

EUNICE LOPES VARELA

**SISTEMAS AUTÓNOMOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM
ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2021

EUNICE LOPES VARELA

**SISTEMAS AUTÓNOMOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM
ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE**

Projeto Realizado no Âmbito do Mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrónica
Especialidade de Sistemas de Energia e Controlo

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Professor Doutor Isménio Lourenço Eusébio Martins



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2021

SISTEMAS AUTÓNOMOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM ENERGIAS RENOVÁVEIS EM CABO VERDE

Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

(Eunice Lopes Varela)

Copyright ©2021, Eunice Lopes Varela

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

Dedicatória

Dedico este projeto à minha mãe Bernardeth Varela, ao meu companheiro Vladimir Tavares e ao meu filho Wlagner Tavares pela dedicação, pelo amor, força e motivação.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, pelo dom da vida, pela energia e benefícios. À minha mãe, ao meu companheiro, pela ajuda e pelas palavras de encorajamento.

Um especial agradecimento, ao meu orientador, Eng. Doutor Isménio Martins pelo seu ensinamento, sua paciência durante todo o processo, pela sua disponibilidade imediata em me ajudar.

À Camara Municipal de Cidade Velha, à Electra SA pelo apoio técnico concedido e a todos que fizeram parte desta caminhada.

Um obrigado aos meus familiares e amigos que me apoiaram em cada momento difícil da minha vida, pela amizade e companheirismo.

Agradeço aos meus professores do Instituto Superior de Engenharia, ao Dr. Ivo Martins e Dr. Jânio Monteiro, pelo apoio e conhecimentos transmitidos durante o curso.

Um Muito Obrigado a todos aqueles que me ajudaram e apoiaram de alguma forma a atingir esta importante meta.

Eunice Varela

Resumo

Há muitos séculos, que o Homem vem procurando formas de ter iluminação durante a noite, assim como em espaços escuros, como grutas, caves e túneis. Para o efeito, várias tecnologias têm sido desenvolvidas: candeias de azeite; velas; candeeiros a querosene; candeeiros a gás; tendo-se chegado à atual iluminação elétrica.

A iluminação pública está diretamente ligada ao conforto das pessoas e à segurança nas vias públicas. Os principais objetivos são a visibilidade do trajeto a percorrer, a prevenção de criminalidade e a iluminação de monumentos, permitindo o seu embelezamento e destaque noturno.

As finalidades deste projeto são o estudo, o desenvolvimento e a análise da viabilidade técnico-económica de sistemas autónomos de iluminação pública em estradas ou caminhos rurais com energias renováveis, nomeadamente energia solar fotovoltaica, aproveitando a energia remanescente para alimentar cargas nas zonas dentro das localidades.

Em Cabo Verde, a iluminação pública (IP) é responsável por **10%** do consumo energético. No entanto, tem-se verificado nos últimos anos uma tendência de aumento da rede de IP, o que implica um conjunto de medidas direcionadas ao aumento da eficiência energética no parque de IP [1]. Este elevado consumo de energia, na iluminação pública, faz com que esta seja uma parte bastante significativa das despesas dos produtores. Por outro lado, também tem havido uma preocupação em reduzir as emissões de CO₂. Deste modo, nos últimos anos tem-se procurado implementar medidas que levem a uma maior eficiência energética, sendo isto possível com a utilização de novas tecnologias de iluminação, como luminárias LED e/ou sistemas de controlo, gestão de IP e geração de energia através de fontes solares fotovoltaicas.

Palavras Chaves: Energia solar, Iluminação pública, Poste solar, Viabilidade técnica e económica.

Abstract

For many centuries, Man has been looking for ways to have lighting at night, as well as in dark spaces, such as caves, cellars, and tunnels. For this purpose, several technologies have been developed: oil lamps; candles; kerosene lamps; gas lamps; having reached the current electric lighting.

Public lighting (PL) is linked to people's comfort and safety on public roads. The main objectives are the visibility of the route to be taken, the prevention of crime and the illumination of monuments, allowing them to be beautified and highlighted at night.

The purposes of this project are the study, development and analysis of the technical and economic feasibility of autonomous public lighting systems on rural roads or paths with renewable energy, namely solar photovoltaic energy, taking advantage of the remaining energy to feed loads in the areas within the localities.

In Cape Verde, PL is responsible for **10%** of energy consumption. However, there has been a trend towards increasing the PL network in recent years, which implies a set of measures aimed at increasing energy efficiency in the PL park [1]. This high energy consumption at PL makes this a significant part of producers' expenses. On the other hand, there has also been a concern to reduce CO₂ emissions. Thus, in recent years, efforts have been made to implement measures that lead to greater energy efficiency, which is possible with the use of new lighting technologies, such as LED luminaires and / or control systems, PL management and energy generation through photovoltaic solar sources.

Keywords: Photovoltaic solar energy, Public lighting, Solar pole, Technical-economic feasibility.

Índice

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura do Projeto.....	2
1.4 Estado da Arte.....	3
1.5 Legislação em Vigor.....	7
1.6 Energia Solar.....	8
1.6.1 Radiação Solar.....	8
1.7 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos.....	11
1.7.1 Painéis Fotovoltaicos.....	12
1.7.2 Baterias.....	18
1.7.3 Reguladores de Carga - MPPT.....	21
1.7.4 Inversor.....	22
1.8 Sistemas Fotovoltaicos.....	24
1.9 Sistemas de Telegestão para a Iluminação Pública.....	27
CAPÍTULO 2.....	31
CONTEXTO ENERGÉTICO EM CABO VERDE.....	31
2.1 Diagnóstico do Setor Elétrico.....	32
2.2 Tarifas de Energia em Vigor.....	33
2.3 Política Energética.....	33
2.4 Programas para a Sustentabilidade Energética.....	34
2.5 Produtores de Energia.....	35
2.6 Potencial da Energia Solar.....	37
CAPÍTULO 3.....	41
PANORAMA ATUAL DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM CABO VERDE.....	41
3.1 Caracterização da Iluminação Pública em Cabo Verde.....	41
3.2 Lâmpadas e Luminárias utilizadas na Iluminação Pública em Cabo Verde.....	41
3.2.1 Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão.....	43

3.2.2	Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão	44
3.3.3	Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão	45
3.3.4	Lâmpada de Iodetos metálicos	46
3.3.5	LED (Díodo Emissor de Luz)	47
3.3.6	Luminária LED	48
3.3.7	Luminária Convencional	50
CAPÍTULO 4	52
SISTEMA PROPOSTO	52
4.1	Local do Estudo	53
4.2	Classificação da Via	53
4.3	Cálculo luminotécnico.....	56
4.4	Consumo Energético	60
4.5	Escolha dos Equipamentos a Instalar	61
4.5.1	Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos	61
4.5.2	Dimensionamento dos Inversores	65
4.5.3	Dimensionamento do Banco de Baterias.....	66
4.6	Implementação da Iluminação com Telegestão.....	69
4.7	Considerações Práticas	72
4.7.1	Montagem dos Equipamentos	72
4.7.2	Arranque do Sistema Fotovoltaico	74
4.7.3	Manutenção e garantias	74
4.8	Viabilidade Económica	76
CAPÍTULO 5	79
CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	79
Referências	81
Apêndice A – Projeto eletrotécnico	85
Apêndice B – Cálculo luminotécnico:	87
Anexo A – Orçamento	92
Anexo B – Termos de referência dos equipamentos	93
Anexo C – Radiação Solar Mensais	103
Anexo D – Cálculo de Viabilidade Económica	104

Índice de Figuras

Figura 1.1: a) Poste de iluminação pública com bateria carregada com energia eólica e solar, Proposto por Duc Doan em 1980 [3]. b) Proposto por Paul D. Daidone e Lauren E. Ascani em 2010 [5].	4
Figura 1.2: Postes solares fotovoltaicas do Parque Barigui em Curitiba [10].....	6
Figura 1.3: Instalação de postes solares fotovoltaicas em avenida de grande circulação [11]. .	6
Figura 1.4: Luminárias alimentadas a energia solar fotovoltaica, instaladas em Cabo Verde [12]	7
Figura 1.5: Espectro da radiação solar na atmosfera e na superfície da terra [16].	9
Figura 1.6: Órbita terrestre e a variação da declinação solar anual [14].....	10
Figura 1.7: Inclinação do coletor [14].....	11
Figura 1.8: Radiação na superfície em alguns climas típicos [14].....	11
Figura 1.9: Diagrama do efeito fotovoltaico [16]..	13
Figura 1.10: Constituição de um painel fotovoltaico [18]...	14
Figura 1.11: Tipos de células dos painéis fotovoltaicos quanto à geração [16].].....	14
Figura 1.12: Painel Fotovoltaico com células de Silício Monocristalino [21].....	15
Figura 1.13: Painel fotovoltaico com células de Silício Policristalino [21].....	16
Figura 1.14: Curva de característica I-V de uma célula fotovoltaica [14].....	18
Figura 1.15: <i>Layout</i> de um sistema fotovoltaico isolado com armazenamento [25].....	25
Figura 1.16: <i>Layout</i> de um sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica [25].....	26
Figura 1.17: <i>Layout</i> do sistema fotovoltaico híbrido [20].....	27
Figura 1.18: Diagrama dos custos de um sistema de IP durante a sua vida útil [26].....	27
Figura 2.1: Arquipélago de Cabo Verde [28].....	31
Figura 2.2: Representação geográfica das ilhas de Cabo Verde com a radiações global em kWh/m ² [2].....	37
Figura 2.3: Mapa das zonas com maior nebulosidade em Cabo Verde [2].....	38
Figura 3.1: Exemplo de lâmpada HPM [34].	43

Figura 3.2: Diagrama de fluxo de energia de lâmpada HPM [35].	43
Figura 3.3: Exemplo de lâmpada HDI [37].	44
Figura 3.4: Diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada HDI [33].	45
Figura 3.5: Exemplo de lâmpada LPS [37].	46
Figura 3.6: Exemplo de lâmpada de iodetos metálicos [36].	47
Figura 3.7: Esquematização de um LED [13].	48
Figura 3.8: Luminárias LED utilizadas na Cidade da Praia e Cidade de Santa Maria [39].	50
Figura 3.9: Luminárias convencionais utilizadas na Praça da Ilha de São Antão [39].	51
Figura 3.10: Luminária convencional utilizada na Cidade Velha [Autor].	51
Figura 4.1: Identificação do local da instalação do sistema fotovoltaico [40].	53
Figura 4.2: Classes de iluminação existentes segundo a norma EN 13201 [13].	54
Figura 4.3: Esquema de um sistema fotovoltaico autónomo [43].	61
Figura 4.4: Temperaturas máximas e mínimas médias na Cidade da Praia [45].	63
Figura 4.5: Vida útil em ciclos e profundidade de descarga em % [49].	67
Figura 4.6: Arquitetura do sistema de telegestão.	71
Figura 4.7: Pormenor de montagem.	72

Índice de Tabelas

Tabela 1: Principais características do Sol [15].....	8
Tabela 2: Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de baterias [22].....	19
Tabela 3: Comparação entre os diferentes tipos de baterias [22].....	20
Tabela 4: Comparação de sistema de telegestão [27].	30
Tabela 5: Tarifas de Eletricidade para a ELECTRA, SA e para a APP – Águas de Ponta Preta [30]. (Em vigor a partir de 20 de Setembro de 2019).	33
Tabela 6: Tarifas de Eletricidade para AEB – Águas e Energia da Boavista [30]. (Em vigor a partir de 20 de Setembro de 2019).	33
Tabela 7: Produtores de energia, capacidades e sistemas de produção [1].	36, 37
Tabela 8: Zonas para desenvolvimento de Energias Renováveis (recurso solar) [2].....	39
Tabela 9: Principais características das lâmpadas HPM [33] [35].....	44
Tabela 10: Principais características das lâmpadas HDI [33] [35].	45
Tabela 11: Principais características das lâmpadas LPS [33] [35].....	46
Tabela 12: Principais características das lâmpadas iodetos metálicos [33].	47
Tabela 13: Principais características de uma luminária utilizando tecnologia LED [35].	48
Tabela 14: Classificação da Rua 1.	55
Tabela 15: Classificação da Rua 2.	56
Tabela 16: Requisitos fotométricos para as classes de alta e média velocidade M5 (Iluminação Pública funcional)..	57
Tabela 17: Níveis de iluminação e uniformidade globais recomendadas para zonas rurais. ...	57
Tabela 18: Zonas projetadas e dados obtidos no DIALux.....	59
Tabela 19: Consumo médio das cargas.	60
Tabela 20: Irradiação solar mensal (kWh/m ²) para a Cidade Velha [44].....	62
Tabela 21: Parâmetros para dimensionamento do sistema fotovoltaico	63
Tabela 22: Dados do módulo fotovoltaico AXIpower [47].	64

Tabela 23: Capacidade mínima do banco de baterias em relação a profundidade de descarga da bateria.	68
Tabela 24: Manutenções preventivas a considerar.....	75
Tabela 25: Garantias oferecidas.	76

Lista de Símbolos

- A – Número de dias de autonomia.
- C_n – Capacidade nominal do banco de baterias (Ah).
- C – Capacidade mínima do banco de bateria (Ah).
- D_t – Despesas brutas de exploração no ano t.
- DoD – Profundidade de descarga da bateria delimitada.
- E_{util} – Energia útil de armazenamento (Wh).
- E_L – Energia média diária consumida (Wh).
- E – Iluminância (lux).
- h – Número de horas de funcionamento do sistema.
- I_t – Investimento no ano t.
- I – Taxa de atualização.
- I_{nCA} – Corrente nominal CA do inversor (A).
- L – Luminosidade (W).
- M – Massa (kg).
- n – Número de períodos da análise do projeto de investimento.
- η – Eficiência do sistema.
- η_{arm} – Eficiência do sistema de armazenamento (baterias e inversores).
- $P_{(max,Inv CC)}$ – Potência CC máxima do inversor (W).
- $P_{(Inv CA)}$ – Potência CA do inversor (W).
- $P_{(W)}$ – Potência consumida pelas cargas CA (W).
- P – Potência nominal dos equipamentos (W).
- $P_{(max,PV)}$ – Potência máxima do gerador fotovoltaico (Wp).
- $P_{(módulo FV)}$ – Potência dos módulos fotovoltaicos.

R – Raio (km).

R_t – Receitas brutas de exploração no ano t .

SP (h) – Número de horas de sol verificadas no pior mês tendo em conta o ângulo de orientação.

T_c – Temperatura central (K).

T_{ef} – Temperatura efetiva (K).

U_n – Tensão nominal da rede (V).

$V_{(CC)}$ – Tensão do sistema (V)

V_{mpp} – Tensão de potência máxima (V).

$\partial\Phi$ – Fluxo luminoso (lumens).

∂A – Área (m²).

ρ – Densidade média (kg/m³).

ρ_c – Densidade média (kg/m³).

Lista de Abreviaturas e Siglas

AEB – Águas e Energia de Boavista.

APP – Águas de Ponta Preta.

ARE – Agência de Regulação Económica.

ARME - Agência de Regulação Multisectorial da Economia.

AC – Corrente Alternada.

BT – Baixa Tensão.

ELECTRA – Empresa de Eletricidade e Água de Cabo Verde.

EDP – Energias de Portugal.

CERMI – Centro de Energias Renováveis e Manutenção Industrial.

CdTe – Célula Solar de Telureto de Cádmio.

DC – Corrente Contínua.

DLOR – Downward Light Output Ratio (rácio de saída do fluxo luminoso para baixo).

FMLL – Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada.

FSL – Fator de Sobrevivência.

HPM – Lâmpadas de Vapor de Mercúrio.

HPS – Lâmpadas de Vapor de Sódio Alta Pressão.

IP – Iluminação Pública.

IoT – Internet of Things.

IRC – Índice de Restituição de Cor.

IVA – Imposto sobre o Valor Acrescentado.

LPS – Lâmpadas de Vapor de Sódio Baixa Pressão.

LED – Light-Emitting Diode.

Lm – Lúmen.

Li-ion - Baterias de Iões de Lítio.

LOR – Light Output Ratio (rácio de saída do fluxo luminoso).

LPWAN – Low Power Wide Area Network.

MPPT – *Maximum Power Point Tracking*.

NiCd - Baterias de Níquel-Cádmio.

NiMH - Baterias de Níquel-Hidreto Metálico.

Off-Grid – Sistemas Autónomos ou isolados.

On-Grid – Sistemas Ligados à Rede

PT – Posto de transformação.

PbA - Baterias de Chumbo-Ácido.

PL – Public lighting.

PLC – *Power Line Communication*.

PV – Photovoltaic.

SR – Surround Ratio (rácio envolvente).

SOC – State of Charge.

TI – Threshold Increment (encadeamento perturbador).

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade.

ULOR – Upward Light Output Ratio (rácio de saída do fluxo luminoso para cima).

VAL – Valor Atual Líquido.

ZEE – Zona Económica Exclusiva.

ZDER – Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A procura por energia elétrica tem crescido gradualmente nos últimos anos, sendo os combustíveis fósseis a principal fonte de energia primária, utilizada pelas sociedades industriais. A utilização de combustíveis fósseis tem gerado fenômenos indesejáveis como a poluição do ar e do ambiente, o aceleramento do efeito estufa, a redução na camada de ozono e a chuva ácida.

Uma das soluções encontradas para minimizar os problemas causados pelo uso desenfreado dos recursos energéticos, sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento económico, foi o estímulo ao uso eficiente e a busca constante por fontes de energias sustentáveis. Uma das opções, utilizadas em países da Europa e Africa, é a geração de energia a partir de fontes solares fotovoltaicas.

1.1 Motivação

O setor energético de Cabo Verde caracteriza-se pelo elevado consumo de combustíveis fósseis (derivados de petróleo), biomassa (lenha) e uma pouca expressiva utilização de energias renováveis, nomeadamente as energias solar fotovoltaica e eólica. Esta dependência, em conjunto com os elevados preços do petróleo, tem feito aumentar significativamente os custos, limitando as concessionárias do setor no investimento nas redes de distribuição, assim como na capacidade de produção de energia. Como consequência, verificam-se apagões constantes nas ilhas e aumentos nos custos de operação das redes de distribuição [2].

A iluminação pública é escassa principalmente nas zonas rurais e zonas de difícil acesso. A utilização de sistemas autónomos, autoalimentados com energias renováveis, poderá ser a solução para a obtenção de iluminação pública nas estradas e povoados mais remotos sem que se tenha de investir em sistemas de produção e em redes de transporte de energia.

1.2 Objetivos

Cabo Verde estabeleceu como sendo um dos seus objetivos prioritários, a redução do consumo de energia e a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis [2]. Com essa finalidade foi requerida a concretização de um plano ambicioso de investimentos em projetos de Energias Renováveis.

É neste enquadramento que o presente trabalho apresenta como objetivos:

- O estudo e o desenvolvimento de sistemas autónomos de iluminação pública com energias renováveis, nomeadamente energia solar, com a proposta de Postes de Luz Solar para as zonas rurais – zonas foras das localidades, constituídos por painéis e bancos de baterias, onde a energia produzida pelos painéis é armazenada, podendo alimentar as respetivas cargas e, utilizando a energia remanescente, as cargas nas zonas dentro das localidades;
- A apresentação de um sistema de telegestão para controlo das cargas de maneira que não haja desperdícios no consumo da energia;
- A análise da viabilidade técnica e económica do sistema proposto de modo a reduzir a dependência dos combustíveis fósseis no que refere à iluminação pública.

1.3 Estrutura do Projeto

O projeto está organizado em cinco capítulos: Introdução; Contexto Energético em Cabo Verde; Panorama Atual da Iluminação Pública em Cabo Verde; Projeto Proposto; e Conclusão e Trabalhos futuros.

No capítulo 1, Introdução, é realizada uma rápida apresentação da visão histórica do tema do projeto, o enquadramento, a motivação do estudo, os objetivos a alcançar, a estrutura do trabalho, o estado da arte, os conceitos gerais da energia solar, componentes dos sistemas fotovoltaicos e o sistema de telegestão para a iluminação pública.

No capítulo 2, Contexto Energético em Cabo Verde, é apresentada a caracterização de Cabo Verde, bem como a situação energética do País, os tarifários de energia em vigor, os produtores da energia e os incentivos dotados pelo Governo para colmatar o elevado consumo de combustíveis fósseis.

No capítulo 3, Panorama Atual da Iluminação Pública em Cabo Verde, é apresentada a caracterização da iluminação pública em Cabo Verde, assim como os tipos de lâmpadas e luminárias utilizadas.

O capítulo 4, Projeto proposto, é dedicado ao dimensionamento do sistema fotovoltaico para a Iluminação Pública da Cidade Velha na Ilha da Praia em Cabo Verde. São feitos os cálculos do projeto luminotécnico e o dimensionamento dos equipamentos a instalar. É também apresentada a análise da viabilidade técnica e económica da implementação do projeto.

No Capítulo 5, Conclusão e Trabalhos futuros, são apresentados os resultados mais relevantes, obtidos com o presente projeto, e são propostos desenvolvimentos futuros, direcionados ao seu complemento e melhoramento.

1.4 Estado da Arte

A instalação de postes solares fotovoltaicas em vias urbanas e rurais não é apenas uma saída ecológica, mas também é um modo de ajudar a resolver um problema que afeta quase todas as cidades de Cabo Verde: a falta de uma iluminação pública de qualidade.

Há já muitos anos que se utilizam postes solares, com tecnologia fotovoltaica, na iluminação pública. O objetivo principal tem sido a criação de um sistema **100%** autónomo da rede elétrica, utilizando o Sol como fonte de energia e incorporando tecnologia LED, eficiente, assim como a inclusão de sistemas inteligentes de controlo da gestão de energia. Estes sistemas são o resultado do encontro entre a necessidade e a inovação tecnológica e nascem com um objetivo concreto: iluminar regiões onde a rede pública é inexistente ou apresenta níveis de implementação e qualidade deficitários. Outro aspeto a ter em conta é que muitas destas regiões coincidem, geograficamente, com locais onde a radiação solar é elevada, ao longo de todo o ano. Este facto, permite a integração de luminárias que utilizem fontes de energia exclusivamente constituídas por painéis solares fotovoltaicas, e com a capacidade de armazenar a energia em excesso.

A longo dos anos, têm sido estudados e desenvolvidos vários protótipos de sistemas autónomos de iluminação, alimentados com energia solar fotovoltaica, e/ou energia eólica.

Em 1980 foi publicada a patente de um poste de iluminação pública com energia eólica e solar, como se mostra na Figura 1.1 a). O sistema, patenteado nos E.U.A. por Duc Doan, destinava-se a alimentar, de modo independente da rede de alimentação elétrica, uma luminária,

assim como semáforos instalados no mesmo poste. Os painéis eram dimensionados para assegurar a carga da capacidade total da bateria. O gerador com turbina eólica de eixo horizontal destinava-se a assegurar a carga da bateria em dias com menos luz solar [3]. Em 2009, Hi Huang de Taipei propôs um poste de iluminação pública alimentado com energia eólica. O sistema previa a carga de bateria a partir de um gerador elétrico com turbina eólica [4].

Em 2010 foi proposto por Paul D. Daidone e Lauren E. Ascani dos E.U.A. um aparelho com energia solar e eólica, mostrado na Figura 1.1 b). O aparelho proposto destinava-se a ser aplicado em iluminação pública sem a necessidade de alimentação por qualquer rede de energia externa. A turbina de eixo vertical era montada no topo do poste de iluminação. Os painéis solares, que segundo os inventores poderiam ser múltiplos, eram montados sobre o braço de suporte da luminária [5].

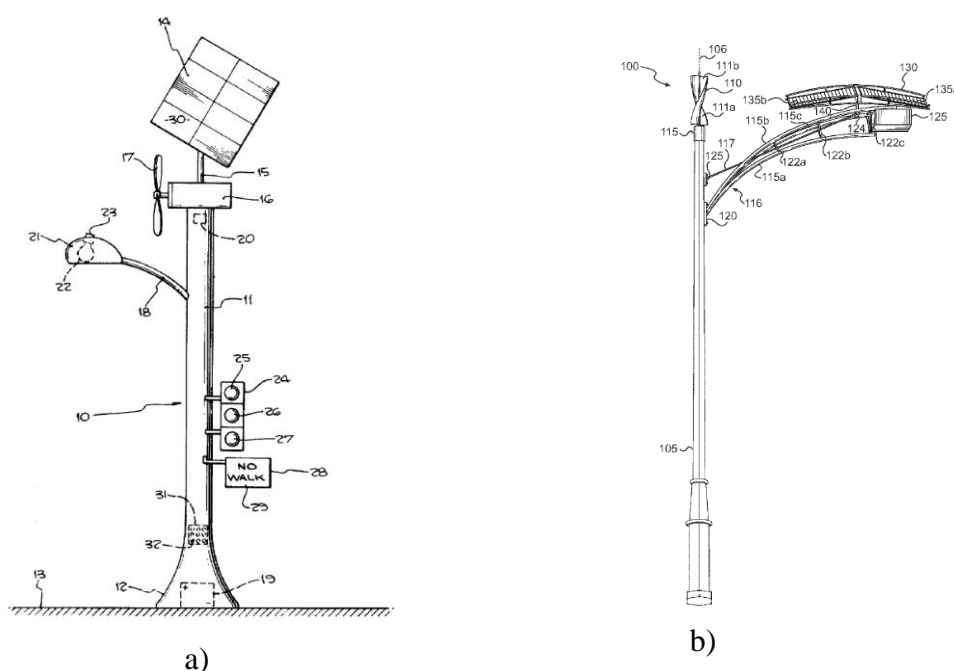


Figura 1.1: a) Poste de iluminação pública com bateria carregada com energia eólica e solar, proposto por Duc Doan em 1980 [3]. b) Proposto por Paul D. Daidone e Lauren E. Ascani em 2010 [5].

Em 2011 Ching. Shang Kao e Wei-Liang Lin de Taipei, propuseram um sistema de iluminação pública solar. Este sistema tinha as particularidades de ter lâmpadas LED e de poder, também, ser alimentado pela rede de energia elétrica. O cabo de alimentação estava previsto para servir também como meio de transmissão de dados sobre o estado do LED e das células solares [6].

Outros sistemas mistos com alimentação solar em conjugação com a energia da rede elétrica têm sido propostos. Um sistema deste tipo foi patenteado em 2015 pelo Australiano Brian Kimberly, em que o sistema além da energia proveniente da luz solar podia ser comutado para receber energia de uma fonte secundária [7].

Em 2018, foi proposto por Peter James Andrew Diamond um sistema de iluminação pública com sistema solar ligado á rede. O sistema consistia na criação de um circuito programável para o carregamento de baterias. Este circuito programável permitia carregar as baterias que se encontravam na base dos postes de iluminação pública, apenas nos períodos de baixo tarifário, e permitia desligar as baterias da rede elétrica nos períodos de alto tarifário. Uma particularidade importante é que o circuito programável criado permitia ligar as baterias aos painéis solares fotovoltaicos durante todo o período de dia para efeito de carregamento. Além do circuito programável para carregamento, existia um circuito de controlo da luminosidade [8].

No ano 2019, foi publicada a patente de um sistema híbrido para a iluminação pública. O sistema foi proposto por Takeru Ito e Takeshi Maeda nos E.U.A. Durante o dia, a energia era gerada pelo sistema solar fotovoltaico, à noite e em dias nublados a energia era gerada com uma turbina eólica [9].

Atualmente, existem diversos projetos onde se utilizam postes de iluminação com energia solar fotovoltaica.

