

# IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INFRAESTRUTURAS DE VIAS DE COMUNICAÇÃO RODOVIÁRIAS - A SUA APLICABILIDADE A UM CASO DE ESTUDO

JOSÉ FILIPE CARVALHO OLIVEIRA  
novembro de 2022



# IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INFRAESTRUTURAS DE VIAS DE COMUNICAÇÃO RODOVIÁRIAS - A SUA APLICABILIDADE A UM CASO DE ESTUDO

JOSÉ FILIPE CARVALHO OLIVEIRA

Outubro de 2022

# IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INFRAESTRUTURAS DE VIAS DE COMUNICAÇÃO RODOVIÁRIAS - A SUA APLICABILIDADE A UM CASO DE ESTUDO

José Filipe Carvalho Oliveira



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

**2022**



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
TEDSEE – Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas  
Elétricos de Energia

Candidato: José Filipe Carvalho Oliveira, Nº 1021062, 1021062@isep.ipp.pt  
Orientação científica: Fernando Maurício Teixeira De Sousa Dias, fmd@isep.ipp.pt

Empresa: ABC



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia  
**2022**



Dedico este trabalho à minha esposa e filhos por toda a paciência, apoio e ajuda ao longo  
de mais esta jornada.



## *Agradecimentos*

A conclusão desta dissertação fecha um ciclo importante da minha vida académica.

Os meus mais sinceros agradecimentos ao Engenheiro Maurício Dias pelo apoio e disponibilidade demonstrada na orientação deste trabalho.

Este trabalho não seria possível sem as pessoas que compõem a minha vida: a minha esposa Joana, aos meus filhos José Luís e Álvaro pela compreensão e apoio ao longo deste trabalho.



## *Resumo*

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia do Instituto Superior de Engenharia do Porto e tem como objetivo a identificação e estudo de medidas de melhoria de eficiência energética, avaliação técnica e económica e sua implementação num caso de estudo.

Portugal, tal como outros países da União Europeia, tem de cumprir metas, pelo que é urgente encontrarem-se soluções de forma a diminuir o consumo de energia sem interferir com o nosso dia-a-dia.

A mais recente crise energética foi um novo alerta, para que as organizações públicas e privadas, acelerem a transição energética e implementem medidas focadas na redução de consumos de energia provenientes de energias fósseis. Todas as entidades devem ter o compromisso de promoverem o estudo e implementação que se adaptem a realidade onde os seus ativos se inserem.

Na presente dissertação, realizou-se um estudo sobre a viabilidade técnico económica de implementação de formas mais eficientes de iluminação, de produção de energia renovável pela via fotovoltaica para autoconsumo e de sistemas de acumulação de energia elétrica. O estudo foi baseado em dimensionamentos analíticos e simulações computacionais tendo em conta a toda a legislação e normas aplicadas a infraestrutura em questão.

### ***Palavras-Chave***

Eficiência Energética, Responsabilidade Ambiental, Infraestruturas Rodoviárias, Iluminação LED, Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamento de Baterias



## *Abstract*

This work was developed within the scope of the Curricular Unit Dissertation/Internship of the Master's Degree in Electrical Engineering - Electrical Power Systems of the Instituto Superior de Engenharia do Porto and aims to identify and study measures to improve energy efficiency, technical and economic evaluation and its implementation in a case study.

Portugal, as other countries of the European Union, has to meet targets, so it is urgent to find solutions in order to reduce energy consumption without interfering with our daily lives.

The most recent energy crisis was a new alert for public and private organizations to accelerate the energy transition and implement measures focused on reducing energy consumption from fossil fuels. All entities should have the commitment to promote the study and implementation that adapt to the reality where their assets are located.

In this dissertation, a study was conducted on the technical and economic feasibility of implementing more efficient forms of lighting, production of renewable energy through photovoltaic for self-consumption and electric energy storage systems. The study was based on analytical sizing and computer simulations taking into account all the legislation and standards applied to the infrastructure in question.

### ***Keywords***

*Energy efficiency, Environmental responsibility, Road Infrastructures, LED lighting, Photovoltaic systems, Battery sizing*



## ÍNDICE

|                                                                                             |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| AGRADECIMENTOS .....                                                                        | I        |
| RESUMO .....                                                                                | III      |
| ABSTRACT .....                                                                              | V        |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                                                     | XI       |
| ÍNDICE DE TABELAS .....                                                                     | XV       |
| SIGLAS E ACRÓNIMOS .....                                                                    | XIX      |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                                                   | <b>1</b> |
| 1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....                                                                   | 1        |
| 1.2.OBJETIVOS .....                                                                         | 3        |
| 1.3.CALENDARIZAÇÃO.....                                                                     | 3        |
| 1.4.ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....                                                          | 4        |
| <b>2. ESTADO DA ARTE .....</b>                                                              | <b>7</b> |
| 2.1.ILUMINAÇÃO COM RECURSO À TECNOLOGIA LED.....                                            | 7        |
| 2.1.1. <i>Enquadramento Histórico</i> .....                                                 | 7        |
| 2.1.2. <i>Descrição da Tecnologia</i> .....                                                 | 9        |
| 2.1.3. <i>Tipos de LED</i> .....                                                            | 11       |
| 2.1.3.1. <i>Dual in Packaged</i> .....                                                      | 11       |
| 2.1.3.2. <i>Surface Mount Device</i> .....                                                  | 11       |
| 2.1.3.3. <i>Chip On Board</i> .....                                                         | 12       |
| 2.1.3.4. <i>Organic Light-Emitting Diode</i> .....                                          | 13       |
| 2.1.4. <i>Vantagens e Comparação da iluminação LED com outros tipos de iluminação</i> ..... | 13       |
| 2.1.5. <i>Lâmpadas utilizadas na Iluminação Pública</i> .....                               | 15       |
| 2.2.SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICOS .....                                                      | 16       |
| 2.2.1. <i>Enquadramento Histórico</i> .....                                                 | 16       |
| 2.2.2. <i>Descrição da Tecnologia</i> .....                                                 | 18       |
| 2.2.2.1. <i>Células Fotovoltaicas</i> .....                                                 | 18       |
| 2.2.2.1. <i>Tipos de Células Fotovoltaicas</i> .....                                        | 20       |
| 2.2.3. <i>Equipamentos de um Sistema Fotovoltaico</i> .....                                 | 21       |
| 2.2.3.1. <i>Módulos Fotovoltaicos</i> .....                                                 | 21       |
| 2.2.3.2. <i>Inversor</i> .....                                                              | 23       |
| 2.2.4. <i>Tipos de Instalações Fotovoltaicas</i> .....                                      | 25       |
| 2.2.4.1. <i>Auto-Consumo</i> .....                                                          | 25       |
| 2.2.4.2. <i>Pequena Produção (UPP)</i> .....                                                | 25       |
| 2.3.SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.....                                               | 26       |
| 2.3.1. <i>Enquadramento</i> .....                                                           | 26       |

|           |                                                                           |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.2.    | <i>Sistemas de Acumulação Em Baterias</i> .....                           | 27        |
| 2.3.2.1.  | <i>Principais Características das Baterias</i> .....                      | 28        |
| 2.3.2.2.  | <i>Tipos de Baterias</i> .....                                            | 30        |
| 2.3.2.1.  | <i>Sistema de Gestão de Bateria</i> .....                                 | 31        |
| 2.4.      | <b>NORMAS E ENQUADRAMENTO LEGAL</b> .....                                 | 32        |
| 2.4.1.    | <i>Norma reguladora para iluminação Pública</i> .....                     | 32        |
| 2.4.2.    | <i>Enquadramento Legal para Sistema de Autoconsumo</i> .....              | 33        |
| 2.4.2.1.  | <i>Remuneração e Compensação</i> .....                                    | 35        |
| <b>3.</b> | <b>AUDITORIA ENERGÉTICA</b> .....                                         | <b>37</b> |
| 3.1.      | CONCEITO DE AUDITORIA ENERGÉTICA .....                                    | 37        |
| 3.2.      | BENEFÍCIOS DA REALIZAÇÃO DE UMA AUDITORIA ENERGÉTICA .....                | 38        |
| 3.3.      | TIPOS E METODOLOGIA DAS AUDITORIAS ENERGÉTICAS .....                      | 39        |
| 3.3.1.    | <i>Planeamento</i> .....                                                  | 40        |
| 3.3.2.    | <i>Trabalho de Campo</i> .....                                            | 41        |
| 3.3.3.    | <i>Tratamento de Informação</i> .....                                     | 41        |
| 3.3.4.    | <i>Elaboração do Relatório</i> .....                                      | 42        |
| 3.4.      | INFRAESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS ANALISADOS NA INFRAESTRUTURA .....         | 42        |
| 3.4.1.    | <i>Sistema de Cobrança de Portagens</i> .....                             | 44        |
| 3.4.2.    | <i>Sistema AVAC</i> .....                                                 | 44        |
| 3.4.3.    | <i>Sistema de Iluminação</i> .....                                        | 45        |
| <b>4.</b> | <b>CASO DE ESTUDO</b> .....                                               | <b>47</b> |
| 4.1.      | ANÁLISE DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS .....                                    | 47        |
| 4.1.1.    | <i>Desagregação Dos Consumos De Energia Elétrica</i> .....                | 48        |
| 4.1.2.    | <i>Análise do Consumo De Energia Elétrica do Caso de Estudo</i> .....     | 50        |
| 4.1.3.    | <i>Diagrama de Cargas</i> .....                                           | 51        |
| 4.2.      | IDENTIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA .....          | 53        |
| 4.2.1.    | <i>Medidas Propostas para Melhoria no Iluminação</i> .....                | 53        |
| 4.2.1.1.  | <i>Iluminação Exterior/ Pública do Caso de Estudo</i> .....               | 54        |
| 4.2.1.2.  | <i>Iluminação Interior da Infraestrutura</i> .....                        | 56        |
| 4.2.2.    | <i>Projeto de Unidade de Produção para Autoconsumo</i> .....              | 57        |
| 4.2.2.1.  | <i>Avaliação e Informação do Local de Estudo</i> .....                    | 57        |
| 4.2.2.2.  | <i>Dimensionamento</i> .....                                              | 58        |
| 4.2.2.3.  | <i>Especificações dos equipamentos Principais</i> .....                   | 62        |
| 4.2.2.4.  | <i>Simulação e Análise de Resultados</i> .....                            | 63        |
| 4.2.2.5.  | <i>Propostas e Análise de Investimento</i> .....                          | 65        |
| 4.2.3.    | <i>Sistemas de Acumulação de Energia</i> .....                            | 65        |
| 4.2.3.1.  | <i>Dimensionamento e Especificações dos equipamentos Principais</i> ..... | 66        |
| 4.2.3.2.  | <i>Propostas e Análise de Investimento</i> .....                          | 66        |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.RESUMO DAS PROPOSTAS DAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA .....                 | 67         |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>                                                    | <b>69</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                       | <b>71</b>  |
| <b>ANEXO A. CONSUMO ENERGIA ELÉTRICA (2021) .....</b>                        | <b>76</b>  |
| <b>ANEXO B. SIMULAÇÃO AUDITORIA ENERGÉTICA – DESAGREGAÇÃO CONSUMOS .....</b> | <b>77</b>  |
| <b>ANEXO C. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....</b>    | <b>79</b>  |
| <b>ANEXO D. ESTUDO LUMINOTÉCNICO - ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....</b>              | <b>83</b>  |
| <b>ANEXO E. CASH-FLOW – IMPLEMENTAÇÃO MEDIDA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....</b>     | <b>118</b> |
| <b>ANEXO F. DADOS PVGIS .....</b>                                            | <b>120</b> |
| <b>ANEXO G. DATA SHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO .....</b>                         | <b>122</b> |
| <b>ANEXO H. DATA SHEET INVERSOR .....</b>                                    | <b>123</b> |
| <b>ANEXO I. DATA SHEET BATERIAS ACUMULAÇÃO.....</b>                          | <b>124</b> |



## *Índice de Figuras*

|           |                                                                                                                                                  |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | Evolução da Eficiência Luminosa                                                                                                                  | 9  |
| Figura 2  | Princípio de Funcionamento de um LED                                                                                                             | 9  |
| Figura 3  | Espectro da Radiação LED                                                                                                                         | 10 |
| Figura 4  | Exemplo de LED DIP                                                                                                                               | 11 |
| Figura 5  | Exemplo de LED SMD                                                                                                                               | 12 |
| Figura 6  | Exemplo de LED COB                                                                                                                               | 12 |
| Figura 7  | Composição de um OLED                                                                                                                            | 13 |
| Figura 8  | Lâmpada de Vapor de sódio                                                                                                                        | 15 |
| Figura 9  | Luminária LED                                                                                                                                    | 16 |
| Figura 10 | Estação Meteorológica Solar                                                                                                                      | 18 |
| Figura 11 | Efeito Fotovoltaico [24]                                                                                                                         | 19 |
| Figura 12 | Circuito elétrico de uma célula fotovoltaica [25]                                                                                                | 19 |
| Figura 13 | Monocristalinas, Policristalinas e ThinFilm [27]                                                                                                 | 21 |
| Figura 14 | Relação da Irradiação Solar (esquerda) e da temperatura (direita) nas características FV [28]                                                    | 22 |
| Figura 15 | Paralelo de módulos N(PM) células com N (SM) células em série [29]                                                                               | 23 |
| Figura 16 | Representação das soluções de ligação dos inversores num sistema FV :<br>Inversor central. (b) Inversor de fileira. (c) Inversor por módulo [30] | 24 |
| Figura 17 | Tipos de Sistemas de Armazenamento de Energia [35]                                                                                               | 27 |

|           |                                                                     |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 18 | Esquema de uma célula de Bateria [37]                               | 28 |
| Figura 19 | Fases de uma Auditoria Energética                                   | 40 |
| Figura 20 | Planta do Caso de Estudo [44]                                       | 43 |
| Figura 21 | Evolução dos Consumos e Custos de Energia                           | 48 |
| Figura 22 | Desagregação por tipologia de consumo                               | 49 |
| Figura 23 | Medições elétricas realizadas                                       | 50 |
| Figura 24 | Dados relativos ao fornecimento de energia elétrica                 | 51 |
| Figura 25 | Diagramas de Carga                                                  | 52 |
| Figura 26 | Perfil de Cargas – Potência Média                                   | 52 |
| Figura 27 | Implementação da Iluminação Pública                                 | 54 |
| Figura 28 | Vista Área da Cobertura                                             | 58 |
| Figura 29 | Plataforma PV GIS                                                   | 58 |
| Figura 30 | Dados Irradiação de 2020                                            | 59 |
| Figura 31 | Dados Temperatura de 2020                                           | 59 |
| Figura 32 | Dimensionamento da Instalação Fotovoltaica                          | 61 |
| Figura 33 | Curvas características de Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos [47] | 62 |
| Figura 34 | Curvas características de Eficiência do Inversor [49]               | 63 |
| Figura 35 | Configuração dos parâmetros no PV SOL [47]                          | 64 |
| Figura 36 | Utilização da Energia Fotovoltaica [47]                             | 64 |
| Figura 37 | Curvas características de Eficiência da % de Carga da Bateria [47]  | 66 |





## *Índice de Tabelas*

|           |                                                                   |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1  | Calendarização do projeto                                         | 4  |
| Tabela 2  | Comparativo dos diferentes tipos de lâmpadas [17]                 | 14 |
| Tabela 3  | Equação de cálculo da corrente efetiva na célula fotovoltaica     | 20 |
| Tabela 4  | Comparativo dos diferentes tipos de baterias [39]                 | 31 |
| Tabela 5  | Quadro Resumo dos Processos de Licenciamento de UPACs [39]        | 35 |
| Tabela 6  | Potências Nominais Instaladas nas Vias                            | 44 |
| Tabela 7  | Características técnicas dos equipamentos AVAC instalados         | 45 |
| Tabela 8  | Especificações técnicas das lâmpadas existentes no Caso de Estudo | 46 |
| Tabela 9  | Desagregação Geral                                                | 49 |
| Tabela 10 | Cadastro de iluminação existente do Caso de Estudo                | 54 |
| Tabela 11 | Dados Financeiros e Análise Económica                             | 55 |
| Tabela 12 | Substituição da Iluminação instalada para LED                     | 56 |
| Tabela 13 | Dados da Poupança da Medida                                       | 57 |
| Tabela 14 | Características Técnicas dos Módulos Fotovoltaicos [47]           | 62 |
| Tabela 15 | Características Técnicas do Inversor                              | 63 |
| Tabela 16 | Dados da Poupança do Sistema Fotovoltaico                         | 65 |
| Tabela 17 | Características Técnicas das Baterias de Acumulação [47]          | 66 |
| Tabela 18 | Dados da Poupança da Medida Baterias Acumulação                   | 67 |
| Tabela 19 | Resumo das Medidas de Eficiência Propostas                        | 68 |







