00 €
Taxa interna de retorno	30,96 %
Prazo de amortização	3,5 Anos
Custos de geração da energia	0,02 €/kWh
Balanco / Conceito de injeção	Net-Metering

Figura 4.32 - Análise financeira do projeto

Como se pode observar na Figura 4.32, o valor total de investimento é de 385 000 €, com uma taxa interna de retorno de 30,96% e um prazo de retorno de investimento de três anos e meio.

Após a realização da simulação, procedeu-se a elaboração do orçamento final do sistema fotovoltaico, o qual pode ser consultado na Figura 4.33.

PREÇO LÍQUIDO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (S/ IVA)	385 000,00 €
PREÇO FINAL DO SIST. FOTOVOLTAICO (C/23% IVA)	473 550,00 €

Esta proposta é válida por 30 dias, a contar da sua data de emissão.

Condições de pagamento:

- 30% do valor final com a adjudicação da proposta.
- 50% do valor final no início da instalação do sistema.
- 20% do valor final com a finalização da instalação.

Figura 4.33 - Preço do serviço e as condições de pagamento

No final da execução da obra foi entregue ao cliente uma compilação técnica da mesma, onde está descrito de forma resumida toda a informação relativa a instalação.

Neste documento podem ser encontrados os *datasheets* dos módulos e inversores utilizados, o termo de responsabilidade celebrado, os requisitos de segurança, o esquema unifilar da instalação, bem como outras informações técnicas.

O esquema unifilar da instalação pode ser consultado no Anexo H.

No quadro AC representado na Figura 4.34 à saída de cada inversor foi colocado um disjuntor diferencial de 4 polos, de 200 A de corrente estipulada, com uma sensibilidade de 300 mA.

Ainda no quadro AC (Figura 4.34) foi instalado um descarregador de sobretensões da marca OBO, modelo V20, com uma tensão máxima de serviço de 280 V (*datasheet* Anexo I), um sinalizador de tensão, um disjuntor diferencial geral tetrapolar de 1200 A de corrente estipulada, com uma sensibilidade de 300 mA.

Também estão representados os ventiladores que introduzem ar no quadro elétrico a fim de baixar a temperatura dos componentes eletrónicos que se encontram no seu interior.

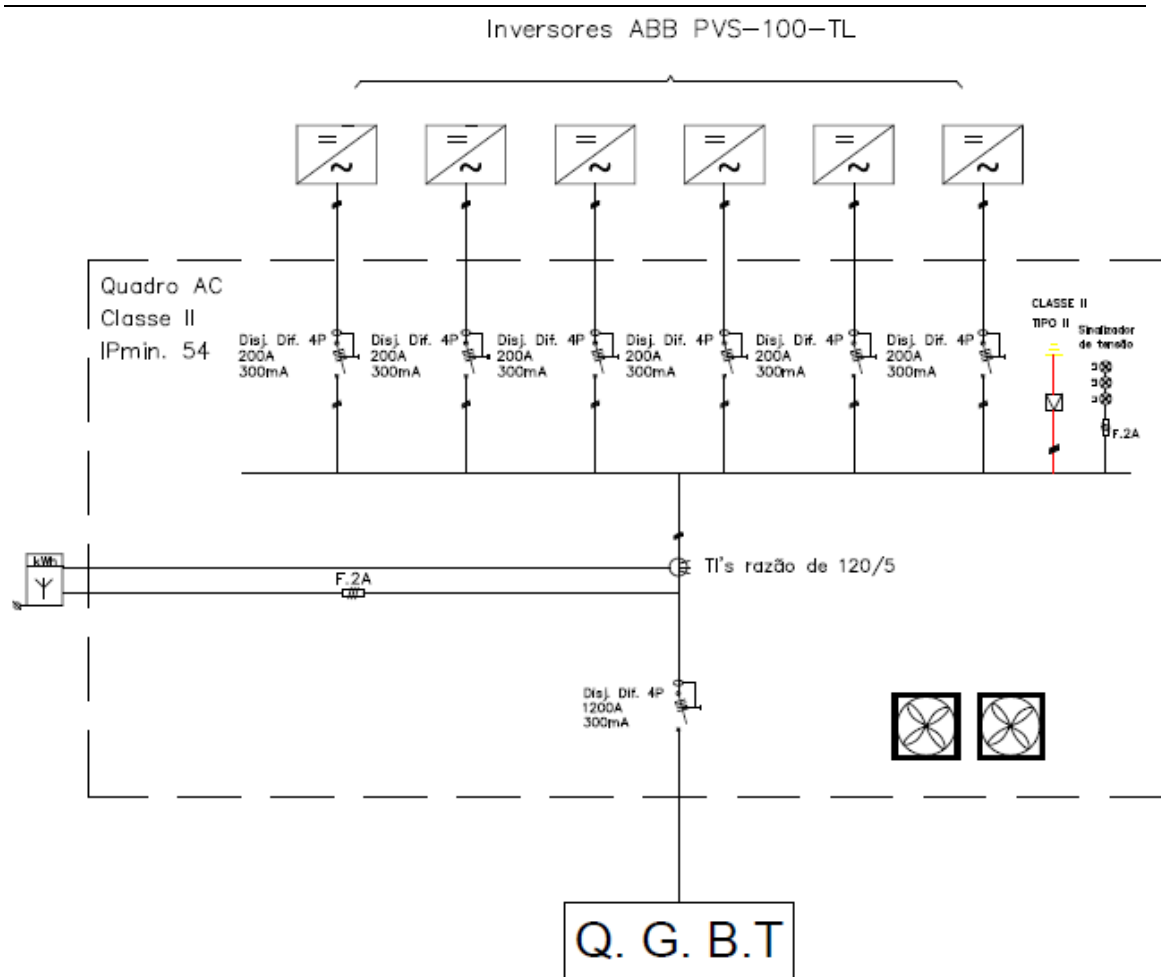


Figura 4.34 - Quadro AC do sistema fotovoltaico

A seguir ao quadro AC, foi instalado um contador *Itron* modelo SL7000 trifásico de contagem indireta (*datasheet* no Anexo C). Por ser de contagem indireta, foram instalados nos barramentos do quadro AC transformadores de corrente (TI's) trifásicos em cada uma das fases (L1, L2 e L3) que permitem medir a corrente em cada fase.

À saída deste quadro AC, está ligada o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) da instalação.

Foi instalado um *Meter* B24 (Figura 4.35), cujas suas características se encontram no Anexo J, para a leitura dos consumos da instalação através de TI's ligados a entrada da instalação.

Os dados do consumo são recebidos pelos TI's, lidos pelo *Meter* e enviados ao inversor *master* utilizando o padrão normalizado RS-485 através de dois pares de fios trançados. O inversor *master* efetua a gestão de todo o sistema, controlando a produção dos restantes inversores e evitando a injeção de energia na RESP.



Figura 4.35 - Meter B24

Na Figura 4.36, é possível visualizar a configuração da distribuição dos 1 836 módulos fotovoltaicos instalados nos edifícios da RODI.



Figura 4.36 - Imagem aérea dos painéis instalados na RODI

4.4. CASO DE ESTUDO_ PALÁCIO DE JUSTIÇA DE TOMAR

Para além dos projetos desenvolvidos a nível empresarial e particular, a *SunEnergy* também desenvolve projetos para instituições públicas, como escolas, hospitais, câmaras municipais, entre outros edifícios públicos, através de concursos públicos com financiamento.

Assim sendo, neste ponto será abordado o concurso público “**Aquisição de Painéis Fotovoltaicos, respetiva Ligação, Licenciamento e Registo no SERUP - Palácio de Justiça de Tomar**”, promovido pelo Instituto de Gestão Financeira e Equipamentos da Justiça, IP (IGFEJ, IP).

Nesses concursos são fornecidos cadernos de encargo que definem os pressupostos para a implementação do sistema fotovoltaico, como as condições de preço e de pagamento, e os prazos para a execução dos trabalhos, que devem ser respeitadas.

O sistema de Autoconsumo fotovoltaico instalado, consiste num conjunto de 48 módulos da marca *Jinko Solar*, modelo JKM280PP – 280 W (*datasheet* no Anexo K) colocados na cobertura (telha lusa), assentes através de uma estrutura designada *SpeedRails* da marca K2 System, perfazendo uma potência de 13 440 Wp.

O inversor considerado no projeto é da marca *FRONIUS SYMO* 10.0-3-M, com 10 kW de potência nominal (*datasheet* no Anexo L).

Através do sistema de monitorização da *Fronius Solar. Web*, será monitorizado toda a produção do sistema fotovoltaico e o consumo da instalação, conseguindo deste modo controlar os consumos, promovendo uma poupança energética e financeiramente.

Foi associado ao inversor uma placa *Fronius datamanager 2.0*, já referido no subcapítulo 4.1, que permite enviar diretamente os valores do sistema ao portal da *Fronius Solar. Web* (*datasheet* do portal no Anexo M).

Ainda para a monitorização do consumo, foi instalado no quadro geral de baixa tensão do piso 0, o *Fronius Smart Meter* 50 kA-3 (Figura 4.37), de contagem indireta, cujo *datasheet* pode ser consultado no Anexo N.



Figura 4.37 - Fronius Smart Meter 50kA-3

O esquema unifilar da instalação pode ser consultado no Anexo O.

Na Figura 4.38, é apresentada a distribuição das *strings*. Uma vez que o inversor possui 2 MPPT, optou-se por utilizar 2 *strings* em cada MPPT, com 12 painéis cada *string*, perfazendo no total 48 módulos, como pode ser verificado pela aplicação da equação 4.9.

$$12 \text{ módulos} \times 2 \text{ strings} \times 2\text{MPPT} = 48 \text{ módulos} \quad (4.9)$$

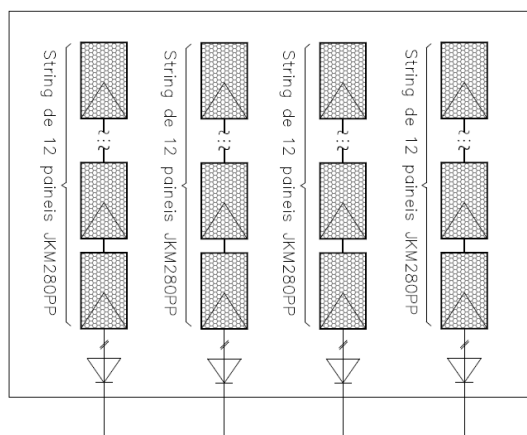


Figura 4.38 - Distribuição das strings

Na Figura 4.39, apresenta-se a zona técnica da instalação, onde pode ser observado o quadro onde foi instalado o contador da *ITRON* modelo SL7000 trifásico, de contagem direta, os quadros DC, AC e o inversor.



- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 | Contador da <i>ITRON</i> SL7000 |
| 2 | Quadro DC |
| 3 | Quadro AC |
| 4 | Inversor <i>Fronius Symo</i> 10.0-3-M |

Figura 4.39 - Zona técnica

O quadro DC possui no seu interior, 2 descarregadores de sobretensões, e 4 fusíveis DC com uma tensão nominal de 1000 V_{DC} e corrente estipulada de 12 A, para cada uma das 4 *strings*.

No quadro AC, à saída do inversor foi colocado 1 interruptor diferencial de 4 polos, de 40 A de corrente estipulada, com uma sensibilidade de 300 mA, 1 disjuntor de 20 A com poder de corte normalizado de 3 kA e um descarregador de sobretensões, com uma tensão máxima de serviço de 280 V.

À saída deste quadro AC, está ligada o quadro parcial do piso 2, onde é injetada a energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico.

A *SunEnergy* executou os trabalhos por um preço contratual de 16 767,67 €, ao qual acresce o IVA à taxa legal em vigor de 23% correspondendo à quantia de 3 856,56 €.

Pode ser observado na Figura 4.40, imagens aéreas da instalação dos painéis fotovoltaicos no Palácio da Justiça de Tomar.



Figura 4.40 - Imagens aéreas dos painéis instalados no Palácio da Justiça de Tomar

A avaliação do desempenho de ambos os sistemas fotovoltaicos descritos neste relatório é feito com uma frequência mensal, a partir dos sistemas de monitorização, com o intuito de garantir o correto funcionamento desses sistemas.

5. CONCLUSÕES

Após o período de estágio efetuado na *SunEnergy*, e o consequente desenvolvimento de um número notável de atividades, é agora possível extrair algumas conclusões.

A realização deste estágio permitiu estudar em profundidade um tema atual, e que é, da maior importância para o mundo, o aproveitamento da energia do sol para a produção de eletricidade em forma de autoconsumo.

O balanço que faço deste estágio é claramente positivo, tendo sido estimulante e enriquecedor.

Durante o estágio, foram adquiridos competências, conhecimentos e experiências relativos à produção de energia elétrica recorrendo a sistemas solares fotovoltaicos, que contribuíram de uma forma positiva na formação profissional. Contudo, sei que ainda tenho muito que aprender.

O ambiente na empresa revelou-se bastante agradável, existindo uma boa relação de camaradagem entre todos os colaboradores.

O propósito do estágio visou o estudo, projeto e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para produção de energia em autoconsumo.

Foi possível analisar alguns dos principais documentos legislativos que abordam temáticas de produção de energia descentralizada, com maior foco para o atual DL, **Decreto-lei 162/2019**, e a evolução até ao mesmo.

A entrada em vigor do atual **Decreto-lei 162/2019**, que abrange exclusivamente o autoconsumo a partir de fontes de energia renovável, torna-se essencial para alcançar os objetivos do Plano Nacional de Energia-Clima para o período 2021-2030, de entre os quais alcançar uma quota de 47% de energia final fornecido por fontes de energia renovável.

Este DL veio introduzir três principais mudanças:

- Menos burocracia, em que para instalações com potência instalada de até 30 kW estão dispensadas de solicitar o certificado de exploração do operador de rede, mantendo-se apenas a obrigação de fazer uma mera comunicação prévia à DGEG.
- Autoconsumo de energia através de fontes renováveis coletivas, permitindo aos consumidores organizados em condomínios ou mesmo empresas e indústrias localizadas na mesma zona, investirem numa instalação fotovoltaica de maior dimensão e partilhar a energia produzida.
- Criação de comunidades de energia renovável (CER), que permite aos consumidores de energia renovável produzir, consumir, armazenar, partilhar e vender eletricidade sem serem confrontados com encargos desproporcionados.