No Brasil, em Criciúma, o parque de estacionamento do Paço Municipal Marcos Rovaris recebeu postes solares fotovoltaicos com **6 m** de altura com lâmpadas de LED de **250 W** de potência e baterias estacionárias com a capacidade de **240 Ah** [10]. A capital de Curitiba conta com energia solar fotovoltaica em postes instalados em um dos seus principais pontos de encontro, o Parque Barigui, como é ilustrada na Figura 1.2 [10].



Figura 1.2: Postes solares fotovoltaicas do Parque Barigui em Curitiba [10].

No Arco Metropolitano do Rio de Janeiro, foram instalados **4 310** postes com painéis solar fotovoltaicos ao longo dos **72 km** do Arco, como se mostra na Figura 1.3 [11], com um financiamento de **96,7 milhões de Reais**, o que significa mais de **22 mil Reais** por unidade. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Dnit).



Figura 1.3: Instalação de postes solares fotovoltaicas em avenida de grande circulação [11].

Na Figura 1.4 representam-se algumas luminárias alimentadas a energia solar fotovoltaica com tecnologia de LED, instaladas em Cabo Verde. O projeto é fruto de uma parceria entre a empresa Cabo-Verdiana ElectroAris e a portuguesa EuroSolution. A proposta consiste em reduzir, em larga escala, a dependência do país em relação aos combustíveis fósseis, assim como fazer baixar os elevados custos da eletricidade no país.



Figura 1.4: Luminárias alimentadas a energia solar fotovoltaica, instaladas em Cabo Verde [12]

1.5 Legislação em Vigor

De modo a realizar um projeto de iluminação pública, cumprindo rigorosamente todos os critérios, é essencial ter em conta dois fatores:

1. A obtenção dos resultados esperados;
2. O cumprimento de toda a legislação aplicável.

Para tal, existe a norma europeia EN 13201, utilizada em Cabo Verde, e que está associada a vários países da Europa, como [13]:

- Alemanha,
- Áustria,
- Bélgica,
- França,
- Portugal,
- Malta,
- Reino Unido, etc...

Esta norma encontra-se dividida em quatro partes:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação;
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados;
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos;
- EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométricas.

1.6 Energia Solar

A radiação solar que a terra recebe não é constante, sofre variações sazonais e de acordo com a localização geográfica. Estas variações também dependem de fatores tais como as condições meteorológicas e a data e a hora, entre outros. A energia solar pode ser convertida diretamente em eletricidade utilizando tecnologias como células fotovoltaicas ou com ciclos termodinâmicos que utilizem como fonte de calor a concentração de radiação solar para produzir vapor e assim mover uma turbina com um gerador acoplado [14].

Antigamente, a energia solar fotovoltaica apresentava custo elevado. Atualmente, devido aos avanços tecnológicos ocorridos neste sector, a energia solar fotovoltaica começa a ter um custo aceitável, tornando-se competitiva face às outras energias renováveis e aos combustíveis fósseis. A energia solar fotovoltaica é amiga do ambiente. Em operação, os painéis fotovoltaicos não emitem nenhum gás poluente, tendo uma pegada nula no efeito estufa.

1.6.1 Radiação Solar

O Sol fornece a energia em forma de radiação. O Sol é a estrela mais próxima da Terra e é responsável por quase toda a energia que a Terra recebe diariamente. As suas principais características estão apresentadas na Tabela 1 [15].

Tabela 1: Principais características do Sol [15].	
Massa	$m = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Peso específico médio	$\rho = 1\,409 \text{ kg/m}^3$
Peso específico do núcleo central	$\rho_c = 160\,000 \text{ kg/m}^3$
Raio	$R = 696\,300 \text{ km} = 109 R_{\text{Terra}}$
Distância da Terra	149 600 000 km
Luminosidade	$L = 3,846 \times 10^{26} \text{ watts} = 3,8 \times 10^{33} \text{ ergs/s}$

A constante solar média é a densidade média fluxo energético proveniente da radiação solar, quando medida num plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera terrestre. O seu valor é de **1 367 W/m²**. Esta constante foi adotada como padrão pela Organização Meteorológica Mundial. A cada hora, o Sol irradia a atmosfera terrestre com energia suficiente para abastecer todas as necessidades energéticas da terra e da humanidade durante um ano.

A radiação solar depende também das condições climáticas e atmosféricas. Sendo assim, apenas uma parte da radiação atinge a superfície terrestre, em virtude da reflexão e a absorção dos raios solares pela atmosfera. A radiação solar numa superfície pode ser de dois tipos: a radiação difusa que resulta do espalhamento provocado pelas moléculas de gases, partículas em suspensão e aerossóis; e a radiação solar direta que consiste no feixe de radiação que atinge a superfície. A radiação solar direta tem uma eficácia luminosa de aproximadamente **93 lúmens/watt** de fluxo radiante, este valor inclui as radiações infravermelha, visível e ultravioleta que é a de maior importância. Excetua-se o início do amanhecer e o fim do entardecer, momentos onde a radiação difusa ultrapassa a radiação direta. O espectro da radiação solar está compreendido entre **100 nm** e **1 mm**. No entanto, o espectro de radiação mais dominante está compreendido entre os **250 nm**, e os **2 500 nm**. Na Figura 1.5 mostra-se o espectro da radiação na atmosfera e na superfície da terra. Como se pode observar, a intensidade máxima de irradiação está compreendida no espectro da radiação visível (**400 a 700 nm**), pelo que as células fotovoltaicas deverão operar predominantemente neste espectro de radiação para que exista um maior aproveitamento energético da radiação [14].

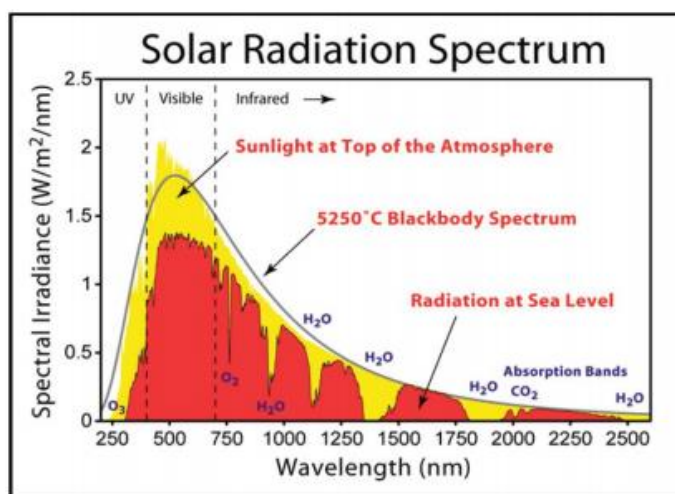


Figura 1.5: Espectro da radiação solar na atmosfera e na superfície da terra [16].

A distância entre a Terra e o Sol não é sempre a mesma, pois a Terra não tem um movimento totalmente circular à volta do Sol, resultando daí pequenas variações da radiação solar extraterrestre, radiação no exterior da atmosfera. No entanto, a distância entre a Terra e o Sol pouco contribui para a variação da radiação solar ao longo do ano na superfície terrestre. A grande responsável pela variação da radiação solar incidente na superfície da Terra ao longo do ano é a declinação solar, sendo esta também a responsável pela formação das diferentes estações

do ano. A declinação solar é o ângulo verificado entre a posição do Sol ao meio dia em relação ao plano do equador. Na Figura 1.6 está representada a órbita terrestre e a variação da declinação solar [14].

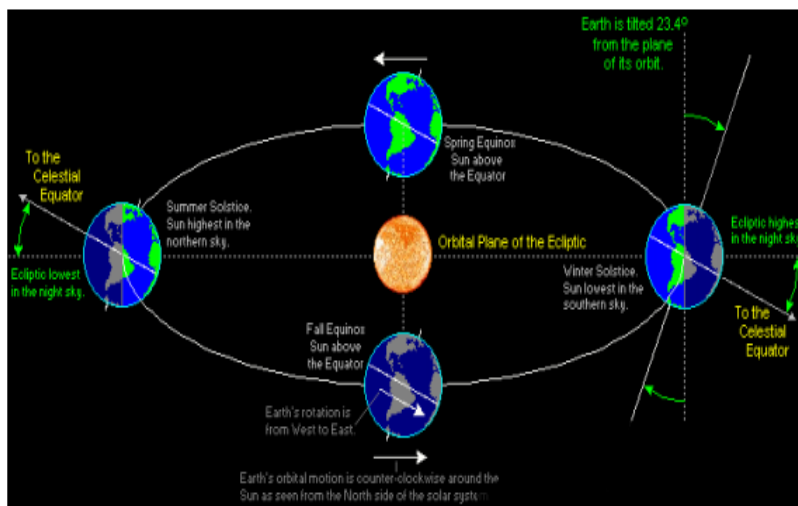


Figura 1.6: Órbita terrestre e a variação da declinação solar anual [14].

O ângulo zenital (θ_z) é o ângulo observado entre a posição do Sol com um plano vertical, quanto maior for este ângulo mais espessa será a camada de massa de ar que a radiação precisa de penetrar para chegar à superfície da Terra. Esta massa de ar é constituída por aerossóis e outros gases presentes na atmosfera, provocando a difusão da radiação, dependendo do tamanho das moléculas de gás ou do aerossol. Estas moléculas também têm a propriedade de absorver a radiação. A radiação é absorvida, principalmente, pelas moléculas de gases como o oxigênio, o ozono, o vapor de água e o dióxido de carbono [14].

Um coletor solar absorve mais energia quando a sua superfície é perpendicular à radiação solar, dado que a camada de ar a ser atravessada pela radiação é, neste caso, menos espessa. Assim, a melhor inclinação, tendo em conta somente um único eixo de rotação, é uma inclinação igual ao valor do ângulo zenital, como se pode ver na Figura 1.7.

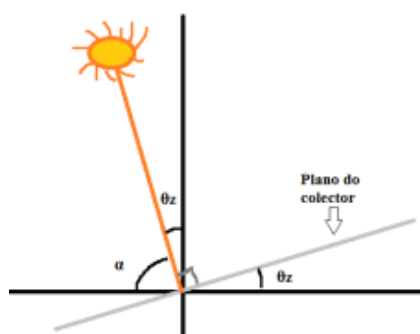


Figura 1.7: Inclinação do coletor [14].

As condições meteorológicas influenciam fortemente a radiação incidente na superfície da Terra, conseqüentemente nos dias nublados ou com nuvens a radiação incidente na superfície é reduzida. Na Figura 1.8, podem ser observados gráficos com exemplos do valor da radiação que atinge a superfície da Terra em função das condições meteorológicas.

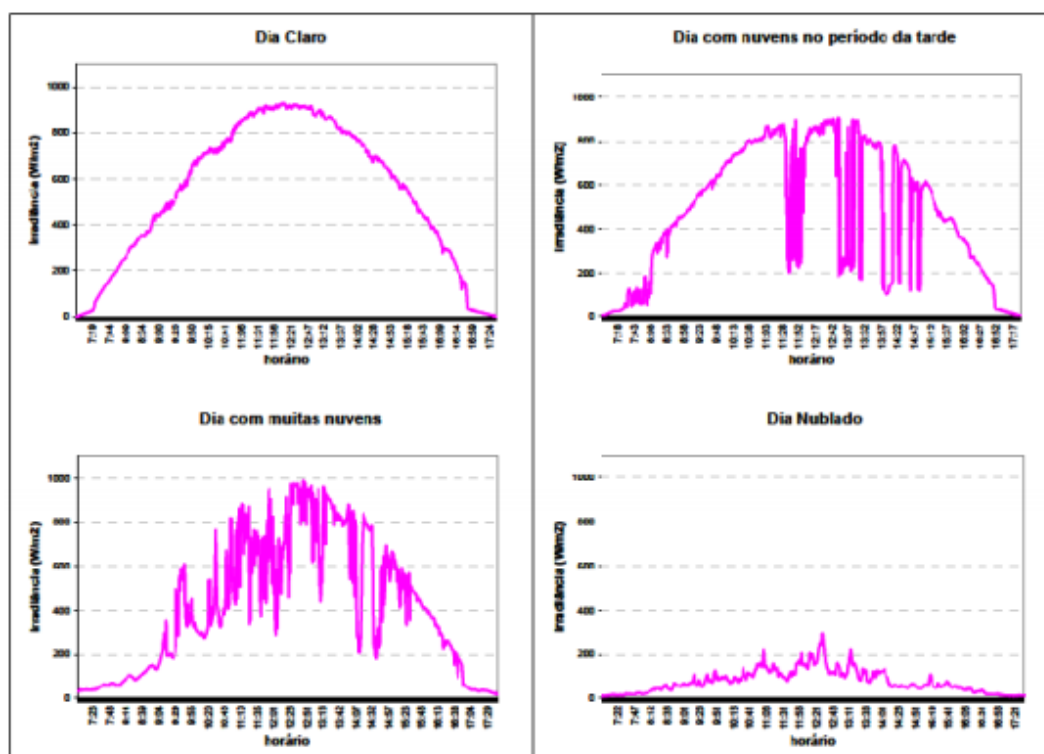


Figura 1.8: Radiação na superfície em alguns climas típicos [14].

Como se observa na Figura 1.8, para um dia limpo, sem nuvens, existe um pico de radiação máximo de **900 W/m²**, por outro lado, no caso do dia nublado o pico máximo de radiação foi de uns meros **300 W/m²**. Mostra-se, assim, que a influência da metrologia na radiação incidente à superfície terrestre é elevada, o que se deve à oclusão das radiações solares pelas nuvens e/ou nevoeiro.

1.7 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos

A radiação proveniente do sol sustenta quase todas as formas de vida no planeta Terra, principalmente através da fotossíntese, e da influência sobre o clima. O sol gera a sua energia através de uma reação de fusão nuclear de Hidrogénio, que representa **74%** da massa solar, originando Hélio. Esta reação leva o sol a libertar uma potência de **3,8 × 10²⁰ MW** em todas as direções, o que representa um valor de **63 MW** por cada metro quadrado de superfície do Sol [17]. Quase todas as formas de energia na Terra têm origem na radiação solar, quer seja pela

conversão da energia solar em energia química - como por exemplo a madeira ou o petróleo produzidos direta ou indiretamente pela fotossíntese - quer seja pela conversão em energia cinética - por exemplo, o vento e as ondas oceânicas originados pelas diferenças térmicas em várias regiões do planeta. Estas diferenças térmicas são causadas em larga medida pela diferente exposição ao Sol das várias regiões do planeta.

1.7.1 Painéis Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são constituídos por um conjunto de módulos, construídos com um ou mais materiais semicondutores. Os sistemas fotovoltaicos podem incluir inversores CC/CA, se ligados à rede elétrica, podendo incluir baterias e reguladores de carga, principalmente, em sistemas isolados da rede.

Os painéis fotovoltaicos são constituídos por uma ou várias células, que captam a radiação solar e que a transformam em energia elétrica. A área total dessas células solares determina a potência do painel solar.

As células solares ou fotovoltaicas são os elementos responsáveis pela conversão direta da radiação solar em energia elétrica, gerada pelo efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico baseia-se no princípio de que quando a luz atinge a superfície de certos materiais são libertados eletrões. As células de silício (tetravalente) são compostas por duas camadas: a camada n, orientada para o sol, é dopada com fósforo (pentavalente) o que cria eletrões em excesso nessa camada; e a camada p, que é dopada positivamente com boro (trivalente) o que cria lacunas (falta de eletrões) devido ao défice de eletrões. A radiação solar ao incidir sobre a célula fotovoltaica, concretamente na superfície n, uma parte é refletida, outra parte atravessa a célula fotovoltaica e outra parte é absorvida pela célula fotovoltaica, sendo que os fótons da radiação solar incidente absorvida pela célula, contendo energia, atingem os eletrões que se encontram na banda de valência, movendo-se para a banda de condução, deixando lacunas e, conseqüentemente, criando pares electrão-lacuna. Assim na região onde os dois materiais se encontram (junção) origina-se um campo elétrico [14].

O efeito fotovoltaico foi descoberto pelo físico francês Edmond em 1839, ao relatar as propriedades do Selênio, que produzia uma corrente elétrica diretamente proporcional à radiação incidente. Na Figura 1.9 ilustra-se o diagrama do efeito fotovoltaico numa célula fotovoltaica [16].

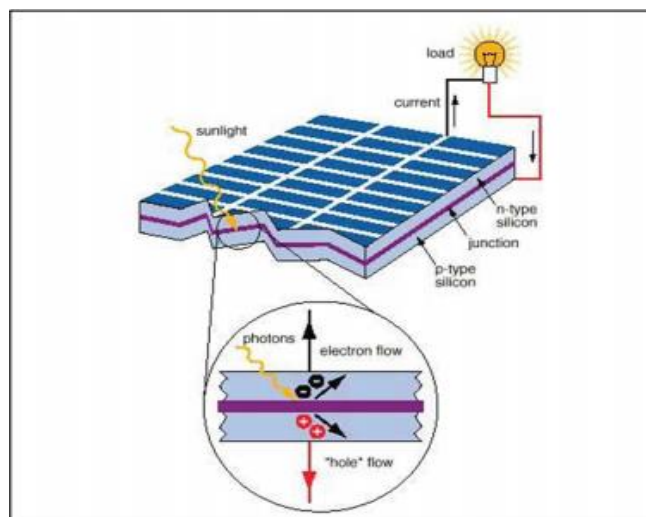


Figura 1.9: Diagrama do efeito fotovoltaico [16].

Constituição dos Painéis Fotovoltaicos

As células fotovoltaicas são agrupadas em módulos, onde são encapsuladas com vários materiais para as proteger de elementos externos. Assim, um painel fotovoltaico é um bloco único constituído por células associadas, eletricamente, entre si – células solares ou fotovoltaicas ligadas em série. Uma célula fotovoltaica produz cerca de **0,4 V** no seu ponto de máxima potência. A maioria dos painéis fotovoltaicos é composto por **36 a 72** células, produzindo tensões de saída apropriadas para sistemas de corrente contínua de **12 a 24V**. Na Figura 1.10 pode observar-se a constituição de um painel fotovoltaico, onde se ilustra a diferença entre célula, módulo e painel. Os painéis são equipamentos de fácil operação e manutenção, com uma fiabilidade elevada e possibilidade de expansão.

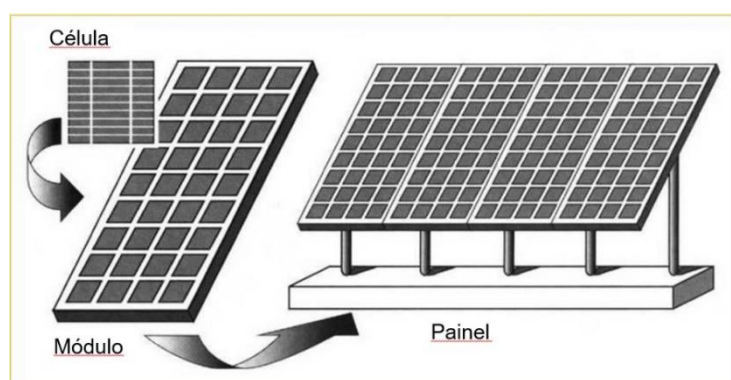


Figura 1.10: Constituição de um painel fotovoltaico [18].

Tipos de Painéis Fotovoltaicos

Os diferentes tipos de painéis fotovoltaicos podem ser classificados em função do número de junções e em função da geração de desenvolvimento. No que se refere ao número de junções, os painéis podem ser de junção única ou de junção múltipla. Além disso, dependendo do estágio temporal de desenvolvimento, as células dos painéis, podem ser classificadas como de primeira, segunda ou terceira geração. O que diferencia as diferentes gerações são os materiais utilizados, o número de camadas e a utilização ou não de junções [19]. No diagrama da Figura 1.11 mostra-se a classificação das células dos painéis fotovoltaicos quanto à geração [20].

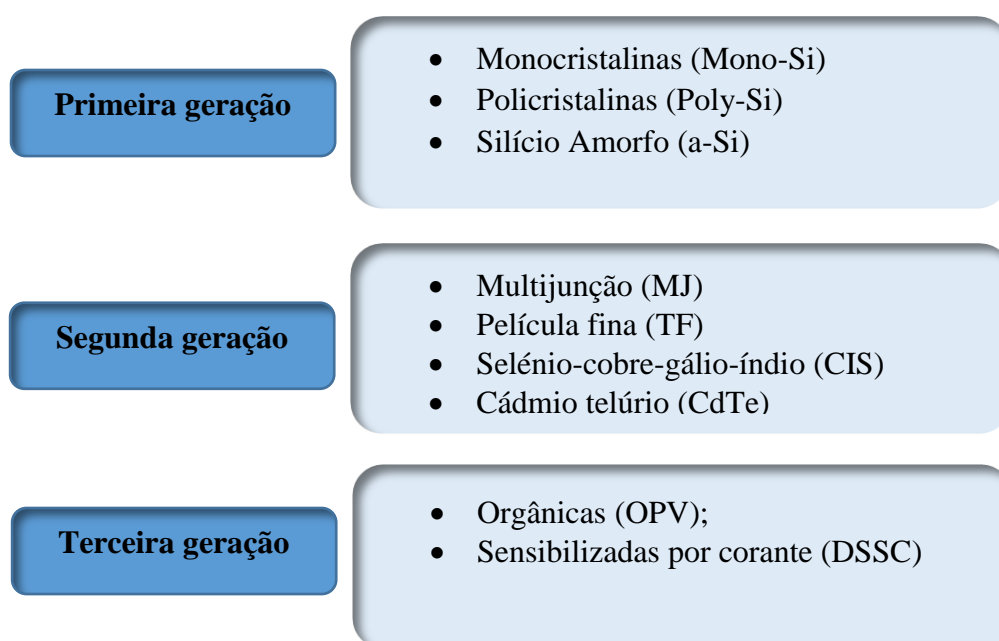


Figura 1.11: Tipos de células dos painéis fotovoltaicos quanto à geração [16].

• Células de 1ª Geração

As células de primeira geração, também chamados de fotovoltaicas convencionais ou tradicionais são feitas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo. Esta tecnologia representa mais de **85%** do mercado, por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável e por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível [20].

Células Fotovoltaicas Monocristalinas (Mono-Si)

Este tipo de células solares é feito de silício monocristalino puro. Na sua produção a cultura do silício é controlada de modo a formar um cristal único. Como se pode observar na Figura 1.12 o seu aspeto é escuro uniforme e com extremidades arredondadas. A alta pureza do silício faz com que este tipo de painel solar tenha a eficiência mais alta entre as tecnologias comercialmente viáveis. A sua eficiência, atualmente, fica compreendida entre **15%** e **22%** [21]. Outra vantagem a considerar é que os painéis monocristalinos, em relação aos outros painéis, oferecem uma maior potência elétrica por área, junto de um maior tempo de vida útil e também tendem a ser menos afetados pelas temperaturas elevadas, em comparação com os painéis policristalinos. Como desvantagens os painéis solares monocristalinos são os mais caros do grupo [19].



Figura 1.12: Painel Fotovoltaico com células de Silício Monocristalino [21].

Células Fotovoltaicas Policristalinas (Poly-Si)

Os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, também conhecido como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si), foram introduzidos no mercado em 1981. Este tipo de painel é produzido através da fusão de silício bruto, com um nível de pureza mais baixo. É um processo mais simples e do que o utilizado nos painéis monocristalinos. O preço final é mais baixo, contudo com menor eficiência por área (entre **14** e **20%**), e menor tempo de vida, uma vez que são afetados consideravelmente pelas temperaturas mais altas.

As diferenças entre os painéis monocristalinos e policristalinos não são muito significativas e a escolha dependerá fortemente da sua implementação específica. Os painéis monocristalinos oferecem uma eficiência por área ligeiramente maior a um preço ligeiramente

superior. As potências geradas são muito próximas. Quanto ao aspeto: os painéis fotovoltaicos com células de Silício Policristalino apresentam quadrados com vértices não arredondados, e com cor azul salpicada, com diferentes cristais como mostra na Figura 1.13 [19] [21].



Figura 1.13: Painel fotovoltaico com células de Silício Policristalino [21].

Célula Solar de Silício Amorfo (a-Si)

A célula solar de silício amorfo, isto é uma forma não cristalina de silício, é provavelmente, das mais conhecidas por ser a mais utilizada em calculadoras de bolso. Estas células são fabricadas com vapor de silício, depositando-o em camadas finas de com cerca de **1 μm** de espessura, sobre um material inerte como o vidro ou o plástico. Estas células tem um custo relativamente baixo, o que as torna muito competitivas. Porém têm uma eficiência em torno de **7%**, sendo menos eficientes do que as de silício cristalino [19].

- **Células de 2ª Geração**

As células de segunda geração são também conhecidas por células de película fina, devido a terem uma espessura, por camada, micrométrica. São, normalmente, células multijunção, constituídas por sucessivas camadas finas de material semicondutor, depositadas sobre um material de baixo custo. A vantagem das células de película fina é a possibilidade de construção de módulos maleáveis e translúcidos, potenciando, assim, a energia solar em diversas aplicações nunca antes possíveis [16].

Célula Solar de Telureto de Cádmio (CdTe)

Como exemplo, entre os diversos tipos de células de 2ª geração, a célula de telureto de cádmio, permite a produção de painéis solares a um custo relativamente baixo. Assim, proporciona um menor tempo de retorno de investimento, tipicamente inferior a um ano.

De todas as tecnologias de energia solar, esta é a que requer a menor quantidade de água para o processo de fabrico. Devido ao seu tempo de retorno de investimento curto, as células solares de CdTe mantêm a pegada de carbono o mais baixa possível. A única desvantagem do uso de telureto de cádmio é por ser tóxico para o ser humano, se ingerido ou inalado. Na Europa, esta é uma das maiores barreiras a serem superadas, muitas pessoas estão apreensivas com a tecnologia que está por trás deste tipo de painel solar [16].

- **Células de 3ª Geração**

As células de terceira geração são diferentes das anteriores, não se baseiam numa junção N-P para produzir energia, ou seja, o seu funcionamento não é baseado nas propriedades dos materiais semicondutores. Podem ser constituídas por diferentes materiais além do silício, tais como estruturas à base de nanotubos de carbono, tintas/corantes solares, plásticos condutores e corantes orgânicos [14].

As células orgânicas são constituídas por polímeros ou materiais orgânicos. No futuro estas células podem vir a ser economicamente competitivas o que ainda não acontece na atualidade [14].

Célula Sensibilizada por corantes (DSSC)

As Células sensibilizada por corantes são baseadas num mecanismo foto-electro-químico rápido e regenerativo, composto por um eléctrodo de Dióxido de Titânio, com corante. A sua produção é barata mas ainda não se sabe nada sobre o futuro deste tipo de tecnologia.

Curva Característica I-V

A representação da curva I-V (corrente – tensão) toma, por convenção, como positiva a corrente e a tensão produzida nos terminais da célula fotovoltaica. Como se sabe da lei de Ohm, a variação de uma resistência ligada a uma fonte de corrente resulta numa variação da tensão aplicada à mesma resistência. Assim, se se ligar uma resistência variável a uma célula

fotovoltaica irá surgir aos seus terminais uma tensão aplicada variável, em função do valor da resistência, originando-se assim a curva característica I-V. Na Figura 1.14 é ilustrado um exemplo de uma curva característica I-V de uma célula fotovoltaica [14].

Considerando constantes os fatores externos ao circuito, como as condições meteorológicas, irradiação, temperatura da célula, etc, observa-se que a potência entregue pela célula à carga depende somente do valor da resistência. Isto é, se a resistência for demasiado pequena a célula fotovoltaica irá operar na região M-N da curva de característica I-V, comportando-se assim como uma fonte de corrente próxima do curto-circuito. Por outro lado, se a resistência for elevada, a célula fotovoltaica irá operar na região P-S da curva comportando-se como uma fonte de tensão próxima do circuito quase aberto.