## *Siglas e Acrónimos*

|                |   |                                                                            |
|----------------|---|----------------------------------------------------------------------------|
| AE             | - | Auditoria Energética                                                       |
| ALPR           | - | Automatic License Plate Recognition                                        |
| ANMP           | - | Associação Nacional de Municípios Portugueses                              |
| AVAC           | - | Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado                                   |
| CCTV           | - | <i>Closed-Circuit Television</i>                                           |
| CdTe           | - | Telureto de cádmio                                                         |
| CER            | - | Comunidades de Energia Renovável                                           |
| CIS            | - | Disseleneto de cobre e índio                                               |
| COP            | - | <i>Conference of the Parties</i>                                           |
| CIP            | - | Centro Português de Iluminação                                             |
| C <sub>N</sub> |   | Carga Normal da Bateria                                                    |
| DIP            | - | <i>Dual In Packaged</i>                                                    |
| DREEIP         | - | Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública |
| DGEG           | - | Direção Geral de Energia e Geologia                                        |
| DOD            | - | <i>Depth of Discharge</i>                                                  |
| FER            | - | Fonte de Energia Renovável                                                 |
| FV             | - | Fotovoltaico                                                               |
| HPS            | - | <i>High Pressure Sodium</i>                                                |

|      |                                                         |
|------|---------------------------------------------------------|
| IP   | - Iluminação Pública                                    |
| ISO  | - <i>International Organization for Standardization</i> |
| IU   | - Instalações de utilização                             |
| LED  | - <i>Light Emitting Diode</i>                           |
| LPS  | - <i>Low Pressure Sodium</i>                            |
| MPPT | - <i>Maximum Power Point Tracker</i>                    |
| NASA | - <i>National Aeronautics and Space Administration</i>  |
| OE   | - Ordem dos Engenheiros                                 |
| OLED | - Organic Light-Emitting Diode                          |
| ORD  | Operador da Rede de Distribuição                        |
| PCB  | - <i>Printed Circuit Board</i>                          |
| QGBT | - Quadro Geral de Baixa Tensão                          |
| RESP | - Rede Elétrica de Serviço Público                      |
| RGB  | - <i>Red, Green and Blue</i>                            |
| RNAE | - Associação das Agências de Energia e Ambiente         |
| SAE  | - Sistemas de Armazenamento de Energia                  |
| SC   | - Sistema de Cobrança                                   |
| SMD  | - <i>Surface Mount Device</i>                           |
| SOC  | - <i>State of charge</i>                                |
| TRC  | - Título de reserva de capacidade                       |

UPAC - Unidade de Produção para Autoconsumo

UPP - Unidade de Pequena Produção

UPS - *Unit Power Supply*



# 1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo, será realizado um enquadramento das necessidades energéticas a nível mundial, para tal, serão identificadas as diferentes fontes de energia com preponderância no consumo e o impacto ambiental resultante das mesmas.

Será abordada a necessidade de implementação de medidas de eficiência energética, que visam promover a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e a diminuição dos valores da fatura energética.

Serão ainda, apresentados os objetivos que se propõe atingir com este trabalho, a calendarização e a organização do relatório.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente, a Energia e o Ambiente são os temas que são encarados com a maior preocupação pela humanidade, e em que são desenvolvidos os maiores esforços nas áreas de investigação e desenvolvido, de forma a contribuir para uma melhor qualidade de vida das gerações atuais e futuras. Nos últimos anos, fatores como o aquecimento global têm estado na ordem de trabalhos das grandes organizações mundiais, tendo sido celebrados diversos acordos, de forma a serem atingidas metas para a redução das emissões carbono [1]

Nos dias de hoje, a energia elétrica é obtida fundamentalmente por fontes de energia não renováveis, designados os combustíveis fósseis. Os combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural representam cerca de 83% do total da energia consumida a nível mundial [2]. Além de serem finitos, caros e estarem sujeitos a uma instabilidade de preços devido a conjunturas políticas internacionais [3], estes recursos contribuem para o aumento do aquecimento global e para mudanças no clima do planeta. Pode-se concluir, que o recurso a combustíveis fósseis além de ser prejudicial, para as atuais e para as futuras gerações, não são o “veículo” que levarão ao tão desejado Desenvolvimento Sustentável

Por forma a diminuir a emissão de gases com efeito de estufa e proceder ao cumprimento das metas previstas tanto no Protocolo de Quinto assinado em 1997, como ao Acordo de Paris assinado em 2015, bem como recentemente na Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP26), a dependência dos combustíveis fósseis deve sofrer uma significativa desaceleração nos próximos anos. As entidades governativas deverão lançar incentivos e aposta na eliminação progressiva do carvão como fonte de energia, na aceleração da transição para veículos movidos a eletricidade e lançar pacotes de incentivos para o investimento em energias renováveis.

Em Portugal, tem sido promovido e aprovado diversos pacotes de incentivos ao longo dos últimos anos, como foi o caso do Fundo Ambiental [4]. Considera-se, porém, imperativo o surgimento de mais medidas para travar a dependência dos combustíveis fósseis, com uma aposta cada vez mais forte em fontes de origem renovável e programas de apoio para produção e consumo mais sustentáveis.

Do ponto de vista das empresas, passou a ser imprescindível a aposta na eficiência energética, a otimização dos consumos e a instalação de sistema de produção autónomo de energia, de forma a ser tornarem mais competitivas e a diminuir os custos com energia.

A ABC, entidade onde será realizado este projeto, é uma entidade vocacionada para a gestão de ativos e para a prestação de serviços de Operação & Manutenção de infraestruturas rodoviárias. A entidade tem uma forte preocupação ao nível da sustentabilidade ambiental, tendo diversos projetos no âmbito da redução das emissões

carbónicas, bem como o compromisso de proteção do meio ambiente e da sua preservação.

## **1.2. OBJETIVOS**

O objetivo principal deste projeto é o estudo do desempenho energético e a análise técnico-económica de soluções que permitam a melhoria da eficiência energética das infraestruturas da entidade ABC.

O estudo terá sempre em conta as obrigações contratuais a que a empresa tem junto de terceiros, tais como níveis de iluminação exigidos, a disponibilidade dos equipamentos do sistema de cobrança (cabines, câmaras, detetores, lasers, etc.) e dos sistemas de apoio e suporte à operação (sistemas de segurança, CCTV, controlo de acessos, AVAC, etc.).

Atendendo à complexidade do estudo em causa, os objetivos foram divididos da seguinte forma:

- Realização de Auditoria energética, levantamento e verificação da distribuição do consumo de energia pelos vários sistemas existentes na instalação;
- Identificação de eventuais melhorias a implementar na instalação;
- Estudo de soluções viáveis de eficiência energética que melhor se adequem à instalação;
- Avaliação técnica, económica e ambiental das soluções técnicas consideradas;
- Implementação soluções de melhoria identificadas, no local piloto;
- Estudo e definição de um sistema de medição e verificação das produções e poupanças para as instalações.

## **1.3. CALENDARIZAÇÃO**

A calendarização deste trabalho de dissertação é apresentada na Tabela 1. Esta inclui um conjunto de tarefas, como por exemplo: o estudo e organização da documentação (faturas energéticas, dados consumos, etc.); auditoria energética e avaliação de consumos; estado da arte; estudo de soluções de viáveis de eficiência energética; implementação das soluções identificadas; teste e validação das soluções propostas.

Tabela 1 Calendarização do projeto

|     |                                                                                             | Nov        |            |          |       | Dez  |       |       |       | Jan |      |      |      | Fevereiro |     |      |      | Março |     |      |      | Abril |     |      |      | Maio |     |     |      | Junho |      |     |      | Julho |      |     |      |  |  |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|----------|-------|------|-------|-------|-------|-----|------|------|------|-----------|-----|------|------|-------|-----|------|------|-------|-----|------|------|------|-----|-----|------|-------|------|-----|------|-------|------|-----|------|--|--|
| ID  | Tarefas                                                                                     | Início     | Fim        | Duração  | 20/11 | 6/12 | 13/12 | 20/12 | 27/12 | 3/1 | 10/1 | 17/1 | 24/1 | 31/1      | 7/2 | 14/2 | 21/2 | 28/2  | 7/3 | 14/3 | 21/3 | 28/3  | 4/4 | 11/4 | 18/4 | 25/4 | 2/5 | 9/5 | 16/5 | 23/5  | 30/5 | 6/6 | 13/6 | 20/6  | 27/6 | 4/7 | 11/7 |  |  |
| 1   | Estudo e Organização da Documentação                                                        | 01/12/2021 | 02/01/2022 | 32 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 2   | Auditoria Energética e Avaliação de Consumos das Praças de Portagem                         | 03/01/2021 | 28/01/2021 | 25 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 3   | Estado da Arte                                                                              | 03/01/2021 | 07/02/2021 | 35 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 3.1 | Tecnologia de Iluminação LED                                                                | 03/01/2021 | 16/01/2021 | 13 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 3.2 | Sistemas Solares Fotovoltaicos                                                              | 16/01/2021 | 27/01/2021 | 11 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 3.3 | Sistemas de Armazenamento de Energia                                                        | 27/01/2021 | 07/02/2021 | 11 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 4   | Estudo de soluções viáveis de eficiência energética adequadas às instalações                | 07/02/2021 | 01/04/2021 | 53 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 5   | Avaliação técnica, económica e ambiental das soluções propostas                             | 02/04/2021 | 06/05/2021 | 34 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 6   | Implementação soluções de melhoria identificadas, numa portagem piloto (caso seja possível) | 07/05/2021 | 03/06/2021 | 27 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 7   | Testes e Validação Aplicacionais                                                            | 04/06/2021 | 24/06/2021 | 20 dias  |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |
| 8   | Elaboração do Relatório Final                                                               | 13/02/2022 | 15/07/2022 | 152 dias |       |      |       |       |       |     |      |      |      |           |     |      |      |       |     |      |      |       |     |      |      |      |     |     |      |       |      |     |      |       |      |     |      |  |  |

## 1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos.

No primeiro capítulo é realizada a introdução ao tema da dissertação, a sua contextualização, os principais objetivos e a sua estrutura.

O segundo capítulo abrange o estado da arte, onde são abordados os conceitos para a compreensão da iluminação da tecnologia LED, dos sistemas solar fotovoltaicos e dos sistemas de armazenamento de energia. Neste capítulo, será ainda apresentado algumas definições de auditoria energética, estudo de normas e obrigações legais atendendo que se projeta a possibilidade de alteração das infraestruturas nomeadamente ao nível da iluminação exterior e no sistema de alimentação elétrica do edifício.

No terceiro capítulo é apresentada a empresa e as infraestruturas alvo de estudo.

No quarto capítulo é apresentado o caso de estudo, onde são analisados os consumos de energia das infraestruturas da empresa ABC, apresentados os valores da auditoria energética com a respetiva desagregação de consumos por especialidade e onde são estudadas e avaliadas as medidas de eficiência energética a implementar.

No quinto e último capítulo, apresentam-se as conclusões retiradas desta dissertação, com uma análise aos resultados obtidos.





## 2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo, servirá para apresentar o estudo das tecnologias mais adequadas a obtenção de ganhos de eficiência energética, no contexto empresarial e em particular das infraestruturas. Desta forma e com base na análise realizada às instalações, considerou-se pertinente o estudo da tecnologia de iluminação *Light Emitting Diode* (LED), os sistemas solares fotovoltaicos e os sistemas de armazenamento de energia.

### 2.1. ILUMINAÇÃO COM RECURSO À TECNOLOGIA LED

#### 2.1.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A criação das lâmpadas com tecnologia LED é atribuída Nick Holonyak, engenheiro eletrotécnico na General Electric, que em 1962 apresentou o primeiro díodo emissor de luz de espectro visível. Esta descoberta surgiu quando trabalhava com materiais semicondutores usando o fosforeto de arseneto de gálio, composto químico sintético, de fórmula GaAs, que emite uma luz vermelha visível [5].

Contudo, para que esta descoberta fosse possível, foi necessário o trabalho de vários investigadores ao longo dos anos. De seguida, é resumido por ordem cronológica, os desenvolvimentos mais relevantes desta tecnologia:

- Henry Joseph Round (1881-1966): engenheiro inglês que apresentou a primeira definição sobre a eletroluminescência, o princípio básico do LED ao observar que certos semicondutores emitem luz quando uma corrente elétrica passa por eles. Henry J. Round observou o fenômeno no momento em que aplicava uma tensão sobre semicondutores para tentar melhorar a amplificação dos sinais de rádio. A sua descoberta foi publicada na revista *Electrical World* a 9 de fevereiro de 1907; [6]
- Oleg Vladimirovich Lósev (1903-1942): cientista russo que deu continuidade ao trabalho de Henry J. Round, tendo fabricado um díodo cristalino com óxido de zinco e carboneto de silício que, tal como idealizava, emitiu fótons ao ser atravessado por corrente. Oleg V. Lósev patenteou o relé de luz “*Light Relay*”; [6]
- M. George Craford (1938 - ): aluno de Holonyak, inventou o LED de cor amarela, bem como o LED de cor vermelho com mais brilho; [7]
- Shuji Nakamura (1954 - ): engenheiro eletrotécnico e professor da faculdade de Santa Barbara, na Califórnia, conseguiu produzir em conjunto com Isamu Akasaki e Hiroshi Amano, feixes luminosos azuis brilhantes através de semicondutores. De seguida desencadearam uma grande transformação na tecnologia da iluminação. Esta invenção despoletou posteriormente em 1995 a descoberta do LED de luz branca, utilizados para a iluminação, comercializados após 1994. Vinte anos depois, esta invenção foi recompensada com o prémio Nobel da Física, visto ter sido criado uma nova fonte de luz eficiente em termos de energia e ambiente; [6]

Na Figura 1, é possível verificar a evolução da eficiência luminosa, coincidente com a evolução histórica, apresentando-se as lâmpadas LED como as mais recentes e mais eficientes [6].

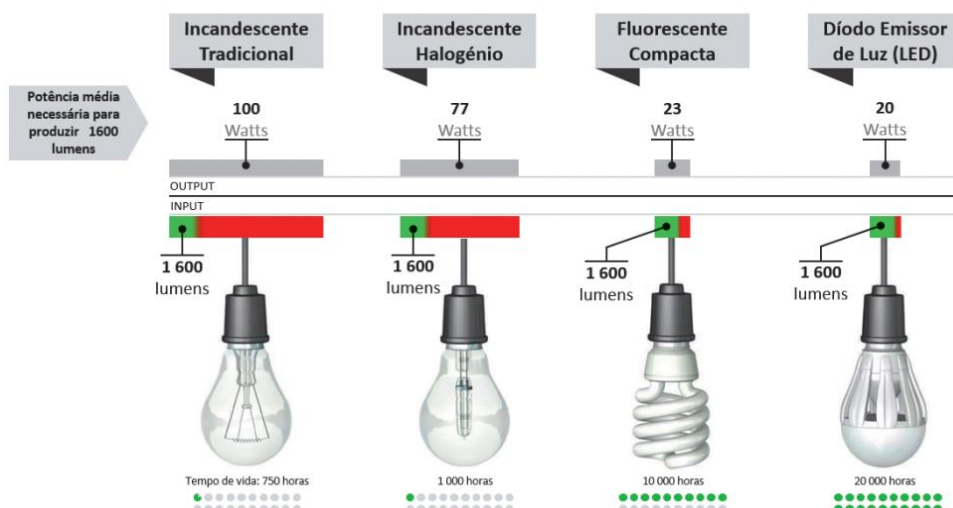


Figura 1 Evolução da Eficiência Luminosa

Como é possível verificar na figura 1, a evolução tecnologia contribui para uma melhoria da qualidade da iluminação, bem como para o aumento do tempo de vida útil dos equipamentos.

### 2.1.2. DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA

Os díodos de emissores de Luz (LED) são dispositivos semicondutores constituídos por camadas de material semicondutor, em que os elétrons se movem através de uma união P-N do semicondutor. Nesta união, o lado P contém ausência de elétrons e do contem excesso de elétrons, que quando polarizados, os elétrons e as lacunas movimentam-se na mesma direção, que combinados resulta na emissão de fótons (propagação de luz) [8].