É, portanto, um diploma alinhado com o objetivo do Governo de descentralizar a produção de energia, e em harmonia com a diretiva europeia relativa à promoção de energias renováveis.

Este relatório teve ainda uma componente teórica que permitiu a realização de uma pesquisa geral sobre as tecnologias existentes neste setor, em que se pôde constatar que os preços destes sistemas têm vindo a diminuir, o que tem levado a uma maior adesão, envolvendo investimentos de menor valor e o aumento da rentabilidade.

Ao mesmo tempo que os preços diminuem, o setor fotovoltaico em termos de tecnologia, tem tido uma boa evolução, com um leque variado de produtos disponíveis no mercado, cada vez mais eficientes.

Ao longo deste relatório foram descritas algumas das atividades da empresa realizadas durante o estágio, de entre os quais as monitorizações remotas das diversas instalações, e a realização de projetos de sistemas fotovoltaicos, sendo descritos todos os passos para o seu dimensionamento, a realização de orçamento e análise do retorno de investimento.

Foi possível acompanhar vários processos desenvolvidos pela empresa, desde o primeiro contacto com o cliente, visitas aos locais de instalação, análise de faturas de energia elétrica, elaboração de propostas comerciais de sistemas solares fotovoltaicos, dimensionamento e o registo desses sistemas.

Assim para o auxílio ao dimensionamento destes sistemas foram utilizadas diversas ferramentas computacionais, como o *Google Earth/Maps*, *SketchUp®*, *PV*SOL premium* e *ZWCAD*.

Todas as transformações vivenciadas, a poluição mundial, o aumento da consciencialização das pessoas quanto a importância de mantermos o nosso planeta saudável, impõe medidas de gestão dos fluxos de energia de forma ágil e progressista, que passa pela utilização de todo e qualquer tipo de fontes de energia renovável.

Ao longo dos anos, o preço da eletricidade tem sofrido aumentos contantes, ao mesmo tempo que se constata que o consumo energético mundial tem vindo a aumentar, o que reforça a tendência para o aumento das emissões de CO₂. Estas condições conduzem à necessidade de se recorrer a alternativas energéticas que não prejudiquem o meio ambiente, como a tecnologia fotovoltaica voltada para o autoconsumo, que para além de não emitir gases poluentes durante a sua exploração, permite a redução da fatura energética, não só de clientes particulares como de clientes empresariais, estando estas menos expostas as flutuações do preço da eletricidade, aumentando a longo prazo a competitividade das empresas.

Para além de não emitir gases com efeito de estufa durante a sua exploração, e de trazer benefícios a nível económico, ainda apresenta inúmeras vantagens, destacando-se a reduzida necessidade de manutenção, a longevidade útil dos módulos fotovoltaicos, o

processo fotovoltaico é extremamente silencioso, e ideal para implementação em lugares remotos, de difícil acesso.

A aposta de Portugal na tecnologia fotovoltaica é ganhadora e faz todo o sentido, na medida em que constitui um dos países da Europa que desfruta de uma das maiores taxas de exposição solar ao longo do ano. E por esse motivo, era de se esperar uma maior adesão a esta tecnologia. A sua evolução no sector fotovoltaico tem sido lenta quando comparada com outros países da Europa, como por exemplo a Alemanha, que mesmo não beneficiando de condições solares propícias, possui uma maior capacidade instalada. E para contornar estes baixos valores, Portugal deverá apontar para duas direções:

- As grandes centrais fotovoltaicas, que constitui uma produção centralizada, com os respetivos estudos de impactes ambientais associados;
- Sistemas de produção descentralizada, o autoconsumo, que admite uma menor dependência face à rede e menores oscilações de preços, aproveitando as coberturas de infraestruturas já existentes e não ocupando, desse modo, área natural, constituindo um bom investimento e de retorno garantido.

É necessário explorar a versatilidade e flexibilidade da tecnologia fotovoltaica, sendo ainda necessários avanços e melhorias que permitam reduzir os custos associados, sobretudo pela criação de sistemas de armazenamento economicamente viáveis, melhorando deste modo a viabilidade económica do investimento nesses sistemas, tendo em conta o tempo de vida útil médio de 25 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agreira, C. F. (2019). The Evolutions of Renewables Energies in Portugal. Obtido em 19 de novembro de 2019, de https://moodle2019.isec.pt/moodle/pluginfile.php/203118/mod_resource/content/1/PlantillaCEESP_aula%2012_Introducion.pdf
- Ambiente e Ação Climática_Portaria n.º 16/2020. (23 de janeiro de 2020). Obtido em 09 de Junho de 2020, de <https://dre.pt/application/conteudo/128415687>
- Andorka, F. (24 de Junho de 2013). Solar Power World. Obtido em 15 de Maio de 2020, de Increasing Your Array-To-Inverter Ratio Improves Solar Economics: <https://www.solarpowerworldonline.com/2013/06/supersize-it-oversize-your-array-to-inverter-ratio-to-improve-solar-system-performance/>
- Andres, A. (18 de Junho de 2015). Krannich Solar. Obtido em 14 de Outubro de 2020, de <http://pt.krannich-solar.eu/tag/injeccao-0/>
- APREN. (2020). Obtido de Produção: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- Australian Academy of Science. (2020). Obtido em 29 de Junho de 2020, de From sunlight to electricity: <https://www.science.org.au/curious/technology-future/solar-pv>
- BlueSol Energia solar. (23 de Fevereiro de 2017). Obtido em 24 de Março de 2020, de Célula Fotovoltaica: <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>
- BMC ENERGIA. (16 de Maio de 2020). Obtido de Off Grid: <http://www.bmcenergia.com.br/como-funcionam>
- Bordalo, A. (29 de Outubro de 2015). Coface for trade. Obtido de coface.pt/Noticias-e-Publicacoes/Noticias/O-futuro-da-energia-solar-na-Europa-energia-fotovoltaica
- Canal Solar. (2019). Obtido em 11 de Maio de 2020, de Entenda os inversores com múltiplos MPPT: <https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/129-inversores-com-multiplos-mppt>
- Carneiro, J. (2010). Eletromagnetismo B Módulos Fotovoltaicos Características e Associações. Tese do Mestrado Integrado em Engenharia Civil , Universidade do Minho. Obtido em 25 de Março de 2020, de http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%c3%bdulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%c3%a7%c3%b5es.pdf
- Chenche, L. E. (2019). Avaliação dos métodos de modelagem e parametrização de dispositivos fotovoltaicos mono e multi junção. Universidade Federal de Uberlândia. Obtido em 02 de Maio de 2020, de <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14984/1/AvaliacaoMetodosModelagem.pdf>

- CRESESB. (11 de Junho de 2008). Obtido em 24 de Março de 2020, de Energia Solar Fotovoltaica:
http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321
- Decreto-Lei n.º 162/2019. (25 de outubro de 2019). Obtido em 18 de novembro de 2019, de <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/125692189/details/normal?q=162%2F2019>
- DGEG. (2020). Obtido em 29 de Abril de 2020, de <https://www.dgeg.gov.pt/media/f2hj3rgb/dgeg-arr-2020-08.pdf>
- Dobr., L., Szcz., M., Szind., M., & Dryg., A. (2013). Electrical properties mono- and polycrystalline silicon solar cells. Obtido em 29 de Junho de 2020, de http://jamme.acmsse.h2.pl/papers_vol59_2/5922.pdf
- E. V. A. (28 de Abril de 2020). Obtido de Solar power_European Environment Agency: https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/solar-power_en
- Eldin, A. H., Refaey, M., & Farghly, A. (2015). A Review on Photovoltaic Solar Energy Technology and its Efficiency.
- Energia Solar. (26 de Setembro de 2019). Obtido em 07 de Março de 2020, de <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/painel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/celula-solar-de-pelricula-fina>
- Energia, P. (2004). Energia Fotovoltaica. Obtido em 28 de Abril de 2020, de <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>
- Energysage. (5 de Janeiro de 2019). Obtido em 07 de Março de 2020, de <https://news.energysage.com/thin-film-solar-panels-make-sense/>
- Europe, S. (2019). EU Market Outlook_For Solar Power/2019-2023. Bruxelas.
- Falcão, V. D. (2005). Fabricação de Células Solares de CdS/CdTe. Instituto Militar de Engenharia. Obtido em 02 de Maio de 2020, de http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/dissertacaofinal_viviennedenise.pdf
- Freire, F. (1 de Outubro de 2017). Sharenergy. Obtido em 25 de Março de 2020, de <https://sharenergy.com.br/como-funciona-celula-fotovoltaica/>
- Fronius. (17 de Maio de 2020). Obtido de Monitoring and Analysys With Fronius Solar.Web: <https://www.fronius.com/en/photovoltaics/expertise/monitoring-analysis>
- Fronius. (17 de Maio de 2020). Obtido de Fronius Datamanager 2.0: <https://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/system-monitoring/hardware/fronius-datamanager-2-0/fronius-datamanager-2-0>
- Fronius Solar.Web. (17 de Maio de 2020). Obtido de <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos/todos-os-produtos/solu%C3%A7%C3%B5es/solu%C3%A7%C3%B5es-de-servi%C3%A7o-da-fronius/fronius-solar-web/fronius-solar-web>

- Godinho, S. M. (2016). Sistemas para Autoconsumo. Relatório de Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Obtido em 16 de Abril de 2020, de https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/18612/3/Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio_Critical%20Kinetics.pdf
- Google maps. (2020). Obtido de [https://www.google.pt/maps/place/SunEnergy+\(Coimbra\)/@40.2353383,-8.4373214,131a,35y,39.51t/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd23a2a45397423b:0x285e8b481cf679d3!8m2!3d40.2364644!4d-8.437054](https://www.google.pt/maps/place/SunEnergy+(Coimbra)/@40.2353383,-8.4373214,131a,35y,39.51t/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd23a2a45397423b:0x285e8b481cf679d3!8m2!3d40.2364644!4d-8.437054)
- Google Maps. (28 de Junho de 2020). Obtido de <https://www.google.pt/maps/place/RODI+INDUSTRIES,+S.A./@40.6177096,-8.57687,628m/data=!3m1!1e3!4m12!1m6!3m5!1s0xd23a22183b01c85:0x74ef88aa8e2f77c4!2sRODI+INDUSTRIES,+S.A.!8m2!3d40.6175412!4d-8.5772406!3m4!1s0xd23a22183b01c85:0x74ef88aa8e2f77c4!8m2!3d40.61>
- Green, M. A., Emery, K., Igari, S., & Warta, W. (23 de Julho de 2004). Solar cell efficiency tables (version 24). Obtido em 29 de Junho de 2020, de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pip.574>
- Haluche, J. (20 de Março de 2019). Perícia Elétrica. Obtido em 15 de Maio de 2020, de Energia Fotovoltaica_Fator dimensionamento do inversor: <https://www.periciaelettrica.com.br/energia-solar-fotovoltaica-fator-de-dimensionamento-do-inversor-fdi/>
- Herrero, R. (2016). Pos. Efic. de PV em plantas sol. no amb. urb. Obtido em 16 de Abril de 2020
- Imeon Energy. (15 de Maio de 2020). Obtido de Solar Inverter: <https://imeon-energy.co.uk/solar-inverter/>
- IRENA. (2020). Obtido em 1 de Maio de 2020, de Solar Energy: <https://www.irena.org/solar>
- IRENA. (2020). Obtido em 17 de Março de 2019, de Solar Energy: <https://www.irena.org/solar>
- Jesus, F. (28 de Agosto de 2020). PortalEnergia Energias Renováveis. Obtido em 30 de Setembro de 30, de <https://www.portal-energia.com/paineis-solares-mais-eficientes/>
- Kisoltec . (7 de Março de 2019). Obtido de <https://blog.kisoltec.com.br/veja-como-a-energia-solar-na-europa-e-exemplo-para-todos/>
- Lopes, L. A. (2018). Plano de racionalização energética – Instalações da ATRPT. Dissertação do Mestrado em Engenharia electrotécnica, electrónica e informática, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em 09 de Abril de 2020, de https://sigarra.up.pt/fbaup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=257706
- Luque, A., & Hegedus, S. (2003). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Obtido em 11 de Maio de 2020, de <https://kashanu.ac.ir/Files/Content/Handbook.pdf>
- Machado, C. (2002). Estudo de Sistemas Fotovoltaicos de Pequeno Porte. Universidade de Brasília. Obtido em 14 de Abril de 2020, de http://bdm.unb.br/bitstream/10483/811/1/2002_CarolinaMachado.pdf