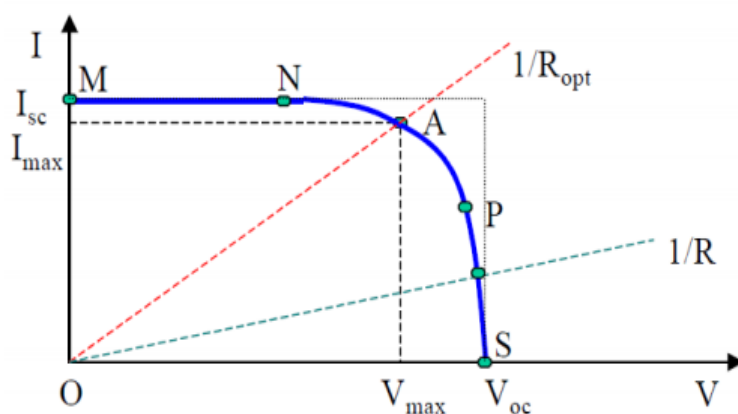


Figura 1.14: Curva de característica I-V de uma célula fotovoltaica [14].

1.7.2 Baterias

Especialmente, em sistemas isolados da rede elétrica, o uso de dispositivos de armazenamento de energia torna-se necessário para atender as demandas energéticas em períodos em que a produção seja insuficiente à noite ou em dias chuvosos ou nublados, com baixos níveis de radiação solar ou até mesmo nula. Pode também utilizar-se baterias em sistemas ligados à rede elétrica para suprimir falhas ou armazenar a energia produzida em excesso pelo sistema fotovoltaico [20].

As baterias, ou acumuladores, são um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, ligados em série e/ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de processos eletroquímicos de oxidação e redução que ocorrem no seu interior [20].

Existem várias tecnologias para conversão de energia através de processos eletroquímicos. Uma das tecnologias mais utilizadas é a acumulação de energia com baterias de Chumbo-Ácido (PbA), devido ao seu baixo custo e desempenho eficiente. Atualmente existem no mercado baterias com tecnologias mais modernas, utilizando o Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-Hidreto Metálico (NiMH) e os Iões de Lítio (Li-ion), entre outras. Estas tecnologias apresentam inúmeras vantagens como, por exemplo, maior eficiência, maior vida útil e maior profundidade de descarga. No entanto, estas tecnologias não são ainda economicamente viáveis para aplicação em sistemas fotovoltaicos estacionários [20].

A Tabela 2 sintetiza as vantagens, desvantagens dos diferentes tipos de baterias. Na Tabela 3 faz-se a comparação entre os diferentes tipos de baterias.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de baterias [22].	
Bateria Chumbo-Ácido	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo e simples de fabricar; • Tecnologia confiável e bem compreendida; • Exigências de manutenção baixas; • Auto-descarga baixa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não pode ser armazenada em uma condição descarregada. Tensão da célula não pode estar abaixo de 2,1 V; • Baixa densidade de energia baixa; • Somente permite um número limitado de ciclos cheios de descarga; • Prejudicial ao meio ambiente, o eletrólito e o teor de chumbo podem causar danos ambientais.
Bateria de Níquel-Cádmio	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo; • Leve, facilmente transportada; • Bom desempenho a baixa temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidade do Cádmio; • Tempo de vida útil reduzido; • Efeito de memória; • Menor capacidade em relação as baterias NiMH.
Bateria de Níquel-Hidreto Metálico	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Maior capacidade de armazenamento de carga em relação as baterias NiCd (Entre 50% a 100%); • Sem necessidade de manutenção; • Menor tendência para o efeito memoria quando comparado com a bateria NiCd; • Isenta de Cádmio. Não é tóxica e sustentável ambientalmente; • Rápida capacidade de recarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta taxa de auto-descarga. Auto descarregam em torno de 50% mais rápido que as baterias NiCd; • Ainda que o preço se tenha aproximado, continuam a ser mais dispendiosas que as baterias NiCd; • Corrente limitada na descarga. Melhores resultados são obtidos com correntes de descarga de 0,2 C a 0,5 C (20% a 50% da corrente nominal); • Repetidos ciclos de carga e descarga reduzem a vida útil da bateria, desempenho degrada-se após 200 a 300 ciclos.

Bateria de Iões de Lítio	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada densidade de energia e com potencial para capacidades ainda maiores; • Baixa taxa de auto-descarga. Conseguir ser menor do que metade da NiCd e NiMH; • Não é afetada pelo efeito memória; • Baixa manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escassez do lítio; • Custo elevado na fabricação; • Requer circuito de proteção; • Não fazer curto-circuitos, não sobrecarregar, não esmagar, não bater, não expor a altas temperaturas devido a sua alta densidade de energia.

Tabela 3: Comparação entre os diferentes tipos de baterias [22].

Caraterísticas	Valores Típicos das Baterias			
	Bateria Chumbo-Ácido	Níquel-Cádmio	Níquel-Hidreto Metálico	Iões de Lítio
Densidade de energia (Wh/kg)	25 – 70	50 – 75	75 - 150	350 – 600
Densidade de potência (W/kg)	80 – 150	200 – 500	250 - 400	150 – 230
Rendimento (%)	70 – 90	70 – 90	70 – 90	75 – 90
Capacidade cíclica (nº ciclos)	2 000 – 2 500	2 000 – 3 500	1 000 – 1 500	2 500 – 4 500
Tempo de vida útil (Anos)	5 – 15	10 - 15	8 – 13	12 – 20
Custo (USD/kW)	1 740 – 2 580	1 900 – 2 300	2 500 – 3 500	4 000 – 5 000
Custo ¹ (€/kW)	1 462 – 2 167	1 596 – 1 932	2 100 – 2 940	3 360 – 4 200

¹ Taxa de câmbio (11 Setembro 2020) 1 USD – 0,84 €.

Considerações Elétricas das Baterias

Para caraterizar uma bateria, é necessário ter em conta alguns fatores tais como [20]:

- **Tensão:** Tensão nominal;
- **Capacidade útil:** É a quantidade máxima de energia elétrica que a bateria pode fornecer durante o seu processo de descarga e até a descarga estar completa;

- **Capacidade:** É a quantidade de corrente que se pode extrair da bateria num determinado número de horas, à temperatura de **25°C** e é medida em unidades de ampere-hora (Ah);
- **Estado de carga (SOC, state of charge):** Se o SOC for igual a 1, corresponde a uma bateria completamente carregada e, caso o SOC for igual a 0, corresponde a uma bateria completamente descarregada. Este parâmetro é dado em percentagem;
- **Ciclo de vida:** Informação dada pelo fabricante, que corresponde ao número de vezes que bateria pode carregar/descarregar durante a sua vida útil. O número de ciclos de vida depende da profundidade de descarga em que trabalha a bateria no sistema;
- **Profundidade de descarga:** Relaciona a capacidade nominal e a intensidade de corrente na qual se realiza a carga ou descarga da bateria;
- **Regime de carga ou descarga:** Parâmetro habitualmente apresentado em horas, com um sub índice do sinal de capacidade e da corrente na qual se realiza o processo de carga e descarga;
- **Auto-descarga:** É a percentagem de energia que as baterias perdem quando não se encontram em funcionamento.

1.7.3 Reguladores de Carga - MPPT

O objetivo do regulador de carga é proteger a bateria ou bancos de baterias contra sobrecargas e evitar descargas profundas, de modo a que a bateria não se esgote com um excesso de carga, o que provocaria uma diminuição da sua capacidade e encurtaria a sua vida útil. Para além desta função, existem reguladores de carga que asseguram o funcionamento do sistema no ponto de máxima eficiência.

O regulador de carga é considerado indispensável no sistema fotovoltaico com armazenamento, pois a sua utilização permite uma otimização do dimensionamento do banco de baterias e do seu carregamento, a desconexão de cargas em baixo estado de carga da bateria e um maior nível de proteção contra um aumento excessivo de consumo ou uma possível intervenção do usuário. Este componente deve desligar o gerador fotovoltaico quando a bateria atingir carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança. Alguns controladores também monitorizam o desempenho do sistema fotovoltaicos e acionam alarmes quando ocorrem avarias.

Para que o módulo fotovoltaico tenha o máximo aproveitamento da capacidade de energia elétrica que ele é capaz de produzir, ele deve operar no ponto de máxima potência. O seguidor do ponto de máxima potência normalmente designado por MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) é um algoritmo de controlo que opera sobre o painel fotovoltaico, de forma a este forneça a máxima potência durante um determinado instante. O MPPT altera o ponto de funcionamento dos painéis sendo capaz de fornecer a máxima potência na saída, otimizando assim a extração de energia gerada pelos painéis. O sistema MPPT compara, de modo contínuo, o nível de carga da bateria com a saída do painel fotovoltaico. Feita a comparação, ajusta a tensão e a corrente a ser aplicada à bateria. Deste modo, a carga da bateria torna-se mais eficiente [23].

O valor de corrente máxima do controlador, deve ser maior do que a corrente de curto-circuito produzida pelo gerador fotovoltaico, multiplicada por um fator de **1,25**, assim como a tensão de operação do sistema (normalmente **12V**, **24V** ou **48V**). Estas são as condições mínimas necessárias para especificar o controlador. Além disso, deve levar-se em conta a corrente das cargas e a corrente de defeito, se a houver [20].

1.7.4 Inversor

A função dos inversores utilizados nos sistemas fotovoltaicos é converter a corrente contínua (CC), gerada pelo sistema fotovoltaico (conjunto de módulos fotovoltaicos), em corrente alternada (CA). Deste modo, é feita a ligação entre o gerador fotovoltaico (conjunto de módulos fotovoltaicos) e a carga CA dos equipamentos ou a rede elétrica. A tensão CA de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas. No caso de sistemas ligados à rede elétrica, a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede [20].

Estes equipamentos podem ser utilizados com vários tipos de configurações:

- Sistemas ligados à rede;
- Sistemas desligados da rede com baterias recarregáveis;
- Sistemas de bombagem com baterias de armazenamento.

Inversor On-Grid

Este inversor, é usado para ligar um sistema fotovoltaico sem baterias à rede elétrica. A sua função é converter a corrente CC gerada pelos módulos fotovoltaicos num sinal de acordo

com as especificações da rede. Ao contrário dos outros tipos de inversores, estes devem conseguir responder tanto às características da rede elétrica como às do gerador de energia solar.

O inversor *On-Grid* garante, durante o funcionamento, a segurança do sistema fotovoltaico, minimiza a injeção de CC na rede, evita distorções harmónicas, mantém o fator de potência e produz também dados da produção de energia para monitorizar o desempenho do sistema. Dado que toda a corrente proveniente dos módulos circula no inversor, as suas propriedades afetam o comportamento e os resultados operacionais do sistema fotovoltaico.

Os inversores assumem, também, outras funções como as de dispositivos de proteção CA e CC (por exemplo: proteção de polaridade, proteção contra sobrecargas e sobretensões e equipamento de proteção da interligação com a rede recetora) e registo de dados operacionais e sinalização (por exemplo: visualizadores, armazenamento de dados, transferência de dados) [24].

Inversor Off-Grid

Os inversores para instalações autónomas devem possuir as seguintes características [20]:

- Proteção contra sobretensões;
- Elevada tolerância perante as flutuações de tensão da bateria;
- Alta eficiência;
- Baixo consumo em *stand-by* com autodeteção da presença de uma carga;
- Proteção contra curto-circuito no lado da saída;
- Elevada tolerância às correntes de arranque.
- Baixo conteúdo harmónico;
- Proteção contra uma profunda descarga da bateria;
- Corrente alternada sinusoidal, com a tensão e frequência estabilizadas.

Também existem outras tipologias de inversores desenvolvidos para que cumpram os requisitos do sistema fotovoltaico:

- Inversor *Solar String*. Nestes inversores, são ligados filas ou linhas de módulos fotovoltaicos (*strings*);
- Micro-inversor solar: Este inversor foi desenvolvido para operar com um único painel solar ou um par deles;

- Inversor solar central: São usados para instalações de grande porte;
- Inversor híbrido: É uma mistura dos inversores *Off-Grid* e *On-Grid*. Enquanto há energia elétrica disponível na rede, o sistema permanece ligado à rede e ao mesmo tempo carrega as baterias. Quando há uma falha na rede pública, o sistema desliga-se da mesma, permitindo alimentar as cargas, utilizando a energia armazenada nas baterias. O sistema mantém todas, ou apenas parte, as cargas da instalação abastecidas pela energia proveniente das baterias.

Os inversores deverão estar obrigatoriamente identificados com a seguinte informação [20]:

- Potência nominal (VA ou W);
- Tensão nominal de entrada (V);
- Tensão e frequência (Hz) nominais de saída;
- Fabricante e número de série;
- Polaridade e terminais.

1.8 Sistemas Fotovoltaicos

Existem vários sistemas fotovoltaicos. A melhor escolha depende de vários fatores, como a localização, a possibilidade de ligação à rede elétrica, as necessidades dos consumidores, entre outros. Os sistemas fotovoltaicos podem ser ligados à rede (*On-Grid*), autónomos (*Off-Grid*), ou híbridos. Em vários países europeus existem diversas políticas de incentivos para que os pequenos sistemas domésticos vendam sua energia à rede, usufruindo de tarifas especiais. Em Cabo Verde, a importação de kits de sistemas solares está isenta de taxas aduaneiras.

Sistemas Autónomos ou Isolados (*Off-Grid*)

São sistemas que não dependem da rede elétrica convencional para funcionar, sendo possível sua utilização em zonas remotas que carecem de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de sistemas isolados: com armazenamento; e sem armazenamento. Os sistemas isolados com armazenamento utilizam baterias químicas para armazenar a energia elétrica. Neste caso, o sistema fotovoltaico fornece energia para a carga a alimentar e carrega as baterias. Quando a energia fotovoltaica é insuficiente, é a bateria, que previamente carregada, alimenta

a carga. Tipicamente esta instalação compreende os seguintes equipamentos, ligados como se pode observar na Figura 1.15 [19]:

- Módulos fotovoltaicos;
- Inversor;
- Baterias;
- Controlador de carga.

O sistema fotovoltaico sem armazenamento é, frequentemente, utilizado no bombeamento de água, apresentando maior viabilidade econômica, já que não utiliza equipamento para o armazenamento de energia [19].

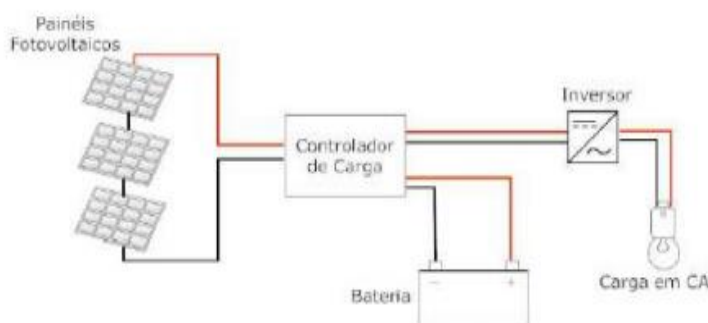


Figura 1.15: *Layout* de um sistema fotovoltaico isolado com armazenamento [25].

Sistemas Ligados à Rede (*On-Grid*)

Os sistemas ligados à rede elétrica permitem utilizar a energia proveniente da rede quando o sistema não produz o suficiente para satisfazer as necessidades energéticas, assim como injetar na rede a energia produzida em excesso.

Ao contrário dos sistemas *Off-Grid*, nos sistemas *On-Grid* não é necessário a instalação de baterias, sendo apenas necessários os módulos fotovoltaicos e os inversores, como se mostra na Figura 1.16, o que torna menos crítico do que o sistema isolado. Neste caso, a fiabilidade do fornecimento de energia elétrica não é problemática, porque quando houver falhas no sistema fotovoltaico, a rede elétrica supre as necessidades energéticas. Os sistemas *On-Grid* têm sido mais comuns, em comparação com os sistemas isolados, especialmente em locais com fácil acesso à rede elétrica [20].



Figura 1.16: *Layout* de um sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica [25].

Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos consistem na combinação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia que asseguram a carga das baterias na ausência de sol. Estas fontes podem ser sistemas eólicos, ou sistemas convencionais como o gerador diesel e podem ser também sistemas ligados à rede elétrica, com utilização baterias. O sistema híbrido é apontado como um sistema complexo porque necessita integrar diversas formas de produção de energia elétrica.

A energia solar é uma energia que não pode ser controlada e a falta de controlo da produção tem uma relação direta com a imprevisibilidade da injeção de energia na rede. A incapacidade de gerar energia quando necessário pode causar instabilidade e baixa fiabilidade no sistema energético. O maior problema de integração de sistemas fotovoltaicos na rede elétrica é a flutuação da irradiação solar. A elevada penetração de sistemas ligados à rede pode inverter a direção da energia na rede e introduzir novos problemas técnicos no sistema, assim como aumento da tensão e desequilíbrio da mesma, uma das soluções para resolver estes problemas é a utilização de baterias em conjugação com os sistemas fotovoltaicos ligados à rede. Esta conjugação apresenta vantagens, não só por armazenar o excedente de produção, mas também porque minimiza as dificuldades induzidas pelos altos níveis de injeção de energia fotovoltaica na rede elétrica. Num sistema deste tipo, a energia produzida pelo sistema fotovoltaico alimenta diretamente a carga, e, em caso de excesso de produção, carrega as baterias. Assim que produção do sistema fotovoltaico diminui, as baterias começam a descarregar. No caso de as baterias descarregarem totalmente, e não haja produção fotovoltaica suficiente, as necessidades energéticas são asseguradas pela rede. Pode ainda ser injetada energia em excesso na rede, caso exista excesso de produção, e as baterias estejam totalmente carregadas (Figura 1.17) [20].



Figura 1.17: Layout do sistema fotovoltaico híbrido [20].

1.9 Sistemas de Telegestão para a Iluminação Pública

Os custos de um sistema de iluminação pública durante a sua vida útil, podem ser divididos em custos de investimento inicial e custos operacionais (manutenção e energia consumida). Na Figura 1.18 constata-se que após **25** anos de vida útil de sistema de IP tradicional é estimado que **15%** do custo é feito no investimento dos equipamentos, **40%** no consumo de energia e **45%** na manutenção. Para reduzir estes valores são necessários sistemas que possibilitem reduzir o consumo de energia elétrica (sistemas mais eficientes) garantindo a mesma segurança e conforto e também ir ao encontro de sistemas inteligentes, com menores custos de manutenção e operação das redes de IP [26].

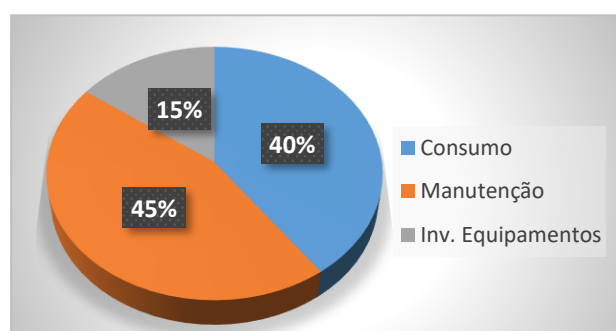


Figura 1.18: Diagrama dos custos de um sistema de IP durante a sua vida útil.

Existem vários tipos de equipamentos e sistemas de comunicação usados em iluminação pública maioritariamente por LED, como por exemplo [27]:

- **Drivers com fluxo reduzido ao longo da noite:** Os *drivers* possuem algumas possibilidades de controlo sobre o fluxo luminoso da luminária LED. A mais utilizada hoje em dia é a redução do fluxo luminoso ao longo do período noturno, principalmente em horas em que as zonas a iluminar estão com menor afluência. As Empresas como a Philips, Osram ou LG têm esta opção em quase todos os seus modelos para iluminação exterior;
- **Sensores:** Quando se pretenda um controle individual da luminária, os sensores aliados a um *driver* que possibilite redução de fluxo são uma excelente escolha para instalações, tornando também a instalação mais interativa com o utilizador da via;
- **Z-Wave:** Z-Wave é uma tecnologia rádio frequência largamente utilizada para aparelhos de controlo remoto, tem baixo consumo de energia, usa um meio simples, fiável e com rádio frequência bidirecional com confirmação de ordem. Essa tecnologia é um protocolo de comunicação sem fio usado principalmente para automação residencial;
- **PLC:** O *PLC (Power Line Communication)* é um dos sistemas de controlo mais conhecidos para controlar sistemas de iluminação. Não é necessário criar qualquer tipo de estrutura uma vez que usa a infraestrutura da rede elétrica para comunicação através de modulação de onda por uma determinada frequência. Tem como base uma hierarquia mestre-escravo, sendo o mestre que irá gerir os controladores que estão nas luminárias a controlar, os escravos. O mestre fica colocado nos postos de transformação de iluminação pública à saída do circuito elétrico para as luminárias. Cada controlador de luminária dará ordens ao *driver* utilizando os protocolos DALI ou **1-10 V**;
- **ZigBee:** Este é um dos protocolos mais utilizados para comunicações sem fios. Desenvolvido pela *ZigBee Alliance* com a especificação IEEE 802.15.4 suporta as três tipologias em rede mais utilizadas que são em estrela, em malha e em árvore. É, principalmente, encontrado em aplicações nas áreas de gestão de energia, automação de edifícios, domótica e até em monitorização clínica. O *ZigBee* também funciona hierarquicamente onde o controlador (mestre) é o responsável por toda a rede, enviando comandos e recebendo *feedback* de controladores de luminária (escravos) que estão na mesma rede. As bandas de frequência utilizadas pelo *ZigBee* são **2,4 GHz, 868 MHz e 915 MHz** com uma largura de banda entre os **20-250 kbps** permitindo alcances de comunicação entre dispositivos até **100 m**;

- **LPWAN:** *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) é um tipo de tecnologia sem fios que está a ser muito utilizado para aplicações em IoT (*internet of things*). Esta tecnologia permite comunicações a longas distâncias e consegue ter milhares de dispositivos na mesma rede. Este sistema funciona com uma tipologia de rede em estrela, ou seja, a comunicação é sempre entre a *gateway* e os dispositivos finais, não havendo a possibilidade de os dispositivos finais comunicarem entre si. Esta tecnologia tem um consumo de energia muito baixo, o que em alguns casos significa que uma bateria pode durar anos com uma simples pilha AA. A velocidade de transmissão de dados é relativamente baixa e estes dispositivos apenas comunicam algumas vezes por dia, sendo esta uma das desvantagens deste tipo de sistemas.
- **Rede Móvel GSM (2G/3G):** Este tipo de tecnologia é ideal para longas distâncias, também utilizado em aplicações IoT, utiliza a rede de comunicações móveis existente, não sendo necessário criar uma estrutura própria. Tem como vantagem não necessitar de uma *gateway* (mestre), uma vez que todas as comunicações são feitas entre o servidor e o dispositivo final, não havendo por isso limite de dispositivos por instalação. O consumo de energia, embora baixo (entre **2W** e **5W**), é superior a outras tecnologias já descritas em cima, e tem capacidade para o envio de grande quantidade de dados dependendo de qual a tecnologia móvel de comunicação que utiliza.

Aliados às tecnologias de sistemas de controlo anteriormente descritas surgem as plataformas de telegestão. Os sistemas de telegestão são ferramentas usadas para gerir, controlar e monitorizar redes de iluminação pública. Estes sistemas de telecomunicações permitem gerir remota e individualmente as luminárias individuais fazendo pleno uso dos seus parâmetros operacionais. Quando combinada com outros componentes específicos, esta tecnologia facilita uma precisa e seletiva variação de intensidade luminosa de cada luminária. Cada luminária recebe individualmente informações de configuração que melhor se adaptem à sua função específica. É possível configurar com precisão a quantidade de luz necessária em quaisquer circunstâncias, controlando a quantidade de energia utilizada.

Existem diversas plataformas de telegestão de iluminação: A **Philips CityTouch**, **Telensa PLANet**, **Schröder - Owlet Nightshift** e a **Schröder - Owlet IoT**, na Tabela 4 apresentam-se as características das diferentes plataformas mais usadas nos sistemas de telegestão [27].

Tabela 4: Comparação de sistemas de telegestão.

	Tipo de Tecnologia	Gateway e nº de controladores	Alcance	Potência (W)	Largura de banda	Vantagem	Desvantagem
Philips CityTouch	GSM	não tem <i>Gateway</i> , comunica diretamente com a rede GSM;	vários km's	<2W	Elevada	Não necessitar de <i>Gateway</i> ;	Preço elevado do controlador e de comunicações;
Telensa PLANet	UNB e GSM	5000 controladores por <i>Gateway</i> ;	>10Km	0.8W	Baixa	Elevado número de controladores por <i>gateway</i> ;	Preço elevado do sistema e baixa velocidade de transmissão de dados;
Owlet Nightshift	ZigBee e GSM	150 controladores por <i>Gateway</i> ;	até 100m	<1W	Média	Preço competitivo e número de instalações já realizadas;	Baixo número de controladores por <i>Gateway</i> ;
Owlet IoT	GSM e ZigBee	não tem <i>Gateway</i> , comunica diretamente com a rede GSM.	vários km's	<3W	Elevada	Não necessitar de <i>Gateway</i> .	Preço elevado do controlador e de comunicações.

CAPÍTULO 2

CONTEXTO ENERGÉTICO EM CABO VERDE

Neste capítulo são apresentados a caracterização de Cabo Verde, a situação energética do País, os produtores de energia e os incentivos dados pelo Governo para colmatar o elevado consumo de combustíveis fósseis.

O arquipélago de Cabo Verde fica situado a cerca de **570 km** da costa da África Ocidental. É constituído por dez ilhas, como se mostra na Figura 2.1 (das quais, nove são habitadas) e oito ilhéus. O arquipélago é de origem vulcânica, apresenta clima semiárido, saheliano e está situado entre o Trópico de Câncer e o Equador, limitado pelos paralelos **14°48'** e **17°12'** de latitude Norte e os meridianos **22°44'** e **25°22'** de longitude, a Oeste de Greenwich [28].

O arquipélago de Cabo Verde tem uma área total de **4 033 km²** e uma população de **560 899** habitantes (estimativa de 2017), o que resulta numa densidade populacional média de **118 Habitantes/km²**. A sua Zona Económica Exclusiva estende-se por **734 000 km²** [28].

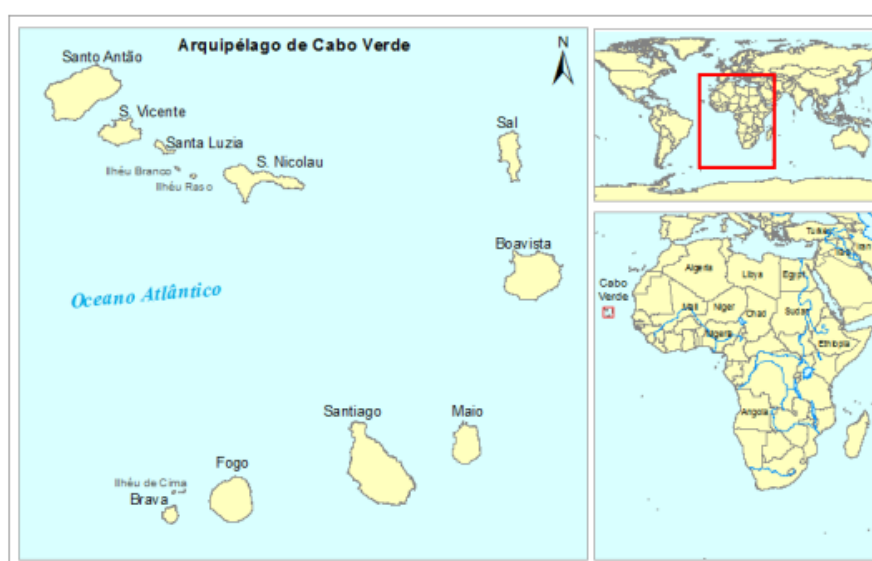


Figura 2.1: Arquipélago de Cabo Verde [28].