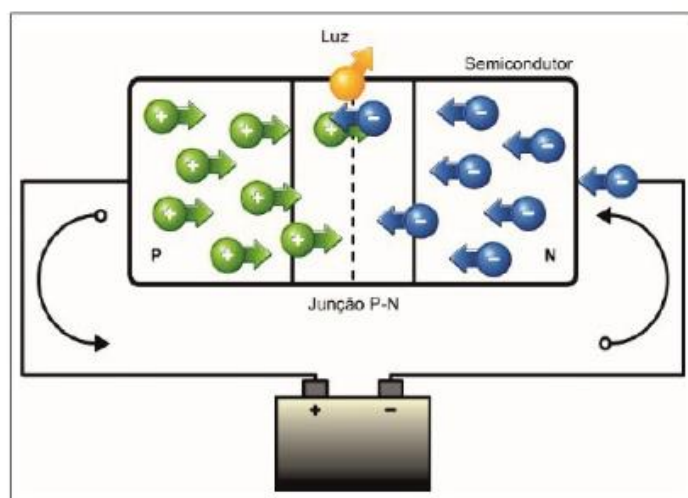


Figura 2 Princípio de Funcionamento de um LED

Esta transformação é diferente das tecnologias de iluminação convencionais que utilizam filamentos metálicos, ultravioleta e vapor de gases. O comprimento de onda da luz que emite e a sua cor vão depender da composição do material semiconductor que o compõem respetivamente. O LED é uma fonte de luz que não emite calor, logo não produz radiação infravermelha, desta forma, quando a corrente atravessa o díodo liberta-se energia em forma de fóton.

A luz emitida não é monocromática, mas a banda colorida é relativamente estreita permitindo uma capacidade de personalizar o fluxo de luz mediante de acordo com as necessidades da sua utilização. Para emissão de radiações infravermelhas, o LED utiliza o arsenieto de gálio, já para emissão de radiações amarelas, utiliza fósforo e para emissão de radiações verdes, utiliza fosfeto de gálio, sendo que estas variações dependem das concentrações de cada componente. Estas variações permitem a alteração de luz branca com temperaturas de cor diferentes ( $2700^{\circ}\text{K}$  –  $6500^{\circ}\text{K}$ ), tais como emissões de luzes coloridas eg. verde, vermelho, azul e até mesmo a dinâmica luz Red, Green and Blue (RGB) [10].

Através da constante de Planck [11], confirma-se que a energia dos fótons individuais se relaciona com o comprimento de onda da respetiva radiação, ou seja, quanto mais fria a temperatura de cor emitida, menos energia é necessária. Quanto mais quente a temperatura de cor emitida, mais energia é utilizada.

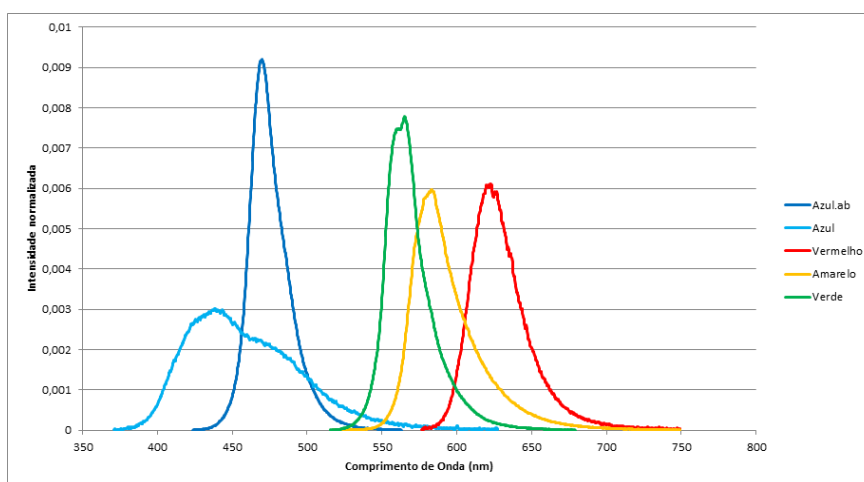


Figura 3 Espectro da Radiação LED

Na figura 3, apresenta-se uma escala de temperaturas e a sua correspondência as referências de base para o LED. Na figura, é possível verificar que a intensidade normalizada varia de acordo com o comprimento de onda.

### 2.1.3. TIPOS DE LED

Da investigação e desenvolvimento promovido pela indústria da iluminação, resultaram numa melhoria das características dos equipamentos, promovendo o aparecimento de novas evoluções da tecnologia LED.

#### 2.1.3.1. DUAL IN PACKAGED

Os LED's *Dual In Packaged* (DIP) foram os primeiros a surgir no mercado. Utilizam dois ou mais materiais semicondutores inorgânicos, dependendo da cor desejada, encapsulados por um material com um alto índice de refração e o seu encapsulamento é normalmente em plástico ou metálico [13]. Na figura 4, apresenta-se um exemplo de uma lâmpada do tipo DIP.



Figura 4 Exemplo de LED DIP

#### 2.1.3.2. SURFACE MOUNT DEVICE

Os LED's Surface Mount Device (SMD) são os mais difundidos no mercado da iluminação. Os díodos emissores de luz são aplicados numa Printed Circuit Board (PCB), sendo possível adequar a sua utilização conforme pretendido. São frequentemente utilizados em iluminação pública, apresentado como principal vantagem a sua robustez e a forma compacta. Na figura 5, apresenta-se um exemplo de uma lâmpada do tipo SMD.



Figura 5 Exemplo de LED SMD

### 2.1.3.3. CHIP ON BOARD

Os LED's Chip On Board (COB) são caracterizados por utilizarem múltiplos díodos num único modulo PCB. Normalmente contempla nove díodos por módulo com uma ligação mais simples, recorrendo unicamente a 2 contactos elétricos. Este tipo de tecnologia é mais eficiente, pois produz no mínimo 80 lumens por watt, porém só deve ser utilizada para iluminação de uma só cor, pois dada a sua simplicidade de ligações, não é muito versátil [13]. Consegue-se identificar este tipo de LED, por exemplo em *flashes* de *smartphones*. Na figura 6, apresenta-se um exemplo de uma lâmpada do tipo COB.



Figura 6 Exemplo de LED COB

#### 2.1.3.4. ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODE

Os *Organic Light-Emitting Diode* (OLED) não é muito diferente dos comuns LED, no entanto contêm 6 camadas de forma a tornar a produção de luz mais eficiente. Apresenta primeiro uma camada de vidro seguida da camada do cátodo que recebe os elétrons emitidos pela camada de emissão de eletroluminescência composta por células orgânicas ou polímeros. A quarta camada é a condutora que recebe da camada do ânodo e, por último, a camada de substrato. A utilização de OLED é mais apropriada para displays, é habitual encontrar esta tecnologia nos ecrãs de televisões mais recentes, de gama superior. Na figura 7 apresenta-se um exemplo de uma lâmpada do tipo OLED.

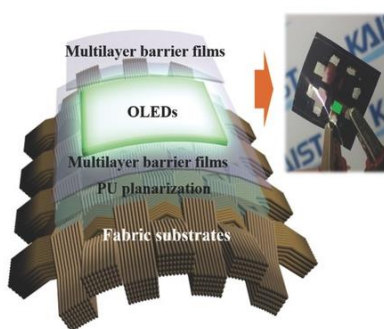


Figura 7 Composição de um OLED

#### 2.1.4. VANTAGENS E COMPARAÇÃO DA ILUMINAÇÃO LED COM OUTROS TIPOS DE ILUMINAÇÃO

Com a evolução desta tecnologia de iluminação e com a diminuição dos seus custos de produção e comercialização, tornou-se natural a substituição de outros tipos de lâmpadas do tipo incandescente, halogénio e vapor de sódio, por lâmpadas LED.

Atualmente, a tecnologia LED poderá proporcionar uma durabilidade até 60.000 horas de luz, embora depois de 50.000 horas o seu desempenho possa cair para 70 %. A utilização de alumínio e o dimensionamento adequado dos elementos que dissipam o calor, permitem garantir a grande durabilidade das lâmpadas de LED [16].

A eficiência luminosa da iluminação de tecnologia LED, que resultou de uma aposta dos utilizadores e da indústria, permite atualmente reduções de consumo de energia que pode ir até aos 70 %, quando comparados com lâmpadas incandescentes ou de halogéneo.

A iluminação de tecnologia LED apresenta diversas vantagens económicas, luminotécnicas e ambientais, como por exemplo [16]:

- Qualidade da iluminação;
- Baixo consumo energético;
- Elevado tempo médio de vida útil;
- Não emissão de radiação ultravioleta e infravermelho;
- Emissão de calor reduzida;
- Resistentes ao impacto e vibração;
- Elevada saturação de cor.
- Elevada fiabilidade.

Na tabela 2, é apresentado um comparativo da iluminação LED face a outros tipos de lâmpadas, onde é possível verificar as vantagens deste tipo de iluminação face as tradicionais.

Tabela 2 Comparativo dos diferentes tipos de lâmpadas [17]

| Tipo de Lâmpada                       | Rendimento Luminoso (lm/W) | Eficiência Energética | Vida Útil (horas) | Características                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Incandescente                         | 8 a 20                     | Muito Baixa           | ~ 1.000           | Baixa eficiência;<br>Tempo médio de vida muito curto;<br>Apenas 5% da energia é convertida em luz sendo os restantes 95% perdas;<br>Excelente reprodução de cores;<br>Baixo custo.       |
| Halogéneo                             | 20 a 25                    | Baixa                 | 2.000 a 4.000     | Tempo médio de vida muito curto;<br>Baixa eficiência;<br>Redução de 40% no consumo de energia em relação às incandescentes.                                                              |
| Vapor de Sódio de Alta Pressão (HPS)  | 70 a 150                   | Média                 | 20.000 a 28.000   | Tempo médio de vida elevado;<br>Necessita equipamentos auxiliares.                                                                                                                       |
| Vapor de Sódio de Baixa Pressão (LPS) | 100 a 200                  | Alta                  | ~ 16.000          | Tempo médio de vida elevado, embora inferior às HPS;<br>Rendimento luminoso bastante elevado;<br>Necessita equipamentos auxiliares.                                                      |
| Vapor de Mercúrio                     | 35 a 65                    | Baixa                 | ~ 20.000          | Baixa eficiência;<br>Contém mercúrio que é prejudicial à saúde;<br>Apenas 15% da energia é convertida em luz sendo os restantes 85% perdas;<br>Necessita equipamentos auxiliares         |
| Iodetos Metálicos                     | 65 a 120                   | Média                 | ~10.000           | Contém mercúrio que é prejudicial à saúde;<br>Possuem uma eficiência superior às de vapor de mercúrio;<br>Necessita equipamentos auxiliares;<br>Tempo médio de vida relativamente curto. |
| LED                                   | 120 a 200                  | Muito Alta            | 50.000 a 100.000  | Tempo médio de vida bastante elevado;<br>Baixo consumo;<br>Elevada eficiência energética;<br>Custo de aquisição alto;                                                                    |

### 2.1.5. LÂMPADAS UTILIZADAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Iluminação Pública (IP) tem acompanhado a permanente evolução tecnológica, que ocorre no sector da iluminação em geral no que concerne a sua eficiência, qualidade de luz e ao seu rendimento económico. Relativamente às fontes de luz utilizadas na IP rodoviária, por regra são de dois tipos: as lâmpadas de descarga e as de tecnologia LED.

As lâmpadas de descarga são reconhecidas por ter excelente eficiência luminosa e elevada durabilidade, sendo que as se encontram em maior número nas instalações de Iluminação Pública.

O fluxo luminoso é gerado através da passagem de corrente elétrica por um gás ou mistura de gases, sendo excitados pela radiação das descargas. Os gases normalmente utilizados são sódio, mercúrio ou xénon [18]. É habitual identificar esta tecnologia de lâmpadas em quatro modelos distintos, sendo estes: vapor de sódio (alta e baixa pressão), vapor de mercúrio, iodetos metálicos e lâmpadas mistas. Por regra, as lâmpadas de descarga mais comuns na iluminação de autoestradas, são as de vapor de sódio. Na figura 8, é apresentado um exemplo de uma lâmpada de vapor de sódio.

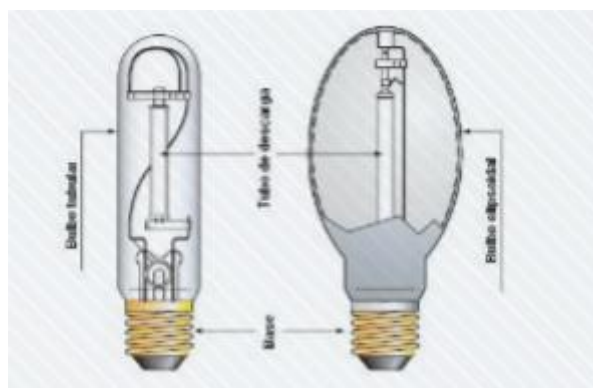


Figura 8 Lâmpada de Vapor de sódio

A iluminação LED tem sido uma aposta, tendo vindo a ganhar mercado face as lâmpadas de descarga pelo facto de apresentarem vantagens ao nível da eficiência energética e dos custos de manutenção. De forma progressiva, os preços de aquisição deste tipo de lâmpadas diminuíram, permitindo que um maior número de instalações tenha sido alterado. Existe diversas vantagens na adoção deste tipo de tecnologia, nomeadamente o

tempo de vida útil, a diminuição da poluição luminosa e a eficácia luminosa [20]. Na figura 9, é apresentado um exemplo de uma luminária LED.



Figura 9 Luminária LED

As lâmpadas mais utilizadas na iluminação rodoviária ainda são as de descarga de vapor de sódio pelo que deve haver um forte investimento para se proceder a migração para lâmpadas de tecnologia LED. Contudo, devemos proceder a realização de estudos luminotécnicos, de forma a manter o cumprimento das normas em vigor. Este assunto será desenvolvido no ponto 2.4 da presente dissertação.

## **2.2. SISTEMAS SOLAR FOTOVOLTAICOS**

### **2.2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO**

A produção de uma diferença de potencial a partir da exposição de materiais à luz, foi pela primeira vez observado pelo físico Alexander Edmond Becquerel no ano de 1839, tendo sido designado de Efeito Fotovoltaico. Verificou que placas metálicas de platina mergulhadas num eletrólito e expostas a radiação, produziam uma pequena diferença de potencial [21].

Em 4 de Fevereiro de 1873, o inglês Wiloughby Smith descobriu por acidente, o efeito fotovoltaico no Selénio. Na sequência desta descoberta, W.G. Adams Richard Day desenvolveram em 1877, o primeiro dispositivo sólido de fotoprodução de eletricidade, um filme de selénio depositado num substrato de ferro em que um filme de ouro muito fino

servia de contacto frontal. Este dispositivo apresentava uma eficiência de conversão de aproximadamente 0,5 % [22].

No ano de 1883, foi construída a primeira célula fotovoltaica utilizando selénio pelo americano Charles Edgar Fritts. Charles Fritts duplicou essa eficiência para cerca de 1% uns anos depois construindo as primeiras verdadeira células solares, construindo dispositivos assentes igualmente em selénio, primeiro com um filme muito fino de ouro e depois um sanduiche de selénio entre duas camadas muito finas de ouro e outro metal na primeira célula de área grande. Apesar da sua baixa eficiência, no final do século XIX Werner Siemens comercializou células de selénio como fotómetros para máquinas fotográficas.

Após esta evolução inicial das células fotovoltaicas, houve uma estagnação tecnológica posterior. Foi necessário aguardar pelas grandes evoluções científicas da primeira metade do século XX, como por exemplo, a explicação do efeito fotoelétrico em 1905 por Einstein, os estudos de mecânica quântica (sobretudo a teoria de bandas), e a física dos semicondutores.

Em 1954, o químico Calvin Fuller e os físicos Gerald Person e Daryl Chapin, colegas dos laboratórios Bell nos Estados Unidos da América, desenvolveram um processo de dopagem do silício, que era extramente sensível a radiação. Após vários ensaios, alcançaram com sucesso a primeira célula fotovoltaica de silício, que apresentavam já uma eficiência muito acima das anteriores, de cerca de 6% [22].

Durante os anos 50 e 60, foram feitos alguns avanços pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pela COMSAT (American Communications Satellite Corporation), que iniciaram a incorporação desta tecnologia nos seus projetos, que permitiu o aumento de eficiência das células fotovoltaicas.

Outro dos aspetos que impulsionou esta tecnologia, foi a crise dos petrolífera nos anos 70, em que a subida dos preços da produção quadruplicou, promovendo a necessidade de se investir no desenvolvimento de fontes alternativas de energia como a eólica, a biomassa e a solar. Com este investimento, foi possível introduzir novos materiais como é o caso do silício policristalino (substancialmente mais barato que a produção de células de cristal único - monocristalino), assim como a foi possível encontrar novos métodos de produção como a produção de silício em fita (em detrimento dos lingotes que tornava a produção muito mais cara). Estes programas de investimento, promoveram a redução do

preço de produção das células fotovoltaicas, que caíram para cerca de 5 vezes do seu valor, na década de 70 [22].

A investigação e desenvolvimento desta tecnologia continuar pelas décadas de 80 e 90, tendo sido criados programas governamentais que permitiram o crescimento deste mercado. Em 1998 foi desenvolvida a primeira célula de silício monocristalino com 24,7 % de eficiência máxima teórica, tendo sido já possível atingir eficiência superiores a 40 % em ambiente laboratorial [23].

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos têm diversas aplicações para geração de energia como alimentação elétrica de sistemas de telecomunicações, sistemas de abastecimento de água e rega, sinalização rodoviária e telefones de emergência de autoestradas, apenas para dar alguns exemplos.