- Magnus commodities. (31 de Maio de 2017). Obtido em 30 de Março de 2019, de Go Solar Portugal: Sistemas de Autoconsumo: <https://www.magnuscmd.com/pt-pt/go-solar-portugal-sistemas-de-autoconsumo/>
- Malhotra, P. (30 de Maio de 2019). Sun In City. Obtido em 29 de Junho de 2020, de Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cell: <https://sunincity.blogspot.com/2019/05/cadmium-telluride-cdte-solar-cell.html>
- Marsh, J. (12 de Dezembro de 2018). Energysage. Obtido em 08 de Março de 2020, de Half-cut solar cells: an overview: <https://news.energysage.com/half-cut-solar-cells-overview/>
- Marsh, J. (4 de Novembro de 2018). Energysage. Obtido em 08 de Março de 2020, de PERC solar cells: an overview: <https://news.energysage.com/perc-solar-cells-overview/>
- Merck_Organic Photovoltaics. (2020). Obtido em 07 de Março de 2020, de <https://www.sigmaaldrich.com/materials-science/organic-electronics/opv-tutorial.html>
- Meyer Burger. (2020). Obtido em 07 de Março de 2020, de Heterojunction: <https://www.meyerburger.com/en/technology-products/photovoltaics/heterojunction-hjt/>
- Moreira, F. M. (2016). Sistemas Fotovoltaicos. Relatório Curricular de estágio referente ao Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Obtido em 16 de Abril de 2020, de <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/18617?locale=en>
- Mun, H., & Kim, M. (2015). Obtido em 30 de Março de 2020, de <https://patentimages.storage.googleapis.com/58/9c/a2/072a53c6ff61ec/US9000714.pdf>
- Neto, M. R. (2018). Dimensionamento e Supervisão de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Obtido em 11 de Maio de 2020, de http://www.cear.ufpb.br/arquivos/Relat%C3%B3rio_de_Est%C3%A1gio_-_Milton_Ribeiro_da_C._Neto_-_Vers%C3%A3o_Final.pdf
- Neville, R. C. (1995). Polycrystalline and Amorphous Solar Cells. Obtido em 07 de Março de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polycrystalline-silicon>
- Noct. Consult. em Amb. (2019). Obtido em 07 de Março de 2020, de Células Fotovoltaicas Orgânicas: <https://noctula.pt/celulas-fotovoltaicas-organicas-novas-inovacoes-solares/>
- Núcleo ATS. (2019). Obtido em 05 de Abril de 2020, de Projeto fotovoltaico: <https://nucleoats.ind.br/sistema-fotovoltaico-2/>
- Pickerel, K. (4 de Novembro de 2019). Solar Power World. Obtido em 07 de Março de 2020, de O que são painéis solares com tecnologia de heterojunção (HJT)?: <https://www.solarpowerworldonline.com/2019/11/what-are-heterojunction-technology-hjt-solar-panels/>
- Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos. Obtido em 16 de Abril de 2020, de <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>

- PNEC 2030. (28 de Janeiro de 2019). Obtido em 19 de novembro de 2019, de <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=0eada7c4-4f17-4d13-a879-6700f302b7e0>
- Portal Solar. (2018). Obtido em 26 de Março de 2020, de Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar: <https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>
- Portal Solar. (2020). Obtido de <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar.html#desvantagens>
- Poupa Energia. (18 de Maio de 2020). Obtido de Instalação de Fotovoltaico: <https://poupaenergia.pt/dicas/instalacao-de-fotovoltaico/>
- Rabaça, S. A. (2014). Comparação técnico-económica entre Sistemas com Inversores Centrais e Sistemas com Inversores String. Relatório Final de Estágio Profissional para obtenção do Grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança. Obtido em 15 de Junho de 2020, de <https://docplayer.com.br/9913461-Comparacao-tecnico-economica-entre-sistemas-com-inversores-centrais-e-sistemas-com-inversores-string.html>
- Reis, P. (5 de Janeiro de 2017). Portal Energia_Energia Renováveis. Obtido de <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>
- Rodrigues, S. I. (2015). Avaliação da Aptidão Territorial Para a Instalação de centrais Fotovoltaicas: uma proposta de modelo aplicado ao Concelho de Ourique. Obtido de <https://run.unl.pt/bitstream/10362/18417/1/TSIG0110.pdf>
- Sol e Energia. (6 de Maio de 2018). Obtido em 11 de Maio de 2020, de Inversor Solar Fotovoltaico: <https://soleenergias.com.br/inversor-solar-fotovoltaico/>
- Solar Choice. (6 de Fevereiro de 2017). Obtido em 14 de Maio de 2020, de Sizing inverters to optimise solar panel system efficiency: <https://www.solarchoice.net.au/blog/optimizing-solar-panel-system-efficiency-through-inverter-sizing/>
- SOLARGIS. (2020). Obtido em 29 de Abril de 2020, de <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/portugal>
- Solarize. (2020). O software fotovoltaico PV*SOL. Obtido em 19 de novembro de 2019, de <https://www.solarize.com.br/software-pv-sol>
- SolarWeb, P. (2019). Obtido em 15 de Junho de 2020, de <https://www.solarweb.com/Chart/Chart?pvSystemId=dd5ae002-680c-431a-8fc5-8c026a879fea#>
- SolaXPower. (18 de Maio de 2020). SolaXPower. Obtido de System monitoring: <https://www.solaxpower.com/system-monitoring/#>
- Solenergy System Inc. (2020). Obtido em 29 de Junho de 2020, de Edmond Becquerel: The man behind solar panels : <https://solenergy.com.ph/solar-panel-philippines-edmond-becquerel/>

- Solmetric. (2011). Guide To Interpreting I-V Curve Measurements of PV Arrays. Obtido em 14 de Abril de 2020, de <http://resources.solmetric.com/get/Guide%20to%20Interpreting%20I-V%20Curves.pdf>
- Solsticio energia. (22 de Maio de 2017). Obtido de <https://www.solsticioenergia.com/2017/05/22/energia-solar-termica-e-fotovoltaica/>
- Souza, J. P. (30 de Junho de 2019). Canal Solar. Obtido em 15 de Maio de 2020, de Oversizing e clipping nos sistemas fotovoltaicos: <https://www.canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/118-oversizing-e-clipping-nos-sistemas-fotovoltaicos>
- SunEnergy. (2020). Obtido em 21 de Junho de 2020, de <https://www.sunenergy.pt/contactos/>
- Svarc, J. (20 de Outubro de 2019). Clean Energy Reviews. Obtido em 29 de Junho de 2020, de Solar Panel Construction: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- Técnica Viçosa_Energia Solar. (2015). Obtido em 09 de Julho de 2020, de <http://tecnicavicosa.pt/energiasolar.html>
- The Solar Design Company. (2020). Obtido em 21 de novembro de 2019, de Programas: <https://www.solar design.co.uk/pvsol-premium.php>
- Thoubboron, K. (9 de Outubro de 2019). Energysage. Obtido em 16 de Maio de 2020, de Hybrid inverters: what you need to know: <https://news.energysage.com/hybrid-inverters-what-you-need-to-know/>
- totalCAD. (2019). Obtido em 21 de 11 de 2019, de Sketchup pro 2019: <https://totalcad.com.br/sketchup/>
- Vallêra, A. M., & Brito, M. (2006). Meio século de história fotovoltaica. Obtido em 29 de Fevereiro de 2020, de <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>
- Vaz, J. M. (2017). Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade de Lisboa. Obtido em 16 de Abril de 2020, de https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/15117/1/Tese_Vers%C3%A3oFinal-Jo%C3%A3o%20Vaz.pdf
- Vieira, A. L. (2012). Procurement de Sistemas Fotovoltaicos. FEUP. Obtido em 16 de Abril de 2020, de https://paginas.fe.up.pt/~ee07362/Rural_Electrification/Documentos_files/Capi.pdf

A. Anexo A - Listagem de entidades inspetoras de instalações Elétricas (EIIEEL)

Tabela A.1 - Listagem de entidades inspetoras de instalações Elétricas (EIIEEL)

n.º ref	Entidades Inspetora de instalações elétricas (EIIEEL)			
	Nome Entidade	Morada sede	Código Postal	Telefone
Ec2.4./1	<i>Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ)</i>	<i>Av. prof. Dr. Cavaco Silva n.º 33 (TagusPark)</i>	<i>2780-994 OEIRAS</i>	<i>214228100</i>
Ec2.4./2	<i>Laboratório Industrial e da Qualidade (LIQ)</i>	<i>Zona Industrial Norte, Rua do Portinho nº1431</i>	<i>3750-320 ÁGUEDA</i>	<i>234612770</i>
Ec2.4./3	<i>Instituto Eletrotécnico Português (IEP)</i>	<i>Rua São Gens, 3717</i>	<i>4460-817 CUSTÓIAS</i>	<i>229570000</i>
Ec2.4./5	<i>Tabeladiscovers unipessoal, Lda.</i>	<i>Avenida 5 de outubro, 21 A</i>	<i>8000-077 FARO</i>	<i>289821900</i>

B. Anexo B – Datasheet Fronius Datamanager 2.0

/ Perfect Welding / **Solar Energy** / Perfect Charging


FRONIUS DATAMANAGER 2.0

/ The integrated wireless datalogger for all applications




/ The Fronius Datamanager is the communications networking centre of Fronius inverters. When the card is connected to the Internet through a LAN or wireless connection, the Fronius Datamanager sends PV system data directly to the Fronius Solarweb monitoring portal. This gives you an overview of how your system is operating at all times. Both the PV system and the Datamanager configuration are monitored by the dedicated web server built into the Fronius Datamanager. Several integrated interfaces, including Modbus RTU SunSpec, Modbus TCP SunSpec and Fronius Solar API (JSON, for actual values), allow Fronius inverters to be seamlessly incorporated into third-party systems and monitored in parallel with Fronius Solarweb.

FRONIUS DATAMANAGER 2.0 AND FRONIUS DATAMANAGER BOX 2.0

TECHNICAL DATA	DATAMANAGER 2.0	DATAMANAGER BOX 2.0
Storage capacity	max. 4096 days	
Supply voltage	12 V DC <i>Power supplied by inverter</i>	12 V DC <i>Power is supplied by the Fronius SolarNet ring or an external plug-in power supply (not included in the scope of supply)</i>
Energy consumption	~ 2.0 W	
Protection class	IP 20	
Dimensions	132 x 120 x 22 mm	190 x 124 x 50 mm
Operating temperature range	-20 to 60°C	

INTERFACES	DATAMANAGER 2.0	DATAMANAGER BOX 2.0
Ethernet (RJ45 socket)	LAN, 10/100 Mbps / Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
RS422 (RJ45 socket)	Fronius SolarNet IN	
RS422 (RJ45 socket)	N/A	Fronius SolarNet OUT
WLAN	Wireless standard IEEE 802.11 b/g/n / Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
8 digital inputs	Interface to ripple control systems	
4 digital inputs/outputs	Interface to ripple control systems, load management	
RS485 (*)	Modbus RTU SunSpec or master connection	

(*) This applies to all Fronius inverters (except the Fronius Symo Hybrid).

THE ADVANTAGES AT A GLANCE

- / Professional monitoring and data presentation with the cloud-based platform, Fronius Solarweb.
- / Easy installation with the commissioning wizard, installers can wirelessly connect to the Fronius Datamanager using their laptop/ smart device to easily configure monitoring and register the PV system on Fronius Solarweb.
- / Straightforward support as the Fronius Datamanager directly connects the inverter to Fronius Solarweb.



/ Fronius Datamanager Box 2.0

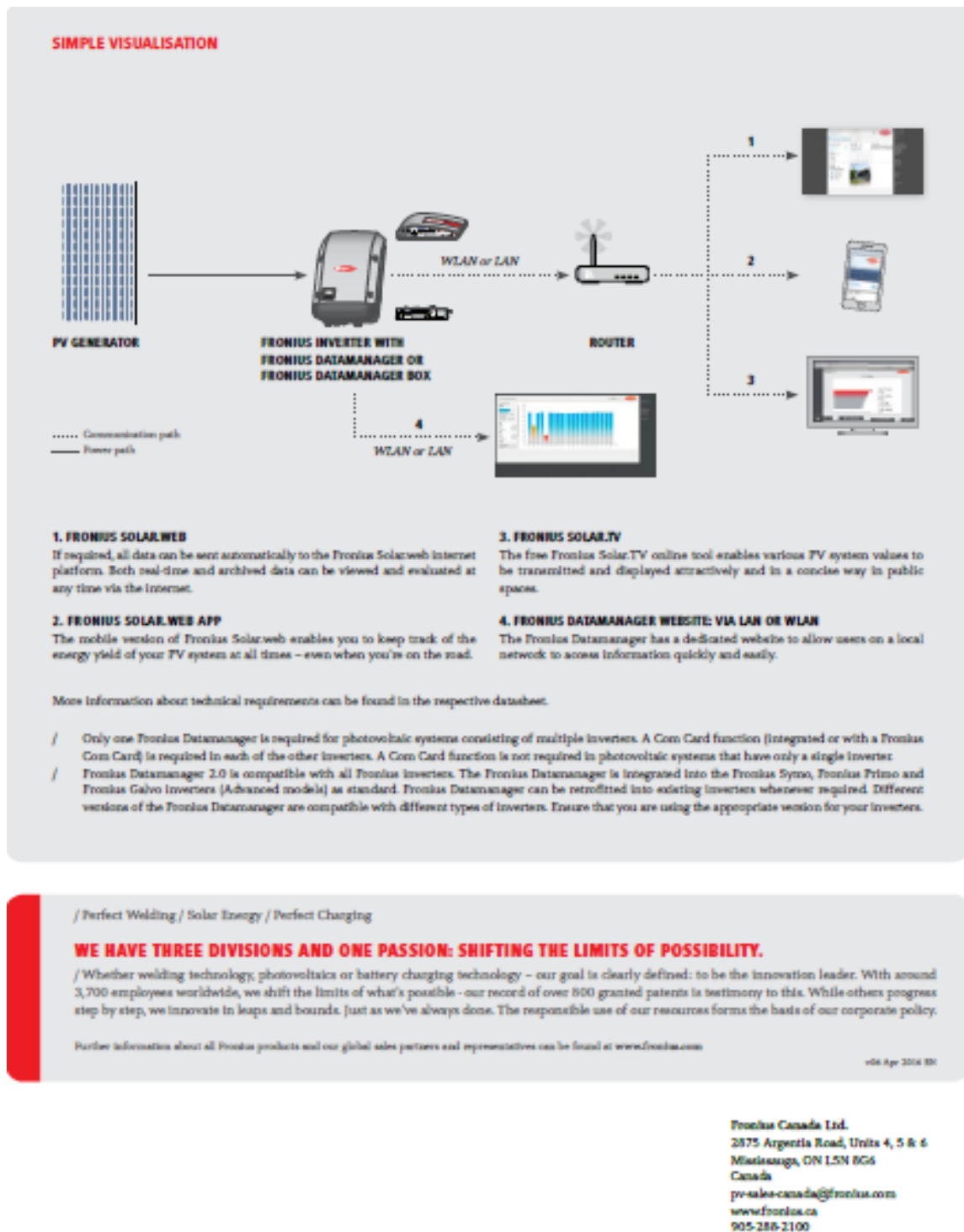


Figura B.1 - Datasheet Fronius Datamanager 2.0

C. Anexo C - Datasheet do ITRON SL7000



SL7000

Medidor Multifunção SMART™

O SL7000 incorpora em um único medidor todas as funções de medida e tarifação exigidas para a medição em clientes comerciais como em clientes industriais.