As ilhas encontram-se divididas em dois grupos:

- Ao norte, as ilhas de Barlavento: Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia (desabitada), São Nicolau, Sal e Boa Vista;
- Ao sul, as ilhas de Sotavento: Maio, Santiago, Fogo e Brava.

2.1 Diagnóstico do Setor Elétrico

A situação do setor electroprodutor em Cabo Verde é caracterizada pelos seguintes parâmetros [29]:

- **Sistema de produção e distribuição de energia elétrica deficiente:** A capacidade de produção e a rede de distribuição da energia elétrica e água são insuficientes relativamente à procura, devido à falta de investimentos e à não integração das redes de distribuição. Existe um produtor e operador dominante, ELECTRA S.A, muito fragilizado, com fraca qualidade de serviço, fraco desempenho operacional, situação financeira deficitária e falta preocupante de investimentos;
- **Fraca penetração das energias alternativas:** Cabo verde possui excelentes recursos solar e eólico. Apesar destas condições favoráveis, o custo de investimento tem sido um dos principais obstáculos à sua adoção;
- **Inadequação da capacidade de armazenamento e dos meios logísticos:** A capacidade de armazenagem de combustíveis, assim como os meios logísticos, estão inadequadamente distribuídos entre as ilhas. A ilha de Santiago representa cerca de **60%** do consumo nacional de combustíveis e detém aproximadamente, apenas **10%** da capacidade de armazenamento;
- **Fraca capacidade de planeamento e de investimento no subsector elétrico:** A dependência de um único operador na produção de eletricidade é um desafio. A ELECTRA tem fraca capacidade para gerir e dar resposta ao aumento da procura;
- **Fraca capacidade institucional:** A capacidade institucional e competências dentro do setor são altamente limitadas, especialmente no que diz respeito à formulação e implementação de políticas e à regulação;
- **Fracos sistema de incentivos à eficiência:** A fraca capacidade institucional que o sector de energia enfrenta não é propícia ao desenvolvimento.

2.2 Tarifas de Energia em Vigor

O custo da energia no país tem uma flutuação instável, dependendo do custo dos combustíveis fósseis, provenientes da importação. De acordo com o estabelecido pela entidade responsável pela fixação do tarifário da energia, encontram-se em vigor os tarifários apresentados nas Tabelas 5 e 6 [30]:

Tabela 5: Tarifas de Eletricidade para a ELECTRA, SA e para a APP – Águas de Ponta Preta [30]. (Em vigor a partir de 20 de Setembro de 2019).			
Escalões	Tarifa Base, EUR	IVA (15%) EUR	Tarifa c/ IVA, EUR
Baixa Tensão Doméstica			
<= 60 KW/mês	0,1903	0,0286	0,2189
>60 KW/mês	0,2526	0,0379	0,2905
Baixa Tensão Especial	0,2176	0,0326	0,2502
Média Tensão	0,1785	0,0268	0,2053
Iluminação Pública	0,1903	0,0286	0,2189

Tabela 6: Tarifas de Eletricidade para AEB – Águas e Energia da Boavista [30]. (Em vigor a partir de 20 de Setembro de 2019).			
Escalões	Tarifa Base, EUR	IVA (15%) EUR	Tarifa c/ IVA, EUR
Baixa Tensão Doméstica			
<= 60 KW/mês	0,2243	0,0336	0,2579
>60 KW/mês	0,2865	0,0430	0,3294
Baixa Tensão Especial	0,2516	0,0377	0,2893
BTE - Lacacão	0,2713	0,0407	0,3120
Média Tensão	0,2124	0,0319	0,2443
Iluminação Pública	0,2243	0,0336	0,2579

2.3 Política Energética

A política energética de Cabo Verde tem por objetivo construir um setor energético seguro, eficiente, sustentável e sem dependência dos combustíveis fósseis. Esta visão está assente em quatro pilares fundamentais [2]:

1. Segurança energética e redução da dependência das importações – Garantir redução da dependência das importações de energia e facilitar o acesso contínuo ao fornecimento de energia, não obstante das incertezas e imprevisibilidades do mercado mundial;
2. Aposta nas energias renováveis – Investir e adotar tecnologias de energias renováveis e alternativas, com a consequente redução da dependência da importação de combustíveis;
3. Sustentabilidade do setor – Garantir a sustentabilidade do setor energético do ponto de vista ambiental, sociopolítico e económico;
4. Eficiência – Garantir um sistema de fornecimento, distribuição e consumo de energia adequado e eficiente em todo o país.

Um dos principais objetivos da política energética do Governo é, até 2020, é cobrir **50%** das necessidades em energia elétrica através de fontes renováveis e ter, pelo menos, uma ilha em que **100%** da energia seja obtida a partir de fontes renováveis [2].

2.4 Programas para a Sustentabilidade Energética

Com o avanço do tempo, a tecnologia utilizada sofreu uma importante evolução, sendo que, hoje em dias existem objetivos a cumprir por parte do Governo. Entre as várias medidas a implementar no âmbito da eficiência energética, a principal destaca o uso de equipamentos e/ou soluções mais eficientes que visem a melhoria da eficiência energética das instalações, nomeadamente [2]:

- Substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por fontes de luz mais eficientes, como a tecnologia LED;
- Instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da Iluminação Pública;
- Instalação de sistemas de regulação de fluxo luminoso;
- Substituição de luminárias ineficientes, ou com mais de **10 anos** de utilização, por equipamentos com melhor capacidade de reflexão e/ou necessidade de fontes de luz de menor potência e substituição de balastros com mais de **10 anos** ou ineficientes.

2.5 Produtores de Energia

O mercado elétrico e dos combustíveis é regulado, desde 2004, pela Agência de Regulação Económica (ARE), atualmente ARME - Agência de Regulação Multisectorial da Economia. No mercado de combustíveis operam duas companhias: a ENACOL, empresa local (com participação acionista da empresa angolana Sonangol e da companhia portuguesa GALP) e a VIVO Energy que comercializa produtos da Shell Internacional. A energia consumida em Cabo Verde é maioritariamente constituída por derivados do petróleo (GPL-Gás de Petróleo Liquefeito, gasolina, petróleo, gasóleo, fuel óleo e Jet A1) [2].

A principal empresa a operar no setor elétrico no País é a empresa de Eletricidade e Água – ELECTRA S.A., empresa pública que tem desde 2000 a concessão da rede de distribuição e opera as maiores centrais de produção. A exceção é a ilha da Boavista onde opera a empresa público-privada Águas e Energia de Boavista (AEB) como subconcessionária do serviço público. Na ilha do Sal opera, desde 2005, ainda a empresa Águas de Ponta Preta (APP), empresa de tratamento de água e energia [2].

Na área das energias renováveis o maior produtor de energia elétrica de origem eólica é a Cabeólica, S.A. uma empresa de parceria público-privada que iniciou a sua atividade em Cabo Verde em 2009 com a instalação de quatro parques eólicos, num total de **25,5 MW**, nas ilhas de São Vicente, Sal, Boavista e Santiago. A empresa privada ELECTRIC WIND desenvolveu e tem explorado um Parque Eólico de duas unidades de **250 kW** cada, na ilha de Santo Antão [2]. A Tabela 7 sintetiza os produtores de energia, as respetivas capacidades e sistemas de produção.

Tabela 7: Produtores de energia, capacidades e sistemas de produção [1].	
Produtor: Electra, S.A. (Santo Antão, São Vicente, S. Nicolau, Sal, Maio, Santiago, Fogo, Brava)	
Designação	2017
Centrais Diesel (unid.)	13
Centrais Eólica (unid.)	1
Centrais Solar (unid.)	2
Potência Instalada (kW)	
Térmicas	155 072

Tabela 7: Continuação.	
Eólica	600
Solar	5 700
Produção Eletricidade (MWh)	424 798
Produtor: Águas e Energia de Boavista (Boavista)	
Designação	2017
Potência Instalada (kW)	15 104
Produção Eletricidade (MWh)	31 408,6
Produtor: Electric Wind (Santo Antão)	
Designação	2017
Centrais Eólica (unid.)	2
Potência Instalada (kW)	
Eólica	500
Produção Eletricidade (MWh)	760,9
Produtor: Águas de Ponta Preta (Sal)	
Designação	2017
Potência Instalada (kW)	6 200
Produção Eletricidade (MWh)	26 105,7
Produtor: Cabeólica, S.A. (São Vicente, Sal, Boavista, Santiago)	
Designação	2017
Centrais Eólica (unid.)	4
Potência Instalada (kW)	
Eólica	25 500
Produção Eletricidade (MWh)	75 426

ELECTRA S.A. adquire a energia produzida pela Cabeólica e pela Electric Wind para comercializar na sua rede de distribuição, dado que esses produtores não possuem rede de distribuição.

2.6 Potencial da Energia Solar

A importância das Energias Renováveis no balanço energético do País é cada vez mais uma necessidade premente, face a flutuação dos preços do petróleo no mercado mundial, por um lado, contribuindo por outro lado para a redução dos níveis de emissão dos gases com efeito de estufa.

Na Figura 2.2 está representado a mapa geográfica de Cabo Verde com a radiações global em kWh/m².

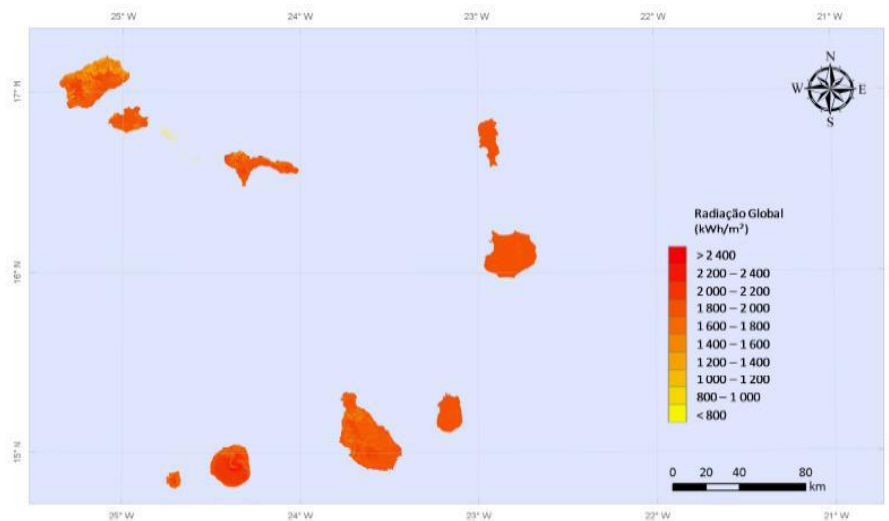


Figura 2.2: Representação geográfica das ilhas de Cabo Verde com a radiações global em kWh/m² [2].

De acordo com um estudo realizado, parte integrante do Plano Energético Renovável de Cabo Verde, pode afirmar-se que Cabo Verde tem um recurso solar abundante. Em termos de média anual, grande parte do território apresenta uma radiação global entre os **1 800** e os **2 000 kWh/m²/ano**, para a inclinação e exposição natural do terreno. De facto, mais de metade do território analisado (**66%**) apresenta radiações anuais nesta ordem de grandeza. Relativamente ao número de horas de sol, mais de metade do território apresenta um potencial superior á **3 750** horas de sol por ano, conforme se verifica na Figura 2.2 [2].

As melhores áreas das ilhas apresentam níveis de radiação global, em plano horizontal, entre **2 070 kWh/m²/ano** e **2 175 kWh/m²/ano**, assumindo-se um valor indicativo para as zonas com potencial no arquipélago de **2 130 kWh/m²/ano**. Refira-se que as máximas radiações globais em plano horizontal na Europa registam valores na ordem dos **1 700 kWh/m²/ano**, o que demonstra que Cabo Verde tem um recurso bastante superior ao recurso solar europeu, onde o investimento em tecnologia solar tem vindo a aumentar desde a última década [2].

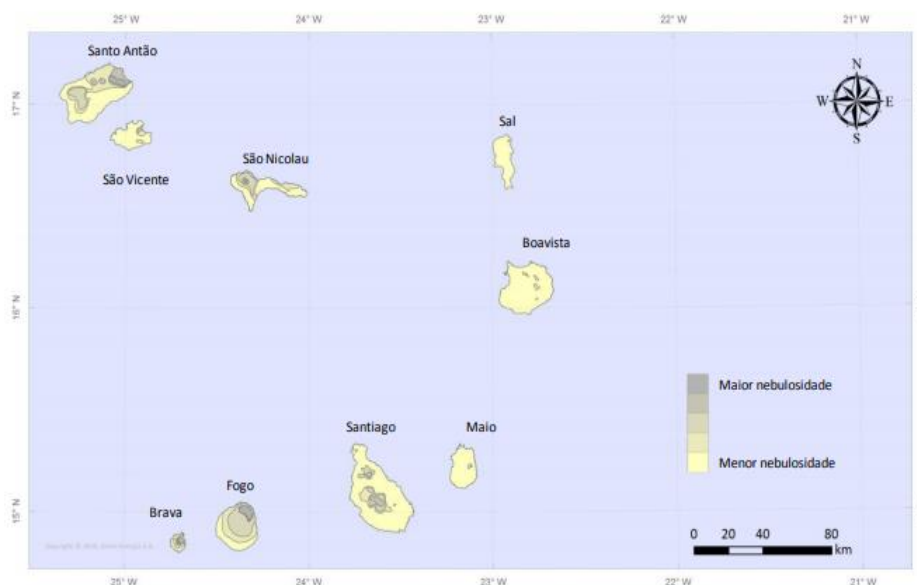


Figura 2.3: Mapa das zonas com maior nebulosidade em Cabo Verde [2].

Com o objetivo de identificar as melhores zonas de radiação, elaborou-se o mapeamento das zonas com maior nebulosidade. De acordo com a classificação de nebulosidade, verifica-se que as ilhas de Santo Antão, São Nicolau, Fogo e Brava registam maiores índices de nebulosidade. As ilhas do Sal, Boavista e Maio possuem um menor índice de nebulosidade e por conseguinte apresentam um recurso solar mais abundante, conforme se verifica na Figura 2.3, onde se apresenta o mapeamento da nebulosidade em Cabo Verde.

Conclui-se que todas as ilhas apresentam localizações com boas características para a instalação de centrais fotovoltaicas de várias gamas de potência, mas as ilhas de Santiago, Boavista e Sal têm uma maior disponibilidade de áreas com boas condições para desenvolver estes projetos [2].

Alguns estudos apontam para grandes potencialidades em termos de recursos solares para o país. Na Tabela 8 apresentam-se as zonas para o desenvolvimento da energia solar, com a indicação das respetivas áreas para o desenvolvimento de projetos solares. As Zonas de Desenvolvimento de Energias Renováveis (ZDER) identificadas, apresentam uma capacidade

para a instalação de, aproximadamente, **1 500 MW** estimando-se um potencial de produção de energia anual, na ordem dos **2 700 GWh/ano** [2].

Tabela 8: Zonas para desenvolvimento de Energias Renováveis (Recurso Solar) [2].

Ilha	ZDER	Projeto	Potência (MW)	Área da ZDER (km²)
Santiago	ST.8	Achada da Ponta da bomba	53	1,08
	ST.9	Achda Ribeira Pedro	89	1,78
	ST.10	Achada Bela Costa	73	1,46
São Vicente	SV.6	Salamansa	62	1,24
Santo Antão	SA.4	Porto Novo	176,5	3,54
Fogo	FG.3	Fogo	928,5	18,62
Sal	SL.2	Sal	98,5	1,92
Boavista	BV.2	Ervadão	30	0,69
	BV.3	Belmonte	30	0,79
Maio	MA.2	Esgrovere	6	0,13
	MA.3	Barreiro	3	0,07
	MA.4	Alcatraz	3	0,06
Brava	BR.2	Furna	3	0,06
São Nicolau	SN.2	Preguiça	5	0,15
	SN.2	Cacimba	5	0,13

2.7 Parques Solares Existentes

Durante o ano 2010 foram construídos dois parques solares fotovoltaicos nas ilhas de Santiago e Sal, com um backup térmico:

- O parque solar da ilha de Santiago, situa-se em Palmarejo Grande, com uma potência instalada de **5 MW**, ocupando uma área de **12 hectares**. A instalação fotovoltaica é composta por **21 696 módulos** de **230 W** cada, da marca MARTFIER, modelo MTS 230p, distribuídos em **7 strings**. Contém **7** postos de transformações (PT) e um posto de seccionamento (SS). Este parque solar, está prevista uma produção anual de cerca de **8 120 MWh** e pertence à ELECTRA S.A, mas encontra-se sobre responsabilidade de uma instituição denominada de Centro

de Energias Renováveis e Manutenção Industrial (CERMI), o qual é responsável pela manutenção e gestão técnica. Os módulos fotovoltaicos do parque são do tipo policristalino [31];

- Na ilha do Sal, o parque ocupa uma área de **10 hectares** e tem uma potência de **2,5 MW**, com possibilidade de ampliação em mais **2,5 MW** até 2014. A instalação fotovoltaica é composta por **11 016 módulos**, estando prevista uma produção anual de cerca de **3 960 MWh** [31].

CAPÍTULO 3

PANORAMA ATUAL DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM CABO VERDE

A qualidade da iluminação pública no País é uma consequência direta do seu crescimento e da falta de regulamentação local adequada, com implicações sociais e económicas significativas para os Cabo-Verdianos [32].

3.1 Caracterização da Iluminação Pública em Cabo Verde

O nível do consumo na instalação de Iluminação Pública e os preços de eletricidade tiveram um aumento significativo nos últimos anos em Cabo Verde. O consumo de energia está relacionado com o aumento da qualidade de vida da população.

Apesar de Cabo Verde ter como base as Normas Europeias na implementação do sistema de iluminação pública, muitas dessas regras não podem ser aplicadas porque a manutenção e a fiscalização são deficitárias, o que coloca em causa a qualidade e o custo de exploração. A nível da gestão da iluminação pública ainda existem muitas barreiras a dificultar uma gestão mais eficiente, tal como as concessões e a falta de técnicos qualificados.

A iluminação pública está inserida dentro da distribuição de energia elétrica em BT. Toda a gestão da rede de iluminação pública na Ilha de Santiago é da responsabilidade da ELECTRA S.A., na Ilha da Boavista da empresa público-privada AEB como subconcessionária do serviço público, e na ilha do Sal da empresa APP.

3.2 Lâmpadas e Luminárias utilizadas na Iluminação Pública em Cabo Verde

Atualmente, existem diversos modelos de lâmpadas, com diferentes tecnologias disponíveis, utilizadas na iluminação pública. No entanto, cada tipo de lâmpada possui

características diferentes que devem ser levadas em conta para a sua escolha. As principais características luminotécnicas de uma lâmpada segundo a EN 12665:2002 são: índice de reprodução de cor; fluxo luminoso; tempo de vida; eficiência luminosa; fator de manutenção da luminosidade; e potência [33].

- Fluxo luminoso [lm]: é a quantidade de luz (lúmen) emitida em todas as direções pela fonte de luz [13];
- Potência [W]: potência consumida pela lâmpada;
- Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL): é dado pelo rácio entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada num dado momento da sua vida ($\phi(t)$) e o fluxo luminoso inicial ($\phi(0)$) [13];
- Eficácia luminosa de uma lâmpada [lm/W]: é a relação entre o fluxo luminoso emitido e potência elétrica por ela absorvida [13];
- Índice de restituição de cor (IRC): a restituição de cor é uma expressão que designa, sob o aspeto da reprodução cromática, o efeito da radiação emitida por uma fonte nos objetos que ilumina. O IRC indica, assim, a capacidade que uma fonte luminosa possui em restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada. Este índice varia entre **0** (nenhuma fidelidade) e **100** (máxima fidelidade) [13];
- Fator de sobrevivência (FSL): quociente entre o número total de lâmpadas que continuam a funcionar num determinado tempo, sob certas condições, pelo número da frequência de troca [13].

As luminárias, ou armaduras de iluminação pública são constituídas por um conjunto de elementos elétricos, óticos e mecânicos. Elas destinam-se a assegurar a distribuição do fluxo luminoso desejado com o melhor rendimento possível, evitando sempre o encandeamento dos utilizadores. Também devem verificar as condições técnicas para o bom funcionamento dos elementos elétricos, garantindo a segurança dos próprios componentes e dos utilizadores, assim como a proteção, face às condições climáticas, das lâmpadas, do sistema ótico e dos componentes elétricos.

Na escolha das luminárias devem ser tidos em conta os seguintes parâmetros:

- Plano técnico: os fatores a tomar em conta são a natureza do dispositivo ótico, o dispositivo de fixação, peso e dimensões da armadura, a resistência às condições atmosféricas, o rendimento luminoso, a natureza e potência das lâmpadas, a escolha

de armaduras, fechadas ou não, a resistência ao aquecimento, a sujidade, a corrosão e as vibrações;

- Plano económico: ter em consideração o custo da instalação, a facilidade de limpeza, o custo das armaduras e a facilidade de substituição das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar;
- Ordem estética.

3.2.1 Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

A lâmpada de vapor de mercúrio (HPM) de alta pressão é um tipo de lâmpada de descarga, na qual a luz é produzida pela passagem de uma corrente elétrica através do vapor de mercúrio [34]. Durante o seu funcionamento, o tubo de descarga de uma lâmpada HPM, contém mercúrio vaporizado a alta pressão, sendo introduzida uma pequena quantidade de gás, como o árgon, de mais fácil vaporização para facilitar o arranque. Assim, existe um eletrodo em cada extremidade do tubo, e, ao lado de cada eletrodo principal, encontra-se um eletrodo auxiliar de arranque. Entre o tubo de descarga e a ampola exterior existe normalmente um gás inerte que estabiliza a lâmpada, mantendo uma temperatura praticamente constante relativamente às diferentes condições ambientais [35].

Na Figura 3.1 apresenta-se o aspeto exterior de uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. Na Figura 3.2 mostra-se o diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada HPM.



Figura 3.1: Exemplo de lâmpada HPM [34].

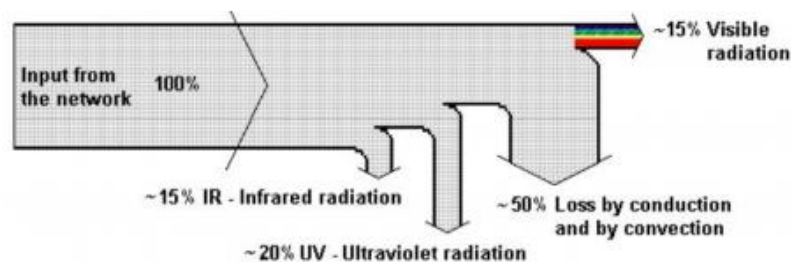


Figura 3.2: Diagrama de fluxo de energia de lâmpada HPM [33].

Da análise da figura 3.2, conclui-se que, nas lâmpadas HPM, apenas **15%** da energia é transformada em radiação visível, sendo os restantes **85%** repartidos por perdas: **50%** calor, **15%** radiação infravermelha; e **20%** radiação ultravioleta.

A Tabela 9 apresenta as principais características das lâmpadas HPM.

Tabela 9: Principais características das lâmpadas HPM [33] [35].	
Potência disponível	De 50 W a 1000 W
Rendimento luminoso	De 36 lm/W a 60 lm/W
Temperatura de cor	De 3.000 K a 5.000 K
Índice de reprodução de cor (IRC)	De 40 a 57
Duração de vida média	De 10.000 horas a 16.000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Luminância	De 4 cd/m ² a 15 cd/m ²
Período de manutenção	2 anos
Equipamento auxiliar	Balastro e condensador

3.2.2 Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão

É uma lâmpada de descarga de alta intensidade (HDI – *high discharge intensity*) controlada por um balastro. No seu interior uma mistura de sódio e mercúrio é vaporizada provocando um arco entre os elétrodos no tubo de descarga, permitindo a condução e consequente emissão de luz visível. A tensão de arco existente na lâmpada aumenta entre **1 a 2 V** por cada **1 000 horas** de funcionamento, devido à diminuição da pressão dos gases que compõem a mistura dentro do tubo de descarga. Este incremento é bastante relevante, uma vez que, aumentos de cerca de **10%** no valor da tensão de arco implicam aumentos entre **20 a 25 %** da potência. Adicionalmente, terá mais dificuldades em arrancar com tensões de linha reduzidas. Demoram cerca de **10 minutos** a atingir o seu fluxo luminoso máximo e têm um tempo de reacendimento de aproximadamente **1 minuto** [13].

Na Figura 3.3 apresenta-se o aspeto exterior de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão. Na Figura 3.4 mostra-se o diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada HDI.



Figura 3.3: Exemplo de lâmpada HDI [37].

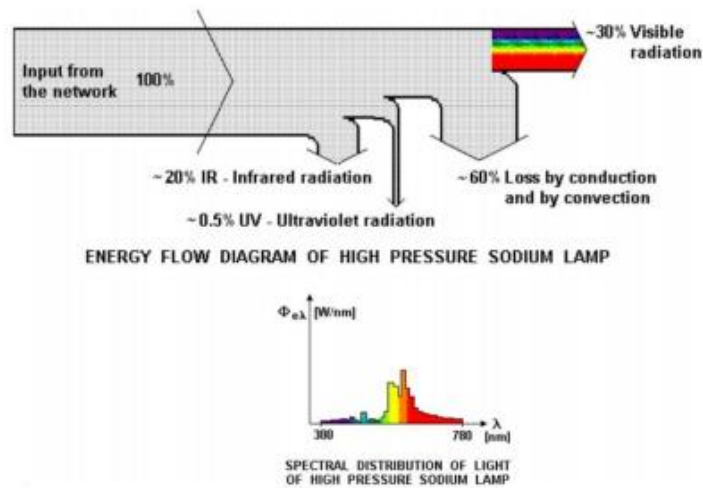


Figura 3.4: Diagrama de fluxo de energia de uma lâmpada HDI [33].

Neste tipo de lâmpada, **30%** da energia é transformada em radiação visível, estando os restantes **70%** repartidos por perdas térmicas (**45%**), radiação infravermelha (**20%**) e apenas (**0,5%**) em radiação UV [33]. Estas lâmpadas são idênticas às de mercúrio de alta pressão com a vantagem de o vapor de sódio emitir uma maior percentagem de radiação visível. São mais utilizadas nos dias de hoje, devido ao seu elevado rendimento, embora o preço seja um pouco mais elevado do que o das de vapor de mercúrio. A Tabela 10 mostra as principais características da lâmpada HDI.

Tabela 10: Principais características das lâmpadas HDI [31] [33].	
Potência disponível	De 50 W a 1000 W
Rendimento luminoso	De 90 lm/W a 140 lm/W
Temperatura de cor	De 1.900 K a 2.500 K
Índice de reprodução de cor (IRC)	De 20 a 40
Duração de vida média	De 16.000 horas a 32.000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 5 minutos
Luminância	De 25 cd/m ² a 500 cd/m ²
Período de manutenção	3 a 4 anos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador

3.3.3 Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão

As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (LPS) são comparáveis às lâmpadas fluorescentes na forma como são construídas, mas funcionam usando vapor de sódio em vez do

mercúrio. Uma pequena quantidade de sódio é colocada num tubo de vidro contendo néon ou argon. Durante o aquecimento inicial, o sódio vaporiza-se, passando a emitir luz visível. Nestas lâmpadas o arranque apenas pode ser efetuado com a ajuda de um gás inerte. Apenas quando a descarga no gás inerte produz calor suficiente para vaporizar o sódio se iniciará a descarga pelo que requerem uma tensão de arranque elevada e um tempo de arranque relativamente longo, antes de ser atingido o rendimento máximo.