Figura 10 Estação Meteorológica Solar

## **2.2.2. DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA**

### **2.2.2.1. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

As células fotovoltaicas são o elemento principal de um sistema fotovoltaico, uma vez que é nelas que se dá o efeito fotovoltaico através do qual é possível converter a energia da radiação solar em energia elétrica.

Segundo Edmond Becquerel, o efeito fotovoltaico trata-se da criação de uma diferença de potencial nos extremos de um material semicondutor, através da incidência de luz (fotões) na camada n de um material semicondutor fornecendo assim energia aos elétrons. O campo elétrico devido à existência da junção p-n, promove a circulação dos elétrons pelo circuito de carga (exterior à célula fotovoltaica). A tensão da célula deve-se ao efeito de difusão que ocorre no material [24], conforme é ilustrado na figura 11.

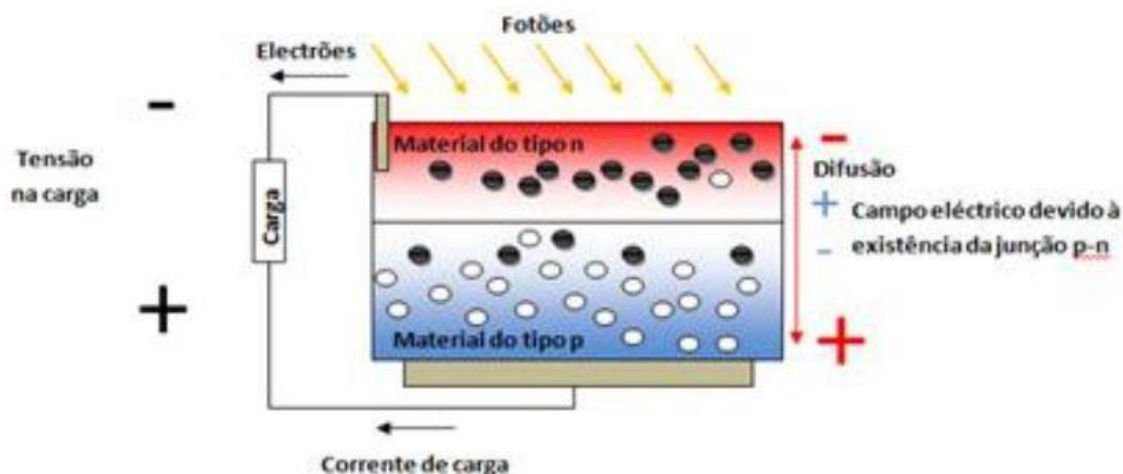


Figura 11 Efeito Fotovoltaico [24]

Como pode ser compreendido a partir da descrição anterior, durante o período de ausência de fotões, a célula solar não está ativa e funciona como um díodo, isto é, uma junção p-n que não produz corrente ou tensão.

Na figura 12, apresenta-se um circuito exemplo que pode ser usado para uma célula individual, ou um módulo com várias células, ou até um *array* (fileira) composto por vários módulos.

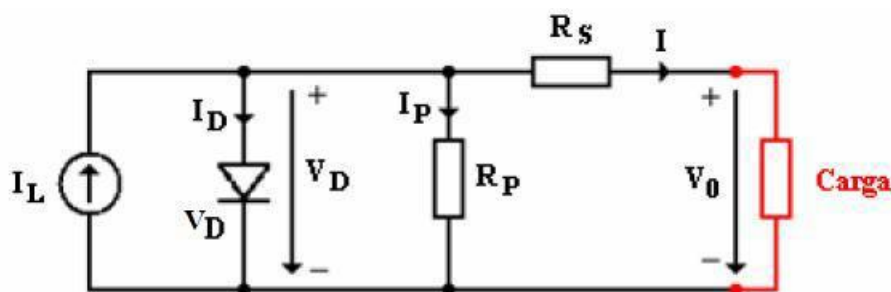


Figura 12 Circuito elétrico de uma célula fotovoltaica [25]

Conforme é possível verificar, o módulo contém uma corrente de fonte ( $I_l$ ), um díodo e um conjunto de resistências em série  $R_p$  e  $R_s$ , estas representando a resistência interna de cada célula fotovoltaica. O díodo encontra-se igualmente no interior da célula. A corrente efetiva da célula é a diferença entre a foto-corrente ( $I_l$ ) e a corrente normal do díodo, que é dada pela expressão da Tabela 3.

Tabela 3 Equação de cálculo da corrente efetiva na célula fotovoltaica

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I = I_l - I_D - I_P = I_l - I_0 \cdot \left( e^{\frac{(V_D - R_s \cdot I)}{m V_T}} - 1 \right) - \frac{V_0 + R_s \cdot I}{R_p}$ $V_0 = V_D - R_s I e$ | $V_0$ – tensão aos terminais da célula<br>$V_D$ – tensão aos terminais do díodo,<br>$R_s$ – resistência em série com o díodo,<br>$R_p$ – resistência em paralelo com o díodo<br>$I$ – corrente fornecida à rede,<br>$I_L$ – corrente gerada através do efeito fotovoltaico<br>$I_D$ – corrente do díodo<br>$I_0$ – corrente inversa do díodo<br>$m$ – fator de idealidade do díodo<br>$V_T$ – potencial térmico. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 2.2.2.1. TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células solares fotovoltaicas estão divididas em três gerações. A primeira geração é constituída por células feitas em silício, tanto do tipo monocristalino e como do tipo policristalino, e apresentam um rendimento que ronda os 15 a 20%. Este tipo de células solares domina o mercado e são estas que vimos nos telhados das casas, usualmente. O alto rendimento, comparado com os outros tipos de células, e a alta estabilidade são os benefícios principais desta geração. Contudo, estas células solares requerem muita energia na sua produção e contêm materiais tóxicos.

A segunda geração é composta por células solares constituídas por silício amorfo, disseleneto de cobre e índio (CIS) ou telureto de cádmio (CdTe) e apresentam um rendimento entre 10 a 15 %. Se compararmos esta geração com a primeira, estas possuem um menor consumo de material, tornando possível reduzir os custos de produção e, ainda, podem ser produzidas de modo que tenham alguma flexibilidade. No entanto, como a produção de células solares de segunda geração incluem processos de vácuo e tratamentos de alta temperatura, faz com que haja um grande consumo de energia associado à sua

produção e os elementos da sua constituição apresentam uma certa toxicidade. Além disso, as células solares de segunda geração constituídas por elementos relativamente escassos apresentam preços mais altos e todas elas são muito instáveis.

As células de terceira geração são produzidas a partir de compostos orgânicos, polímeros ou moléculas que tem na sua estrutura hidrogénio e carbono. Uma vez que as células solares de polímeros são um subtipo com baixos custos de produção, são aquelas que estão a ser alvo de maiores estudos para vários tipos de aplicações. Estas são muito finas e flexíveis, podendo ser produzidas em grande escala de forma rápida e simples, mas apresentam ainda baixa estabilidade e rendimento em comparação com as duas primeiras gerações [26]. Na figura 13, são apresentados alguns exemplos de células das três gerações.

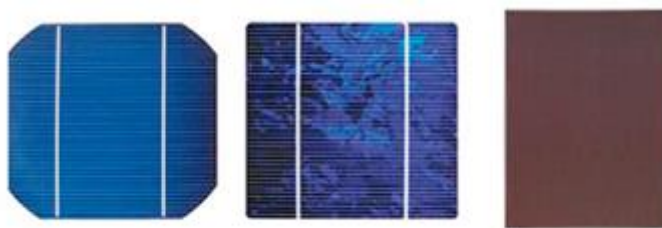


Figura 13 Monocrystalinas, Policristalinas e ThinFilm [27]

### **2.2.3. EQUIPAMENTOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Os componentes de um sistema fotovoltaico dependem do tipo de aplicação a que se destinam, podendo ser uma aplicação isolada ou com ligação à rede elétrica. De seguida é feita uma breve descrição dos diversos componentes.

#### **2.2.3.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

A tecnologia de transformação de energia solar em energia elétrica tem como base as células fotovoltaicas, no entanto, estas, de forma isolada, produzem pouca energia elétrica e são extremamente frágeis e vulneráveis a agentes externos. Quando combinadas entre si originam o módulo FV, conseguindo inclusive desse modo uma estrutura

compacta, manuseável e robusta, capaz de proteger as células fotovoltaicas das condições atmosféricas e outras interferências.

Para o funcionamento dos módulos FV, considera-se os parâmetros da temperatura e da irradiação solar, por terem extrema influência no desempenho FV, tal como demonstradas na Figura 14. A Figura demonstra inclusive, que a tensão de circuito aumenta logarithmicamente em função do aumento da irradiação solar, enquanto a corrente de curto-circuito aumenta linearmente. O principal efeito do aumento da temperatura da célula é a voltagem do circuito, que diminui linearmente com a temperatura da célula, desta forma, a eficiência da célula diminui.

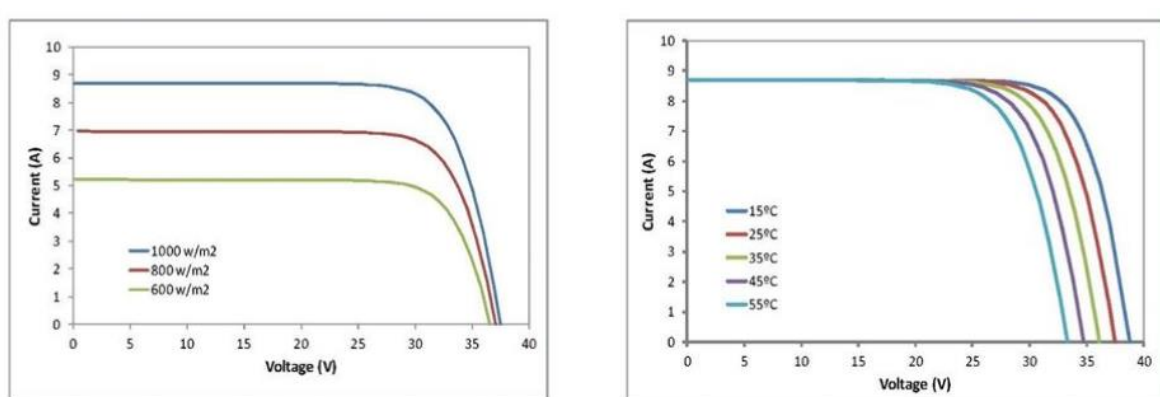


Figura 14 Relação da Irradiação Solar (esquerda) e da temperatura (direita) nas características FV [28]

A instalação de células solares FV pode ser realizada associando células em série, paralelo ou combinação mista para permitir chegar a potências ou diferenças de potenciais desejáveis. Quando duas células idênticas são ligadas em paralelo, a tensão permanece a mesma, mas a corrente passa para o dobro, mas quando as células são ligadas em série, a corrente permanece a mesma e a tensão passa para o dobro. A Figura 17 é apresentada uma instalação de módulos FV com uma combinação mista, onde existem células ligadas em série  $N(SM)$  e células em paralelo  $N(PM)$ . [29]

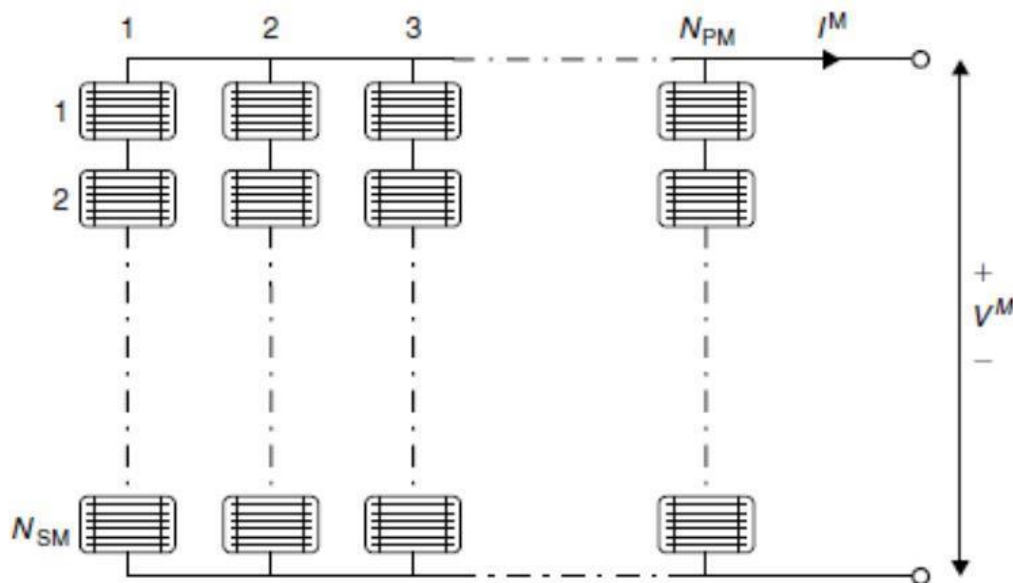


Figura 15 Paralelo de módulos  $N_{PM}$  células com  $N_{SM}$  células em série [29]

#### 2.2.3.2. INVERSOR

O facto de a maioria das cargas elétricas necessitar de corrente alternada para funcionarem, bem como a ligação dos sistemas fotovoltaicos à rede elétrica, obriga à presença de um inversor. Estes equipamentos têm como função a conversão de uma tensão contínua DC para uma tensão alternada AC com uma determinada amplitude e frequência. O output do inversor pode ser monofásico ou trifásico.

Dividem-se em duas categorias distintas: inversores independentes (*off-the-grid*), para sistemas autónomos e de sincronização exterior (*on-the-grid*) para sistemas ligados à rede. Os inversores com sincronização exterior podem ser bidirecionais, ou seja, permitem a passagem de corrente elétrica em qualquer sentido, sendo esta uma característica chave caso se trate de um sistema que produza energia para o consumidor e o excedente para a rede. Estes inversores são, normalmente, dotados de controlos e proteções adequados para assegurar a segurança do sistema.

Consoante a tipologia do sistema FV podem existir três soluções distintas para ligação do equipamento inversor, sendo eles:

- Inversor Central: este inversor tende a proporcionar uma alta eficiência e um elevado coeficiente de rendimento, no entanto, o controlo do Maximum

Power Point Tracker (MPPT) é limitado, o que implica a utilização de módulos de características idênticas e sujeitos a condições semelhantes de sombreamento. Há vantagens económicas quando se utiliza um único inversor, em termos de redução do investimento inicial e dos custos de manutenção, no entanto a falha do inversor compromete toda a produção, daí esta tipologia estar associada a baixas potências

- Inversor de Fileira/*String*: este inversor apresenta a conversão de energia do sistema assegurada por vários inversores instalados ao longo das fileiras dos módulos. Este tipo de configuração é habitualmente utilizado nos sistemas fotovoltaicos de grandes dimensões, com geração monofásica ou trifásica.
- Micro Inversor: este inversor é incorporado em cada módulo fotovoltaico, este é normalmente utilizado para sistemas de baixa potência, geralmente associado a 1 ou 2 painéis. Esta tipologia utiliza uma cablagem de secção mais baixa do lado AC, dado que o inversor é ligado à rede a uma tensão de 230 V.

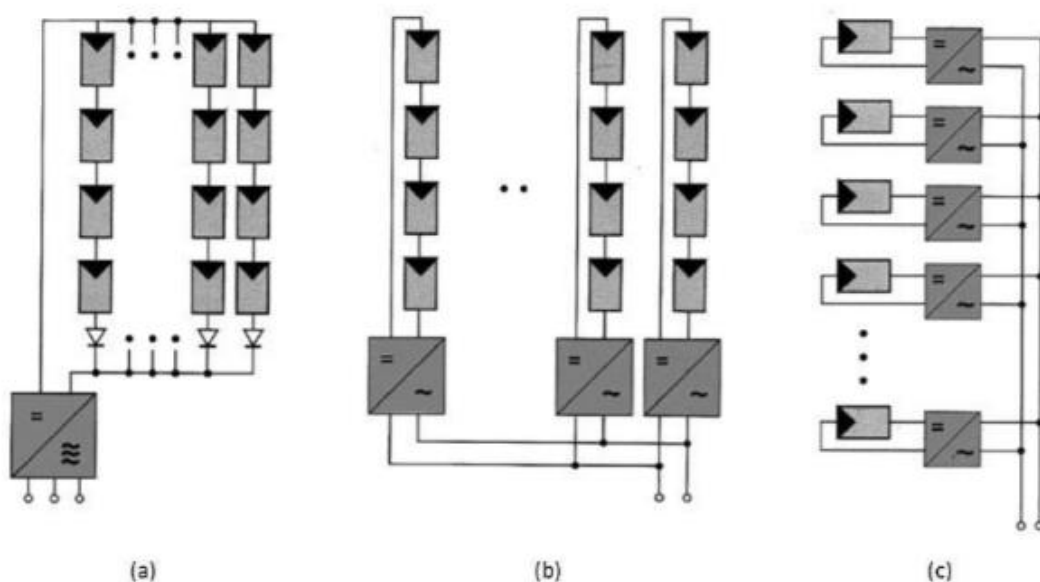


Figura 16

Representação das soluções de ligação dos inversores num sistema FV : Inversor central. (b) Inversor de fileira. (c) Inversor por módulo [30]

## **2.2.4. TIPOS DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS**

### **2.2.4.1. AUTO-CONSUMO**

Este tipo de instalação fotovoltaica implica que toda a energia produzida pelo sistema possa ser consumida na instalação de consumo. No entanto, eventuais excedentes de produção podem ser injetados na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) ou então armazenados em baterias.