MEDIDOR DE ENERGIA PARA CLIENTES COMERCIAIS E INDUSTRIAIS

As funções do registrador de perfis de carga são programáveis. O equipamento permite a comunicação local ou remota, atingindo por ambos os meios a atualização da programação.

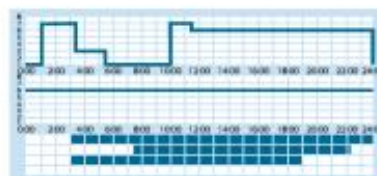
O SL7000 se alimenta dos próprios circuitos de medida de tensão ou da entrada de alimentação auxiliar, quando presente. Possui ampla faixa de medição, o que facilita a utilização do mesmo equipamento numa grande diversidade de instalações.

A possibilidade de adição de consumos de outros equipamentos e a disposição de entrada de pulsos são funções de grande utilidade que na maioria das aplicações permitem a eliminação dos concentradores externos.

APLICAÇÕES CLÁSSICAS DE MEDIÇÃO: CLIENTES POR TARIFA

A grande capacidade de configuração de SL7000 permite programar todas as estruturas tarifárias contempladas pelas normas vigentes incluindo medição de UFER e DMCR para clientes THS.

- » Clientes livres
- » Clientes Cativos Grupo A
- » Medição de fronteiras, atendendo a CCEE/ONS
- » Atende a resolução 163 Eletrobrás para medição de óleo



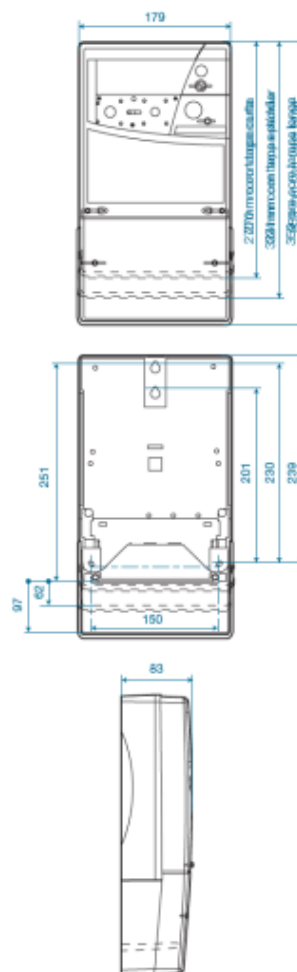
- » Tarifação

Dados Técnicos

Valores	Tensão:	- 3x57,1/100V até 3x240/415V auto-range - Fonte de alimentação auxiliar (opcional)
	Corrente - Conexão CT:	- In 1A/2,5A/5A, I _{max} 10A
Tipo de Conexão	Conexão em transformadores:	- Disponíveis em 3 e 4 fios
Precisão	Conexão em transformador:	- Classe D, C ou B
	Conexão direta:	- Classe B
Frequência	50Hz/60Hz	
Faixa de Temperatura	-40° até +85°C	
Padrões	Adequação com as normas IEC 61036, IEC 60867 e padrões de marcação CE (metrológicos, elétricos, eletromecânicos, mecânicos, climáticos) INMETRO RTM 431 2007	
Comunicações	Porta ótica (IEC 61107), opcionalmente RS232C e/ou RS485 Protocolo DLMS-COSEN (IEC 62056) Saída de usuário ABNT 14522	
Portaria de Aprovação	INMETRO/DIMEL 299/2007	

Acessórios

Comunicação	- Modem telefónico, GSM/GPRS, conversor Ethernet auto-alimentados e abrigados sob a tampa do bloco de terminais - Compatibilidade com RF Mesh e Remotas - Cabeamento de conexão para equipamentos externo de comunicação - Porta ótica de comunicações para conexão ao PC
Configuração	- Software do usuário para supervisão do consumo - Software de configuração para empresas elétricas
Documentação	- Certificado de Teste - Manual do Usuário - Manual de Instalação
Tampa	- Curta - Padrão - Longa

Dimensões (mm)


A Itron possui sistema de gestão da qualidade certificado e em conformidade com a NBR ISO 9001:2008.

Suporte Técnico

E-mail: suportebr.tecnico@itron.com
Fone: +55 19 3757 1311



Nossa empresa é líder mundial em soluções inteligentes de medição, coleta de dados e sistemas de gestão de dados, mais de 8.000 concessionárias em todo o mundo contam com nossa tecnologia para otimizar a entrega e o uso de energia e água.

Para tornar seu futuro mais inteligente, comece aqui: www.itron.com

Para mais informações por favor contate:

ITRON SOLUÇÕES PARA ENERGIA E ÁGUA LTDA.

Av. Joaquim Boer, 792
Americana/SP
CEP: 13477-360

Tel: +55 (19) 3471.8400
Fax: +55 (19) 3471.8410

A Itron se esforça para que o conteúdo de seus materiais de marketing sejam oportunos e precisos. A Itron não faz promessas ou garante a exatidão, integridade, a adequação, e expressamente renuncia a toda responsabilidade por erros e omissões nos materiais. Nenhuma garantia de qualquer espécie, implícita, expressa ou estatutária, incluindo, mas sem limitação, as garantias de não violação de direitos de terceiros, titularidade, comerciabilidade e adequação a um fim específico, é concedida em relação ao conteúdo desses materiais de marketing. © Copyright 2016, Itron. Todos os direitos reservados. EL0019.1-BR-04-16

Figura C.1 - Datasheet do ITRON SL7000

D. Anexo D – Datasheet Canadian Solar HIKU CS3K-400P







HiKu

SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE

395 W ~ 415 W

CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415P

MORE POWER

-  24 % more power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost
-  Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.37 % / °C
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Cell crack risk limited in small region, enhance the module reliability
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa

25 years linear power output warranty*

10 years product warranty on materials and workmanship*

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / KS
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
UL 1703: CSA / Take-e-way







* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

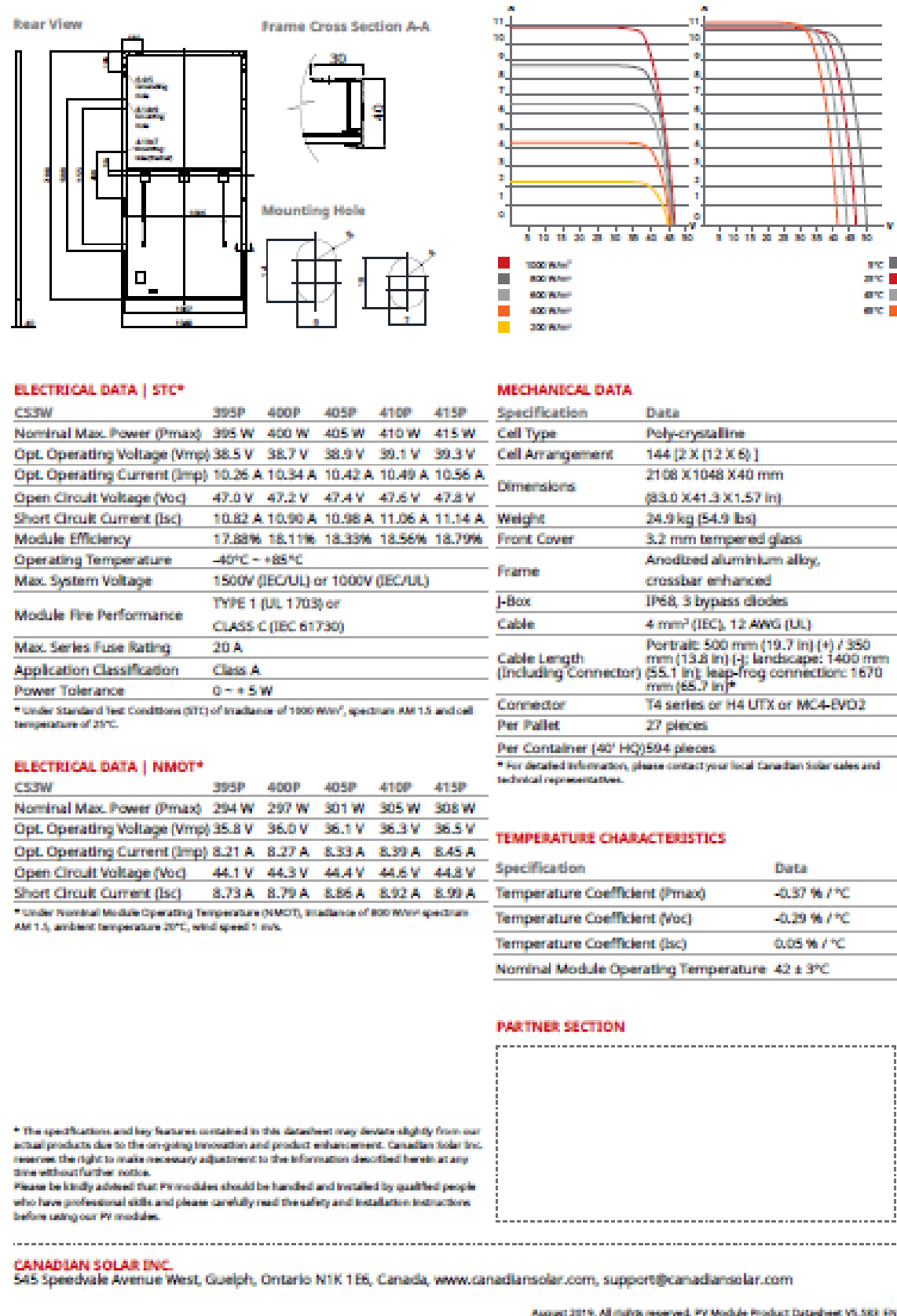


Figura D.1 - Datasheet Canadian Solar HIKU CS3K-400P

E. Anexo E – Inversor ABB modelo PVS - 100 -TL



SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

PVS-100/120-TL



PVS-100/120-TL
three-phase outdoor
string inverter

The PVS-100/120-TL is ABB's cloud connected three-phase string solution for cost efficient decentralized photovoltaic systems for both ground mounted and large commercial applications.

This platform, for extreme high power string inverters with power ratings up to 120 kW, maximizes the ROI for decentralized ground mounted and large rooftop applications. With six MPPT energy harvesting is optimized even in shading situations.

Extreme power with high integration level

The extreme high power module up to 120 kW saves installation resources as less units are required. Due to its compact size further savings are generated in logistics and in maintenance. Thanks to the integrated DC/AC disconnection, 24 string connections, fuses and surge protection no additional boxes are required.

Ease of installation

The horizontal and vertical mounting possibility creates flexibility for both ground mounted and rooftop installations. Covers are equipped with hinges and locks that are fast to open and reduce the risk of damaging the chassis and interior components when commissioning and performing maintenance actions.

Standard wireless access from any mobile device makes the configuration of inverter and plant easier and faster. Improved user experience thanks to a build in User Interface (UI) enables access to advanced inverter configuration settings.

The installer mobile APP, available for Android/iOS devices, further simplifies multi-inverter installations.

The design supports both copper and aluminum

cabling even up to 185 mm² cross section to minimize the energy losses.

Fast system integration

Industry standard Modbus/SUNSPEC protocol enables fast system integration. Two ethernet ports enable fast and future proof communication for PV plants.

ABB plant portfolio integration

Monitoring your assets is made easy as every inverter is capable to connect to ABB plant portfolio manager to secure your assets and profitability in long term.

Design flexibility and shade tolerance

The double stage conversion topology and six MPPT guarantee maximum flexibility for the system design on rooftops or hilly ground. With this technological choice energy harvesting is optimized even in shading situations.

Highlights

- 6 independent MPPT
- Transformerless Inverter
- 120 kW for 480 Vac and 100 kW for 400 Vac
- Wi-Fi as standard for configuration
- Two ethernet ports for plant level communication
- Large set of specific grid codes available which can be selected directly in the field
- Double stage topology for a wide input range
- Both vertical and horizontal installation
- Separate wiring compartment for fast swap and replacement
- IP66 Environmental protection
- Maximum efficiency up to 98.9%

PRODUCT FLYER FOR PVS-100/120-TL ABB SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