Na Figura 3.5 mostra um exemplo de uma lâmpada LPS.



Figura 3.5: Exemplo de lâmpada LPS [37].

Na Tabela 11 mostra-se as características das lâmpadas LPS.

Potência disponível	De 35 W a 1000 W
Rendimento luminoso	De 120 lm/W a 200 lm/W
Temperatura de cor	1.700 K
Índice de reprodução de cor (IRC)	Praticamente nula
Duração de vida média	De 12.000 horas a 18.000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 10 minutos
Luminância	6 cd/m ²
Período de manutenção	3 a 4 anos
Equipamento auxiliar	Arrancador, balastro e condensador

Este é o tipo de lâmpada que possui maior rendimento luminoso atingindo os **200 lm/W**. No entanto, tem a desvantagem de possuir um espectro praticamente monocromático na região do amarelo, o que significa que possui o pior índice de restituição de cor de todas as fontes luminosas, que é zero. Possui um tempo de vida útil muito mais baixo do que o das lâmpadas HDI.

3.3.4 Lâmpada de Iodetos metálicos

Este tipo de lâmpada é um aperfeiçoamento da lâmpada de vapor de mercúrio que, devido à presença de iodetos metálicos, possui um IRC e uma eficácia luminosa muito superiores. Possui, no entanto, um tempo de vida um pouco menor. Para a ignição deste tipo de

lâmpadas de descarga é necessário um arrancador que produza picos de tensão elevados ($\leq 5\text{kV}$). As lâmpadas de iodetos metálicos, tal como as de vapor de sódio, não produzem instantaneamente a máxima potência luminosa. Necessitam de um período de aquecimento, proporcional à sua potência, de vários minutos. O seu período de reacendimento é inclusivamente o maior das tecnologias descritas, cerca de **15 minutos** [13].

Na Figura 3.6 ilustra um exemplo de uma lâmpada de iodetos metálicos.



Figura 3.6: Exemplo de lâmpada de iodetos metálicos [36].

Na Tabela 12 mostra-se as características das lâmpadas de iodetos metálicos.

Tabela 12: Principais características das lâmpadas iodetos metálicos [33].	
Potência disponível	De 35 W a 3.500 W
Rendimento luminoso	De 65 lm/W a 120 lm/W
Temperatura de cor	De 3.000 K a 6.000 K
Índice de reprodução de cor (IRC)	De 81 a 95
Duração de vida média	De 3.000 horas a 9.000 horas
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Luminância	De 100 cd/m ² a 6.000 cd/m ²
Período de manutenção	3 anos

3.3.5 LED (Díodo Emissor de Luz)

O díodo emissor de luz (LED – *Light emitting diode*) transforma a energia elétrica em luz num cristal de semicondutor (*chip*). Essa transformação é diferente da transformação encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução), pois nos LED ela é efetuada dentro da matéria sólida.

A Figura 3.7 mostra o esquema de um LED.

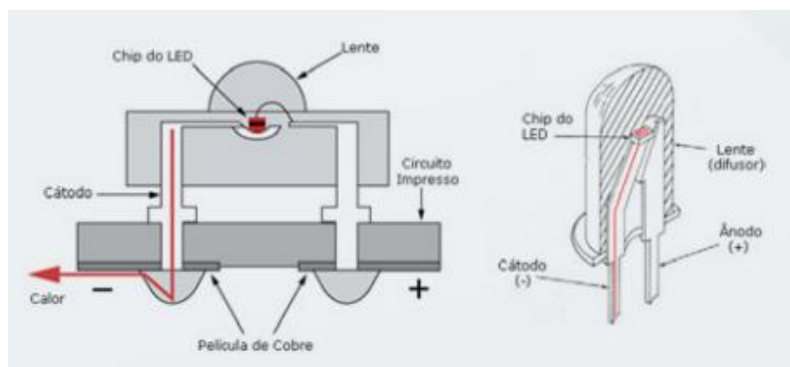


Figura 3.7: Esquemática de um LED [13].

Na Tabela 13 mostra-se as características de uma luminária utilizando tecnologia LED.

Tabela 13: Principais características de uma luminária utilizando tecnologia LED [35].	
Potência disponível (por Led)	De 6 W a 15 W
Rendimento luminoso (luminária Led)	Por vezes superiores a 150 lm/W
Temperatura de cor	3.000K
Índice de reprodução de cor (IRC)	> 75
Duração de vida média	60.000 horas
Tempo de arranque	Instantâneo
Luminância	Dependente do nível de iluminação pretendido

Devido à economia, ao tempo de acendimento, à sustentabilidade, ao aproveitamento luminoso, ao melhor espectro das ruas da cidade à noite, ao melhor índice de iluminação pela manutenção do fluxo luminoso original, ao menor custo de manutenção, à interatividade, às questões ambientais, o Governo de Cabo Verde prevê que todos os postos de iluminação pública do país sejam equipados com lâmpadas LED até ao final de 2020 [38].

3.3.6 Luminária LED

Nos últimos anos, com os avanços das tecnologias de iluminação, o LED ganhou bastante destaque por ser um componente muito comum, tendo-se tornado mais económico do que os outros modelos antigos. As luminárias LED possuem características tais como: Alta eficiência elétrica e luminosa, longa vida útil, flexibilidade fotométrica (facho de luz), variedade de temperatura de cor, alto índice de reprodução de cor, baixa emissão de calor, maior estabilidade e segurança operacional, versatilidade de aplicações.

De acordo com a diretiva DMA-C71-111/N do regulamento da EDP Distribuição de Julho de 2013, os principais elementos a ter em conta, relativamente à identificação das luminárias, são [13]:

- **Corrente de alimentação** – Corrente nos terminais de alimentação quando a luminária está estabilizada em utilização normal à tensão ou frequência nominal;
- **Proteção fotobiológica** – Característica cujo objetivo é tornar a radiação luminosa emitida menos nociva para o meio vivo;
- **Controlador da alimentação (*driver*)** – Converte a tensão alternada da rede em tensão contínua de forma a alimentar todos os componentes eletrónicos da luminária e a controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LEDs;
- **Corpo principal** - Componente onde se instalam os equipamentos eletrónicos, fonte de luz e sensores, sendo também responsável pela correta dissipação do calor através do processo de condução térmica, pelo que deverá estar dimensionado e desenhado de acordo com as especificações térmicas do LED utilizado;
- **Difusor** - Dispositivo que serve para modificar a repartição espacial do fluxo luminoso de uma fonte de luz utilizando essencialmente o fenómeno de difusão;
- **Lente primária** - Parte ótica integrante do LED;
- **Lente secundária** - Qualquer ótica que seja adicionada ao LED na fase de integração do mesmo na luminária;
- **Módulo de LEDs** - Unidade fornecida como fonte luminosa que pode conter um ou mais LEDs. Pode, eventualmente, conter outros componentes tais como: óticas, componentes elétricos, mecânicos ou eletrónicos;
- **Eficácia luminosa da luminária ($lm \cdot W^{-1}$)** - Quociente do fluxo emitido pela fonte e a potência consumida por esta;
- **Surround Ratio (SR)** - Razão entre iluminância média nas faixas exteriores da estrada e a iluminância média nas faixas interiores da estrada;
- **Threshold Increment (TI)** - Medida da perda de visibilidade causada pelo ofuscamento provocado pela luminária;
- **Altura nominal da coluna** - Distância entre o ponto de fixação da luminária e o solo;
- **Altura total do poste** - Distância entre o topo e a base do poste;

- **Altura útil da luminária** - Distância da luminária ao solo;
- **Grau de poluição 3** - Presença de uma poluição condutora ou poluição seca não condutora que se torna condutora devido à condensação que se pode produzir (subsecção 4.6.2 da IEC 60664-1);
- **DLOR** - Razão entre o fluxo emitido para baixo sob condições específicas com os LEDs introduzidos no interior do corpo da luminária e a soma do fluxo dos módulos de LEDs fora da luminária (VEI 845-09-40);
- **LOR** - Razão entre o fluxo total da luminária medida sob condições específicas com o (s) LEDs introduzidos no interior do corpo da luminária e a soma dos fluxos luminosos dos módulos de leds operando fora da luminária;
- **ULOR** - Razão entre o fluxo emitido para cima sob condições específicas com os módulos LEDs introduzidos no interior da luminária e a soma do fluxo dos módulos de leds operando fora da luminária (VEI 845-09-40);

Na Figura 3.8 apresenta-se um exemplo da luminária LED utilizada em Cabo Verde.



Figura 3.8: Luminárias LED utilizadas na Cidade da Praia e Cidade de Santa Maria [37].

3.3.7 Luminária Convencional

Normalmente são luminárias que utilizam lâmpadas incandescentes, fluorescentes e de vapores como mercúrio, sódio e metálico. Criada por Nikola Tesla, as lâmpadas fluorescentes promove uma corrente elétrica que emite radiação UV ao passar por uma mistura de gases de vapor de mercúrio, dentro de um tubo. Este tubo é revestido, no interior, por uma camada de fósforo, que transforma a radiação UV em luz visível.

Nas Figuras 3.9 e 3.10 apresentam-se alguns exemplos de luminárias convencionais utilizadas em Cabo Verde.



Figura 3.9: Luminárias convencionais utilizadas na Praça da Ilha de São Antão [39].



Figura 3.10: Luminária convencional utilizada na Cidade Velha [Autor].

CAPÍTULO 4

SISTEMA PROPOSTO

Neste capítulo, mostra-se o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, autónomo, para a iluminação pública, na Cidade Património Mundial de Cabo Verde - Cidade Velha. O sistema foi projetado para iluminar zonas rurais, ou seja, zonas fora das localidades, utilizando postes equipados com painéis solares e luminárias. Foi previsto fazer a acumulação de energia elétrica em bancos de baterias centralizados, por ser economicamente mais vantajosos do que em cada poste, mas também devido a razões de segurança.

O projeto tem como finalidade aproveitar os postes de iluminação pública que interligam as zonas rurais das zonas urbanas como o suporte dos painéis. A energia gerada durante o dia será armazenada nos bancos de baterias, de modo a que, à noite, alimentará as respetivas cargas situadas nas zonas rurais. O sistema foi dimensionado de modo que a energia remanescente, produzida pelos painéis, alimente as luminárias públicas dentro das localidades. Prevê-se, também, que em dias com maior produção de energia, esta seja injetada a rede.

Será implementado um algoritmo de procura do ponto de máxima potência (*Maximum Power Point Tracking* – MPPT) num circuito de gestão de energia, para extrair a máxima potência disponível da fonte de energia elétrica, neste caso o painel fotovoltaico, independentemente das condições meteorológicas e da potência requerida pela carga, sendo o excesso de energia redirecionado para a bateria,

Este projeto visa que a iluminação pública nesta localidade seja **100%** renovável. Para isso, é crucial, para o bom dimensionamento do sistema fotovoltaico, a análise dos seguintes pontos:

- Avaliação das necessidades energéticas;
- Seleção da localização, tensão do sistema e número de dias de autonomia;
- Seleção do módulo fotovoltaico, do inversor, do controlador e da bateria;
- Apresentação da configuração do sistema.

4.1 Local do Estudo

A antiga (primeira cidade) de Santiago, Cabo Verde - Cidade Velha, localiza-se no Município da Ribeira Grande de Santiago, a **12 km** da Cidade da Praia (atual cidade e capital), extremo sul da Ilha, com as seguintes coordenadas UTM: **14°54'N 23°36'O**. Constitui um pequeno núcleo populacional, o mais antigo de Cabo Verde, situado junto à costa e numa pequena baía, conforme apresentada na Figura 4.1 [40].



Figura 4.1: Identificação do local da instalação do sistema fotovoltaico [40].

4.2 Classificação da Via

Para garantir uma iluminação adequada, numa localidade, é importante classificar as vias. Uma classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos que apontam para as necessidades de visibilidade dos utilizadores dos vários tipos de ruas, estradas e áreas frequentadas. Uma vez que a tarefa de visionamento e as necessidades, dos transeuntes pedonais, diferem bastante das dos condutores em muitos aspetos, tais como a velocidade do movimento, proximidade dos objetos, padrão da superfície, reconhecimento facial, etc., são usados diferentes parâmetros (luminância, iluminância, etc.) para caracterizar as condições mínimas de iluminação de uma determinada classe [13].

A série de normas EN 13201 introduziu as classes de iluminação de forma a facilitar e desenvolver os serviços de iluminação pública na União Europeia, e também Cabo Verde, apontando para uma uniformização e harmonização dos requisitos. A Figura 4.2 resume as classes existentes e a sua aplicabilidade [13].

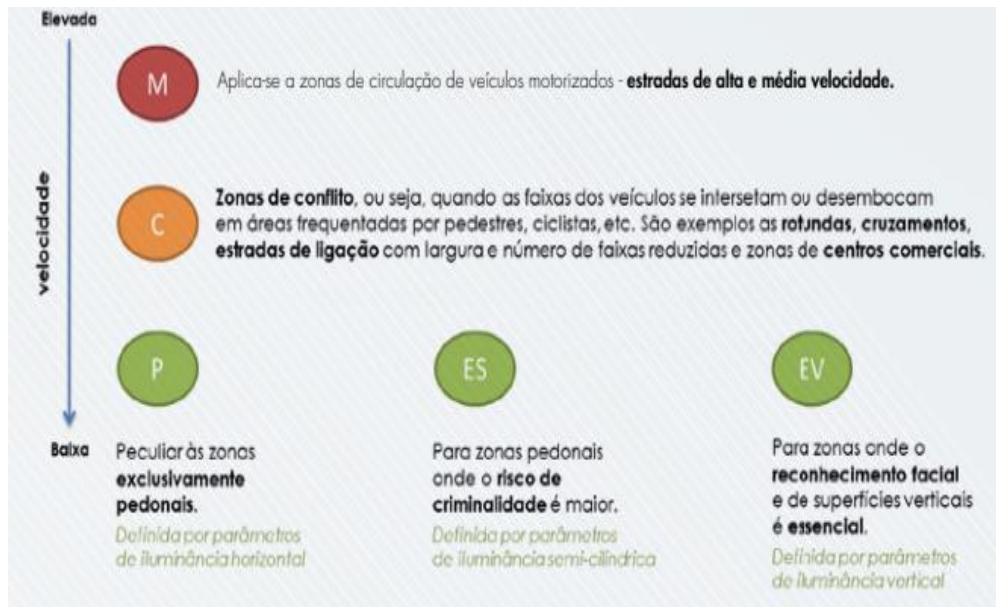


Figura 4.2: Classes de iluminação existentes segundo a norma EN 13201 [13].

Para as classes existentes de iluminação, ilustradas na Figura 4.2, considera-se, neste projeto, a classe M, por corresponder a uma via com estradas de velocidade rápida ou moderada.

Os parâmetros a ser tomados em conta para a classe M são:

- **Velocidade (natureza da via):** Alta, moderada ou baixa;
- **Densidade de cruzamento:** Alta, moderada ou baixa;
- **Volume de tráfego:** Alta, moderada ou baixa;
- **Composição de trânsito ou natureza do tráfego (fluxo do tráfego, ciclistas, peões, estacionamento, propensão ao crime/necessidade de reconhecimento facial):** Apenas motorizado, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- **Luminância ambientais:** Alta, moderada ou baixa;
- **Velocidade estacionados:** Presente ou não presente.

Nas Tabelas 14 e 15 encontram-se os parâmetros para as classificações das vias em estudo, utilizados no cálculo luminotécnico. Como guia, foi utilizado o documento de referência: Manual de Iluminação Pública – EDP [13].

Foram consideradas duas ruas para o cálculo luminotécnico: Rua 1, zonas fora das localidades; e Rua 2 para zonas dentro das localidades.

Tabela 14: Classificação da Rua 1			
Seleção das classes de iluminação - M			
Parâmetro	Opções	Fator de peso	Seleção do fator de peso
Velocidade	Muito alta	1	0,5
	Alta	0,5	
	Moderada ou reduzida	0	
Volume de Tráfego	Muito elevado	1	-1
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	1
	Mista	1	
	Apenas motorizado	0	
Densidade de cruzamentos	Alta	1	0
	Moderada	0	
Luminância ambiente	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Velocidade estacionados	Presente	1	1
	Não presente	0	
Somatório do fator de peso			1,5

Dentro da Classe M, existem 6 classes de via, que variam em termos da necessidade de iluminação. Para selecionar a classe adequada à via, atribui-se um fator de peso apropriado a cada parâmetro específico. Depois somam-se, obtendo-se um valor “Total”. A classe M correspondente é dada pela expressão (4.1) [13]:

$$\text{Índice (M)} = 6 - \sum \text{Fator de peso (total)} \quad (4.1)$$

Somando os fatores de peso selecionados e aplicando a equação (4.1), caracteriza-se a **Rua 1** como sendo da classe **M5**.

Aplicando o mesmo método para a Rua 2, utilizando os valores da Tabela 15.

Tabela 15: Classificação da Rua 2			
Seleção das classes de iluminação - M			
Parâmetro	Opções	Fator de peso	Seleção do fator de peso
Velocidade	Muito alta	1	0
	Alta	0,5	
	Moderada ou reduzida	0	
Volume de Tráfego	Muito elevado	1	-0,5
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	1
	Mista	1	
	Apenas motorizado	0	
Densidade de cruzamentos	Alta	1	0
	Moderada	0	
Luminância ambiente	Alta	1	0
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Velocidade estacionados	Presente	1	1
	Não presente	0	
Somatório do fator de peso			1,5

A caracterização da **Rua 2** também é da classe **M5**.

4.3 Cálculo luminotécnico

Depois de conhecer as classes da via, tornam-se crucial estudar os parâmetros fotométricos, a ter em conta na escolha das luminárias, para as estradas de alta e média velocidade, de forma a garantir uma boa iluminação das vias.

Na Tabela 16 encontram-se os requisitos fotométricos a ter em conta na escolha das luminárias para a classe **M5** [13].

Tabela 16: Requisitos fotométricos para as classes de alta e média velocidade M5 (Iluminação Pública funcional).				
Classe de Iluminação	Superfície da estrada			TI (%)
	Seca			
	L_{média} (cd/m²)	U₀	UI	
M5	0,5	0,35	0,4	15

Onde $L_{m\acute{e}dia}$ é a luminância média na superfície da estrada (é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção), U_0 é a uniformidade geral da luminância (é o quociente entre o valor da luminância mais baixo e luminância média), UI é a uniformidade longitudinal da luminância (é o quociente entre o valor da luminância mais baixo e luminância mais alto), o TI é o encadeamento perturbador ou deslumbramento perturbador.

Na Tabela 17 apresentam-se os níveis de iluminação dos focos, assim como a uniformidade geral recomendada para zonas rurais (redes aéreas e subterrâneas) segundo a Portaria nº 437/2001. de 28-04-2001 do Diário da república nº 99 série I – Portugal [41].

Tabela 17: Níveis de iluminação e uniformidade globais recomendadas para zonas rurais.		
Localidades	Rede Subterrânea	Rede Aérea
Centro, arruamentos e largos principais	15 lux	10 lux
Periferias	10 lux	5 lux

Em que a iluminância (lux) é a densidade do fluxo luminoso sobre uma superfície, ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso pela unidade de área a iluminada e é dada pela expressão (4.2) [13]:

$$E = \frac{\partial\phi}{\partial A} \quad (4.2)$$

E é a iluminância [lux];

$\partial\phi$ é o fluxo luminoso [lumens];

∂A é a área [m²];

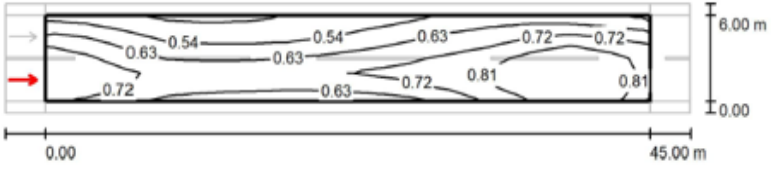
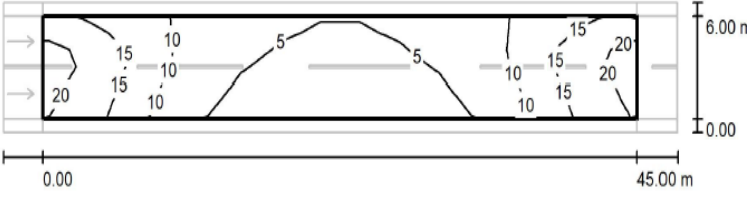
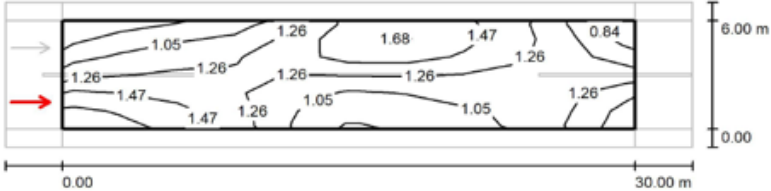
Para efetuar os cálculos luminotécnicos foi utilizado o software DIALux, pois é o único que possui todos os módulos necessários. Por exemplo a integração com os CAD, disponíveis gratuitamente. Outra característica importante do DIALux, em virtude do sistema de parcerias, é permitir ao projetista uma grande liberdade de escolha das luminárias.

O programa DIALux é um *software* criado para o *design* de iluminação. É destinado a ser utilizado por designers e fabricantes de iluminação. Com este *software* pode-se planejar, calcular e visualizar a iluminação de áreas interiores e exteriores. O programa é adequado ser utilizado em edifícios, divisões de edifícios, parques de estacionamento e iluminação pública.

Numa primeira aproximação, foram escolhidas luminárias, com lâmpadas tipo LED com **86 W** de potência para zonas fora das localidades e com **60 W** de potência para zonas dentro das localidades. As características, das luminárias escolhidas, são apresentadas no Anexo B. Na Tabela 18, apresentam-se os dados obtidos pela simulação no programa de cálculo luminotécnico DIALux.

Conforme demonstrado nos cálculos luminotécnicos no apêndice B, comparando os dados obtidos pela simulação efetuada no DIALux, utilizando os valores fotométricos recomendados para as classes de alta e média velocidade da Tabela 16 e o nível de iluminação e uniformidade globais, recomendadas para zonas rurais da Tabela 17, conclui-se que as luminárias escolhidas cumprem todos os parâmetros da instalação de iluminação pública pretendida.

Tabela 18: Zonas projetadas e dados obtidos no DIALux

Localidades	Dados obtidos pela simulação no DIALux																														
Zona fora das Localidades (Luminárias Led 86 W, 13.917 lm)	 <p style="text-align: right;">Valores em Candela/m², Escala 1 : 365</p> <p>Grelha: 15 x 6 Pontos Posição do observador: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m) Pavimento: R3, q0: 0.070</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">L_m [cd/m²]</th> <th style="text-align: center;">U0</th> <th style="text-align: center;">UI</th> <th style="text-align: center;">TI [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valores reais segundo o cálculo:</td> <td style="text-align: center;">0.68</td> <td style="text-align: center;">0.66</td> <td style="text-align: center;">0.77</td> <td style="text-align: center;">9</td> </tr> <tr> <td>Valores nominais segundo a classe ME5:</td> <td style="text-align: center;">≥ 0.50</td> <td style="text-align: center;">≥ 0.35</td> <td style="text-align: center;">≥ 0.40</td> <td style="text-align: center;">≤ 15</td> </tr> <tr> <td>Cumprido/não cumprido:</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: right;">Valores em Lux, Escala 1 : 365</p> <p>Grelha: 15 x 6 Pontos</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">E_m [lx]</th> <th style="text-align: center;">E_{min} [lx]</th> <th style="text-align: center;">E_{max} [lx]</th> <th style="text-align: center;">E_{min} / E_m</th> <th style="text-align: center;">E_{min} / E_{max}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">9.69</td> <td style="text-align: center;">2.30</td> <td style="text-align: center;">22</td> <td style="text-align: center;">0.237</td> <td style="text-align: center;">0.106</td> </tr> </tbody> </table>		L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	Valores reais segundo o cálculo:	0.68	0.66	0.77	9	Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}	9.69	2.30	22	0.237	0.106
	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]																											
Valores reais segundo o cálculo:	0.68	0.66	0.77	9																											
Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15																											
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓																											
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}																											
9.69	2.30	22	0.237	0.106																											
Zona dentro das Localidades (Luminárias Led 60 W, 8.866 lm)	 <p style="text-align: right;">Valores em Candela/m², Escala 1 : 258</p> <p>Grelha: 10 x 6 Pontos Posição do observador: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m) Pavimento: R3, q0: 0.070</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">L_m [cd/m²]</th> <th style="text-align: center;">U0</th> <th style="text-align: center;">UI</th> <th style="text-align: center;">TI [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valores reais segundo o cálculo:</td> <td style="text-align: center;">1.24</td> <td style="text-align: center;">0.60</td> <td style="text-align: center;">0.56</td> <td style="text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td>Valores nominais segundo a classe ME5:</td> <td style="text-align: center;">≥ 0.50</td> <td style="text-align: center;">≥ 0.35</td> <td style="text-align: center;">≥ 0.40</td> <td style="text-align: center;">≤ 15</td> </tr> <tr> <td>Cumprido/não cumprido:</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> <td style="text-align: center;">✓</td> </tr> </tbody> </table>		L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	Valores reais segundo o cálculo:	1.24	0.60	0.56	15	Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓										
	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]																											
Valores reais segundo o cálculo:	1.24	0.60	0.56	15																											
Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15																											
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓																											

De acordo com projeto elaborado, apresentado no apêndice A, serão implementadas **78 unidades** de luminárias de **86 W** na zona fora das localidades com uma distância entre postes de **45 m**. Na zona dentro das localidades serão implementadas **76 unidades** de luminárias de **60 W** com uma distância entre postes de **30 m** intercalados, no total de **154** de pontos de luz, na cidade em estudo.

4.4 Consumo Energético

A determinação dos consumos energéticos é um dos pontos mais importantes na execução do trabalho de dimensionamento, pois define quais são as necessidades de produção do futuro sistema fotovoltaico.

A energia média diária consumida é a potência nominal de cada equipamento por o número de horas que o equipamento irá estar em funcionamento, e é dada pela expressão (4.3) [42]:

$$E_L = P \cdot h \quad (4.3)$$

Em que:

E_L é a energia média diária consumida [Wh];

P é a potência nominal dos equipamentos [W];

h é o número de horas de funcionamento.

Na Tabela 19 apresenta-se a energia média diária consumida pelas cargas, considerando que o número de horas de funcionamento é de **11 h**.

Tabela 19: Consumo médio das cargas.				
Localidades	Potência (W)	Quant.	Nº horas de funcionamento (h)	E_L(Wh)
Fora	86	78	11	73 788
Dentro	60	76	11	50 160

4.5 Escolha dos Equipamentos a Instalar

Os componentes que fazem parte do sistema fotovoltaico autónomo são os painéis fotovoltaicos, inversores, baterias, controladores de carga e cabos, como pode ser visto na Figura 4.3.