A produção elétrica pode ser considerada para um sistema autónomo caso a sua própria produção permita satisfazer todos os seus consumos, sendo que em caso de falta de produção, a RESP pode ser a fornecedora de energia. Logicamente, e tratando-se de um sistema fotovoltaico, pretende-se que o seu dimensionamento seja feito para cobrir as necessidades de consumo expectáveis e de acordo com o perfil de consumo do local durante o dia, uma vez que no período noturno não existe irradiação solar. Deste modo, o autoconsumo induz comportamentos de eficiência energética, contribui para a otimização dos recursos e promove a criação de benefícios técnicos para a RESP, nomeadamente através da redução de perdas na mesma.

No ponto 2.4, do capítulo Normas e enquadramento legal será para sistemas de autoconsumo de energia, pode verificar-se a configuração típica de um sistema em autoconsumo sem armazenamento do excedente, configuração esta habitualmente utilizada nas instalações FV recentes.

### **2.2.4.2. PEQUENA PRODUÇÃO (UPP)**

As Unidades de Pequena Produção (UPP), anteriormente designadas Unidades de Micro e Mini Produção, é a produção de energia da fonte renovável, baseada em uma só tecnologia de produção, e injeção da totalidade da energia elétrica à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). A energia injetada é posteriormente remunerada por uma tarifa atribuída com base num modelo pré-estabelecido pelo regulador de energia.

O Decreto-Lei n.º 76/2019 de 3 de junho [31], Decreto-Lei 34/2011 de 8 de março [31] e Decreto-Lei 363/2007 de 2 de novembro [33] enquadraram a produção e comercialização de energia elétrica em regime de pequena produção. De acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), entre 2010 a 2020, a taxa de crescimento de produção por Fontes de Energia Renovável [FER] foi de 13% [34].

## **2.3. SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA**

### **2.3.1. ENQUADRAMENTO**

O armazenamento de energia possibilita uma utilização mais racional da energia elétrica, sendo que as tecnologias associadas permitem ajustar tanto o fornecimento de energia elétrica para a rede como a sua procura. A principal vantagem associada aos sistemas de armazenamento é a possibilidade de armazenar energia nas horas de vazio, para consumi-la nas horas de ponta.

Existem vários tipos de sistemas de armazenamento de energia aplicados a diversos tipos de finalidades. Estes podem ser classificados em sistemas de armazenamento de energia mecânica, elétrica, eletroquímica ou térmica [36]. A seleção do sistema de armazenamento está diretamente relacionada com a aplicabilidade e características da instalação.

A importância destes sistemas de armazenamento deve-se à necessidade de obter soluções mais eficientes, ótimas e seguras, sendo que as suas principais vantagens passam pela gestão de energia, redução do consumo nos períodos mais caros e integração com outros sistemas (por exemplo fontes renováveis). A figura 17 é apresentando um resumo dos vários tipos de sistemas de armazenamento.

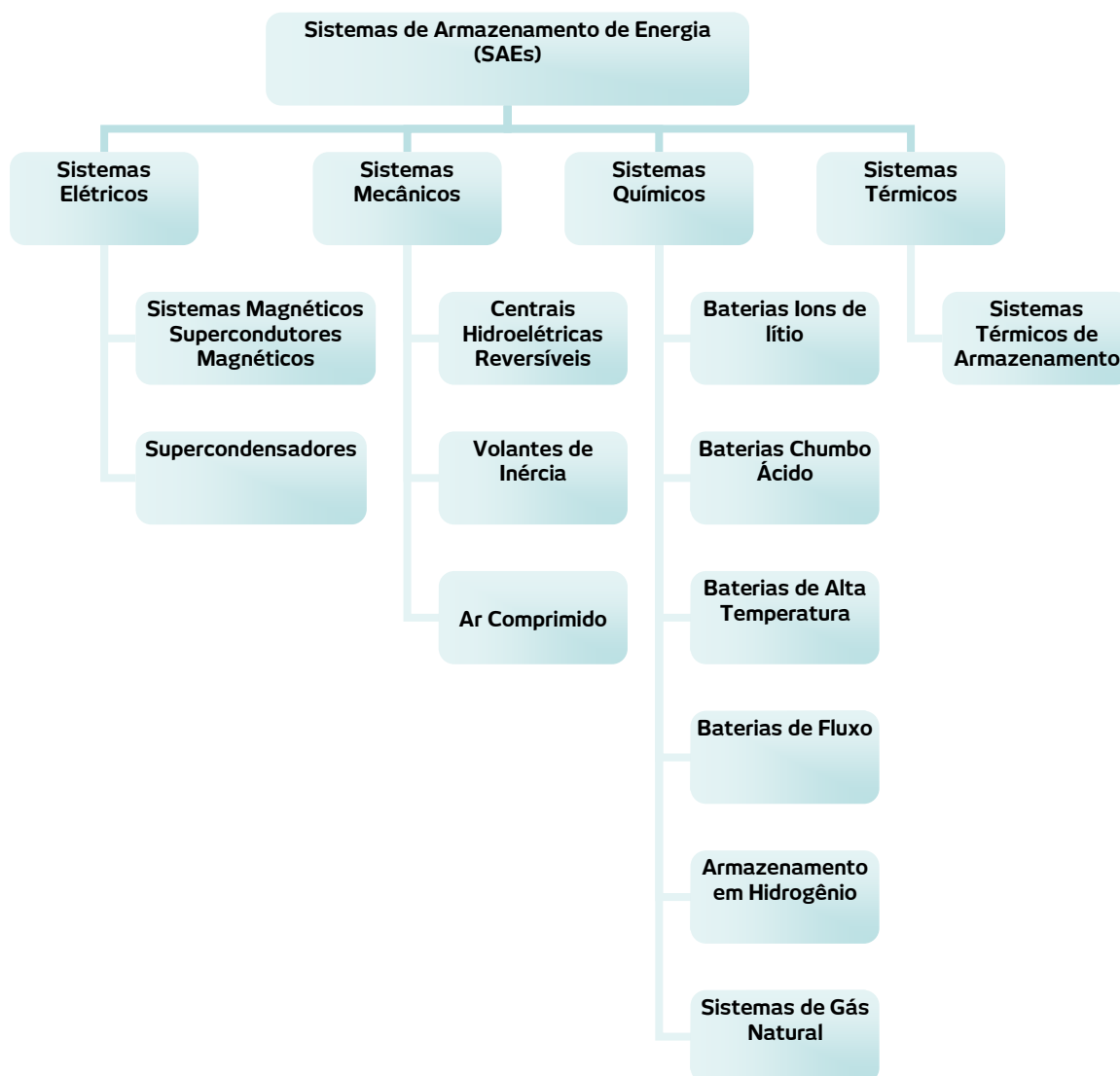


Figura 17 Tipos de Sistemas de Armazenamento de Energia [35]

Atendendo aos objetivos do presente projeto, iremos centrar o nosso estudo no armazenamento em baterias.

### 2.3.2. SISTEMAS DE ACUMULAÇÃO EM BATERIAS

Os sistemas químicos transformam energia química em energia elétrica, sendo realizado através de processos de oxidação e redução, sendo estes dispositivos vulgarmente chamados de baterias ou acumuladores.

Existem dois tipos de baterias, as primárias e as secundárias. A principal diferença entre as baterias primárias e secundárias, é que as primeiras não são recarregáveis. A

transferência de electrões é produzida a partir de uma reacção química dos materiais que se oxidam para os materiais reduzidos através de um circuito eléctrico. No caso da bateria recarregável, realiza-se o processo inverso.

Uma bateria consiste no conjunto de uma ou mais células, ligados em série ou em paralelo, ou ambos, de acordo com as necessidades de tensão e armazenamento desejado. Uma célula é composta por ânodo, cátodo e eletrólito, sendo que o ânodo negativo abastece os electrões para o circuito externo e oxida-se durante a reacção eletroquímica, já o cátodo (eléctrodo oxidante), recebe os electrões do circuito externo e reduz-se durante o processo. Dentro da célula, o condutor iónico também chamado de eletrólito transporta a carga iónica entre o ânodo e o cátodo. Geralmente, o eletrólito é um líquido, tal como água ou outros solventes com sais dissolvidos, ácidos ou alcalinos, que permite a condutividade iónica. Existem baterias que utilizam eletrólitos sólidos, na qual são condutores de temperatura como as baterias de sódio que será abordado mais adiante [36]. A figura 17 é apresentando um esquema de célula de uma bateria.

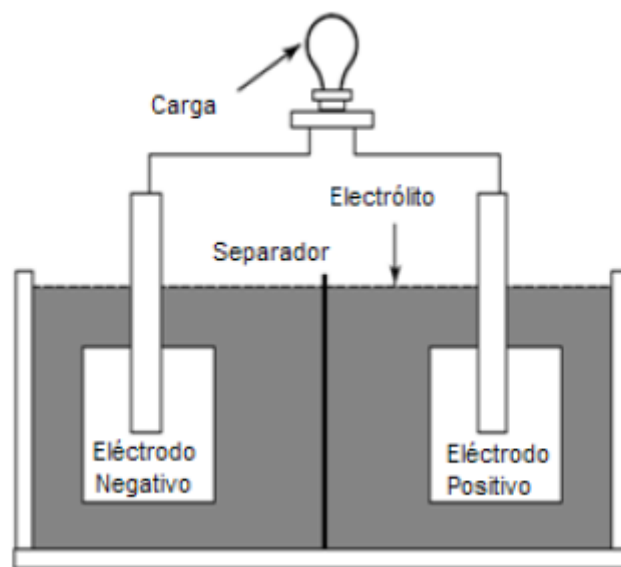


Figura 18 Esquema de uma célula de Bateria [37]

#### 2.3.2.1. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS

Uma bateria possui diversos parâmetros e características que são habitualmente obtidos em condições específicas e disponibilizadas pelo fabricante, e variam quando funcionam sobre diferentes condições. Os parâmetros característicos das baterias são muito

importantes para o desenvolvimento dos modelos e conservação do estado das mesmas. De seguida são apresentadas as características mais relevantes [38]:

- Capacidade Nominal da Bateria ( $C_N$ ): representa a capacidade máxima que a bateria é capaz de armazenar. É um valor determinado sobre determinadas condições ambientais e de recarga pelo que não corresponde, obrigatoriamente, à energia máxima que se consegue tirar da bateria. É um valor habitualmente fornecido pelo fabricante;
- Estado de carga (*state of charge* – SOC (%)): é a relação entre a tensão máxima esperada aos terminais da bateria e a tensão atual. O estado de carga de uma bateria nunca deve ir abaixo dos 50% pois isso irá danificá-la, podendo mesmo inutilizá-la. A temperatura a que a bateria é sujeita é outra condicionante para o SOC, pois a altas temperaturas o SOC aumenta e a temperaturas baixas o SOC diminui.
- Tensão descarga: corresponde ao valor mínimo de tensão, em carga, que a bateria pode atingir, sob pena de danos.
- Densidade Energética: tem a mesma função que a energia específica, mas quantifica a energia por unidade de volume ( $Wh/dm^3$ ).
- Profundidade de Descarga (*depth of discharge* – DOD (%)) - a profundidade de descarga pretende representar a percentagem de capacidade retirada à bateria face à capacidade nominal, normalmente em %.
- Ciclo de vida – É a contagem do número total de vezes que a bateria pode ser carregada (e descarregada) durante a sua vida útil. Quando a bateria não consegue ser carregada acima de 80% do seu estado de carga nominal, então considera-se que a sua vida útil chegou ao fim.

O funcionamento da bateria é influenciado por várias condicionantes, que podem levar à sua degradação ou, levar à sua incapacidade de utilização. A temperatura, a amplitude das correntes de carga e descarga e o tempo a que a bateria está sujeita a essas correntes, são as principais condicionantes que afetam de forma negativa uma bateria.

#### 2.3.2.2. TIPOS DE BATERIAS

Dentro desta tecnologia, existem vários tipos de baterias constituídas por diferentes matérias, sendo que normalmente usadas as seguintes:

- Chumbo-ácido (Pb-Ácido): estes tipos de baterias correspondem ao tipo de armazenamento mais utilizado. Esta tecnologia apresenta um grau de maturidade que permite um baixo custo, Outro fator relevante desta tecnologia é o elevado rendimento que apresenta (cerca de 85 %). Tem como inconveniente o peso e volume elevado (baixa densidade de energia (35 Wh/kg)).
- Níquel-cádmio (NiCd): foram utilizadas frequentemente em diversos equipamentos como telemóveis e computadores. Esta bateria possui baixa densidade de energia (50 Wh/kg), maior do que a de chumbo-ácido e também um tempo de vida útil superior:
- Níquel Hidreto Metálico (NiMH): pode ser considerada uma extensão da bateria de Níquel Cádmio, contudo com diferenças atendendo que a construção do ânodo é feita em hidreto metálico, não utilizando cádmio. A maior vantagem desta bateria é o “efeito memória” e tem como principal desvantagem o custo elevado e o risco elevado de ser alvo de sobrecargas devido a pouca capacidade para fornecer picos de corrente.
- Iões de lítio (Li-ion): estas baterias apresentam como principal vantagem a disponibilidade de picos de densidade de energia muito elevados (100 Wh/kg) e uma eficiência mais elevada das baterias de chumbo e níquel, contudo um tempo de vida útil menor são utilizadas frequentemente em telemóveis e computadores, pelo seu volume e peso.

Na tabela 4, é apresentado um comparativo entre os tipos de bateria mais comuns no mercado e abordados anteriormente.

Tabela 4 Comparativo dos diferentes tipos de baterias [39]

| Tipos de Bateria             | Chumbo-Ácido  | Níquel-Cadmio | Níquel-hidreto metálico | Íons de lítio |
|------------------------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|
| Custo Inicial                | Baixo         | Médio         | Médio                   | Baixo         |
| Custo a longo prazo          | Alto          | Médio         | Médio                   | Baixo         |
| Segurança                    | Boa           | Boa           | Boa                     | Boa           |
| Impacto Ambiental            | Alto          | Alto          | Médio/alto              | Médio/baixo   |
| Ciclos                       | 200           | 250           | 400-500                 | 400-600       |
| Densidade de Energia (Wh/kg) | 35            | 41            | 80                      | 120           |
| Auto descarga (% por mês)    | <5            | <10           | <20                     | <5            |
| Efeito Memória               | Não           | Sim           | Pouco                   | Não           |
| Temperatura de operação (°C) | -15°C a +50°C | -20°C a +50°C | -20°C a +60°C           | -20°C a +60°C |
| Peso                         | Pesada        | Leve          | Leve                    | Muito leve    |
| Tempo de carga               | Longo         | Médio         | Médio                   | Curto         |

### 2.3.2.1. SISTEMA DE GESTÃO DE BATERIA

O sistema de gestão da bateria ou BMS (*battery management system* - BMS) é um sistema eletrônico que gere uma bateria recarregável e o seu principal objetivo é garantir a utilização ótima da energia existente na bateria e a redução da degradação que possam estar associados à bateria. Este sistema existe para monitorizar, controlar e equilibrar o sistema de energia e as principais funcionalidades associadas ao seu funcionamento são

- Controlo na carga e descarga da bateria;
- Adaptação da tensão da bateria através de um conversor DC/DC.
- Equalização das várias células da bateria;
- Estimativa do estado de carga (SoC);

O sistema de gestão da bateria permite manter a qualidade da bateria durante mais tempo, evitando o desgaste ou utilização indevida da bateria. As principais funções do BMS são: gestão de baterias, gestão da potência e gestão de energia. Estas funções são responsáveis por garantir respetivamente, a utilização ótima da bateria, a potência adequada às necessidades do sistema elétrico e a eficiência na conversão de energia.

## **2.4. NORMAS E ENQUADRAMENTO LEGAL**

Neste subcapítulo, aborda-se as normas reguladoras a ter em conta quando se projeta mudanças em instalações ou infraestruturas.

### **2.4.1. NORMA REGULADORA PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Para a realização de um projeto de iluminação pública e mesmo para a reformulação das respetivas luminárias, é impreterível o cumprimento dos requisitos que permitirão obter-se os resultados esperados em termos de iluminação para um determinado local e igualmente necessário o cumprimento da legislação aplicável.