PVS-100/120-TL

100 to 120 kW

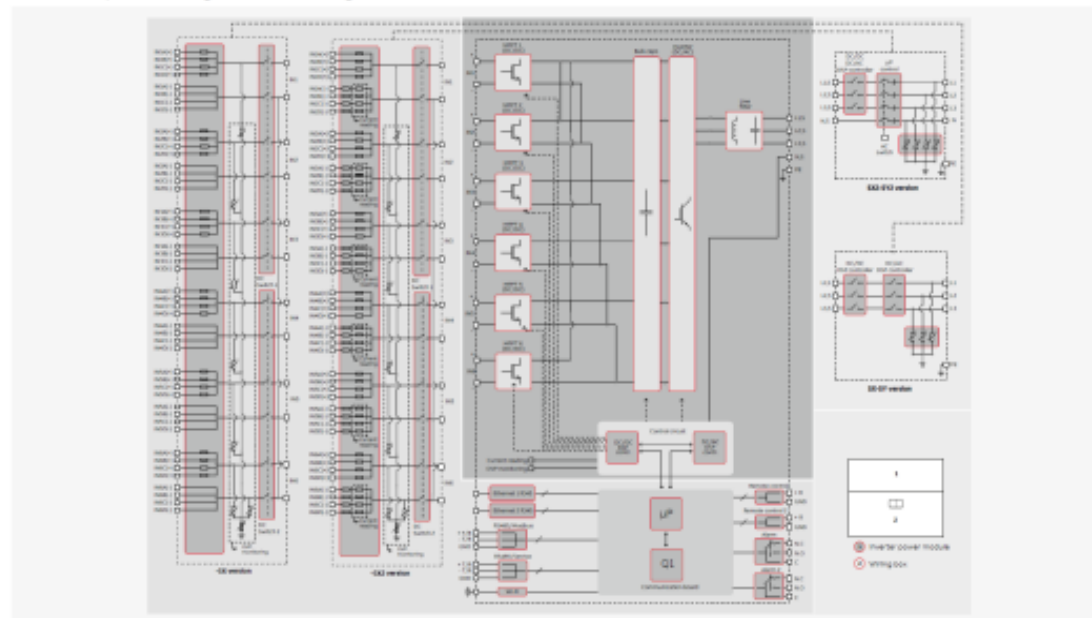


Technical data and types

Type code	PVS-100-TL	PVS-120-TL
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000V	
Start-up DC input voltage (V_{start})	420V (400...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{dcmin}...V_{dcmax}$)	360...1000 V	
Rated DC input voltage (V_{dc})	620V	720V
Rated DC input power (P_{dc})	102 000W	123 000W
Number of independent MPPT	6	
MPPT input DC voltage range at ($V_{MPPTmin}...V_{MPPTmax}$) at P_{ac}	480...850V	570...850V
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPT,max}$)	17500 W [480V≤ V_{MPPT} ≤850V]	20500 W [570V≤ V_{MPPT} ≤850V]
Maximum DC input current for each MPPT (I_{dcmax})	36 A	
Maximum input short circuit current (I_{scmax}) for each MPPT	50 A ¹⁾	
Number of DC input pairs for each MPPT	4	
DC connection type	PV quick fit connector ²⁾	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - replaceable surge arrester	Type II with monitoring only for SX and SX2 versions; Type I+II with monitoring only for SY and SY2 versions	
Photovoltaic array isolation control	as per IEC62109	
DC switch rating for each MPPT	50 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V ³⁾	
String current monitoring	SX2, SY2: (24ch) Individual string current monitoring; SX, SY: (6ch) Input current monitoring per MPPT	
Output side		
AC Grid connection type	Three phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power (P_{ac} @ $\cos\phi=1$)	100 000 W	120 000 W
Maximum AC output power (P_{acmax} @ $\cos\phi=1$)	100 000 W	120 000 W
Maximum apparent power (S_{max})	100 000 VA	120 000 VA
Rated AC grid voltage ($V_{ac,r}$)	400 V	480 V
AC voltage range	320...480 V ⁴⁾	384...576 ³⁾
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	145 A	
Rated output frequency (f_r)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	45...55 Hz / 55...65 Hz ⁵⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, 0...1 inductive/capacitive with maximum S_{max}	
Total current harmonic distortion	< 3%	
Maximum AC cable	185mm ² Aluminum and copper	
AC connection type	Provided bar for lug connections M10, single core cable glands 4xM40 and M25, multi core cable gland M63 as option	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	225 A	
Output overvoltage protection - replaceable surge protection device	Type 2 with monitoring	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.4%	98.9%
Weighted efficiency (EURO)	98.2%	98.6%
Communication		
Embedded communication interfaces	1x RS485, 2x Ethernet (RJ45), WLAN (IEEE802.11 b/g/n @ 2,4 GHz)	
User interface	4 LEDs, Web User Interface	
Communication protocol	Modbus RTU/TCP (Sunspec compliant)	
Commissioning tool	Web User Interface, Mobile APP/APP for plant level	
Remote monitoring services	Aurora Vision [®] monitoring portal	
Advanced features	Embedded logging, direct telemetry data transferring to ABB cloud	
Environmental		
Ambient temperature range	-25...+60°C /-13...140°F with derating above 40°C / 104 °F	

PRODUCT FLYER FOR PVS-100/120-TL ABB SOLAR INVERTERS

ABB PVS-100/120-TL string inverter block diagram



Technical data and types

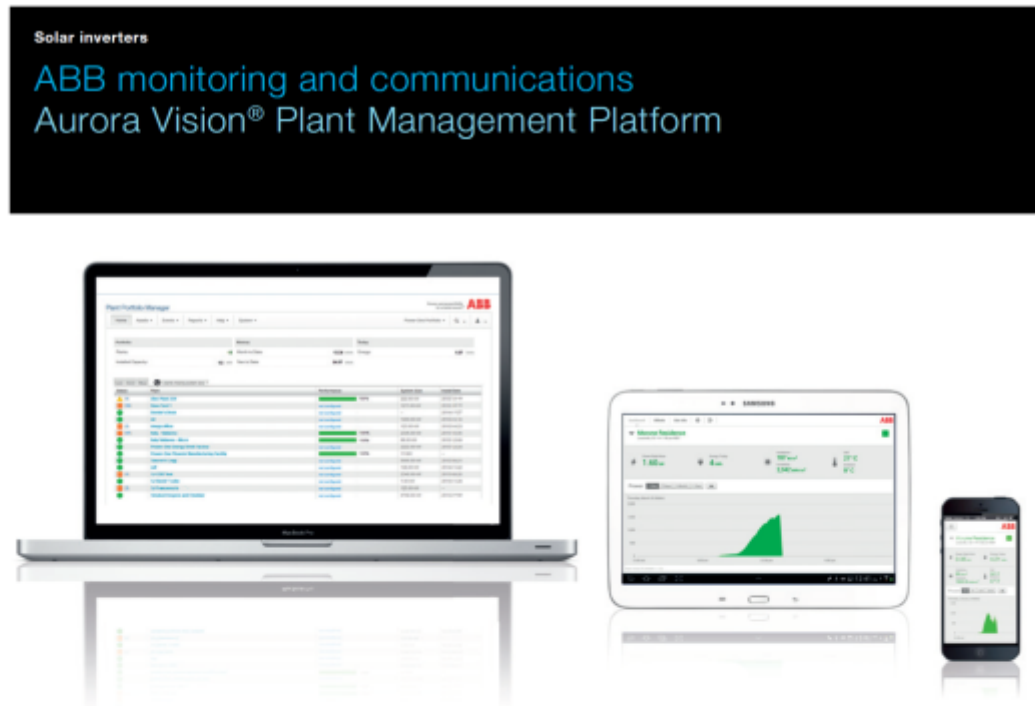
Type code	PVS-100-TL		PVS-120-TL
Relative humidity	4%...100% condensing		
Sound pressure level, typical	68dB(A) @ 1m		
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft		
Physical			
Environmental protection rating	IP 66 (IP54 for cooling section)		
Cooling	Forced air		
Dimension (H x W x D)	869x1086x419 mm / 34.2" x 42.8" x 16.5"		
Weight	70kg / 154 lbs for power module ; ~55kg / 121 lbs for wiring box Overall max 125 kg / 276 lbs		
Mounting system	Mounting bracket vertical & horizontal support		
Safety			
Isolation level	Transformerless		
Marking & EMC	CE conformity according to LV and EMC directives		
Safety	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2		
Grid standard (check your sales channel for availability)	CEI 0-16, CEI 0-21, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, JORDAN IRR-DCC-MV, AS/ NZS4777.2, VDE-AR-N 4105, VDE V 0-126-1-1, VFR 2014, Belg C10-C11, UK59/3, P.O. 12.3, ITC-BT-40, EN50438 Generic *Ireland, CLC-TS 50549-1/2		
Available products variants			
Inverter power module	PVS-100-TL-POWERMODULE-400		PVS-120-TL-POWERMODULE-480
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (both positive and negative pole) + DC disconnect switches + AC disconnect switch + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II) + individual string monitoring (24 ch.)	WB-SX2-PVS-100-TL		WB-SX2-PVS-120-TL
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (positive pole) + DC disconnect switches + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II) + MPPT level input current monitoring (6 ch.)	WB-SX-PVS-100-TL		WB-SX-PVS-120-TL
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (positive pole) + DC disconnect switches + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II for AC and Type I+II for DC) + MPPT level input current monitoring (6 ch.)	WB-SY-PVS-100-TL		WB-SY-PVS-120-TL
Input with 24 quick fit connectors pairs + String fuses (both positive and negative pole) + DC disconnect switches + AC disconnect switch + AC and DC overvoltage surge arresters (Type II for AC and Type I+II for DC) + individual string monitoring (24 ch.)	WB-SY2-PVS-100-TL		WB-SY2-PVS-120-TL
Optional available			
Support for multi core AC cable M63 + M25 (PE)	AC output panel M63 for wiring box		
AC multicore cable gland plate	Supports M63 Ø 37...53mm + M25 Ø 10...17mm		

- 1) Maximum number of opening S under overloading
 2) Please refer to the document "String Inverters - Product manual appendix" available at www.abb.com/solarinverters for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter
 3) Maximum fuse size supported 20A. Additionally two strings input per MPPT supports

- 30A fuse size for connecting two strings per input.
 4) The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard
 5) Frequency range may vary depending on specific country grid standard
 Remark: Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

Figura E.1 - Inversor ABB modelo PVS - 100 -TL

F. Anexo F – Datasheet do Sistema de monitorização - Aurora Vision



Aurora Vision® Plant Management platform is an internet/cloud based products used to empower customer to monitor solar power plants using ABB inverters.

Aurora Vision provides multiple ways for solar power plant stakeholders to monitor and manage their solar power plants in a cost effective manner including:

- Plant Viewer: A simple browser based view for residential and commercial users to view energy production.
- Plant Viewer for Mobile: A mobile application to monitor energy production 'on the go' using IOS/Android smart phones and tablets.
- Plant Portfolio Manager: A browser based product used by operators and installers for monitoring and managing a portfolio of solar power plants.

- Aurora Vision API: A web based API used to read, insert and update information in a portfolio of solar power plants.

All Aurora Vision products are fully integrated to work together to give stakeholders the information they need, the way they need it.

Free monitoring for ABB inverters with up to date warranties

All browser and mobile monitoring features are available for free for sites containing ABB inverters that are currently under warranty.

Future proof yourself to support the latest ABB inverter functionality

Rest assured that all your ABB inverter functionality will be available through Aurora Vision soon after the features are made available on your inverter.

Monitor your ABB inverter powered solar power plants the way you want

Aurora Vision users can share, with employees and business partners, the key tools needed to administer a solar power plant portfolio including:

- Administration of plant/device assets contained in a portfolio of solar power plants.
- Plant status view.
- Operational problems view including plant events and device alarms.
- Creation/access to custom and scheduled reports for key stakeholders such as customers and billing departments.

Power and productivity
for a better world™ **ABB**

Self Service tools for all your portfolio management needs

Aurora Vision Portfolio managers have all the tools needed to setup, install, operate and administer a portfolio of solar power plants including:

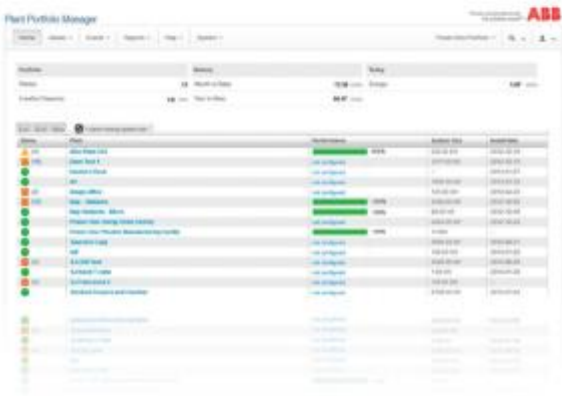
- Management of inverters, loggers, combiners, weather stations and sensors used in a solar power plant.
- Management of plant sites, customer accounts and user logins within a portfolio.
- Troubleshoot and reporting tools for solar power plants and devices in a portfolio.

Low cost portfolio management

Solar installers, operators and investors control or outsource as much or little of their installation and operation responsibilities as makes sense for their business by sharing Aurora Vision's tools with business partners. With Aurora Vision; solar installers, operators and investors can share the same remote diagnostic tools to collaboratively resolve solar power plant issues while simultaneously reducing the need for remote power plant visits.

Low cost residential monitoring setup

Aurora Vision provides homeowners with the option of setting up their own private monitoring system. This provides homeowners with the control they need to administer their home solar power system without any assistance from their solar power system installer.



Support and service

ABB supports its customers with dedicated, global service organization in more than 60 countries and strong regional and national technical partner networks providing complete range of life cycle services.

For more information please contact your local ABB representative or visit:

www.abb.com/solarinverters

www.abb.com

© Copyright 2014 ABB. All rights reserved. Specifications subject to change without notice.



Power and productivity
for a better world™ **ABB**

Figura F.1 - Datasheet do Sistema de monitorização - Aurora Vision

BCO/00-... EN 12/06/2014

G. Anexo G – Relatório PV*Sol *premium* do projeto RODI

Na Figura G.1, pode ser observada a disposição dos módulos numa das várias águas dos edifícios da RODI. Pode-se observar a informação relativa ao módulo, como a sua marca, e modelo, bem como a sua inclinação, área ocupada, tipo de montagem e orientação.

Rodi, S.A.