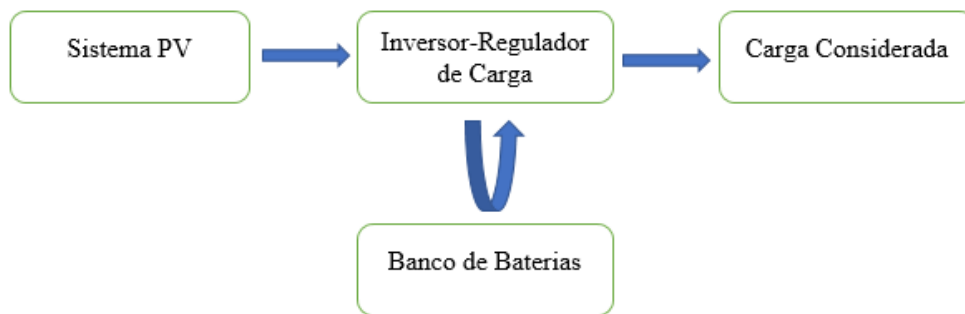


Figura 4.3: Esquema de um sistema fotovoltaico autónomo [43].

A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos é encaminhada para um regulador de carga, de modo, a garantir que não existam sobrecargas ou descargas no sistema. Esta energia é armazenada em baterias. A corrente gerada pelos módulos é contínua, então é necessário a colocação de um inversor adequado que permite a conversão de corrente contínua para corrente alternada.

4.5.1 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico converte a energia luminosa do sol em energia elétrica. Para o correto dimensionamento dos painéis fotovoltaicos é importante conhecer as características da carga, bem como as condições de radiação da localidade na qual o sistema irá ser implementado, a tensão de operação do sistema e as perdas estimadas dos componentes do sistema.

O Cálculo da capacidade mínima de geração dos módulos fotovoltaicos é determinado por meio da energia acumulada durante o dia. O valor acumulado desta energia é expresso através do número pleno de horas do sol. Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 de forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada durante o dia.

Desta forma a potência máxima do gerador fotovoltaico pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula (4.4) [42]:

$$P_{(max,PV)} = \frac{E_L}{SP(h) \cdot \eta} \quad (4.4)$$

$$SP(h) = \frac{\text{Irradiação diária } (\frac{kWh}{m^2})}{1(\frac{kW}{m^2})} \quad (4.5)$$

Em que:

$P_{(max,PV)}$ é a potência máxima do gerador fotovoltaico [Wp];

E_L é a energia média diária consumida pelas cargas [Wh];

$SP(h)$ é o número de horas que os painéis ficam expostas ao sol, verificadas no pior mês tendo em conta o ângulo de orientação e inclinação do painel;

η é a eficiência do sistema.

A Tabela 20 mostra a irradiação solar mensal para a Cidade Velha no ano 2016, onde a menor incidência solar durante o ano é verificada no mês de novembro e uma maior incidência no mês de janeiro. Para que o sistema possa funcionar bem em todas as circunstâncias, no dimensionamento deve considerar-se o mês com o menor índice de irradiação.

Tabela 20: Irradiação solar mensal (kWh/m²) para a Cidade Velha [42].												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dec
Irradiação	211,98	170,86	204,52	206,16	208,78	197,14	189,11	197,46	176,69	189,3	142,6	156,4

Assim, os dados relativos à irradiação solar para o pior mês é de **142,6 kWh/m²**. Conforme ilustrado na Tabela 20 (ver também o Anexo C).

Utilizando a equação (4.5), o número pleno de horas de sol é:

$$SP = 4,75 h$$

Na Figura 4.4 apresenta-se as temperaturas máximas e mínimas, médias, na Cidade da Praia, Cidade onde se pretende implementar o sistema fotovoltaico.

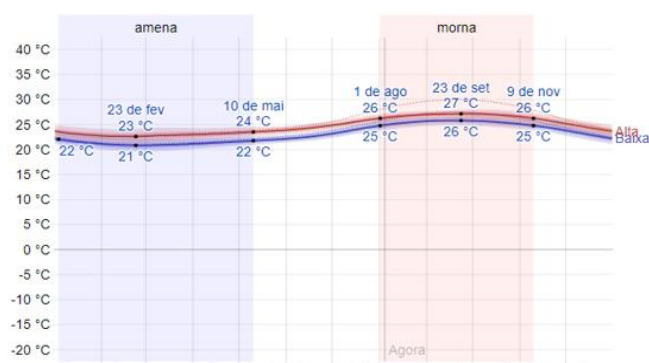


Figura 4.4: Temperaturas máximas e mínimas médias na Cidade da Praia [45].

Como se pode verificar, em Cabo Verde as temperaturas ao longo do ano não variam muito. A estação quente permanece por 6 meses, de maio a outubro, com temperatura máxima média diária acima de 26°C . No gráfico, verifica-se que naquele ano o dia mais quente é 23 de setembro, cuja temperatura máxima média atingiu os 27°C . A estação fresca permanece por 6 meses, de novembro a abril, com temperatura máxima média diária abaixo de 24°C . No dia mais frio do ano, 23 de fevereiro, a temperatura média foi de 21°C . Assim, pode concluir-se que, dada a baixa amplitude de variação da temperatura na Cidade, os módulos fotovoltaicos não são praticamente afetados por este parâmetro, dado que este se mantém praticamente constante.

Na Tabela 21 estão apresentados os parâmetros adotados para o cálculo da potência máxima do gerador fotovoltaico, bem como os demais componentes do sistema.

Tabela 21: Parâmetros para dimensionamento do sistema fotovoltaico.	
Consumo diário por cargas/ luminárias fora das localidades.	946 Wh
Consumo diário por cargas/ luminárias dentro das localidades.	660 Wh
Energia média diária consumida pelas cargas	123 948 Wh
Número de horas de sol	4,75 h
Potência consumida pelas cargas CA	11 268W
Tensão de operação C.C	24 V
Eficiência da Bateria	95 %
Eficiência do Inversor	98 %
Eficiência do Conversor C.C*	90 %

* Valor padrão sugerido [46]

Assim, a partir da expressão (4.4) é determinada a potência total de pico dos painéis, considerando os valores da Tabela 21:

$$P_{(max,PV)} = \mathbf{31\ 778,28\ Wp}$$

Pretende-se que os painéis solares sejam implementados somente nas **78 unidades** de postes nas zonas fora das localidades, onde a energia produzida pelos painéis alimentará a respetiva carga e a energia remanescente alimentará as cargas dentro das localidades, podendo também ser injetada na rede de distribuição.

Conhecendo o total da potência de pico dos painéis, calcula-se a potência de pico de cada módulo, dividindo a potência total de pico dos painéis pelos números de postes nas zonas fora das localidades, obtendo-se:

$$P_{(módulo)} = \mathbf{407,41\ Wp}$$

Os painéis solares propostos são do tipo silício monocristalino da marca AXIpower e as suas características e dimensões estão apresentados na Tabela 22 [47].

Tabela 22: Dados do módulo fotovoltaico AXIpower [45].							
Potência	Vmpp	V0c	Impp	Isc	Comprimento	Largura	Eficiência
315 Wp	24 V	40,16 V	9,61 A	10,03 A	0,99 m	1,65 m	19,2 %

Refere-se que a tensão em circuito aberto (Voc) é o máximo valor de tensão que um módulo pode entregar a uma carga sob determinadas condições de radiação e de temperatura. A tensão no ponto máximo de potência (Vmpp), também chamada de tensão nominal, é o valor da tensão que é entregue à carga à máxima potência. A corrente em curto-circuito (Isc) corresponde ao valor da corrente máxima que um módulo pode entregar a essa mesma carga, sob determinadas condições de radiação e temperatura [48].

A potência dos painéis solares escolhidos será suficiente para suprir as necessidades das cargas, pois serão instalados sistemas de telegestão de modo a controlar as cargas, de maneira que não haja desperdícios no consumo da energia.

4.5.2 Dimensionamento dos Inversores

O Inversor deve ser dimensionado de forma a garantir as necessidades das cargas em CA. Neste tipo de sistemas fotovoltaicos, a potência dos inversores poderá ser um pouco sobredimensionada, para que, quando exista um aumento do consumo, não seja necessário substituir o inversor. Sendo assim, o número de inversores pode ser calculado através da equação (4.6) [24]:

$$N^{\circ} \text{ de Inversores} = \frac{P_{(W)}}{P_{(Inv CA)}} \quad (4.6)$$

Onde,

$P_{(Inv CA)}$ é valor da potência CA do inversor [W].

$P_{(W)}$ é valor da potência consumida pelas cargas CA [W].

Os inversores são fabricados para diferentes níveis de potência e devem estar dentro do seguinte intervalo, entre a potência máxima do sistema e do inversor [48]:

$$0,7 \cdot P_{(max,PV)} < P_{(max,Inv CC)} < 1,2 \cdot P_{(max,PV)} \quad (4.7)$$

Onde:

$P_{(max,Inv CC)}$ é Potência CC máxima do inversor [W].

A potência total consumida pelas cargas é de **11, 268 kW**, podendo ser escolhido um inversor de **15 kW**. No entanto, esta potência não cumpre os requisitos da equação (4.7), logo terá de ser escolhido um inversor com potência nominal acima de **22, 44 kW**.

O inversor escolhido tem a potência nominal de **5 kW**, conforme a ficha técnica apresentada no anexo B, conhecendo a potência total consumida pelas cargas, **11, 268 kW** e a potência de corrente alternada do inversor, calcula-se o número de inversores necessários para o sistema através da equação (4.6):

$$N^{\circ} \text{ de Inversores} = 5 \text{ un}$$

A Potência máxima do gerador fotovoltaico, é igual a **31 778, 28 Wp** e a potência total de corrente contínua máxima do inversor é **25 kW**, logo:

$$22\ 244,6 < 25\ 000 < 38\ 133,94$$

O inversor escolhido é PV3500 PRO Series da Must, com as seguintes especificações técnicas:

• Potencia nominal	5 000 W
• Controlador de carga solar MPPT	80 A/ 100A/ 200A
• Tensão do painel	24 V/ 48 V
• Tensão da Bateria	24 V/ 48 V
• Tensão nominal AC	230 V
• Fator de potência (cos ^φ)	1
• Máximo eficiência	98 %

4.5.3 Dimensionamento do Banco de Baterias

Devido a grande variabilidade das condições meteorológicas, e da limitação da energia solar fotovoltaico pelo seu não funcionamento noturno, sendo o sistema de produção isolada, a utilização de um sistema que garanta a continuidade de fornecimento de energia torna-se indispensável. As baterias devem ser dimensionadas para armazenar a energia consumida diariamente e mais alguns dias de reserva. Desta forma, o sistema pode fornecer energia em dias em que a radiação solar é escassa, como por exemplo em dias nublados, compensar as perdas do sistema e assegurar que a carga da bateria não excede o nível de profundidade de descarga máximo permitido.

Para dimensionar corretamente a capacidade das baterias é necessário conhecer as necessidades energéticas, a autonomia do sistema e a profundidade de descarga aceite de acordo com as normas.

A autonomia do sistema, ou seja, quanto tempo o sistema pode permanecer em funcionamento sem que haja geração de energia pelo gerador fotovoltaico está relacionada com o custo e o tamanho da bateria, pois quanto maior é o tempo de autonomia do sistema, maior será o banco de baterias e maior é o seu custo. Foi projetado para este sistema **2 dias** de autonomia.

A profundidade de descarga de uma bateria está relacionada diretamente com a sua vida útil, a elevada profundidade de descarga faz diminuir significativamente a vida útil da bateria. A profundidade de descarga é o percentual de carga retirado da bateria numa determinada descarga, considerando que **0%** de profundidade de descarga é quando não se descarrega, ou

seja, a bateria permanece **100%** carregada e **100%** de profundidade de descarga é quando retiramos toda a carga da bateria até atingir o potencial final de descarga estabelecido, geralmente **1,75V/elemento**. Na Figura 4.5 é representada a profundidade de descarga da bateria. A curva é obtida do catálogo da bateria proposta.

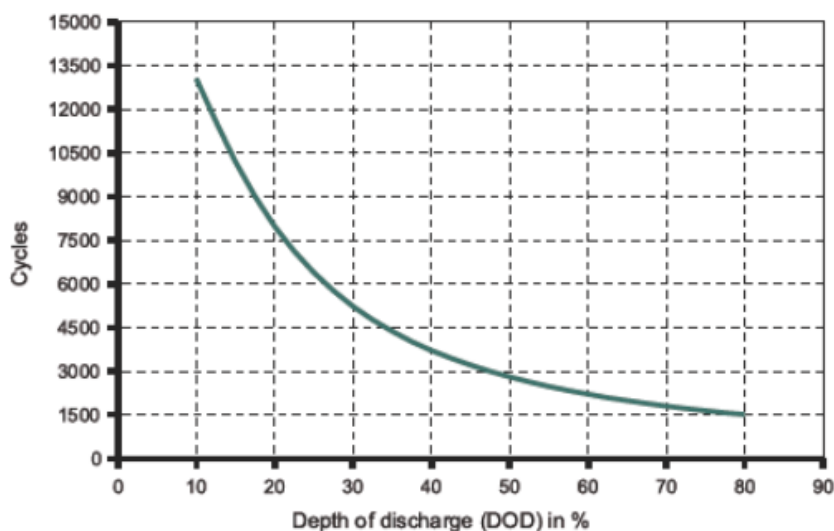


Figura 4.5: Vida útil em ciclos e profundidade de descarga em % [49].

A capacidade mínima do banco de baterias pode ser calculada com a expressão (4.8) [24]:

$$C = \frac{E_L \cdot A}{V_{(CC)} \cdot DoD \cdot \eta_{arm}} \quad (4.8)$$

Em que:

C é a capacidade mínima do banco de bateria [Ah];

E_L é a energia média diária consumida [Wh];

A é o número de dias de autonomia;

$V_{(CC)}$ é a tensão do sistema [V];

DoD é a profundidade de descarga da bateria delimitada (**0.3 a 0.9**);

η_{arm} é a eficiência do sistema de armazenamento (baterias e inversores);

Conhecendo a energia requisita pela carga, a tensão de operação, a eficiência do sistema de armazenamento e a autonomia, calcula-se a capacidade mínima do banco de baterias considerando a profundidade de descarga da bateria **30 %**, a partir da equação (4.8):

$$C = \mathbf{36\ 982,84\ Ah}$$

Na Tabela 23 é apresentada a capacidade mínima do banco de baterias, considerando profundidades de descarga da bateria de **30 %**, **50 %** e **70 %**.

Tabela 23: Capacidade mínima do banco de baterias em relação a profundidade de descarga da bateria.	
DoD (%)	C (Ah)
30	36 982, 84
50	22 189, 04
70	15 850, 12

Analisando a Figura 4.5 e Tabela 23, conclui-se quando maior a profundidade de descarga menor será o ciclo de vida de bateria e o seu preço. Dessa forma optou-se em utilizar uma profundidade de descarga de 50%, com o objetivo de equilibrar o peso e o custo do banco de baterias com a vida útil. A capacidade mínima do banco de baterias para esse sistema é de **22 189, 04 Ah**.

Os critérios utilizados para a escolha da bateria são as seguintes:

- Boa relação desempenho/preço;
- Reduzidas exigências em termos de manutenção;
- Longo período de vida útil;
- Reduzida Auto - descarga e elevada eficiência energética;
- Possibilidade de carga para pequenas intensidades de corrente;
- Elevada capacidade de armazenamento e densidade de potência (requisitos de volume e de peso);
- Resistência mecânica à vibração (para o transporte);
- Proteção contra a ocorrência de riscos para o meio ambiente e para a saúde, reciclável.

As baterias que se propõe instalar são do tipo Chumbo-Ácido VLRA – Gel (baterias estanques ou reguladas por válvulas) comercializadas pela BAE Secura PVV Solar. A ficha técnica referente a esta bateria encontra-se em anexo B. Esta bateria tem as seguintes características: tensão à potência máxima ($V_{mpp}=12\text{ V}$); e capacidade de **393 Ah** [49].

Se a capacidade do banco de baterias for maior do que a capacidade de uma única bateria, é efetuado o cálculo do número de baterias em paralelo a instalar pela seguinte expressão:

$$N^{\circ} \text{ baterias em paralelo} = \frac{C}{\text{capacidade da bateria}} \quad (4.9)$$

Conhecendo capacidade mínima do banco de baterias, **22 189 Ah**, e a capacidade de cada bateria, **393 Ah**, calcula-se o número de baterias necessário para a instalação, obtendo-se:

$$N^{\circ} \text{ baterias em paralelo} = \mathbf{57 \text{ baterias}}$$

Se a tensão do sistema for maior do que a tensão da bateria selecionada, deve-se calcular os números de baterias a colocar em série pela expressão (4.10):

$$N^{\circ} \text{ baterias em série} = \frac{V_{(CC)}}{\text{Tensão nominal da bateria}} \quad (4.10)$$

A tensão de operação em corrente contínua é de **24 V** e a tensão da bateria escolhida é de **12 V**, logo serão instalados **2 bancos** de baterias em série. O número total de baterias a serem instaladas é de **114 baterias**.

Com a seleção e configuração do banco de baterias, a energia útil de armazenamento é obtida através da seguinte equação [24]:

$$E_{util} = C_n \cdot V_{(CC)} \cdot DoD \cdot \eta_{arm} \quad (4.11)$$

Onde,

E_{util} é a energia útil de armazenamento [Wh];

C_n é a capacidade nominal do banco de baterias escolhido [Ah].

Aplicando a equação (4.11) a energia útil armazenada pelo banco de bateria é de **250 263, 97 Wh**.

4.6 Implementação da Iluminação com Telegestão

Utilizando uma proposta com a integração de um sistema de telegestão, é possível realizar um controlo bastante rigoroso sobre a instalação, com benefícios superiores comparado com a versão tradicional.

Com o sistema de telegestão, é possível efetuar a monitorização de toda a instalação, recebendo alertas das falhas nas luminárias ou problemas que ocorram na instalação. Podem ser definidos vários tipos de perfis de fluxo luminoso que poderão ser atribuídos a zonas diferentes da Cidade, por exemplo, reduzindo os níveis de luminosidade nos locais de menor movimento durante a noite, ou quando estão encerrados ao público. Tudo isto pode ser efetuado através de um software alojado num servidor remoto online.

Como vantagens genéricas da implementação de um sistema inteligente de gestão de iluminação pública, salienta-se:

- Poupança elevada de energia e emissões de CO₂ associadas;
- Possibilidade de variação da intensidade luminosa associada a balastos com função de regulação de fluxo, prolongando o tempo de vida das lâmpadas;
- Diminuição do número de intervenções no local, devido ao controlo remoto em tempo real e eliminação das rondas noturnas devido à identificação automática de todas as falhas de lâmpadas e balastos;
- Redução dos custos de manutenção;
- Produção automática de relatórios;
- Cálculo da economia de energia e CO₂;
- Monitorização da energia consumida e dos parâmetros elétricos.
- Possibilidade de controlo das redes de iluminação em qualquer momento e a partir de qualquer local, através do acesso ao portal web;

Com a utilização da tecnologia de comunicação *Z-Wave* neste projeto, é garantida uma gestão mais inteligente e eficaz, dado que com um controlo direcionado para uma única central, é possível criar cenários automatizados, uma vez que todas as ações já estariam pré-determinadas nos módulos Xbee instalados nas luminárias (como por exemplo controlo de luminosidade, segurança, falhas e medições).

Na figura 4.6, ilustra-se a arquitetura do sistema de telegestão implementada no projeto, que inclui os seguintes componentes e funcionalidades:

- Os controladores (módulos Xbee) incorporados nas luminárias, para atuação e leitura de parâmetros do sistema de iluminação;

- Comunicação através de Z-Wave, permitindo controlar as luminárias de forma independente;
- Um controlador de segmento (controlador Raspberry Pi) com comunicador GSM, LAN ou WIFI, que gerência os diversos circuitos de iluminação;
- Um Software de supervisão, para efetuar a monitorização e registo de funcionamento de todos os equipamentos.

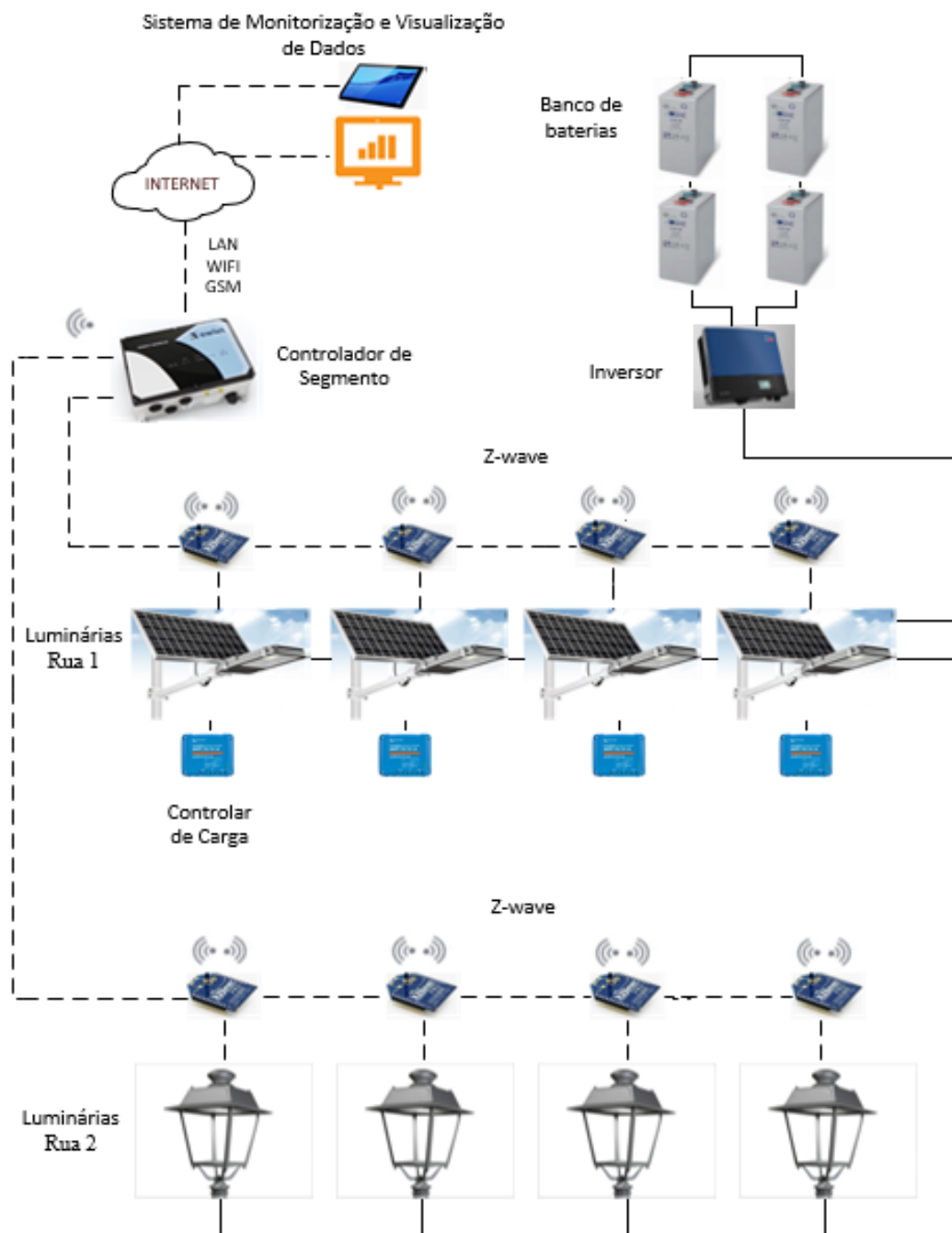


Figura 4.6: Arquitetura do sistema de telegestão.

4.7 Considerações Práticas

Neste subcapítulo pretende-se referir as boas práticas técnicas, relativamente à instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos, nomeadamente das precauções a ter e da execução da manutenção.

4.7.1 Montagem dos Equipamentos

Módulos Fotovoltaicos

No presente caso de estudo os módulos fotovoltaicos encontram – se instalados sobre os postes de iluminação pública com uma inclinação de **30°**. Assim sendo, a estrutura escolhida para suporte dos painéis deverá ter a capacidade de se acoplar diretamente às colunas metálicas. As estruturas utilizadas são de alumínio pela relação entre a qualidade e o peso.

Para a correta colocação dos módulos, deverá ser criada uma estrutura metálica, em alumínio, para suportar os módulos até **400 Wp**. Na Figura 4.7 esquematiza-se a montagem dos painéis nos postes.



Figura 4.7: Pormenor de montagem.

Banco de Baterias

Relativamente ao banco de baterias, é aconselhada a colocação destes em estruturas próprias, que se encontrem a uma distância mínima de segurança do nível do chão, de forma a evitar possíveis contatos com água proveniente do exterior (inundações). Para além disso, é necessário ter em conta que as baterias podem emitir gases corrosivos ou inflamáveis, pelo que o local de colocação deverá ter uma série de características para garantir a segurança:

- Ser fortemente ventilado e que esteja afastado de poeiras, gases, vapores, humidade e outros agentes nocivos;
- Deverá ser um local que se encontre protegido contra temperaturas muito altas;
- Os materiais de suporte devem ser suficientemente resistentes, tanto a nível físico, como do ponto de vista elétrico;
- Do ponto de vista elétrico, deverão tomar-se precauções na instalação de fusíveis e disjuntores à saída do banco de baterias, antes das barras de distribuição de energia desta e em todos os circuitos que alimentem todas as cargas do sistema de armazenamento. É, ainda, essencial a instalação de um dispositivo que detete faltas de alimentação a qualquer bateria do banco.

Reguladores de Carga

Os reguladores de cargas serão instalados em cada poste solar de modo a otimizar a máxima potência de cada painel fotovoltaico.

É necessário ter em conta alguns critérios na montagem dos reguladores de carga, como:

- Não montar o regulador solar em salas húmidas;
- Não expor o regulador solar a luz solar direta ou a outras fontes de calor;
- Proteger o regulador solar contra sujidades e humidade;
- Realizar a montagem sobre superfícies não inflamáveis na parede (betão) em posição vertical.
- Guardar uma distância de 10 cm de objetos situados por cima ou por baixo, a fim de permitir a circulação livre do ar.

Normas e Boas Práticas na Instalação

Os instaladores seguem algumas normas de modo a não comprometer a instalação de sistemas fotovoltaicos. Entre elas, pode referir-se as seguintes:

- Respeitar as regras e procedimentos de segurança;
- Colocar os cabos elétricos cuidadosamente e de forma diferenciada. No caso dos cabos que se encontrem na cobertura, estes deverão ser colocados em tubos isogris, fixado à parede, devem ser colocados no interior da esteira e por baixo do solo, devem encontrar-se num tubo corrugado.
- Instalar os equipamentos num local que se encontre à temperatura ambiente, num local em que seja possível a dissipação do calor por parte do equipamento pois facilita os serviços de manutenção;

4.7.2 Arranque do Sistema Fotovoltaico

Para que o sistema entre em serviço, é necessário ter em conta algumas considerações, em seguida mencionadas:

- Montagem adequada e com segurança de todos os equipamentos;
- Garantir que os equipamentos escolhidos se encontram em boas condições físicas;
- Verificar à tensão em circuito aberto da instalação fotovoltaica, esta não deverá exceder a tensão máxima da corrente contínua do inversor para assegurar a viabilidade do sistema;
- Verificar a polaridade dos cabos de ligação dos equipamentos;
- Verificar se todos os equipamentos estão ligados corretamente e se o cabo da corrente alternada está corretamente ligado ao inversor;
- Desligar o interruptor da corrente contínua do inversor;
- Inspeccionar o ecrã do inversor, se está a detetar algum tipo de erro, alarmes ou se o sistema se encontra em curso sem problemas.