Para o efeito, existe a Norma Europeia para a Iluminação Pública EN 13201, revista em 2015, cujas organizações nacionais de normalização dos seguintes países são obrigadas a aplicar: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

A norma EN 13201, aplicável à iluminação pública, encontra-se dividida em quatro partes, que visam o seguinte:

- EN 13201-1: *Road lighting – Part 1: Selection of lighting classes* (Escolha das classes de iluminação), revista em 2015;
- EN 13201-2: *Road lighting – Part 2: Performance requirements* (Parâmetros fotométricos recomendados), revista em 2015;
- EN 13201-3: *Road lighting - Part 3: Calculation of performance* (Cálculo dos parâmetros fotométricos), revisto em 2016;
- EN 13201-4: *Road Lighting Part 4: Methods of Measuring Lighting Performance* (Métodos de medição das performances fotométricas), revisto em 2016.

Em Portugal, foi lançado pelo Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP), elaborado pelo Associação das Agências de Energia e Ambiente (RNAE), em parceria com o Centro Português de Iluminação (CPI), a Ordem dos Engenheiros (OE) e a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e

Associação Nacional de Municípios Portugueses (ANMP). O documento teve a sua primeira edição em 2012, tendo sido revisto em 2018.

O Documento de Referência para a Iluminação Pública teve como referência a Norma Europeia 13201 e apesar de não estar incluído no âmbito da legislação aplicável à iluminação pública, constitui uma importante fonte de consulta aquando do estudo das medidas que podem ser tomadas em consideração para o estudo de um projeto de iluminação pública, nomeadamente, os requisitos de eficiência energética e os parâmetros relevantes a ter em conta, permitindo a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>. [40]

#### **2.4.2. ENQUADRAMENTO LEGAL PARA SISTEMA DE AUTOCONSUMO**

O autoconsumo consiste na utilização de um sistema para produção de energia elétrica para consumo próprio, com ou sem recurso a sistemas de acumulação de energia e com ou sem injeção na rede. O sistema permite que os consumidores produzam a sua própria energia em vez de a comprar à rede na sua totalidade.

O regime jurídico das UPAC foi revisto no Decreto-Lei nº162/2019 de 25 de outubro, estabelecendo o quadro legal para a implementação de sistemas de autoconsumo coletivo e as comunidades de energia renovável (CER). O autoconsumo individual já tinha sofrido alterações face ao anterior registo, tendo ficado revisto no Decreto-Lei nº nº153/2014 de 20 de outubro. O novo regime altera significativamente os procedimentos e sistemas dos operadores de redes, pelo que as modalidades de autoconsumo vigentes no primeiro ano são limitadas e a execução das regras aplicáveis poderá recorrer a soluções temporárias e simplificadas. De acordo com o previsto no nº1 do artigo 32º do Decreto-Lei n.º 162/2019, o novo regime aplica-se aos projetos de autoconsumo individual e projetos de autoconsumo coletivo ou CER que, disponham de um sistema de contagem inteligente e sejam instalados no mesmo nível de tensão [42].

O Decreto-Lei n.º 162/2019 estabelece a disciplina da atividade de produção associada às instalações de utilização (IU) do autoconsumidor de energia renovável. Devem assim, cumprir os seguintes requisitos legais [41]:

- A UPAC é constituída por uma ou mais unidades de produção para autoconsumo, que tem como fonte primária a energia renovável associada(s) a uma ou várias IU, destinada primordialmente à satisfação de

necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica, podendo ser propriedade ou gerida por terceiros para a colocação, exploração, incluindo a contagem, e manutenção, desde que a instalação continue sujeita às instruções do autoconsumidor de energia renovável, não sendo os terceiros considerados em si mesmos autoconsumidores de energia renovável;

- A potência instalada igual ou inferior a 350 W não está sujeita a controlo prévio;
- A potência instalada superior a 350 W e igual ou inferior a 30 kW está sujeita a mera comunicação prévia;
- A potência instalada superior a 30 kW e igual ou inferior a 1 MW está sujeita a registo prévio para a instalação da UPAC e a certificado de exploração, através do Portal do Autoconsumo, disponibilizado pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG). No prazo de 10 dias após a submissão do relatório de inspeção que ateste a conformidade do centro electroprodutor é emitido certificado de exploração e autorizada à ligação à rede que, para o efeito, é comunicada ao Operador da Rede de Distribuição (ORD);
- A pronúncia do ORD é obrigatória nos casos em que no pedido de registo de UPAC se prevê a possibilidade de injeção de potência na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). O ORD pronuncia-se sobre a existência de condições técnicas de ligação à rede e sobre o cumprimento dos regulamentos aplicáveis;
- A UPAC com potência instalada superior 1 MW está sujeita a atribuição de licença de produção e de exploração e depende da prévia atribuição de reserva de capacidade de injeção na RESP. A atribuição de capacidade é efetuada pela DGEG;

Tabela 5 Quadro Resumo dos Processos de Licenciamento de UPACs [39]

| UPAC                               | Pinst < 350 W | Pinst > 350 W | Pinst > 30 kW | Pinst > 1 MW |
|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Isenção de Controlo Administrativo | X             |               |               |              |
| Comunicação Prévia                 |               | X             |               |              |
| Registo Prévio                     |               |               | X             |              |
| Certificado de Exploração          |               |               | X             |              |
| Licença de Produção                |               |               |               | X            |
| Licença de Exploração              |               |               |               | X            |

#### 2.4.2.1. REMUNERAÇÃO E COMPENSAÇÃO

O produtor deverá celebrar um contrato de venda de energia excedente com um comercializador, no caso das UPAC que prevejam injetar a energia excedente do autoconsumo na RESP.

Em caso de injeção de potência na RESP do excedente do autoconsumo ou da energia gerada pela CER, superior a 1 MW/MVA, o pedido de atribuição de licença de produção é obrigatoriamente precedido de atribuição pelo operador da rede a que se ligará a unidade de produção de um título de reserva de capacidade (TRC) para injeção de energia excedente do autoconsumo ou da CER [41].



## 3. AUDITORIA ENERGÉTICA

Este capítulo, aborda-se o conceito de auditoria energética (AE), as suas vantagens bem como o estudo das normas reguladoras a ter em conta quando se projeta mudanças em instalações ou infraestruturas.

### 3.1. CONCEITO DE AUDITORIA ENERGÉTICA

Uma auditoria energética caracteriza-se por ser uma inspeção de análise aos fluxos de energia de um edifício ou instalação, com o objetivo de compreender a dinâmica da energia, e.g eletricidade, água, gás e ar comprimido. A auditoria energética serve para encontrar oportunidades para reduzir a quantidade de energia consumida, mantendo e melhorando ao mesmo tempo o conforto térmico, a saúde e a segurança. Estas têm permitido reduzir o consumo de energia desperdiçada, assim como a deterioração do meio ambiente [42].

A realização de uma auditoria energética deve ter os seguintes objetivos:

- Analisar as características e o estado da envolvente do ativo para saber qual o seu desempenho térmico;
- Quantificar os consumos e custos por forma de energia;

- Analisar as faturas de energia elétrica e determinar a melhor opção tarifária;
- Monitorizar continuamente os principais consumidores de energia para a caracterização energética do edifício;
- Determinar os consumos específicos de energia por utilização (aquecimento, arrefecimento e outros);
- Determinar indicadores de eficiência energética;
- Identificar situações de desperdício de energia;
- Avaliar as principais oportunidades de redução de consumos e quantificar as economias resultantes das respetivas medidas de racionalização;
- Propor medidas corretivas e/ou a implementação de sistemas organizados de gestão de energia e de controlo e monitorização das instalações ou equipamentos e analisar técnica e economicamente as soluções apresentadas [42].

No final do estudo, deve ser elaborado um relatório compilando toda a informação a ser entregue às partes interessadas na auditoria.

### **3.2. BENEFÍCIOS DA REALIZAÇÃO DE UMA AUDITORIA ENERGÉTICA**

Com a realização de uma AE a uma empresa ou organização, esta obtém um conhecimento objetivo sobre a utilização da energia e terá diversas vantagens, tais como:

- A diminuição da fatura de energia elétrica;
- A otimização da utilização de energia, reduzindo assim os desperdícios de energia existentes;
- A redução dos consumos energéticos;
- A contribuição para um desenvolvimento sustentável;
- Um aumento do conforto nas instalações e consequente crescimento da produtividade da empresa.

### **3.3. TIPOS E METODOLOGIA DAS AUDITORIAS ENERGÉTICAS**

As Auditorias Energéticas podem ser divididas em dois tipos: Simples e Completas.

Uma auditoria simples tem como finalidade fazer um diagnóstico da situação energética de uma instalação, consistindo numa simples observação visual para identificar falhas e numa recolha de dados suscetível de fornecer alguma informação sobre os consumos específicos de energia.

A auditoria completa consiste num levantamento aprofundado da situação energética, analisando as quantidades de energia utilizadas em cada uma das operações do processo de fabrico.

Os dados recolhidos numa auditoria energética permitem estabelecer um conjunto de medidas conducentes à redução dos consumos energéticos da empresa. Como tal, a auditoria energética tem por objetivo a caracterização energética da instalação e sistemas instalados, assim como identificar e estudar as medidas com viabilidade técnico-económica a introduzir, de modo a reduzir os consumos energéticos necessários à sua atividade. Estas medidas são integradas num plano estratégico de intervenção, que definirá claramente as medidas a tomar e os objetivos anuais a alcançar, no que respeita à redução dos consumos energéticos.

A condução eficaz de uma auditoria energética é um processo que envolve algumas tarefas a desenvolver por ordem e sequência corretas, que vai desde a análise detalhada das faturas de energia do ano que antecede a auditoria, passando pela análise física detalhada aos equipamentos geradores/consumidores de energia térmica e elétrica existentes na instalação, as suas condições de operação e controlo. Assim como os cuidados de manutenção e o seu tempo de funcionamento, até à fase final do estudo no qual são indicados os resultados e medidas a tomar para a redução dos consumos energéticos em áreas específicas. Deste modo, as auditorias energéticas permitem fornecer informações específicas e identificar as possibilidades reais de economias de energia, consistindo basicamente num exame crítico da forma como é utilizada a energia com base nos registos, tanto quanto possível rigorosos, dos consumos e custos.

Para a execução de uma auditoria energética tem uma importância decisiva a definição e o estabelecimento da sequência das ações que possibilitem obter um

conhecimento profundo da instalação analisada, de modo a detetar, quantificar e tentar corrigir as perdas de energia existentes.

A fase de uma auditoria depende do seu âmbito, assim como da dimensão e do tipo das instalações a auditar. De forma geral, são consideradas as seguintes fases:

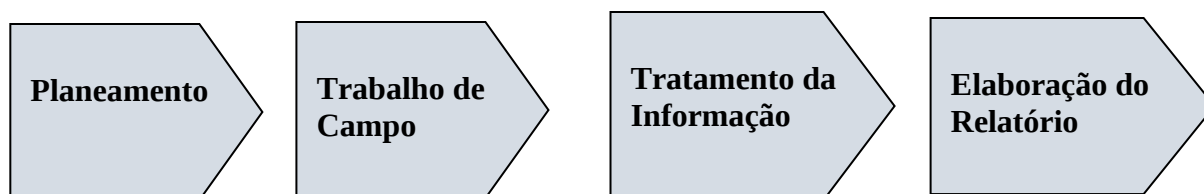


Figura 19 Fases de uma Auditoria Energética

### 3.3.1. PLANEAMENTO

A fase de planeamento tem como principal objetivo a criação das condições necessárias para se garantir uma atuação de campo organizada e eficiente. As principais tarefas nesta fase são a realização da visita, a recolha e análise da informação do ativo e pesquisa pelas tecnologias mais atuais de mercado.

A realização de uma visita preliminar permite um primeiro contacto com a instalação devendo ser feita uma primeira análise com base nos principais sistemas energéticos da instalação bem como uma primeira avaliação aos elementos que deverão ser alvo de medições para que seja levado o material necessário aquando da realização da auditoria. Em seguida deve ser feita a recolha de dados correspondentes aos registos históricos dos últimos anos de atividade (normalmente 3 anos), nomeadamente dados relativos a faturas de energia elétrica, de modo a permitir a obtenção de um conjunto de informação relevante para posterior tratamento e consequente produção de indicadores de referência.

A recolha inicial de dados que deve conter ainda informação relativa à organização funcional, às características construtivas dos edifícios e aos seus principais consumidores constituirá um complemento ao inquérito normalmente enviado à empresa ou organização para preenchimento. Por fim, e não menos importante, deverá efetuar-se um levantamento das tecnologias mais eficientes disponíveis no mercado, de modo a poder estabelecer comparações entre estas tecnologias e as que estão instaladas no edifício a auditar [43].

### **3.3.2. TRABALHO DE CAMPO**

O trabalho de campo consiste na realização de um levantamento ao edifício, em que são analisadas as condições de utilização da energia na instalação, que deverá incidir, essencialmente nas seguintes tarefas: analisar os principais equipamentos consumidores de energia, monitorizar os principais pontos de consumos de energia, realização de medições e identificar possíveis reduções de consumo de energia.

Durante a intervenção no local a equipa de auditoria deverá proceder à análise dos principais equipamentos consumidores de energia bem como à verificação do estado das instalações de distribuição de energia para que as principais carências ao nível da manutenção e segurança possam ser identificadas. Será necessário confirmar a existência e o bom funcionamento do equipamento de controlo e regulação das instalações, com especial destaque para as de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e realizar medições, quer sejam através de uma monitorização contínua dos principais pontos de consumo de energia elétrica para permitir a obtenção dos respetivos diagramas de carga, quer sejam apenas através de medições complementares, nomeadamente medições de temperaturas e de iluminância, no sentido de completar a informação sobre os diversos sistemas e verificar o seu correto funcionamento.

### **3.3.3. TRATAMENTO DE INFORMAÇÃO**

Após o trabalho de campo toda a informação recolhida, ao longo das duas primeiras fases, deve ser organizada com vista o seu adequado tratamento.

O tratamento de toda a informação recolhida deverá ser direcionado no sentido de produzir um conjunto de indicadores e de outros resultados, de natureza qualitativa, de modo a permitir que a avaliação do desempenho energético da instalação seja efetuada de forma rigorosa.

Fundamentalmente, o universo de indicadores e resultados pode ser constituído pelos seguintes elementos:

- Consumos e custos globais por tipo de equipamento consumidor de energia;

- Rendimentos energéticos dos principais equipamentos consumidores e produtores de energia;
- Intensidades energéticas;
- Soluções tecnológicas a serem implementadas com o objetivo de produzirem acréscimos na eficiência energética do sistema;
- Análise técnica e económica da viabilidade das soluções tecnológicas encontradas;
- Soluções organizacionais para implementar um sistema de gestão de energia, caso não exista [43].

#### **3.3.4. ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO**

A auditoria energética fica concluída com a elaboração do respetivo relatório, que deverá apresentar toda a informação de uma forma organizada e coerente. Na elaboração deste relatório deverá ser levado em consideração que a auditoria constitui um instrumento fundamental para o início de um processo continuado de gestão de energia na instalação auditada. Nesta fase, devemos ter presente os seguintes e principais passos: Histórico de Consumos de Energia, Caracterização das principais infraestruturas de transformação e distribuição de energia, caracterização e análise ao consumo energético por equipamentos, descrição e análise da viabilidade económica das medidas de eficiência energética e estimativas de custos e poupanças geradas.

### **3.4. INFRAESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS ANALISADOS NA INFRAESTRUTURA**

As infraestruturas em análise têm o propósito de reunir as condições necessárias a realizar a função para a qual foi dimensionada. Sendo que algumas das infraestruturas contemplam diretamente os sistemas de cobranças, e.g. equipamento de via, servidores, etc. Outras infraestruturas servem de apoio à cobrança, tais como o edifício de apoio, bem como o sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), equipamentos de cozinha/copa, etc. Por último, existem ainda as infraestruturas que visam proporcionar condições de segurança adequadas ao nível de iluminação do “garrafão” da infraestrutura.



### 3.4.1. SISTEMA DE COBRANÇA DE PORTAGENS

O sistema de cobrança instalado na infraestrutura é alimentado diretamente pela Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), contempla, porém, uma *Unit Power Supply* (UPS) para garantir a estabilização da tensão recebida e para entrar em funcionamento, em modo de emergência, em caso de falha da energia da rede. De referir também a existência de um grupo gerador que garante o funcionamento durante um médio/longo período de funcionamento, no caso de falha de energia da rede elétrica.