SunEnergy

Número da proposta: CBR_FV_19_185



Áreas do módulo

1. Área do módulo - Edifício 04-Água Noroeste

Gerador fotovoltaico, 1. Área do módulo - Edifício 04-Água Noroeste

Nome	Edifício 04-Água Noroeste
Módulos fotovoltaicos	204 x CS3W-400P_1000V
Fabricante	Canadian Solar Inc.
Inclinação	7 °
Orientação	Noroeste 328 °
Situação de montagem	Integrado no telhado - sem ventilação traseira
Área do gerador fotovoltaico	450,7 m ²

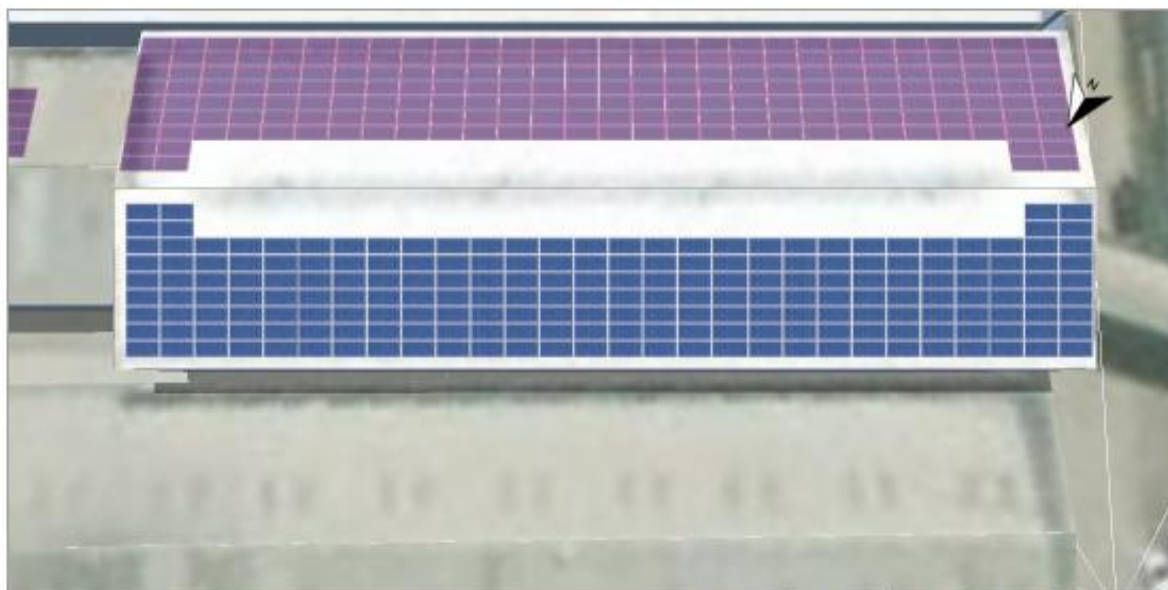


Figura: 1. Área do módulo - Edifício 04-Água Noroeste

Figura G.1 - Áreas do módulo fotovoltaico, elaborado em PV*SOL premium_Edifício 04_Água Noroeste

Verifica-se na Figura G.2 a informação relativa ao tipo de inversor escolhido, e a distribuição do número de módulos por *string*.

Configuração do inversor

Configuração 1

Áreas do módulo	Edifício 04-Água Noroeste + Edifício 04-Água Sudeste
Inversor 1	
Fabricante	ABB
Modelo	PVS-100-TL
Quantidade	1
Fator dimensionamento	122,4 %
Configuração	PMP 1: 3 x 17
	PMP 2: 3 x 17
	PMP 3: 3 x 17
	PMP 4: 3 x 17
	PMP 5: 3 x 17
	PMP 6: 3 x 17

Figura G.2 - Configuração do primeiro inversor

Na Figura G.3 verificam-se os principais resultados da simulação, onde se identifica a potência do sistema fotovoltaico, o desempenho do sistema, as perdas por sombreamento, e a energia produzida anualmente.

Resultados Sistema completo

Sistema fotovoltaico

Potência do gerador fotovoltaico	734,4 kWp
Rendimento anual específico	1.247,91 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	76,6 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	2,5 %/Ano
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	916.463 kWh/Ano
Limitação no ponto de injeção	0 kWh/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	549.878 kg/ano

Consumidores

Consumidores	3.461.250 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	2 kWh/Ano
Consumo total	3.461.252 kWh/Ano
Consumo da rede	2.544.788,3 kWh
Fração solar	26,5 %

Figura G.3 - Resultados do Sistema Completo

H. Anexo H – Esquema unifilar do sistema instalado na RODI

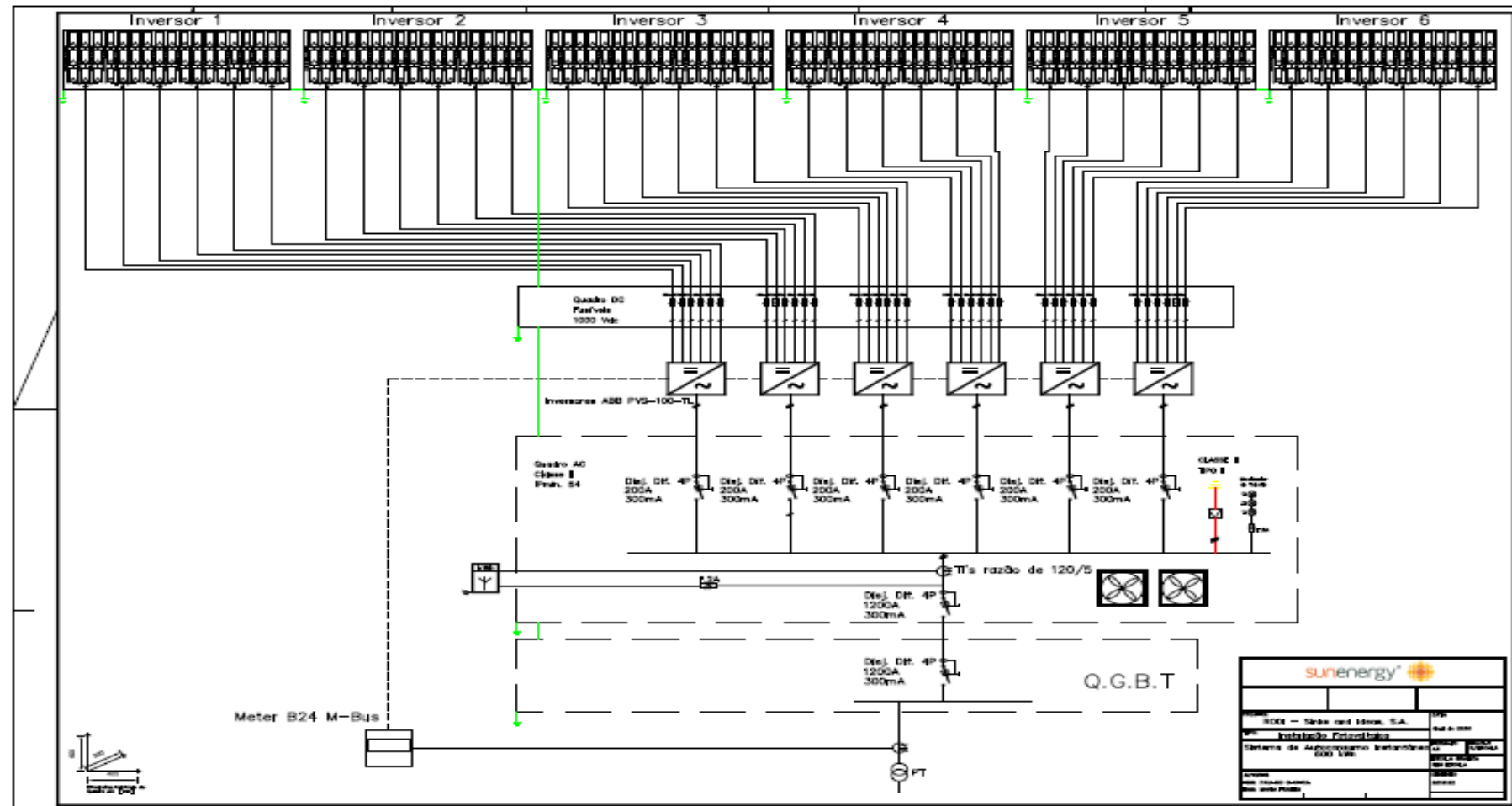


Figura H.1 - Esquema unifilar do sistema instalado na Rodi

I. Anexo I - Datasheet descarregador de sobretensões AC da marca OBO, modelo V20

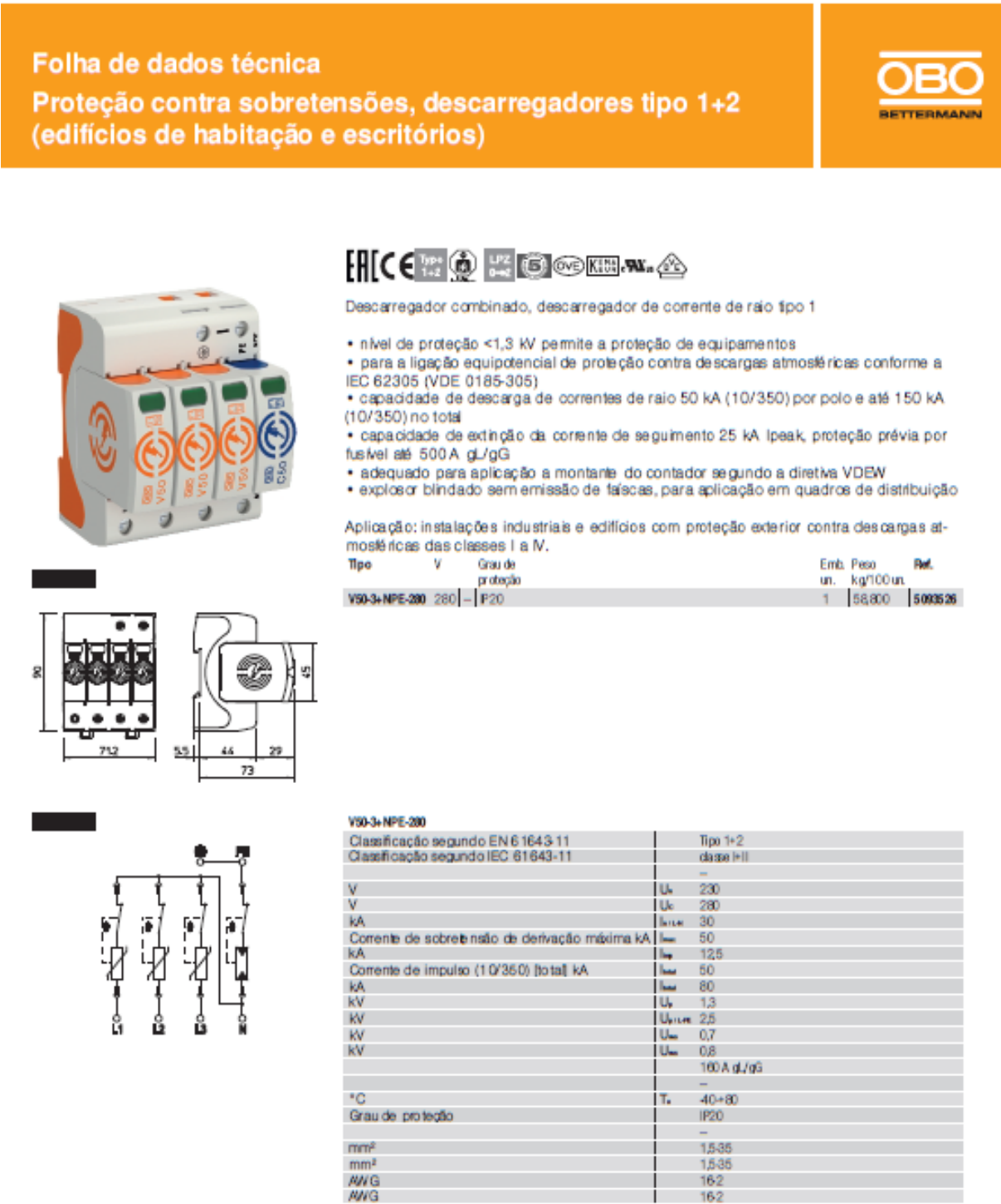


Figura I.1 - Datasheet descarregador de sobretensões AC da marca OBO, modelo V20

J. Anexo J – Datasheet Meter B24 M-Bus



PRODUCT-DETAILS

B24 113-100

Active Energy Class $\pm 1\%$ (or B for MID meters).;



Informações gerais

Extended Product Type	B24 113-100
Product ID	2CMA100179R1000
ABB Type Designation	B24 113-100
EAN	7392696001793
Catalog Description	Active Energy Class $\pm 1\%$ (or B for MID meters).;

Long Description

Advanced compact DIN-rail meter with an easy to read back lighted display. The meter is intended for use in the commercial or residential buildings etc. The meter can be used in 3 or 4 wire systems. The meter has several instrumentation values, 25 possible alarms and event logs. Three phase transformer connected for active energy. One output for pulses or alarm etc. M-Bus communication. Accuracy class 1.0 (or B for MID meters). The meters is IEC approved + MID approved and verified.

Ordering

E-Number (Sweden)	0900046
EAN	7392696001793
Minimum Order Quantity	1 piece
Customs Tariff Number	90283019

Dimensions

B24 113-100

Product Net Width	70 mm
Product Net Height	26.5 mm
Product Net Depth / Length	65 mm
Product Net Weight	0.27 kg

Container Information

Package Level 1 Units	1 piece
Package Level 1 Width	100 mm
Package Level 1 Height	68 mm
Package Level 1 Depth / Length	94 mm
Package Level 1 Gross Weight	0.34 kg
Package Level 1 EAN	7392696001793

Environmental

Ambient Air Temperature	Operation -40 ... +70 °C
RoHS Status	Following EU Directive 2002/95/EC August 18, 2005 and amendment

Additional Information

Accuracy	Active Energy Class $\pm 1\%$ (or B for MID meters).
Communication Interface	M-bus
Communication	M-Bus TP
Connecting Capacity Main Circuit	0.5 ... 10 mm ²
Current Rating	6 A
Degree of Protection	IP20
Enclosure Material	Plastic
Frequency (f)	50/60 Hz
Function	Electricity meter
Meter Type	Transformer connected
Mounting Type	DIN rail
Number of Phases	3
Product Main Type	B24
Product Name	Electricity Meter
Rated Current (I_n)	6 A
Rated Voltage (U_r)	(Un) N-L 230 ... 240 V (Un) L-L 380 ... 415 V
RoHS Date	2012-36
Standards	EN 50470-1
Sub-Function	Steel

Certificates and Declarations (Document Number)

B24 113-100

Data Sheet, Technical Information	2CMC485003M0201
Declaration of Conformity - CE	2CMC485002D0001
Environmental Information	2CMC485003D0001
Instructions and Manuals	2CMC485019M0201
RoHS Information	2CMC485007

Classifications

ETIM 4	EC001506 - Electronic kilowatt-hour meter
ETIM 5	EC001506 - Kilowatt-hour meter
ETIM 6	EC001506 - Kilowatt-hour meter
ETIM 7	EC001506 - Kilowatt-hour meter
Object Classification Code	P
WEEE Category	5. Small Equipment (No External Dimension More Than 50 cm)

Categorias

Produtos e Sistemas de Baixa Tensão → Produtos modulares para trilho DIN → Medidores de eletricidade para trilho DIN → Medidores de eletricidade



Figura J.1 - Datasheet Meter B24 M-Bus

K. Anexo K – Datasheet Jinko Solar modelo JKM280PP – 280 W

www.jinkosolar.com



JKM280PP-60-J4
260-280 Watt
 POLY CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0/+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001
 certified factory.
 IEC61215, IEC61730 certified products.