4.7.3 Manutenção e garantias

Todo o sistema fotovoltaico deverá passar por inspeção e manutenção regular de modo a garantir a segurança e funcionamento dos equipamentos/instalação energética, impedindo

avarias nos equipamentos e as consequentes perdas de produção (manutenção corretivas). Para isso, recomenda-se a elaboração de um plano de operação e manutenção, baseando-se nas recomendações feitas pelos fabricantes dos equipamentos, utilizados no sistema, e nas normas referentes à segurança e utilização dos equipamentos envolvidos na instalação fotovoltaica. Na Tabela 24 ilustra-se algum tipo de manutenção preventiva a considerar [51].

Tabela 24: Manutenções preventivas a considerar.		
Equipamentos	Ações preventivas	Periodicidade
Módulos fotovoltaicos	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e verificação de danos; • Medição da tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito; • Observação da presença de algum sobreamento causado pelo crescimento de vegetação próxima ao painel. 	Anual
Banco de baterias	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação da estrutura e do equipamento; • Medição da tensão de circuito aberto e a densidade; • Limpeza, aperto de conectores, oleado dos terminais, verificação das condições e do desempenho. 	Anual
Reguladores de carga	<ul style="list-style-type: none"> • Medição das quedas de tensão entre terminais; • Verificação dos valores dos pontos de regulação de tensão do regulador de carga com relação às especificações das baterias, temperatura de operação e exigências do sistema; • Inspeção visual do visor e/ou indicadores luminosos. 	Anual
Inversores	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeção visual de avisos/alarmes; • Medição da tensão e frequência de saída em vazio e em carga. 	Anual
Equipamentos de proteção e cabos	<ul style="list-style-type: none"> • Testes diversos nos disjuntores e fusíveis; • Inspeção das ligações e terminais; • Revisão do estado dos cabos e dispositivos de proteção. 	Anual

Cargas	<ul style="list-style-type: none"> • Recomenda-se que as cargas tenham a mesma quantidade e potência das que foram especificadas originalmente; • Inspeção visual de avarias. 	Anual
Sistema de aquisição de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeção visual se o equipamento opera correctamente e em conformidade com a programação efectuada para monitoração do sistema PV. 	Anual

Na Tabela 25 apresenta-se os períodos de garantias fornecido pelo fornecedor, relativamente a cada um dos equipamentos instalados.

Tabela 25: Garantias oferecidas.		
Equipamentos	Tipos de garantia	Período de garantia (anos)
Módulos fotovoltaicos	• Defeito de fabrico	10
	• Para 90% de potência nominal	15
	• Para 85% de potência nominal	25
Banco de baterias	• Defeito de fabrico	5
Reguladores de carga	• Defeito de fabrico	5
Inversores	• Defeito de fabrico	5
Equipamentos de proteção e cabos	• Defeito de fabrico	2
Instalação	• Garantia de obra	2

4.8 Viabilidade Económica

O detalhamento dos aspetos económicos de um projeto é tão importante quanto a análise de viabilidade técnica. A definição de cada etapa e sua participação nos custos finais devem estar presentes no levantamento dos encargos financeiros necessários para a análise da viabilidade do projeto. Sobre os aspetos económicos, pode-se dividi-los em duas etapas distintas: os custos iniciais do projeto e os custos anuais com operação e manutenção.

Os custos iniciais de um projeto englobam importantes encargos em diversas etapas tais como: estudo de viabilidade técnica, negociações e desenvolvimento, projetos de engenharia, custos dos equipamentos, infraestrutura e despesas diversas.

Os custos anuais de manutenção e operação englobam, as despesas com equipamentos (reposição e prevenção) e entre outras.

Para caracterizar economicamente o projeto utilizam-se indicadores de avaliação de investimento: Valor Atual Líquido (VAL) e Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).

O VAL tem como objetivo avaliar a viabilidade de um projeto de investimento através do cálculo do valor atual de todos os seus fluxos de caixa. Corresponde à diferença entre os valores atualizados das entradas e saídas de dinheiro durante o período de vida útil do projeto, calculados para o ano zero. O VAL, determinado pela equação (4.12), é um critério de decisão com base na seguinte regra:

Se o valor for positivo ($VAL > 0$), o projeto será economicamente viável porque permite não só cobrir o investimento como gerar a remuneração exigida pelo investidor (o custo de oportunidade) e ainda excedentes financeiros;

Se o valor for nulo ($VAL = 0$), é o caso limite em que o investidor ainda recebe a remuneração exigida. Se o valor for negativo ($VAL < 0$), o projeto considera-se à partida economicamente inviável.

$$VAL = \sum_{t=0}^n \left[\frac{R_t - D_t}{(1+i)^t} \right] - \sum_{t=0}^n \left[\frac{I_t}{(1+i)^t} \right] \quad (4.12)$$

Onde:

I_t corresponde ao investimento no ano t ;

R_t são as receitas brutas de exploração no ano t ;

D_t corresponde às despesas brutas de exploração no ano t ;

I é a taxa de atualização e n o tempo de vida útil do projeto em anos.

A TIR representa a taxa de rentabilidade gerada por um investimento, ou seja, é a taxa que o investidor obtém, a cada ano sobre os capitais investidos no projeto, enquanto o investimento inicial é progressivamente recuperado. Por outras palavras, é usada para determinar a taxa de rentabilidade mínima que torna um projeto viável e é, normalmente, utilizada conjuntamente com o VAL. Matematicamente, a TIR determina a taxa de atualização para o qual o VAL é nulo e é dada pela seguinte equação:

$$\sum_{t=0}^{n=\infty} \left[\frac{CF}{(1+TIR)^t} \right] = 0 \quad (4.13)$$

Para compreender melhor como é feita a análise de viabilidade económica, segue-se uma lista resumo de considerações:

- Todos os encargos de investimento são feitos no ano 0;
- Os encargos de operação e manutenção do sistema são fixos ao longo dos anos do projeto desde o ano 1 até ao ano final;
- Assume-se o tempo de vida útil do projeto de 25 anos;
- Assume-se que o consumo energético se mantém constante do ano 1 até ao ano final;
- O cash-flow é calculado tendo em conta a diferença entre os proveitos e os custos de operação e manutenção;
- O cash-flow acumulado, é a acumulação dos valores de cash flow desde o ano 0 (onde o cash-flow é negativo e correspondente ao valor de investimento) até ao ano final do projeto.

O custo total do investimento associado à instalação fotovoltaica é **250 155 €**, de acordo com o orçamento apresentado no Anexo A. Feita a análise da viabilidade económica, verificou-se que o VAL do projeto é negativo, na ordem dos **-150 932 €** de acordo com o cálculo de viabilidade económica apresentado no Anexo D. Para garantir a fiabilidade deste estudo, o mais indicado seria realizar os estudos em parceria com os investidores.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A falta de qualidade da iluminação pública, o elevado custo da eletricidade e a falta de resposta às solicitações da procura de energia são algumas das preocupações de Cabo Verde. Esta realidade cria uma forte motivação para a exploração e desenvolvimento de outras fontes alternativas, de preferência renováveis que não causem danos ao meio ambiente e aos ecossistemas, estabelecendo assim uma evidente ligação entre a energia, o ambiente e o desenvolvimento sustentável.

No meio rural, muitas famílias recorrem à utilização de iluminação alternativa como por exemplo: velas, candeeiros, geradores a gasóleo, etc., visto que em algumas localidades não há acesso à rede elétrica. Além da criação de melhorias nas condições de vida das populações, com este projeto visa-se, também, a melhoria na segurança pública, com a redução de crimes em zonas mal-iluminadas. A redução do custo da energia elétrica e das emissões de CO₂ estão associadas a melhorias na economia local, aumentando a atratividade para o turismo.

Concluindo, a eletrificação da localidade considerada no projeto, a partir das escolhas feitas e pelos cálculos efetuados, com a tarifa considerada é economicamente inviável, pois o VAL é negativo e o TIR é inferior à taxa de atualização e desaconselhada a um investidor, sabendo que o investimento não oferece retorno ao longo da sua vida útil. Como solução, pode ser sugerido que se proceda à eletrificação da localidade, através de uma parceria entre uma Associação Local, ou Município e o Governo ou uma ONG (Organização não governamental). Pode recorrer-se ao financiamento de uma parcela do investimento no projeto através de um fundo perdido disponibilizado por uma associação local, Governo ou mesmo o Município, adquirindo a outra parcela a partir da aplicação de uma Taxa Ecológica.

No que concerne à possibilidade de outras fontes de investimento no projeto, pode também recorrer-se ao apoio de empresas fabricantes de materiais para produção de energias renováveis que disponibilizem alguns dos seus materiais, gratuitamente, em troca da promoção e divulgação dos seus produtos, procurando que a parcela necessária para completar o valor

total do investimento seja obtida através de uma cooperativa local ou Taxa ecológica ou com um fundo perdido.

Concluiu-se com um sistema de telegestão da iluminação pública pode controlar as cargas de modo a que não haja desperdícios no consumo da energia e o sistema pode tornar-se viável.

Trabalho Futuro

Após a conclusão deste trabalho apresentam-se alguns tópicos suscetíveis de estudo no futuro, de forma a complementar este projeto e a melhorar os sistemas de iluminação Pública. Para uma implementação no terreno, ainda seria necessário estudar vários detalhes de pormenor, nomeadamente, entre outros, o dimensionamento das canalizações e os cálculos da queda de tensão nos cabos. Assim, destina-se a trabalho futuro um projeto mais pormenorizado e totalmente dimensionado de iluminação pública, alimentada com energias renováveis e controlada com telegestão.

Referências

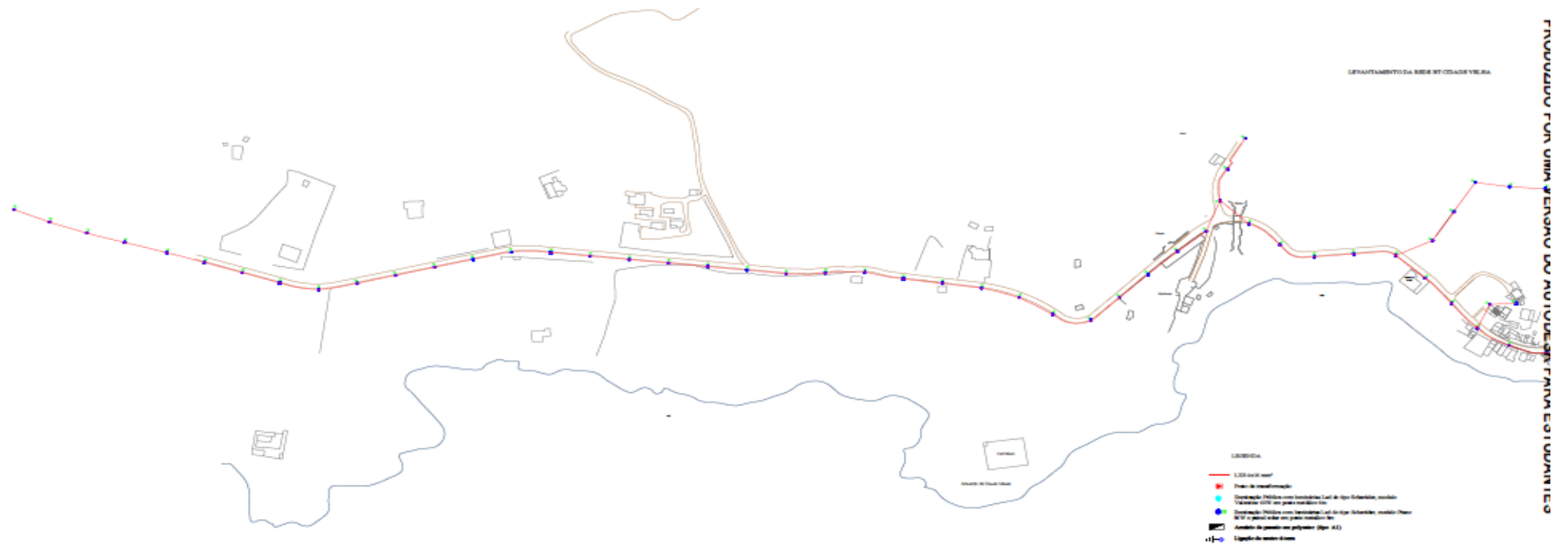
- [1] “Relatório e Contas 2018,” *ELECTRA Sul, SA*. Praia, Cabo Verde, 2019;
- [2] Gesto Energia, S., “Plano Energético Renovável de Cabo Verde. Direção-Geral de Energia, Praia, Cabo Verde, Anexo A: Caracterização do Sector Elétrico Atual”, 2011;
- [3] Doan D., “Solar Powered Street Lighting System”, US Patent 4200904, Apr. 29, 1980;
- [4] Huang H., “Street Light with Wind Power Generator”, US Patent 2009/0080182 A1, Mar. 26, 2009;
- [5] Daidone P. e Ascani L., “Wind and Solar-Powered Light Apparatus”, US Patent 2010/0220467 A1, Sep. 2, 2010;
- [6] Kao C. e Lin W., “Solar - Powered Led Street Light”, US Patent 8040102 B2, Oct. 18, 2011;
- [7] Kimberley B., “Solar Powered Lighting System”, US Patent 2015/0062859 A1, Mar. 5, 2015;
- [8] Diamond P., “Street Light”, US Patent 9920895 B2, Mar. 20, 2018;
- [9] Ito T. e Maeda T., “Hybrid Street Light”, US Patent 2019/0041015 A1, Feb. 7, 2019;
- [10] Postes solares fornecem luz com sustentabilidade a projetos urbanos. Disponível em <https://www.temsustentavel.com.br/postes-solares-luz-sustentabilidade/>. Acesso em 14/04/20;
- [11] Lima C. Leandro; Gouveia S. Lucas, “Iluminação Pública História, Tecnologias e a Aplicações”, Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019;
- [12] Jornal de economia (2007) – Iluminação Pública Solar em Cabo Verde, 2 de Março de 2007 Economia 11. Disponível em www.asemana.cv;
- [13] EDP Distribuição, “Manual Iluminação Pública”, revisão outubro 2016;
- [14] Chaves Aléxio, “Simulação Generalizada de Sistemas Eólicos e Solares”, Projeto de Mestrado, Universidade do Algarve, 2018;
- [15] Sol. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sol>. Acesso em 29/09/20;
- [16] Ranabhat, K., et all, (2016) “An Introduction to Solar Cell Technology”, Journal of

- Applied Engineering Science, Vol. 14, pp. 481-491;
- [17] Soteris Kalogirou, Solar Energy Engineering. Boston: Academic Press, 2009;
- [18] “Cabos do sistema fotovoltaico: promovendo o fluxo de energia”. Disponível em <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3318-cabos-solar-termica-celulas-fotovoltaicas-como-funcionam-captacao-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagem-fontes-renovavel-limpa-meio-ambiente-eficiencia-sustentavel-onde-comprar-custo-investimento-instalacao-residencias-casa.html>. Acesso em 01/10/20;
- [19] Askari Mohammad Bagher, Mirzaei Mahmoud Abadi Vahid, Mirhabibi Mohsen. “Types of Solar Cells and Application”. American Journal of Optics and Photonics. Vol. 3, No. 5, 2015, pp. 94-113. doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17;
- [20] Tavares P. João, & Galdinho António Marco “Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos”, Rio de Janeiro: Cepel, 2014;
- [21] “Tipos de Pannel Solar Fotovoltaico - portal solar”. Acesso em 30/06/20 <http://https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica.html>;
- [22] Lopes S. Flávio, “Utilização de Baterias de Iões de Lítio em Sistemas de Armazenamento de Energia”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2016;
- [23] Lopes L. Nilton, “Implementação de um Sistema MPPT em Circuito Integrado CMOS”, Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2013;
- [24] Mendes M. Isabel, “Dimensionamento de um Sistema de Energia Fotovoltaico para Autoconsumo”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2019;
- [25] Santos S. Marco Antônio, “Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma de Veraneio em Pouso da Cajaíba - Paraty”, Projeto para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, Universidade federal do Rio de Janeiro, 2010;
- [26] Lindinho F. A. Micael, “Sistemas de iluminação pública inteligentes e de alta eficiência” Tese de Mestrado, Escola Superior de tecnologia e Gestão de Viseu, 2015;
- [27] Silva L. Ricardo Filipe, “Iluminação Pública Eficiente Caso de Estudo na FCT/UNL”

- Dissertação de Mestrado, FCT, Universidade Nova de Lisboa, 2018;
- [28] INGRH (2011), “Relatório de Atividades do INGRH” – 2011 Praia, Cabo Verde;
- [29] DGE, “Relatório de Base para Cabo Verde ” - 03 Outubro 2014, Cabo Verde;
- [30] ARME – Tarifas de eletricidade. Disponível em <https://www.arme.cv/index.php/eletricidade-2/tarifas-e-precos/send/37-tarifas-e-precos/488-tarifas-electricidade-electra-e-aeb-set-2019>. Acesso em 02/02/20;
- [31] “Projeto Execução Parque fotovoltaico Ilha de Santiago”, MARTIFER Solar, Abril de 2010;
- [32] Mendes Claudino, “A Qualidade da da Iluminação Pública da Cidade da Praia e o seu Impacto Socioeconómico”;
- [33] Santos Cristiana Raquel, “Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética”, Dissertação de Mestrado, FEUP, 2011;
- [34] Wikipédia – Lâmpada de vapor de mercúrio. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_vapor_de_merc%C3%B4rio. Acesso em 17/02/20;
- [35] Frederico S. H. Seabra, “Dimensionamento da Rede de Baixa Tensão e Estudo da Iluminação Pública de um Loteamento Industrial”, Dissertação de Mestrado, ISEC, 2018;
- [36] Wikipédia – Lâmpada de descarga Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_descarga. Acesso em 17/02/20;
- [37] Wikipédia – Lâmpada de vapor de sódio. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_vapor_de_s%C3%B3dio. Acesso em 17/02/20;
- [38] Diário de Notícias “Cabo Verde quer renováveis a garantir mais de metade das necessidades até 2030”, publicado em 16/11/18. Acesso em 16/04/20;
- [39] Jornal expressos da Ilhas – “Electra poupa 55% na eletricidade para iluminação pública”, publicado em 24/11/18. Acesso em 16/04/20;
- [40] Ministério da Cultura e das Indústrias Criativas, “Plano de Gestão 2019-2022”, Dezembro de 2018;

- [41] BDJUR “Base de Dados Jurídica”. Disponível em http://bdjur.almedina.net/item.php?field=item_id&value=322494. Acesso em 25/07/20;
- [42] Correia C. Márcia Joana, “Sistemas de Bombagem de Água utilizando Energia Solar Fotovoltaica”, Dissertação de Mestrado, ISEL, 2015;
- [43] Seguel L. Julio Igor, “Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo de Suprimento de Energia usando Técnica MPPT e Controle Digital”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009;
- [44] “Photovoltaic Geographical Information System”. Disponível em <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. Acesso em 27/04/20;
- [45] “Condições meteorológicas médias de Cidade da Praia”. Disponível em <https://pt.weatherspark.com/y/31475/Clima-característico-em-Cidade-da-Praia-Cabo-Verde-durante-o-ano>. Acesso em 04/08/20;
- [46] “Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação”;
- [47] Catálogo AXIpower;
- [48] Graça C. B. Randi Cleiton, “Ponte – Empresa de energia solar em Cabo Verde”; Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, 2019;
- [49] “Catálogo Bateria Solar BAE Secura PVV Solar”. Disponível em https://www.baebatteriesusa.com/wp-content/uploads/2018/12/BAE_PVV_Cell_en_2016.06-B.pdf. Acesso em 20/09/20;
- [50] “Catálogo Controladores de carga blueSolar”. Disponível em <https://www.victronenergy.pt/upload/documents/Datasheet-Blue-Solar-Charge-Controller-MPPT-75-10,-75-15,-100-15-&-MPPT-100-20-PT.pdf>. Acesso em 20/09/20;
- [51] Pereira Filipe / Oliveira Manuel, “Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica”, 2011;
- [52] Pinto O. Diogo, “Sistemas de Controlo de Iluminação Pública”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2016;

Apêndice A – Projeto eletrotécnico





Apêndice B – Cálculo luminotécnico:

Rua 1 - Fora das localidades.

Projecto 1



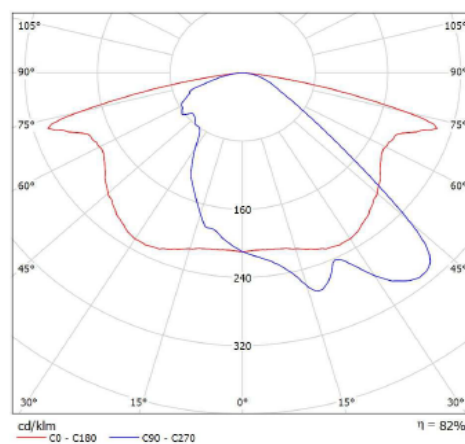
DIALux

15.04.2020

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

SCHREDER PIANO MIDI / 5247 / 56 LEDs 500mA NW 740 / 417422 / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
Código de Fluxo (CIE): 40 74 96 100 82

Não é possível representar tabela UGR para esta luminária porque faltam propriedades de simetria.

Projecto 1



Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

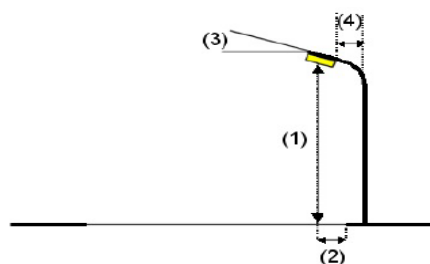
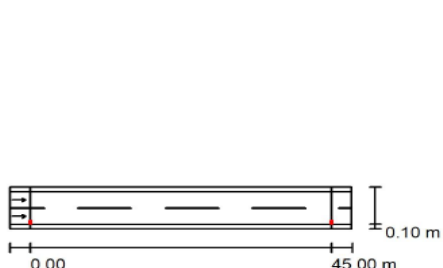
Rua 1 / Dados de planeamento

Perfil da rua

Passeio 1 (Largura: 0.800 m)
Pista de rodagem 1 (Largura: 6.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 2, Pavimento: R3, q0: 0.070)
Passeio 2 (Largura: 0.800 m)

Factor de manutenção: 0.67

Distribuições de luminárias



Luminária: SCHREDER PIANO MIDI / 5247 / 56 LEDs 500mA NW 740 / 417422
 Corrente luminosa (Luminária): 11433 lm
 Corrente luminosa (Lâmpadas): 13917 lm
 Potência luminosa: 86.0 W
 Distribuição: de um lado embaixo
 Distância entre postes: 45.000 m
 Altura de montagem (1): 10.000 m
 Altura do ponto de luz: 9.970 m
 Pendor (2): 0.530 m
 Inclinação do braço extensor (3): 0.0 °
 Comprimento do braço extensor (4): 0.750 m

Valor máximo da potência luminosa
 a 70°: 494 cd/klm
 a 80°: 110 cd/klm
 a 90°: 0.00 cd/klm

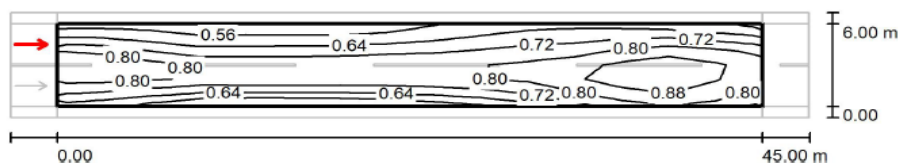
Em todas as direções que, em uma luminária correctamente instalada, formam o ângulo dado com as verticais inferiores.
 Sem potência luminosa acima de 90°.
 A distribuição cumpre a classe de potência luminosa G2.
 A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.6.

Projecto 1



Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Rua 1 / Campo de avaliação Pista de rodagem 1 / Observador 2 / Linhas isográficas (L)



Valores em Candela/m², Escala 1 : 365

Grelha: 15 x 6 Pontos
 Posição do observador: (-60.000 m, 4.500 m, 1.500 m)
 Pavimento: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valores reais segundo o cálculo:	0.73	0.72	0.76	11
Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓

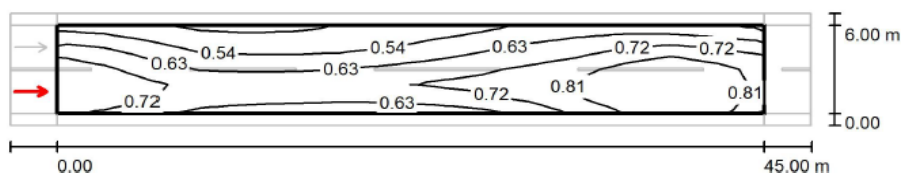
Projecto 1



DIALux
15.04.2020

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Rua 1 / Campo de avaliação Pista de rodagem 1 / Observador 1 / Linhas isográficas (L)



Valores em Candela/m², Escala 1 : 365

Grelha: 15 x 6 Pontos
Posição do observador: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m)
Pavimento: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valores reais segundo o cálculo:	0.68	0.66	0.77	9
Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓

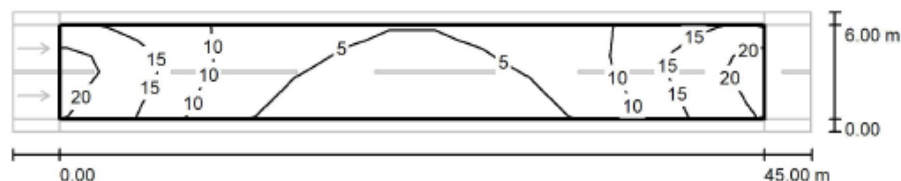
Projecto 1



DIALux
15.04.2020

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Rua 1 / Campo de avaliação Pista de rodagem 1 / Linhas isográficas (E)




Valores em Lux, Escala 1 : 365

Grelha: 15 x 6 Pontos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
9.69	2.30	22	0.237	0.106

Rua 2 - Dentro das localidades.

Projecto 1


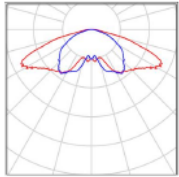


22.04.2020


Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Rua 2 / Lista de luminárias

SCHREDER VALENTINO LED / 5096 / 32 LEDs
600mA NW 740 / 33256S
N° do artigo:
Corrente luminosa (Luminária): 6257 lm
Corrente luminosa (Lâmpadas): 8866 lm
Potência luminosa: 60.0 W
Classificação de luminárias conforme CIE: 99
Código de Fluxo (CIE): 31 69 94 99 71
Lâmpada (s): 1 x 32 LEDs 600mA NW 740
(Factor de correcção 1.000).