Considera-se necessário identificar a composição típica do sistema de cobrança instalado no edifício de apoio à infraestrutura e também de acordo com o tipo de via existente. Esta identificação permite uma melhor avaliação e consequentemente uma estimativa das necessidades energéticas que cada infraestrutura deste tipo necessita. As tabelas seguintes apresentam as necessidades de consumo do sistema de cobrança que está instalada no edifício de apoio, Vias Manuais Automáticas de Saída (VMAS), Vias Manuais de Saída (VMS), Vias Verdes de Saída (VVS), Vias Verdes de Entrada (VVE) e Vias Manuais de Entrada (VME).

Tabela 6 Potências Nominais Instaladas nas Vias

| Equipamentos de Via            | P. Unitária (W) |
|--------------------------------|-----------------|
| Via Manual Automática de Saída | 2 700,00        |
| Via Alternativa de Saída       | 1 800,00        |
| Via Verde Saída                | 2 420,00        |
| Via Verde Entrada              | 1 860,00        |
| Via Manual Entrada             | 1 900,00        |

### 3.4.2. SISTEMA AVAC

O sistema AVAC instalado nas portagens tradicionais da entidade é composto por unidades do tipo *split* compactas, composto por unidades de ar condicionado independentes no exterior que contemplam o compressor do gás e as unidades interiores evaporadores da parede/murais.

O sistema AVAC está projetado para trabalhar de forma individual, ou seja, cada unidade pode ser programada individualmente de forma a climatizar a zona ou divisão onde o *split* se encontra instalado.

A projeção do sistema de climatização de forma individual tem como potencial desvantagem ser mais dispendioso, uma vez que recorre a uma unidade exterior por cada unidade interior, no entanto, só desta forma é possível a configuração isolada de cada unidade interior.

As unidades exteriores estão instaladas nas coberturas dos edifícios, excetuando as unidades do sistema de climatização das cabines, dado que se encontram instaladas ao nível do solo. As unidades interiores encontram-se instaladas no teto de cada zona a climatizar.

A Tabela 7 apresenta as características técnicas dos modelos de ar condicionado disponíveis.

Tabela 7 Características técnicas dos equipamentos AVAC instalados

| Localização         | Marca/Modelo           | Potência Arrefecimento (kW) | Potência Aquecimento (kW) |
|---------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Sala Servidores/UPS | Gree GUDHD/8NK3C0      | 3,00                        |                           |
| Sala de Controlo    | Sanyo SAP - CR 123EH   | 2,40                        | 3,00                      |
| Sala Cashup         | Troia EcoFashion INV 9 | 1,70                        | 2,10                      |
| Copa/Refeitório     | Sanyo SAP - KR 123 EH  | 2,40                        | 3,00                      |
| Cabine VAS          | Sanyo SAP-CR93EH       | 2,10                        | 2,50                      |

### 3.4.3. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação representa na sua generalidade uma parcela muito significativa do consumo energético deste tipo de infraestrutura. Para melhor se poder aferir as necessidades de iluminação, foi pertinente a realização do levantamento do tipo de lâmpadas existentes nos vários sistemas de iluminação deste local.

A Tabela 8 apresenta as especificações técnicas das lâmpadas existentes no caso de Estudo

Tabela 8 Especificações técnicas das lâmpadas existentes no Caso de Estudo

| Localização                      | Tipo de lâmpadas      | Tipo de armadura (w) |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Copa                             | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| Corredor                         | Fluorescente compacta | 58,00                |
| Sala de Controlo OPP             | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| Sala Cofre OPP                   | Fluorescente tubular  | 18,00                |
| Sala Cash-up                     | Fluorescente tubular  | 18,00                |
| Sala de Servidores               | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| WC funcionários                  | Fluorescente tubular  | 18,00                |
| WC funcionários                  | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| WC funcionários                  | Fluorescente tubular  | 18,00                |
| WC funcionários                  | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| Sala Clientes                    | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| WC Clientes                      | Fluorescente compacta | 18,00                |
| Dispensa                         | Fluorescente tubular  | 18,00                |
| Exterior (projektor do chão)     | Halogénio             | 150,00               |
| Exterior edifício e acesso túnel | Halogénio             | 150,00               |
| Dispensa exterior                | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| Sala do Gerador                  | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| Túnel                            | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| Pala                             | Halogénio             | 150,00               |
| Placa VV + placa informativa     | Fluorescente tubular  | 58,00                |
| Narizes das ilhas                | LED                   | 5,00                 |
| Luminárias (colunas)             | Vapor de sódio        | 250,00               |
| Torres Iluminação Pública        | Vapor de sódio        | 400,00               |

Conforme é possível verificar, a maior parte da iluminação instalada é do tipo convencional com pouca implementação de iluminação de tecnologia LED.

## 4. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo é descrito o caso de estudo onde se inclui a análise dos consumos da infraestrutura do caso de estudo, desagrega-se os mesmos pelos grupos de consumo e avalia-se as medidas de eficiência energética implementadas durante os últimos anos.

Concluídas as análises mencionadas no parágrafo anterior, faz-se a avaliação de oportunidades de melhoria a sugerir implementar em todos os locais da mesma tipologia e apresenta-se as medidas realizadas no decorrer deste trabalho num caso de estudo piloto, bem como medidas a implementar futuramente.

### 4.1. ANÁLISE DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS

As necessidades energéticas das infraestruturas desta tipologia são colmatadas com recurso a energia elétrica da RESP, recorrendo aos habituais fornecedores de energia elétrica existentes no mercado português.

Em 2021, a ABC apresentou um custo próximo de 370 000 € com a energia nos 21 locais, representando um aumento de mais de 36 % em relação ao ano transato de 2020 apesar de ter havido uma redução de consumo de cerca 2 %. Esse aumento justifica-se pelo facto de ter sido renovado o contrato de fornecimento de energia e os preços terem subido

face ao ano anterior, apesar das medidas de eficiência energética já implementadas ao longo dos últimos anos.

Para melhor avaliar os consumos de energia, foram analisados os dados mensais das faturas de cada infraestrutura, verificando os valores de consumo em vazio, fora de vazio, simples, ponta e cheia, e respetivos custos. O resumo dessa análise é apresentado na Figura 20, sendo os respetivos detalhes descritos no Anexo A.

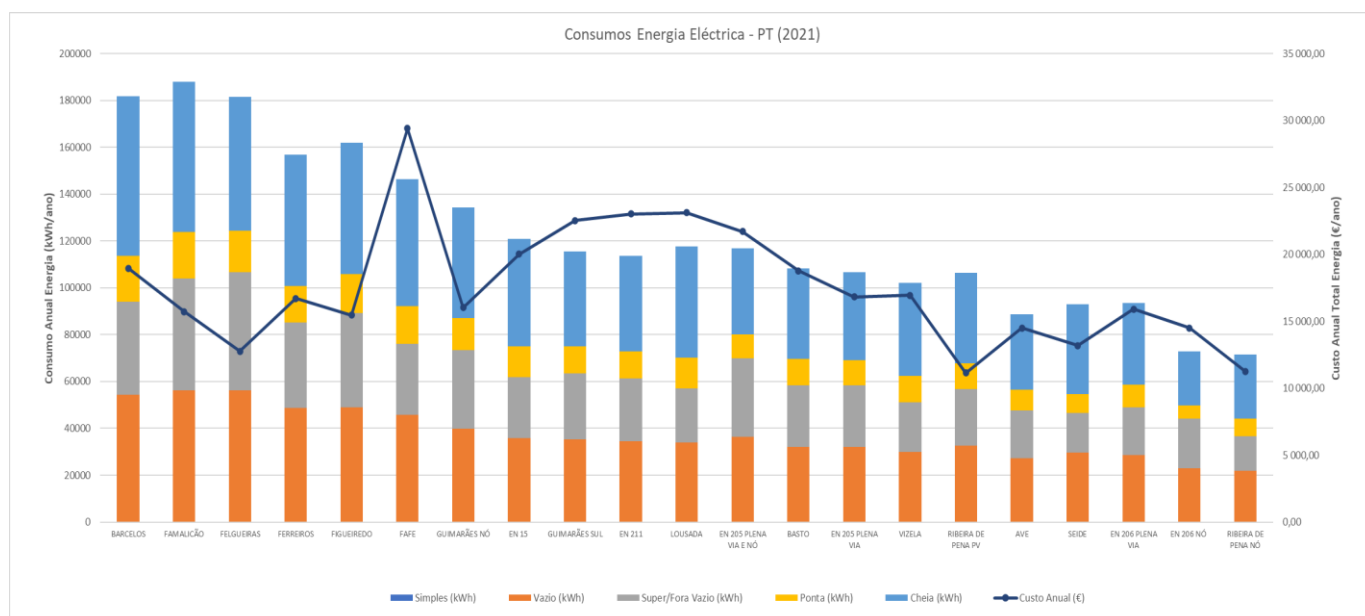


Figura 21 Evolução dos Consumos e Custos de Energia

#### 4.1.1. DESAGREGAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA

O diagnóstico energético às infraestruturas desta entidade tem como objetivo determinar e desagregar os consumos de energia pelos diferentes setores. Assim sendo, considerou-se necessário realizar medições elétricas com o objetivo de quantificar os respetivos consumos em cada tipologia de consumo.

Para trabalho de campo, foram levadas a cabo diversas ações que visam obter o máximo de informação sob o ponto de vista energético das instalações, de modo a compreender o seu funcionamento e permitir propor soluções que aumentem a eficiência energética dos principais equipamentos e sistemas consumidores de energia.

Na Tabela 9, apresenta-se uma estimativa para a desagregação do consumo dos 21 locais. Esta estimativa foi suportada por simulação nos quadros elétricos do caso de estudo - encontra-se no anexo B.

Tabela 9 Desagregação Geral

| Tipos de Consumo             | % Consumo | Equipamentos                                                                                                                            |
|------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistemas de Cobrança         | 26%       | Sistemas de Cobrança Edifício<br>Sistemas de Cobrança Vias                                                                              |
| Sistemas AVAC e Equipamentos | 16%       | Splits Edifício<br>Splits Vias                                                                                                          |
| Iluminação Interior Exterior | 58%       | Iluminação Interior Edifício<br>Iluminação Exterior Edifício<br>Iluminação Túnel<br>Iluminação Palas da Portagem<br>Iluminação Garrafão |

Verifica-se assim que os consumos são divididos essencialmente em 3 grandes vetores: Iluminação (~60 %), AVAC e Equipamentos (~20 %) e Sistema de Cobrança de Portagens (~20 %). Na figura 21, apresentamos a evolução de consumos ao longo do ano por tipologia de consumo.

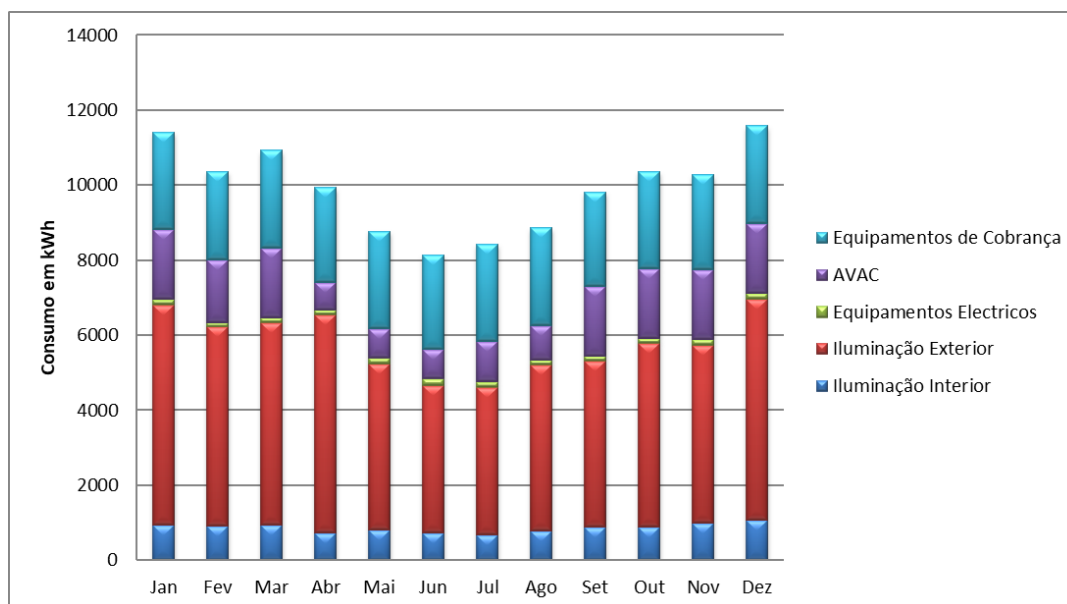


Figura 22 Desagregação por tipologia de consumo

Foram realizadas medições no Quadros Geral de Baixa Tensão (QGBT) da Infraestrutura do Caso de Estudo, com recurso a um analisador de energia da marca Chauvin Arnoux modelo PEL 103, devidamente calibrado. As especificações do referido equipamento de medição, bem como a evidência da calibração encontra-se no Anexo C.



Figura 23                      Medições elétricas realizadas

#### **4.1.2.                      ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO CASO DE ESTUDO**

Considera-se assim importante analisar previamente as condições contratuais do abastecimento de energia elétrica (tarifa e potência contratada) deste local, bem como os dados de consumo da instalação, recorrendo à análise detalhada dos consumos diários, semanais e ao fim de semana. A análise às faturas de energia elétrica é também um ponto importante para posteriormente se fazer o estudo económico dos investimentos a realizar, a fim de se avaliar a poupança e a mais-valia que um sistema pode fornecer.

Na Figura 24, são apresentados os dados de fornecimento de energia elétrica e do consumo desagregado pelo tipo de horário.

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| Potência Contratada (kW)      | 46,50               |
| Regime                        | TETRA-HORÁRIO       |
| Ciclo Horário                 | SEMANAL C/ FERIADOS |
| Custo Ponta (€/kWh)           | 0,19                |
| Custo Cheias (€/kWh)          | 0,18                |
| Custo Vazio (€/kWh)           | 0,17                |
| Custo Super Vazio (€/kWh)     | 0,17                |
| Consumo Ponta Verão (kWh/ano) | 11 138,28           |
| Consumo Cheias (kWh/ano)      | 38 777,06           |
| Consumo Vazio (kWh/ano)       | 32 088,25           |
| Consumo Super Vazio (kWh/ano) | 26 306,63           |
| Consumo Total (kWh/ano)       | 108 310,22          |

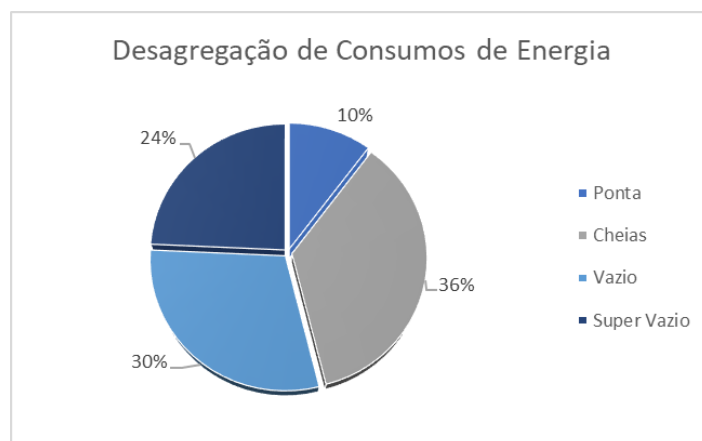


Figura 24 Dados relativos ao fornecimento de energia elétrica

Analisando os dados de consumo pelos 4 períodos horários, verifica-se que o consumo é maioritariamente no período noturno. Este valor justifica-se com o forte peso que a iluminação noturna representa no total do consumo. Cerca de 54 % nos períodos Super Vazio e Vazio e 36 % no período Cheia.

#### 4.1.3. DIAGRAMA DE CARGAS

Com recurso a um analisador de redes é possível registar, em tempo real, os dados de consumo com uma periodicidade regular, a definir de acordo com a necessidade, e recolher para posteriormente para serem tratados via *software* do aparelho de medição ou mesmo em *Excel*. Procedeu-se assim a recolha dos consumos durante 7 dias completos tendo se recolhido registos minuto-a-minuto, por forma, a traçar-se um diagrama de carga que permita a análise do consumo e inclusive possível detetar consumos anómalos ou evitáveis nalguns períodos do dia

Apresentam-se na Figura 25 e 26, os diagramas de carga referentes ao consumo semanal da infraestrutura selecionada e um perfil de cargas médio semanal (semana e fim de semana).