(4BB)



KEY FEATURES



- 

Aesthetic appearance due to a uniform, darkened module design, ideal for demanding architectural applications.
- 

With up to 280 Wp and 17,11 % efficiency, highest performing module of its kind on the market.
- 

Excellent performance in low-light environments.
- 

Extremely weather resistant due to approval for increased snow and wind loads: 5400 Pa snow load, 2400 Pa wind load.
- 

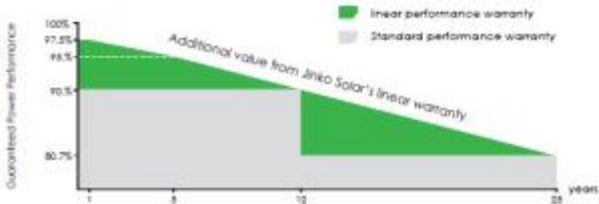
No power loss thanks to improved temperature co-efficient caused by 4 busbar solar cell.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty

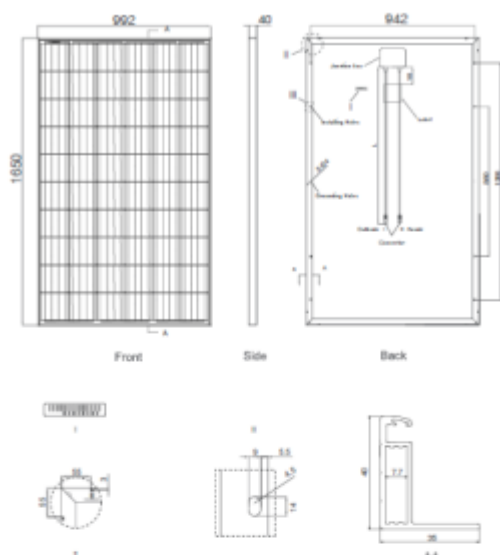




The graph illustrates the guaranteed power performance over a 25-year period. The y-axis represents 'Guaranteed Power Performance' from 80.7% to 100.5%. The x-axis represents 'years' from 1 to 25. The 'Standard performance warranty' (grey area) shows a linear decline from approximately 97.5% at year 1 to 80.7% at year 25. The 'Linear performance warranty' (green area) shows a steeper decline, maintaining higher performance over time, with an 'Additional value from Jinko Solar's linear warranty' highlighted between the two lines.

Engineering Drawings

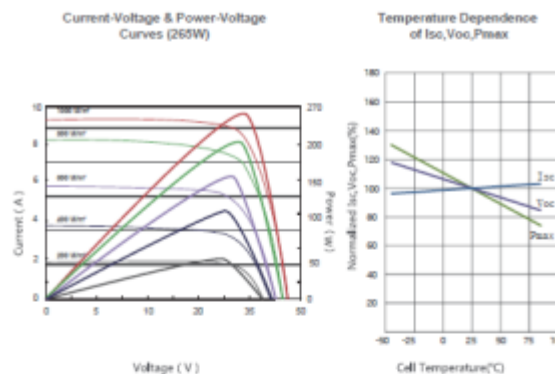


Packaging Configuration

(Two pallet=One stack)

25pcs/pallet, 50pcs/stack, 700 pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline	156×156mm (6 inch)
No. of cells		60 (6×10)
Dimensions		1650×992×40mm (65.00×39.05×1.57 inch)
Weight		18.5 kg (40.8 lbs)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	
Frame	Anodized Aluminium Alloy	
Junction Box	IP67 Rated	
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² , Length: 900mm	

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM260PP-J4		JKM265PP-J4		JKM270PP-J4		JKM275PP-J4		JKM280PP-J4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	260Wp	194Wp	265Wp	198Wp	270Wp	202Wp	275Wp	205Wp	280Wp	209Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.1V	28.3V	31.4V	28.7V	31.7V	29.0V	32.0V	29.3V	32.3V	29.6V
Maximum Power Current (Imp)	8.37A	6.84A	8.44A	6.91A	8.52A	6.97A	8.61A	7.00A	8.69A	7.06A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.1V	35.1V	38.6V	35.3V	38.8V	35.6V	39.1V	35.9V	39.4V	36.1V
Short-circuit Current (Isc)	8.98A	7.26A	9.03A	7.31A	9.09A	7.35A	9.15A	7.37A	9.20A	7.42A
Module Efficiency STC (%)	15.88%		16.19%		16.50%		16.80%		17.11%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.4%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.3%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-MKT-280PP-J4_v1.0_rev2016

Figura K.1 - Datasheet Jinko Solar modelo JKM280PP – 280 W

L. Anexo L - Datasheet inversor da marca Fronius Symo 10.0-3-M

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

FRONIUS SYMO

/ Máxima flexibilidade para as aplicações do futuro

Tecnologia StepInverter / Comunicação de dados integrada / Arquitetura SuperFits / Seguimento Inteligente MPPT / Smart Grid Ready

/ Com potências nominais entre 3,0 e 20,0 kW, o Fronius Symo é o inversor trifásico sem transformador para instalações de pequena produção e de autoconsumo, de pequena potência. Com uma arquitetura flexível, o Fronius Symo é perfeito para instalações em superfícies irregulares ou para telhados com várias orientações. A interface standard, o acesso à Internet por WLAN ou Ethernet e a facilidade de integração de componentes de outros fabricantes tornam o Fronius Symo um dos inversores com maior flexibilidade de comunicação do mercado. Adicionalmente, a interface Meter permite a gestão dinâmica da produção e uma visualização clara do consumo.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

DADOS DE ENTRADA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Corrente máxima de entrada ($I_{in\ max}$ / $I_{in\ max\ 2}$)	27,0 A / 16,5 A ¹⁾			33 A / 27 A	
Corrente total máxima de entrada DC ($I_{in\ max\ 1} + I_{in\ max\ 2}$)	43,5 A			51,0 A	
Corrente máx. de curto-circuito em série FV (MPP ₁ / MPP ₂)	40,5 A / 24,8 A			49,5 A / 40,5 A	
Tensão mínima de entrada ($U_{in\ min}$)			200 V		
Alimentação DC de arranque inicial ($U_{in\ arranque}$)			200 V		
Tensão de entrada nominal ($U_{in\ nom}$)			600 V		
Tensão de entrada máxima ($U_{in\ max}$)			1.000 V		
Intervalo de tensão do MPPT ($U_{mppt\ min} - U_{mppt\ max}$) ¹⁾	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Número de seguidores MPPT		2			
Número de entradas DC		3-3			
Potência máxima do gerador FV ($P_{in\ max}$)	15,0 kW _{peak}	18,8 kW _{peak}	22,5 kW _{peak}	26,3 kW _{peak}	30,0 kW _{peak}
DADOS DE SAÍDA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Potência nominal AC ($P_{AC\ nom}$)	10.000 W	12.500 W	15.000 W	17.500 W	20.000 W
Potência máxima de saída	10.000 VA	12.500 VA	15.000 VA	17.500 VA	20.000 VA
Corrente máxima de saída ($I_{out\ max}$)	14,4 A	18,0 A	21,7 A	25,3 A	28,9 A
Ligação à rede (gama de tensão)		3-NPE 400 V / 230 V ou 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)			
Frequência		50 Hz / 60 Hz			
Gama de frequências ($f_{min} - f_{max}$)		45 - 65 Hz			
Distorção harmónica	1,8 %	2,0 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %
Fator de potência (cos ϕ_{AC})		0 - 1 ind. / cap.			
DADOS GERAIS	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensões (altura x largura x profundidade)			725 x 510 x 225 mm		
Peso		34,8 kg		43,4 kg	
Tipo de proteção			IP 66		
Classe de proteção			3		
Categoria de sobretensão (DC / AC) ¹⁾			2 / 3		
Consumo noturno			< 1 W		
Conceito de inversor			Sem transformador		
Refrigeração			Refrigeração a ar controlada		
Instalação			Instalação interior e exterior		
Intervalo de temperatura ambiente			-40 - +60 °C		
Humidade de ar admissível			0 - 100 %		
Máxima altitude			2.000 m / 3.400 m (gama de tensão sem restrições / com restrições)		
Tecnologia de ligação DC			6 x CC+ e 6 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm ²		
Tecnologia de ligação principal AC			3 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ²		
Certificados e cumprimento de normas			OVE / ONORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097		

¹⁾ 14,0 A para tensões < 420 V

²⁾ Testado com IEC 62109-1. Inclui calha DIN para montagem de proteção contra sobretensões - tipo 2 (opcional).

Mais informação sobre a disponibilidade de inversores no seu país em www.fronius.es

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)					
EFICIÊNCIA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Eficiência máxima	98,0 %		98,1 %		
Eficiência europeia (η _{EU})	97,4 %	97,6 %	97,8 %	97,8 %	97,9 %
η com 5 % P _{ac,r} ¹⁾	87,9 / 92,5 / 89,2 %	88,7 / 93,1 / 90,1 %	91,2 / 94,8 / 92,3 %	91,6 / 95,0 / 92,7 %	91,9 / 95,2 / 93,0 %
η com 10 % P _{ac,r} ¹⁾	91,2 / 94,9 / 92,8 %	92,9 / 96,1 / 94,6 %	93,4 / 96,0 / 94,4 %	94,0 / 96,4 / 95,0 %	94,8 / 96,9 / 95,8 %
η com 20 % P _{ac,r} ¹⁾	94,6 / 97,1 / 96,1 %	95,4 / 97,3 / 96,6 %	95,9 / 97,4 / 96,7 %	96,1 / 97,6 / 96,9 %	96,3 / 97,8 / 97,1 %
η com 25 % P _{ac,r} ¹⁾	95,4 / 97,3 / 96,6 %	95,8 / 97,6 / 97,0 %	96,2 / 97,6 / 97,0 %	96,4 / 97,8 / 97,2 %	96,7 / 97,9 / 97,4 %
η com 30 % P _{ac,r} ¹⁾	95,6 / 97,5 / 96,9 %	95,9 / 97,7 / 97,3 %	96,5 / 97,8 / 97,3 %	96,6 / 97,9 / 97,4 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
η com 50 % P _{ac,r} ¹⁾	96,5 / 97,9 / 97,4 %	96,4 / 98,0 / 97,5 %	96,9 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %
η com 75 % P _{ac,r} ¹⁾	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 98,0 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %
η com 100 % P _{ac,r} ¹⁾	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 97,8 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	96,9 / 98,1 / 97,6 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
Eficiência adaptativa do MPP	≥ 99,3 %				
DISPOSITIVOS DE PROTECÇÃO	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Medição do isolamento DC	Sim				
Comportamento de sobrecarga	Deslocação do ponto de trabalho, limitação da potência				
Seccionador DC	Sim				
Protecção contra polaridade inversa	Sim				
INTERFACES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
4 e 6 entradas / saídas digitais	Interface/Receptor de controlador de onda				
USB (Conector A) ¹⁾	Datalogging, actualização do inversor via USB				
2 x tomadas RJ 45 (RS422) ¹⁾	Interface Fronius Solar Net, Interface Protocol				
Saída de aviso ²⁾	Gestão de energia (saída de relé livre de potencial)				
Datalogger e Servidor web	Incluído				
Input externo	Interface SO-Meter / Input para a protecção contra sobretensões				
RS485	Modbus RTU SunSpec ou conexão de emissor				

¹⁾ E com $U_{mpg,nom} / U_{dcl} / U_{mpg,max}$. ²⁾ Também disponível na versão light.

Figura L.1 - Datasheet inversor da marca Fronius Symo 10.0-3-M

M. Anexo M – Datasheet Monitorização - Fronius Solar.Web

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

FRONIUS SOLAR.WEB

The all-in-one internet portal for configuring, monitoring, analysing and visualising photovoltaic systems

**SIMPLY REGISTER AT
WWW.SOLARWEB.COM**



PV systems can be monitored, analysed and compared quickly and easily using the Fronius Solar.web online portal. Up-to-date system data can be accessed at any time and is clearly presented:

the portal is very user-friendly and easy to use, and a comprehensive range of analysis functions is included. Fronius Solar.web also features a variety of tools and functionalities, such as the Fronius Solar.configurator for system configuration, the Fronius Solar.web apps for monitoring & visualising while on the go, and Fronius Solar.TV for public displays.



FRONIUS SOLAR.WEB

- / Clear presentation and evaluation of current data
- / Automatic yield comparisons across several inverters or time periods
- / Comparison of PV system data against sensor data (target/actual comparison)
- / Automatic module fault detection
- / Automatic message output and regular reports
- / Easy management of several systems
- / Simple self-consumption display
- / CSV export of self-consumption data
- / Remote inverter update
- / Free



FRONIUS SOLAR.WEB PREMIUM

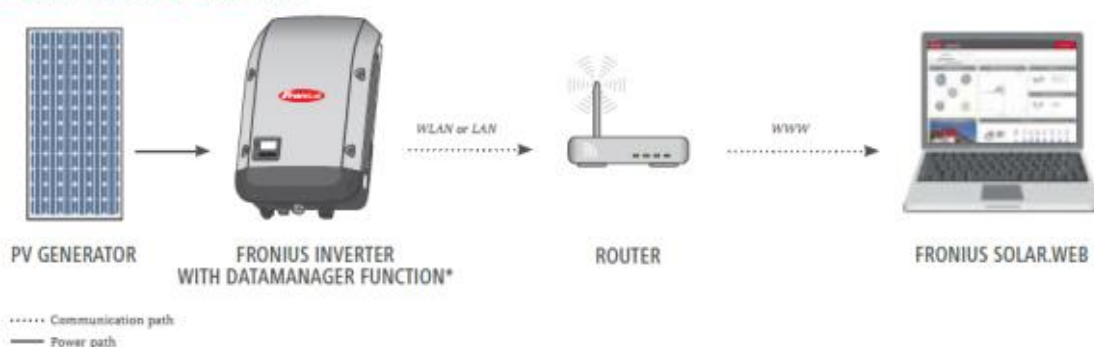
- / Clear presentation and evaluation of current and archive data
- / Comprehensive self-consumption analysis
- / Permanent overview of power consumption for cost control
- / Visualisation and analysis of energy-storage systems
- / Monitoring at MPP tracker level
- / Enhanced individual reporting
- / Remote inverter update
- / ... and many more features will follow!
- / Subscription fee
- / Test for free



FRONIUS SOLAR.WEB TOOLS AT A GLANCE

- / Online system configuration using the Fronius Solar.configurator. The software supports the precise dimensioning of PV systems.
- / Mobile visualisation using the Fronius Solar.web apps. The mobile version of the online service ensures you never lose sight of the energy yields from your PV system.
- / Present your data in public with Fronius Solar.TV. The Public Display function enables a range of PV system values - such as system yield - to be clearly presented.