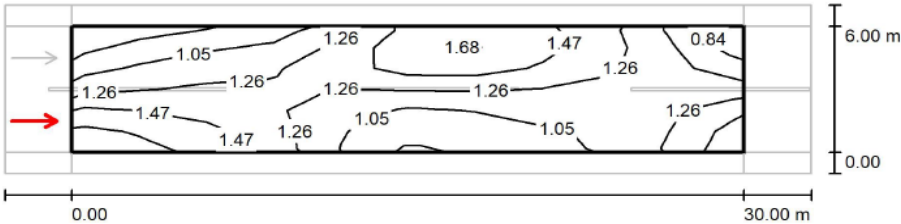
Projecto 1



22.04.2020

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Rua 2 / Campo de avaliação Pista de rodagem 1 / Observador 1 / Linhas isográficas (L)



Valores em Candela/m², Escala 1 : 258

Grelha: 10 x 6 Pontos
Posição do observador: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m)
Pavimento: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valores reais segundo o cálculo:	1.24	0.60	0.56	15
Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓

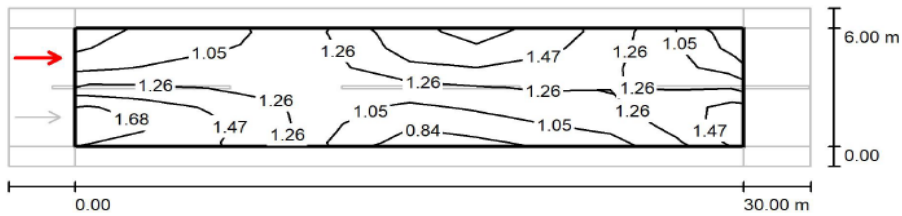
Projecto 1



DIALux
22.04.2020

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Rua 2 / Campo de avaliação Pista de rodagem 1 / Observador 2 / Linhas isográficas (L)



Valores em Candela/m², Escala 1 : 258

Grelha: 10 x 6 Pontos
Posição do observador: (-60.000 m, 4.500 m, 1.500 m)
Pavimento: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	UI	Tl [%]
Valores reais segundo o cálculo:	1.24	0.62	0.56	15
Valores nominais segundo a classe ME5:	≥ 0.50	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓

Anexo A – Orçamento

SETEC – Soluções Energéticas e Tecnológicas, Lda

Palmarejo, Frente Imperio II
Santiago

Praia, Cabo Verde

Tel.: +238 931 99 77

Web: www.setec.cv

Mail: comercial.setec@gmail.com

NIF 264.476.905

Capital Social: 200.000\$00

BCA, N°:

8191467601/NIB:000300008191407610176

Dos Registos Comercial e Automóvel da Praia

Proposta

Original

N° **300002**

Data: 2020-11-13

Este documento não serve de fatura

Cliente: **Eunice Lopes Varela**

Santiago

Cabo Verde

Vencimento	Condições	Nota de Encomenda	Cliente N°	NIF
13/12/2020	Pagamento a 30 dias	Encomenda telefónica	2020003	Consumidor Final

Referência	Descrição	Quant.	Unitário	valor
#	Coluna cónica 10 m com um braço 0,75 m, fixação por enterrar + Coffret	78	250,00	19 500,00 €
#	Coluna cónica para zonas históricas 6 m com um braço 0,75 m, fixação por enterrar + Coffret	76	220,00	16 720,00 €
#	Luminária Led 60 W, 8866 lm, IP 66, IK08	76	64,00	4 864,00 €
#	Luminária Led 86 W, 11433 lm, IP66, IK08	78	86,99	6 785,22 €
#	Painel solar monocristalino 315 Wp	78	147,00	11 466,00 €
#	Inversor 5 kW	5	958,00	4 790,00 €
#	Estrutura metálica	1	3 900,00	3 900,00 €
#	Bateria VRLA-GEL 393 Ah	114	521,47	59 447,81 €
#	Materiais de instalações eléctrica (cabos, dispositivos de proteção)	1	20 000,00	20 000,00 €
#	Sistema de telegestão	1	9 200,00	9 200,00 €
#	Construção Civil	1	12 481,91	12 481,91 €
#	Mão-de-Obra	1	48 371,09	48 371,09 €

Incidência de IVA	Taxa	Valor de IVA	Valor Iliquido	217 526,09 €
			Sub-Total	217 526,09 €
217 526,09 €	15%	32 628,91 €	Valor de IVA	32 628,91 €
			Valor Total	250 155,00 €

*Documento elaborado pelo programa AstorLiteMZ © Astormatica (www.astormatica.pt) *
Processado por computador

Anexo B – Termos de referência dos equipamentos

Poste para luminária – Rua 2

FRANÇA
CTF





Soluções para Espaços Urbanos

Ficha Técnica





FRANÇA, coluna artística fabricada em tubo de aço e fundição de ferro de elevada qualidade. Desenvolvida especialmente para aplicar em jardins, parques, praças, zonas pedonais e residenciais. Diversidade de configurações, podendo aplicar-se 1 a 2 braços no fuste da coluna, dependendo das necessidades luminotécnicas. No topo da coluna pode ser aplicada uma luminária ou uma pinha decorativa.

MATERIAIS:
 Base: Fundição de ferro;
 Fuste: Tubo de ferro S-235- JR segundo norma UNE-EN-10025.

ACABAMENTO:
 Lacadas a quente ao RAL a definir.

GB.047.00

www.bricantel.pt | info@bricantel.pt
 Tel.: +351 273 302 130 | Fax: +351 273 302 139



Luminária - Rua 2

Valentino LED

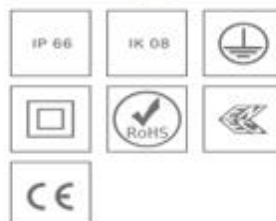


Preserve seu patrimônio com eficiência de última geração

Sob o seu exterior clássico e intemporal, a luminária Valentino LED incorpora a mais avançada tecnologia LED.

Combina a eficiência energética dos LEDs com o desempenho fotométrico do conceito LensoFlex^{®2} desenvolvido pela Schröder.

A luminária Valentino LED está disponível em inúmeras configurações para iluminar estradas urbanas, ruas, praças, parques e parques de estacionamento. É uma ferramenta elegante para uma iluminação eficiente e uma fonte de bem-estar e segurança no espaço público.



SCHREDER VALENTINO LED / 5096 / 32 LEDs
600mA NW 740 / 33256S

N° do artigo:

Corrente luminosa (Luminária): 6257 lm

Corrente luminosa (Lâmpadas): 8866 lm

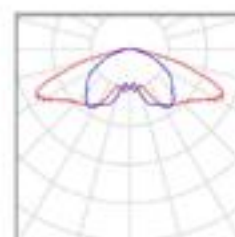
Potência luminosa: 60.0 W

Classificação de luminárias conforme CIE: 99

Código de Fluxo (CIE): 31 69 94 99 71

Lâmpada (s): 1 x 32 LEDs 600mA NW 740

(Factor de correcção 1.000).



Luminária - Rua 1



Design: Michel Tortel

CARACTERÍSTICAS - LUMINÁRIA

Estanquicidade bloco ótico:	IP 66 (*)
Estanquicidade bloco eletrónico:	IP 66 (*)
Resistência ao choque (vidro):	IK 08 (**)
Resistência aerodinâmica (CxS):	0,04m²
Classe elétrica:	I ou II (*)
Peso (total):	7kg
Altura de instalação:	3,5 - 6m

(*) segundo IEC - EN 60598

(**) segundo IEC - EN 62262

UM INSTRUMENTO IDEAL PARA A ILUMINAÇÃO DE PAISAGENS URBANAS

A luminária Piano Mini é o novo membro da gama de luminárias Piano da Schréder.

É o modelo mais pequeno e é ideal para iluminar ruas residenciais, zonas pedonais, parques ou ciclovias. Oferece às vilas e cidades a ferramenta ideal para melhorar os níveis de iluminação, gerar poupanças de energia e reduzir a sua pegada ecológica.

Pode ser equipada com módulos de 16 ou 24 LED.

É equipada com a segunda geração LensoFlex2®, motor fotométrico que oferece fotometria de elevado desempenho especialmente adaptada a iluminação urbana, valorizando a criação de ambiências proporcionando ambientes seguros e confortáveis. A Piano Mini oferece excelentes soluções fotométricas para instalações a baixa altura, sob a copa das árvores e não emite luz intrusiva para os habitantes dos imóveis vizinhos.

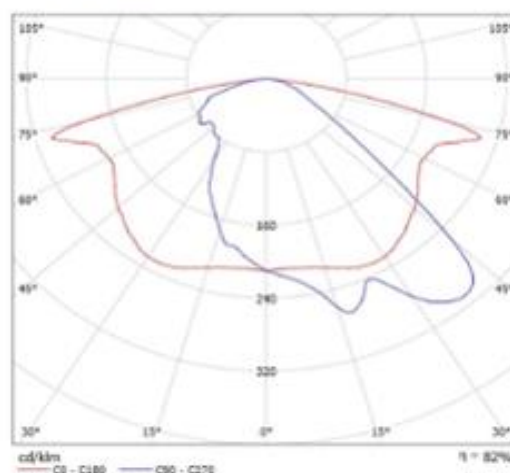
Recorrendo a uma consola pedonal é possível, com o mesmo design de luminária, iluminar uma estrada principal, uma estrada lateral, um caminho pedonal. A consola mural permite a aplicação em ruas estreitas ou em todos os espaços interditos a colunas.

SCHREDER PIANO MIDI / 5247 / 56 LEDs 500mA NW 740 / 417422 / Folha de dados de luminária



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
Código de Fluxo (CIE): 40 74 96 100 82

Emissão luminosa 1:



Não é possível representar tabela UGR para esta luminária porque faltam propriedades de simetria.

Ficha Técnica Painel solar.



290 - 315 Wp

www.axitecsolar.com

AXITEC
 high quality german solar brand

AXIpremium

60 células monocristalino
 Módulos fotovoltaicos de alto rendimento



engenharia alemã-brasileira

Vantagens:



Garantia de fabricação de 15 anos



Desempenho máximo dos módulos solares AXITEC através de qualidade altíssima dos materiais e utilização de tecnologias de produção "estado de arte"



Tolerância de potência positiva garantida de -0/+5 Wp



Carga máxima de 5400 Pa



100 % teste de electroluminescência



Máxima estabilidade baseada na construção de moldura em alumínio com sistema AXITEC-Soft-Grip

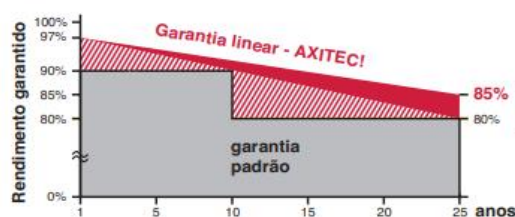


Caixa de conexão e sistema de conectores de alta qualidade



Garantia linear exclusiva de AXITEC de máximo rendimento!

- Garantia de 15 anos para 90% de potência nominal
- Garantia de 25 anos para 85% de potência nominal


PROCEL
 PROGRAMA NACIONAL
 DE CONSERVAÇÃO DE
 ENERGIA ELÉTRICA

Axitec do Brasil - Cel. 071-99295-2723 - info@axitecsolar.com.br - www.axitecsolar.com.br

www.axitecsolar.com

AXITEC

high quality german solar brand



AXIpremium 290 - 315 Wp

Dados elétricos (em condições de teste padrão (STC) irradiância 1.000 W/m² com espectro AM 1,5 e temperatura da célula de 25°C)

Tipo	Potência nominal P _{mpp}	Tensão nominal U _{mpp}	Corrente nominal I _{mpp}	Corrente de curto-circuito I _{sc}	Tensão de circuito aberto U _{oc}	Eficiência de módulo
AC-290M/60S	290 Wp	32,01 V	9,06 A	9,54 A	39,42 V	17,7 %
AC-295M/60S	295 Wp	32,25 V	9,15 A	9,67 A	39,56 V	18,0 %
AC-300M/60S	300 Wp	32,37 V	9,27 A	9,74 A	39,72 V	18,3 %
AC-305M/60S	305 Wp	32,41 V	9,42 A	9,83 A	39,81 V	18,6 %
AC-310M/60S	310 Wp	32,51 V	9,54 A	9,94 A	39,94 V	18,9 %
AC-315M/60S	315 Wp	32,79 V	9,61 A	10,03 A	40,16 V	19,2 %

Estrutura

Frente	vidro temperado e de baixa reflexão, 3,2 mm
Célula	60 células de silício monocristalino de alta potência
Verso	película posterior resistente às intempéries (branca)
Moldura	35 mm moldura de alumínio (cor de prata)

Dados mecânicos

C x L x A	1650 x 992 x 35 mm
Peso	18,1 kg com moldura

Conexão

Caixa de conexão	grau de proteção IP67 com (3 diodos de derivação)
Cabo	ca. 1,1 m, 4 mm ²
Sistema de conectores	grau de proteção IP67

Valor limite

Tensão do sistema	1000 VDC
NOCT (nominal operating cell temperature)*	45°C +/-2K
Máxima de carga	5400 N/m ²
Corrente reversa	20,0 A
Temperatura de operação permitida	-40°C até +85°C

(Não podem ser aplicadas ao módulo tensões externas maiores que U_{oc})

*NOCT, irradiância 800 W/m²; AM 1.5; velocidade de vento 1 m/s

Coefficiente de temperatura

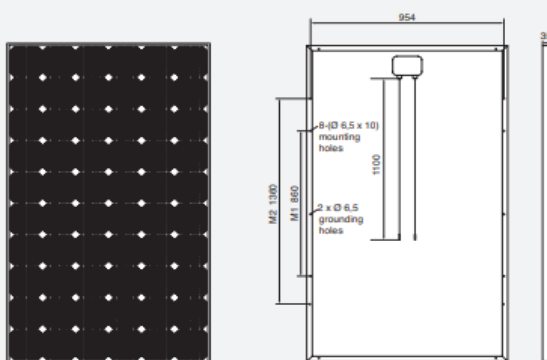
Tensão U _{oc}	-0,29 %/K
Corrente I _{sc}	0,04 %/K
Potência P _{mpp}	-0,39 %/K

Comportamento com luz fraca (Exemplo AC-300M/60S)

I-U Característica	Corrente	Tensão
200 W/m ²	2,15 A	30,17 V
400 W/m ²	3,71 A	31,20 V
600 W/m ²	6,05 A	31,81 V
800 W/m ²	7,57 A	32,10 V
1000 W/m ²	9,27 A	32,37 V

Embalagem

Módulos Solares por pallet	30x unidades
Módulos Solares por Container (40'HC)	840x unidades



Todas medidas em mm

Podem ocorrer sem aviso prévio alterações nas especificações dos dados técnicos.
Todos os direitos reservados.

Tolerâncias das medidas: +/-3%

Ficha Técnica do banco de baterias.

BAE SECURA PVV solar

Technical Specification for Valve Regulated Lead-Acid Batteries (VRLA-GEL)

1. Application

BAE SECURA PVV solar batteries don't need to be refilled with water during the whole service life. Therefore, this battery type is maintenance-free. This eliminates checking of electrolyte level.

The batteries are used to store electric energy in medium and large solar photovoltaic installations.

Due to the robust tubular plated design BAE PVV Batteries are excellent suited for highest requirements regarding cycling ability and long lifetime.



2. Technical data (Reference temperature 20 °C)

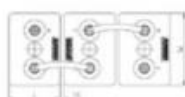
Type	C_{1h} Ah	C_{10h} Ah	C_{20h} Ah	C_{72h} Ah	C_{100h} Ah	C_{120h} Ah	C_{240h} Ah	R_t 1) mV	I_k 2) kA	Length (L) mm	Width (W) mm	Height (H) mm	Weight kg
U_e V/cell	1.67	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80						
2 PVV 140	71	121	134	153	157	158	165	1.65	1.30	105	208	420	12.4
3 PVV 210	107	182	202	229	236	238	247	1.15	1.86	105	208	420	17.1
4 PVV 280	143	243	268	306	314	318	331	0.89	2.40	105	208	420	19.4
5 PVV 350	179	304	336	383	393	397	412	0.73	2.91	126	208	420	23.3
6 PVV 420	215	364	404	460	472	477	496	0.63	3.39	147	208	420	27.4
5 PVV 550	254	447	506	570	583	589	609	0.68	3.14	126	208	535	31.4
6 PVV 660	302	529	598	671	686	693	715	0.58	3.64	147	208	535	36.9
7 PVV 770	350	610	688	770	788	795	820	0.52	4.12	168	208	535	42.4
6 PVV 900	417	729	834	943	968	978	1,012	0.46	4.63	147	208	710	51.0
7 PVV 1050	492	858	980	1,116	1,140	1,154	1,195	0.36	5.81	215	193	710	61.9
8 PVV 1200	559	970	1,106	1,252	1,280	1,296	1,344	0.32	6.54	215	193	710	68.8
9 PVV 1350	616	1,090	1,252	1,418	1,450	1,464	1,524	0.34	6.29	215	235	710	77.0
10 PVV 1500	691	1,200	1,382	1,562	1,600	1,620	1,675	0.28	7.50	215	235	710	83.9
11 PVV 1650	748	1,320	1,512	1,713	1,750	1,764	1,836	0.28	7.56	215	277	710	92.2
12 PVV 1800	822	1,440	1,644	1,857	1,900	1,920	1,989	0.24	8.63	215	277	710	99.2
11 PVV 2090	839	1,570	1,772	2,023	2,070	2,088	2,169	0.27	7.86	215	277	855	108.2
12 PVV 2280	927	1,710	1,918	2,181	2,230	2,256	2,337	0.23	9.18	215	277	855	116.5
13 PVV 2470	1,040	1,890	2,120	2,426	2,490	2,508	2,592	0.18	11.91	215	400	815	131.4
14 PVV 2660	1,125	2,070	2,320	2,678	2,740	2,772	2,880	0.17	12.63	215	400	815	141.2
15 PVV 2850	1,191	2,170	2,420	2,772	2,840	2,868	2,976	0.16	13.25	215	400	815	147.9
16 PVV 3040	1,265	2,300	2,580	2,937	3,000	3,036	3,144	0.15	13.94	215	400	815	156.2
17 PVV 3230	1,358	2,480	2,780	3,182	3,260	3,300	3,408	0.14	15.32	215	490	815	173.6
18 PVV 3420	1,433	2,610	2,920	3,348	3,420	3,468	3,576	0.13	16.03	215	490	815	181.4
19 PVV 3610	1,507	2,740	3,080	3,506	3,590	3,624	3,744	0.12	16.70	215	490	815	189.6
20 PVV 3800	1,581	2,870	3,220	3,664	3,750	3,792	3,912	0.12	17.37	215	490	815	197.8
22 PVV 4180	1,740	3,210	3,600	4,118	4,220	4,272	4,416	0.11	18.43	215	580	815	205.7
24 PVV 4560	1,887	3,470	3,900	4,442	4,550	4,596	4,752	0.10	19.76	215	580	815	222.0
26 PVV 4940	2,014	3,650	4,060	4,608	4,710	4,764	4,920	0.10	21.02	215	580	815	235.1

1, 2) Internal resistance R_t and short circuit current I_k according to IEC 60896-21

Height (H) is the maximum height between container bottom and top of the bolts in assembled condition.

All values given in the table correspond to 100 % DOD without voltage drop of connectors. Please consider item 7.

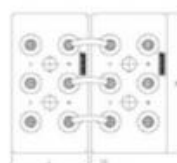
3. Terminal positions



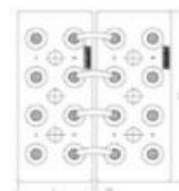
2 PVV 140 to 6 PVV 900



7 PVV 1050 to 12 PVV 2280



13 PVV 2470 to 16 PVV 3040



17 PVV 3230 to 26 PVV 4940

Terminals are designed as female poles with brass inlay M10 for flexible insulated copper cables with cross-section 25, 35, 50, 70, 95 or 120 mm² or insulated solid copper connectors with cross-section 90, 150 or 300 mm².





Technical Specification for BAE SECURA PVV solar

4. Design
- Positive electrode tubular-plate with woven polyester gauze and solid grids in a corrosion-resistant PbCaSn-alloy
- Negative electrode grid-plate in PbCaSn-alloy with long-life expand material
- Separation microporous separator
- Electrolyte sulphuric acid with a density of 1.24 kg/l (20 °C), fixed as GEL by fumed silica
- Container and lid high impact ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene), grey coloured (colour may vary slightly from given image), UL-94 rating: HB, on request also in UL-94 rating V-0
- Valve valve with flame arrestor, opening pressure approx. 1.20 mbar
- Pole bushing 100 % gas- and electrolyte-tight sliding, plastic coated "Panzerpol"
- Kind of protection IP 25 regarding EN 60529, touch protected according to VBG 4
- Horizontal operation Please use BAE special type PVV "horizontal". The construction and production of this type is adapted to the horizontal operation.
5. Installation
- BAE SECURA PVV solar batteries are designed for indoor applications. For outdoor applications please contact BAE.
6. Maintenance
- Every 6 months check battery voltage, pilot cell voltages and temperatures
- Every 12 months check connections, record battery voltage, cell voltages and temperatures
7. Operational data
- Depth of discharge (DOD) max. 80 % ($U_e = 1.91$ V/cell for discharge times > 10 h; 1.74 V/cell for 1 h), deep discharges of more than 80 % DOD have to be avoided unlimited, the minimal charge current has to be 1.5 A/100 Ah C_{10}
- Initial charge current (I or bulk phase) restricted from 2.30 V to 2.40 V per cell, operating instruction is to be observed
- Charge voltage at cyclic operation 2.25 V/cell
- Float voltage / no cyclic operation no adjustment necessary if battery temperatures between 10 °C and 45 °C (50 °F and 113 °F) in the monthly average, $DU/DT = -0.003$ V/cell per K below 10 °C (50 °F) within a period of 1 up to 4 weeks
- Adjustment of charge voltage > 3,000 (A+B) at 40 °C (104 °F)
- Recharge to 100 % -20 °C to 45 °C (-4 °F to 113 °F), recommended temperature range 10 °C to 30 °C (50 °F to 86 °F)
- IEC 61427 cycles approx. 2 % per month at 20 °C (68 °F)
- Battery temperature
- Self-discharge
8. Number of cycles as function of Depth of discharge
-
- | Depth of discharge (DOD) in % | Cycles |
|-------------------------------|--------|
| 10 | 13000 |
| 20 | 8000 |
| 30 | 5500 |
| 40 | 4000 |
| 50 | 3000 |
| 60 | 2500 |
| 70 | 2000 |
| 80 | 1500 |
9. Transport
- Batteries are not subject to ADR (road transport), if the conditions of Special Provisions 598 and 238 (Chapter 3.3) are observed. BAE cells/batteries are conform to the IMDG-Code, therefore these products are no dangerous goods on sea transport.
10. Standards
- Test standards IEC 60896-21, IEC 61427
- Safety standard, ventilation EN 50272-2

BAE Batterien GmbH
Wilhelminenhofstraße 69/70
12459 Berlin
Germany

Tel.: +49 (0) 30 53001-661
Fax: +49 (0) 30 53001-667
E-Mail: info@bae-berlin.de
www.bae-berlin.de



Ficha Técnica Inversor 10kW.

MUST[®]

PV3500 PRO Series (4KW-12KW)

Low Frequency Solar Inverter



INTRODUCTION

PV3500 PRO series is a multi-function inverter ,combining functions of inverter and mppt solar charger controller, solar charger and battery charger to offer uninterruptible power support with portable size. The comprehensive LCD display offers user-configurable and easy-accessible button operation such as battery charging current, AC/solar charger priority, and selectable input voltage based on different applications.

FEATURES

- Smart LCD setting(Working modes, Charge Current, Charge voltage, etc.
- Built-in MPPT solar charge controller 80A/100A/200A
- MPPT efficiency max 98%
- Powerful charge rate up to 140Amp
- DC start &Automatic Self-Diagnostic Function
- WIFI / USB monitoring function with free CD (wi-fi optional)
- Supporting AGS, BTS port
- Compatible to generator



Rated power
4KW-12KW



Battery Voltage
24V,48V



Wide AC input range
90-280VAC



Battery smart
charge design



3 times surge power
based on capacity
4KW-12KW



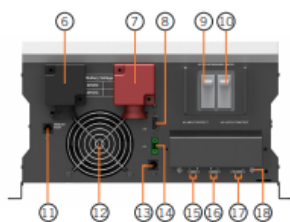
MPPT solar charge controller
80A / 100A / 200A



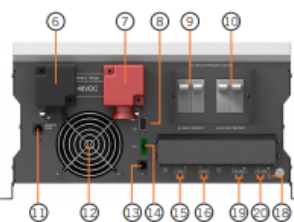
Multi protection

MUST®

PV3500 PRO Series (4KW-12KW)
Low Frequency Solar Inverter



4KW-6KW



8KW-12KW

- 1. Switch ON/OFF
- 2. LCD display
- 3. AC/Inverter indicator
- 4. Charging indicator
- 5. Fault indicator
- 6. BAT-
- 7. BAT+
- 8. WIFI/USB communication port
- 9. AC input/Bypass breaker
- 10. AC output breaker
- 11. Remote control port
- 12. Fan
- 13. BTS
- 14. AGS
- 15. AC input
- 16. AC output
- 17. PV input
- 18. Ground
- 19. PV2 input (optional)
- 20. PV1 input

MODEL		PV35 PRO-4K		PV35 PRO-5K		PV35 PRO-6K		PV35 PRO-8K		PV35 PRO-10K		PV35 PRO-12K					
Nominal Battery System Voltage		24V 48V		24V 48V		48V		48VDC		48VDC		48VDC					
INVERTER OUTPUT	Rated power	4KW		5KW		6KW		8.0KW		10.0KW		12.0KW					
	Surge rating(20ms)	12KW		15KW		18KW		24KW		30KW		36KW					
	Capable of starting electric motor	2HP		2HP		3HP		4HP		5HP		6HP					
	Waveform	Pure sine wave / same as input (bypass mode)															
	Nominal output voltage RMS	220V / 230V / 240VAC (+/-10%RMS)															
	Output frequency	50Hz / 60Hz +/- 0.3Hz															
	Inverter efficiency(peak)	>85%						>88%									
	Line mode efficiency	>95%															
	Power factor	1.0															
	Typical transfer time	20ms(max)															
AC INPUT	Voltage	230VAC															
	Selectable voltage range	90-280 VAC (APL)															
	Frequency range	50Hz / 60Hz															
BATTERY	Low battery voltage cutoff	20-24VDC for 24VDC mode (40-48VDC for 48VDC mode)															
	Low battery voltage recover	21-25VDC for 24VDC mode (42-50VDC for 48VDC mode)															
	High battery voltage cutoff	30VDC for 24VDC mode (60VDC for 48VDC mode)															
	High battery voltage recover	28.5VDC for 24VDC mode (57VDC for 48VDC mode)															
	Idle consumption-search mode	<30W when power saver on						<60W when power saver on									
AC CHARGER	Output voltage	Depends on battery type															
	Charger AC input breaker rating	40A		40A		50A		80A		80A		80A					
	Overcharge protection S.D.	31.4VDC for 24VDC mode (62.8VDC for 48VDC mode)															
	Maximum charge current	80A		60A		100A		70A		80A		100A		140A			
BTS	Continuous output power	Yes Variances in charging voltage & S.D. voltage base on the battery temperature															
	Input voltage waveform	Sine wave (grid or generator)															
BYPASS & PROTECTION	Nominal input frequency	50Hz or 60Hz															
	Overload protection (SMPS Load)	Circuit breaker															
	Output short circuit protection	Circuit breaker															
	Bypass breaker rating	40A						63A						63A		63A	
	Max bypass current	40Amp						80Amp						80Amp			
SOLAR CHARGER	Maximum PV charge current	80A						100A(200A optional)									
	DC voltage	24V/48V Auto work															
	Maximim PV array power	2000W		4000W		2000W		4000W		4000W		5000W(10000W for 200A optional)					
	MPPT range @ operating voltage(VDC)	32-145VDC for 24V mode,64-147V for 48V mode															
	Maximum PV array open circuit voltage	147VDC															
	Maximum efficiency	>98%															
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Standby power consumption	<2W															
	Mounting	Wall mount															
	Dimensions (W*H*D)	620*385*215mm						670*410*215mm									
	Net weight (solar CHG) (kg)	36		41		41		69+2.5		75.75+2.5		75.75+2.5					
	Shipping dimensions (W*H*D)	755*515*455mm															
	Shipping weight (Solar CHG) (kg)	56		61		64		82.5+2.5		89+2.5		92+2.5					
	OTHER	Operation temperature range	0°C to 40°C														
Storage temperature		-15°C to 60°C															
Audible noise		60dB MAX															
Display		LED+LCD															
Loading (20GP/40GP/40HQ)		140pcs / 280pcs / 320pcs															

Anexo C – Radiação Solar Mensais.