CONFIGURATION DIAGRAM



* The Fronius Datamanager is integrated as standard into the Fronius Symo, Fronius Symo Hybrid, Fronius Primo, Fronius Galvo and Fronius Eco inverters.

The inverter must have the Datamanager function installed in order to use Fronius Solar.web (integrated as standard into the Fronius Symo, Fronius Symo Hybrid, Fronius Primo, Fronius Galvo and Fronius Eco inverters). A Fronius Datamanager or Fronius Datamanager Box can be retrofitted at any time. A meter connection is required to display power consumption.

SYSTEM REQUIREMENTS:

An up-to-date internet browser that supports HTML 5 (e.g. Microsoft Internet Explorer 10, Google Chrome 53, Mozilla Firefox 47 or higher)

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

THREE BUSINESS UNITS, ONE GOAL: TO SET THE STANDARD THROUGH TECHNOLOGICAL ADVANCEMENT.

What began in 1945 as a one-man operation now sets technological standards in the fields of welding technology, photovoltaics and battery charging. Today, the company has around 4,760 employees worldwide and 1,253 patents for product development show the innovative spirit within the company. Sustainable development means for us to implement environmentally relevant and social aspects equally with economic factors. Our goal has remained constant throughout: to be the innovation leader.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

Fronius India Private Limited
 GAT no 312, Nanekarwadi
 Chakan, Taluka - Khed District
 Pune 410501
 India
pv-sales-india@fronius.com
www.fronius.in

Fronius Australia Pty Ltd.
 90-92 Lambeck Drive
 Tullamarine VIC 3043
 Australia
pv-sales-australia@fronius.com
www.fronius.com.au

Fronius UK Limited
 Maidstone Road, Kingston
 Milton Keynes, MK10 0BD
 United Kingdom
pv-sales-uk@fronius.com
www.fronius.co.uk

Fronius International GmbH
 Froniusplatz 1
 4600 Wels
 Austria
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Text and images extracted in the current state of technology at the time of printing. Subject to modifications. All information is without guarantee in spirit of careful selling. Liability excluded. Copyright © 2011 Fronius™. All rights reserved.

M.O. 0001.13h v03 Dec 2010 sat 17

Figura M.1 - Datasheet Monitorização - Fronius Solar.Web

N. Anexo N – Datasheet Fronius Smart Meter 50kA-3

/ Perfect Welding / **Solar Energy** / Perfect Charging

FRONIUS SMART METER

/ The bidirectional meter for recording power consumption, feed-in and surplus energy in the home






/ The Fronius Smart Meter is a bidirectional meter that optimises self-consumption and records the household's load curve. Together with Fronius Solar.web, the Fronius Smart Meter presents a clear overview of power consumption. In the Fronius Energy Package storage solution, the Fronius Smart Meter provides perfectly coordinated management of the energy flows and optimises overall energy management. The Fronius Smart Meter is ideal for use with the Fronius Symo, Fronius Symo Hybrid, Fronius Galvo, Fronius Primo, Fronius Eco inverters and the Fronius Datamanager 2.0.

FRONIUS SMART METER

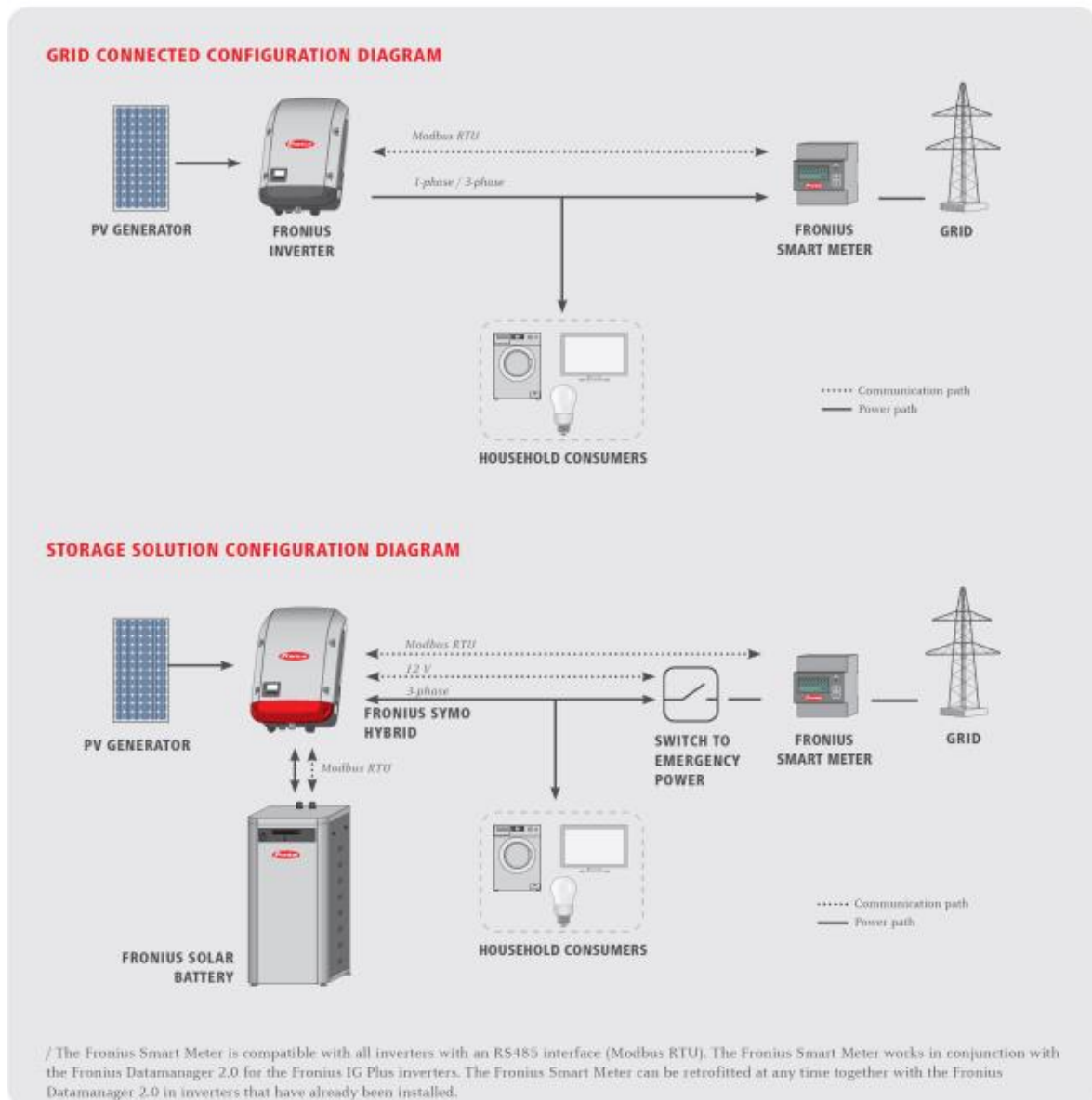
GENERAL DATA	FRONIUS SMART METER 63A-3	FRONIUS SMART METER 50kA-3	FRONIUS SMART METER 63A-1
Nominal voltage	400 - 415 V	400 - 415 V	230 - 240 V
Maximum current	3 x 63 A	3 x 50,000 A	1 x 63 A
Cable cross-section, power path	1 - 16 mm ²	0.05 - 4 mm ²	1 - 16 mm ²
Cable cross-section, communication & neutral		0.05 - 4 mm ²	
Power consumption	1.5W	2.5W	1.5W
Starting current		40mA	
Accuracy class		1	
Active Energy Accuracy		Class B (EN50470)	
Reactive Energy Accuracy		Class 2 (EN/IEC 62053-23)	
Short time overcurrent		30 x I _{max} / 0.5 s	
Installation		Indoors (DIN rail)	
Housing	4 pole DIN 43880	4 pole DIN 43880	2 pole DIN 43880
Degree of protection		IP 51 (front frame), IP 20 (terminals)	
Specified operating range		-25 - +55°C	
Dimensions (Height x Width x Depth)		89.0 x 71.2 x 65.6 mm	89.0 x 35.0 x 65.6 mm
Interface to inverter		Modbus RTU (RS485)	
Display		6 digit LCD	6 digit LCD
Voltage transformer ratio (adjustable)	N/A	1 - 300	N/A
Current transformer ratio (adjustable)	N/A	1 - 9,999	N/A
Connection for measurement (current)	Direct connect	Via current transducers (CTs) ^{*)}	Direct connect

*) CTs with 5A or 1A secondary output. CTs are not included in Smart Meter. Further information about selecting suitable current sensors can be found at www.fronius.com

THE ADVANTAGES AT A GLANCE

- / Fast and accurate dynamic feed-in control
- / Clear overview of power consumption, feed-in and surplus energy in Fronius Solar.web
- / Optimised energy management with the Fronius Energy Package storage solution





/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,800 employees worldwide, we shift the limits of what's possible – our record of over 1,200 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

»07 Apr 2017 EN

Fronius Australia Pty Ltd.
90-92 Lambeck Drive
Tullamarine VIC 3043
Australia
pv-sales-australia@fronius.com
www.fronius.com.au

Figura N.1 - Datasheet Fronius Smart Meter 50kA-3

O. Anexo O – Esquema unifilar do sistema instalado em Tomar

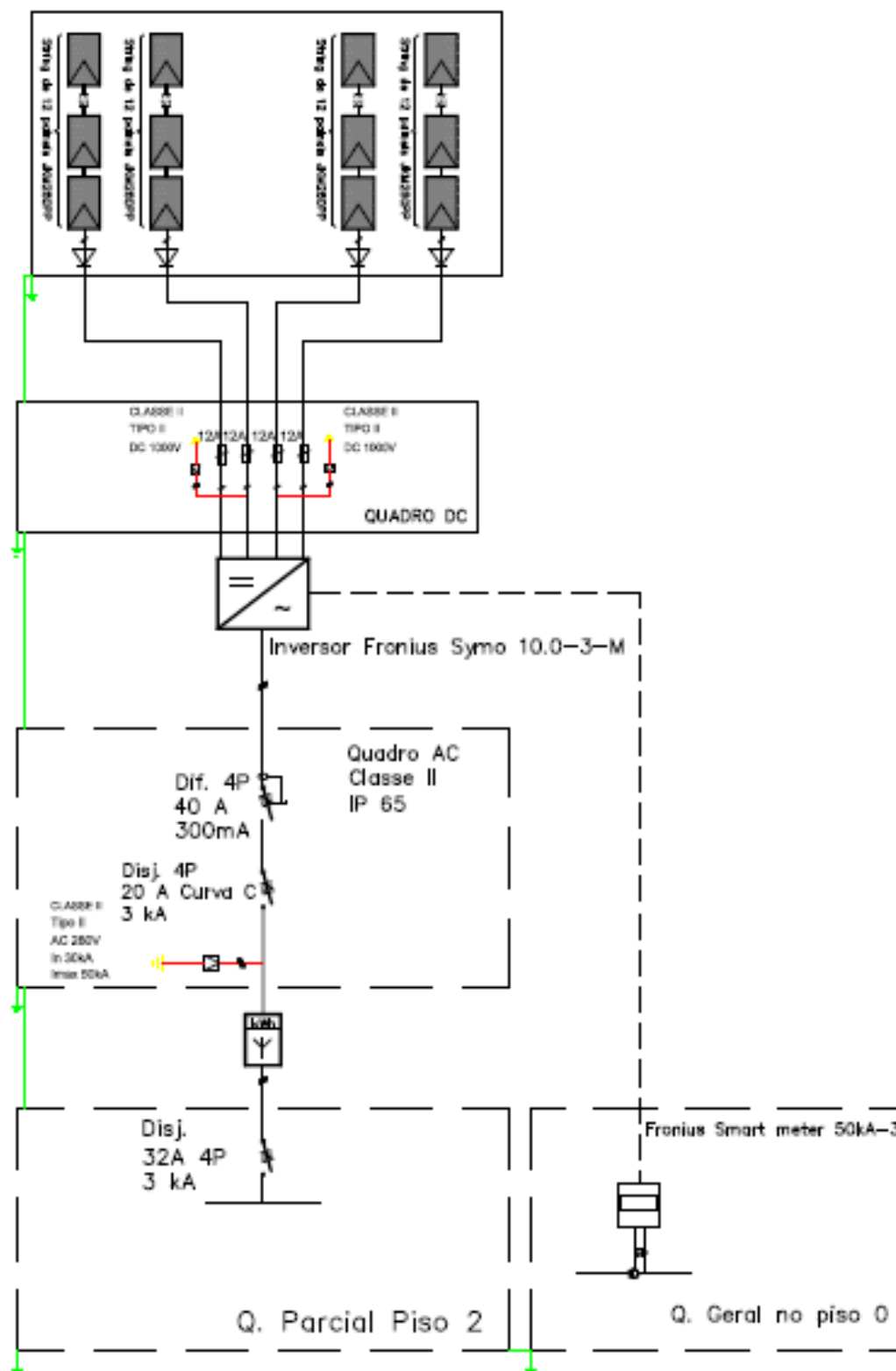


Figura O.1 - Esquema unifilar do sistema instalado em Tomar