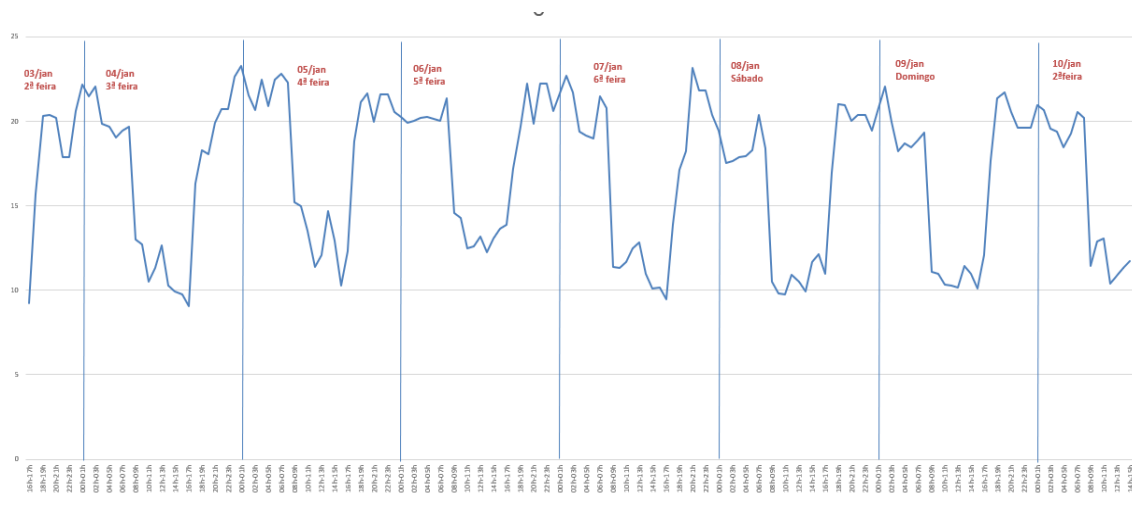


Figura 25 Diagramas de Carga

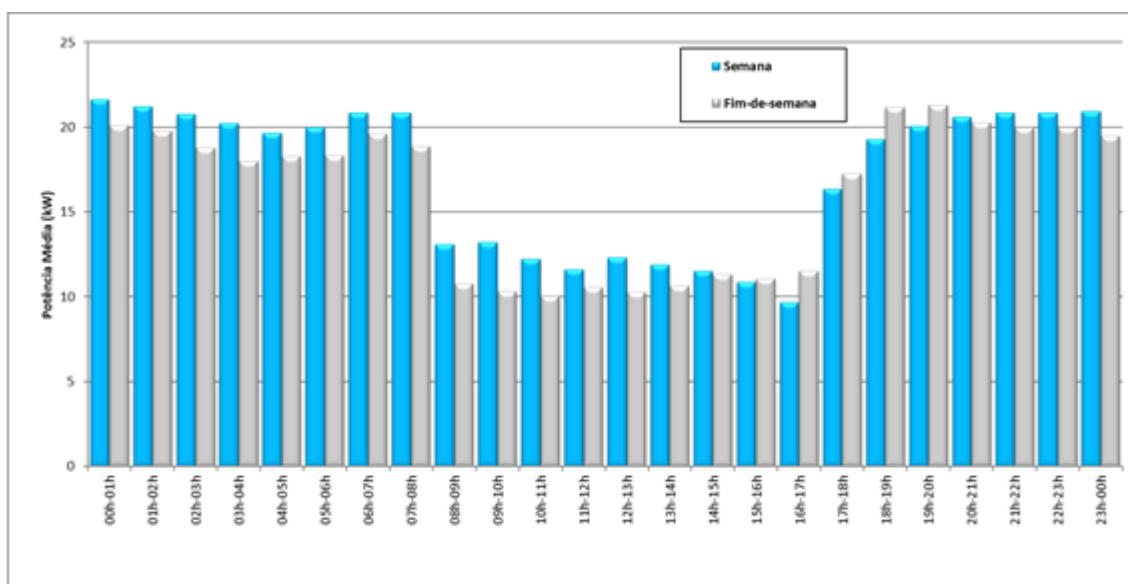


Figura 26 Perfil de Cargas – Potência Média

Em ambas as figuras, é perceptível o peso da iluminação publica exterior havendo por regra uma variação positiva do consumo pelas 17:18:00 e uma variação negativa pelas 08:01:00. Esta análise permite concluir inequivocamente que o período de maior consumo ocorre durante o período noturno, sendo justificado pela iluminação exterior, composta por luminárias de vapor de sódio de potências elevadas, de 150 W, 250 W e 400 W.

## **4.2. IDENTIFICAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA**

Depois de analisados os consumos de energia, o perfil de consumo e os diagramas de carga da infraestrutura, considera-se pertinente discriminar a identificação, proposta e implementação de melhorias de eficiência energética.

Com a verificação dos sistemas existentes, nomeadamente o sistema de iluminação, o sistema de cobrança e o sistema de AVAC, é possível identificar um conjunto de aspetos que demonstram oportunidades de eficiência sem recorrer à redução de desempenho dos equipamentos ou mesmo do conforto dos colaboradores.

Apresenta-se, nos tópicos seguintes, as soluções estudadas para cada sistema de consumo e que, para algumas situações, considera-se oportuna a sua implementação.

### **4.2.1. MEDIDAS PROPOSTAS PARA MELHORIA NO ILUMINAÇÃO**

De forma a propor medidas de eficiência energética para a iluminação, considera-se pertinente realizar um estudo que vise a substituição da solução existente por uma solução com recurso à tecnologia LED, no sentido de se estudar as vantagens e poupanças associadas.

Todavia, a continuidade de iluminação tradicional em alguns locais deve ser preservada, quer por limitações técnicas na sua substituição nomeadamente das soluções atualmente instaladas e por questões arquitetónicas, quer pela inviabilidade económica na migração para LED. Nessas circunstâncias, efetuou-se o estudo da otimização e racionalização do consumo com a iluminação.



Para esta medida ser exequível, é necessária a classificação da via a fim de determinar a classe IP do local a intervir. Tendo em conta a norma reguladora EN13201, indicada no ponto 2.4.1, determinou-se que a classe IP do caso de estudo é a ME2, aplicável a vias onde se verifique a circulação de veículos motorizados, onde seja praticável velocidade média a alta.

A fim de verificar-se a conformidade da iluminação dos locais se encontra de acordo com os requisitos normativos, recorreu-se ao *software* Dialux [45], indicado para reproduzir variadas situações hipotéticas com diferentes tipos de luminárias, realizando os algoritmos previstos para a determinação dos parâmetros mínimos e máximos estipulados na norma EN 13201, tais como, a luminância média, a uniformidade geral (Uo) e a longitudinal (Ul) ou até o encadeamento perturbador (TI). O incumprimento de um destes requisitos significa a exclusão da instalação dessa mesma luminária.

As luminárias propostas para o piloto são da marca PHILIPS, modelos:

- BGP282 LED130-4S/740 I DN10 DDF27 de 82 W para substituir as de 150 W;
- BGP283 LED190-4S/740 I DM12 DDF27 de 118 W para substituir as de 250 W;
- BGP283 LED240-4S/740 I DM50 DDF27 de 146W para substituir as de 400 W

O estudo luminotécnico com o *software* da Dialux apresentou resultados favoráveis à utilização destas lâmpadas LED. As respetivas especificações técnicas da lâmpada e resultados luminotécnicos podem ser consultadas no Anexo D.

Na tabela 11, são apresentados os resultados da análise económica ao investimento previsto para a implementação desta medida. No anexo E, seguem os detalhes dos *cash-flows* das medidas.

Tabela 11 Dados Financeiros e Análise Económica

|                                   |           |                            |           |
|-----------------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Investimento (€)                  | 19.303,61 | TIR (10 anos)              | 14,74%    |
| Taxa de desconto (%)              | 6,08      | VAL (10 anos)              | 9.057,08  |
| Aumento anual de eletricidade (%) | 3,0       | Pay-Back financeiro (anos) | 7.00      |
| Inflação (%)                      | 1,5       | Pay-Back simples (anos)    | 1,04      |
|                                   |           | Redução consumo (kWh)      | 16.911,18 |
|                                   |           | Redução CO2 (ton)          | 6,09      |

Conforme é perceptível na leitura da tabela 11, a medida de substituição da iluminação de vapor de sódio para LED é de extrema importância na redução dos consumos da concessão.

#### 4.2.1.2. ILUMINAÇÃO INTERIOR DA INFRAESTRUTURA

Atendendo que a maior parte da iluminação instalada nestas infraestruturas é do tipo convencional e tendo em conta que o local escolhido como caso de estudo enquadra-se numa ativo principal (utilização mais intensiva, iluminação ligada 15 horas por dia todo o ano), estudou-se a alteração desta iluminação para iluminação do tipo LED.

Desta forma, procedeu -se ao estudo de forma a avaliar a substituição da iluminação por lâmpadas de tecnologia LED tendo-se atingindo uma redução de potência de cerca de 1,4 kW.

Tabela 12 Substituição da Iluminação instalada para LED

| Localização             | Potência por lâmpada instalada (W) | Potência a instalar em LED (W) | Nº de Lâmpadas | Potência Instalada (W) | Potência Instalar LED (W) |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| Sala Operador Principal | 58,0                               | 26,0                           | 8,0            | 464,0                  | 208,0                     |
| Sala Clientes           | 36,0                               | 20,0                           | 4,0            | 144,0                  | 80,0                      |
| Arrumo Sala OPP         | 36,0                               | 20,0                           | 1,0            | 36,0                   | 20,0                      |
| Cash-up                 | 18,0                               | 8,0                            | 4,0            | 72,0                   | 32,0                      |
| Corredor                | 18,0                               | 8,0                            | 12,0           | 216,0                  | 96,0                      |
| Sala Servidores         | 18,0                               | 8,0                            | 16,0           | 288,0                  | 128,0                     |
| Sala Baterias           | 36,0                               | 20,0                           | 1,0            | 36,0                   | 20,0                      |
| Balneários              | 36,0                               | 20,0                           | 6,0            | 216,0                  | 120,0                     |
| Arrumos Corredor        | 36,0                               | 20,0                           | 2,0            | 72,0                   | 40,0                      |
| WC Clientes             | 18,0                               | 8,0                            | 6,0            | 108,0                  | 48,0                      |
| Copa                    | 18,0                               | 8,0                            | 12,0           | 216,0                  | 96,0                      |
| Túnel                   | 58,0                               | 26,0                           | 12,0           | 696,0                  | 312,0                     |

A implementação da medida de eficiência energética na iluminação interior e do túnel obedece a um investimento de 2 940 € e estima-se os seguintes dados económicos, demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 Dados da Poupança da Medida

| Projektor/<br>Equipamento | Consumo<br>Anual<br>(kWh/ano) | Consumo<br>Energia<br>(€/ano) | Poupança<br>(€/ano) | Investimento<br>(€) | Retorno<br>(Anos) | Redução<br>Energética<br>Global (%) | Redução<br>Emissões<br>CO2 (ton) (a) |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Convencional              | 14.037,9                      | 2.525,4                       | 1.343,5             | 2.940               | 2,1               | 0,3                                 | 1,5                                  |
| LED                       | 6.570                         | 1.181,9                       |                     |                     |                   |                                     |                                      |

(a) O cálculo das emissões de CO2 foi obtido através da relação de 0,44 kgCO2 por kWh [46]

Verifica-se um retorno de investimento ao final de 2 ano e 1 mês, com uma poupança anual de aproximadamente 1 000 €/ano.

#### 4.2.2. PROJETO DE UNIDADE DE PRODUÇÃO PARA AUTOCONSUMO

Atendendo a volatilidade dos preços de energia devido a fatores externos, pensou-se no autoconsumo como uma oportunidade para redução do consumo. A energia produzida será injetada para consumo da instalação e caso exista excedente este pode ser injetado na rede ou acumulado num sistema de baterias.

Além do cumprimento de todos os requisitos legais de licenciamento e instalação, a instalação deve ter em consideração a localização, orientação, espaço disponível e a potência consumida diariamente.

Este dimensionamento não teve como pressuposto a instalação de baterias para a acumulação que será desenvolvido no ponto 4.2.4, para que um investimento não fosse condicionado pelo outro.

##### 4.2.2.1. AVALIAÇÃO E INFORMAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Foi escolhida a cobertura da infraestrutura atendendo a área disponível para instalação dos equipamentos a dimensionar. Apesar desta estrutura não estar orientada a sul, tem área suficiente para pudermos utilizar toda a pala otimizando o rendimento da instalação. Foi também realizada uma inspeção ao local por forma a validar as condições de segurança para a instalação dos equipamentos.

Na figura 28 é possível verificar a localização satélite da infraestrutura e identificação da orientação geográfica.

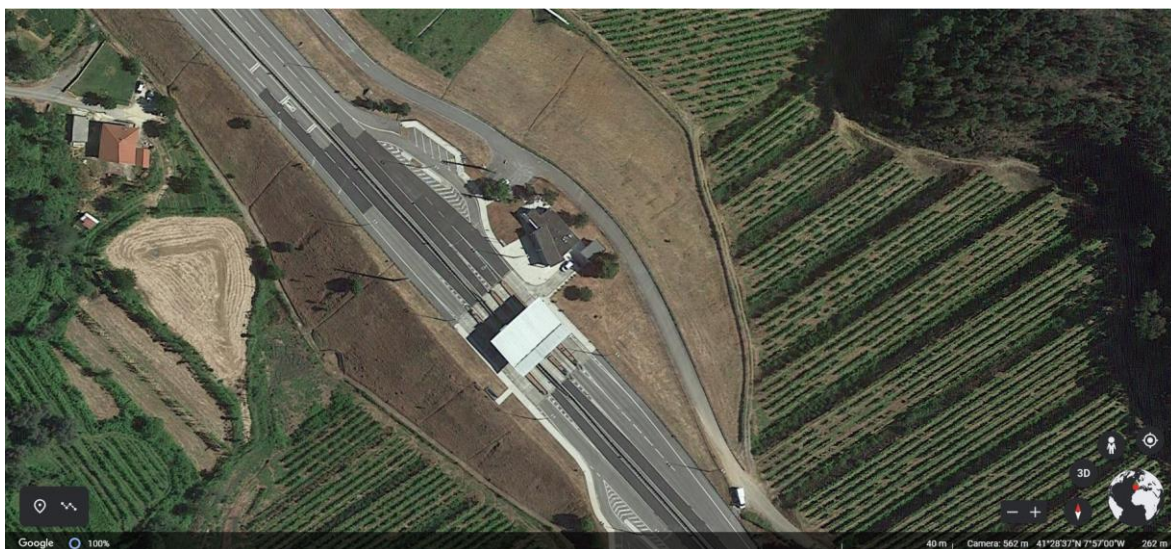


Figura 28 Vista Área da Cobertura

A cobertura da infraestrutura apresenta duas faces, uma virada a sudoeste e outra para noroeste, considera-se pertinente utilizar a que está virada para sudeste, com uma área disponível de aproximadamente 279 m<sup>2</sup>.

#### 4.2.2.2. DIMENSIONAMENTO

Para proceder a recolha os dados climáticos e de irradiação solar, foi utilizado o aplicativo PVGIS [46] disponibilizado pela Comissão Europeia.

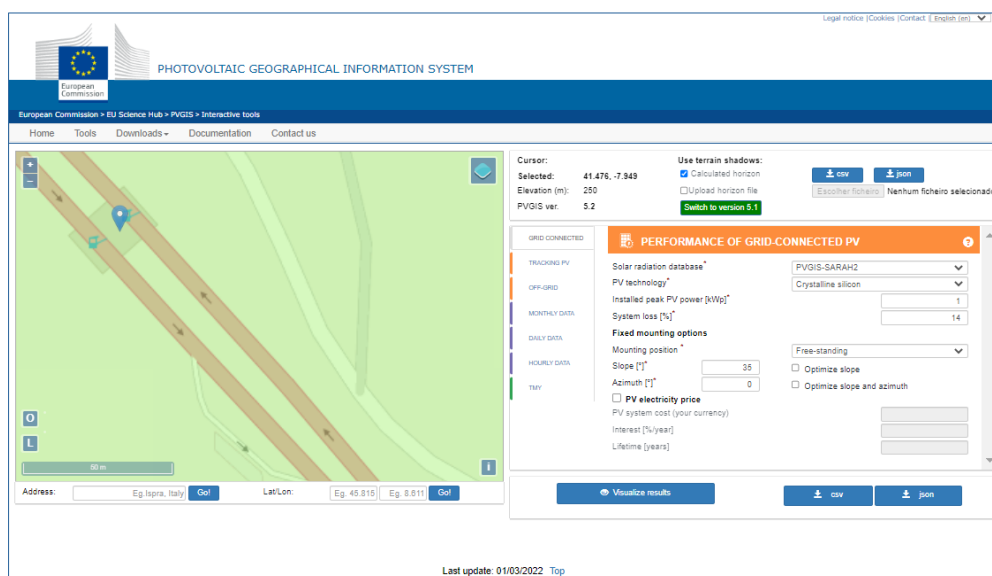


Figura 29 Plataforma PV GIS

Na referida plataforma, foram obtidos dados de irradiação e de temperatura para o ano de 2020 (último ano disponível). Conforme é perceptível na figura 29 e como era expectável, a temperatura e irradiação são superiores nos meses de verão, sendo que a restante informação é apresentada no anexo F.

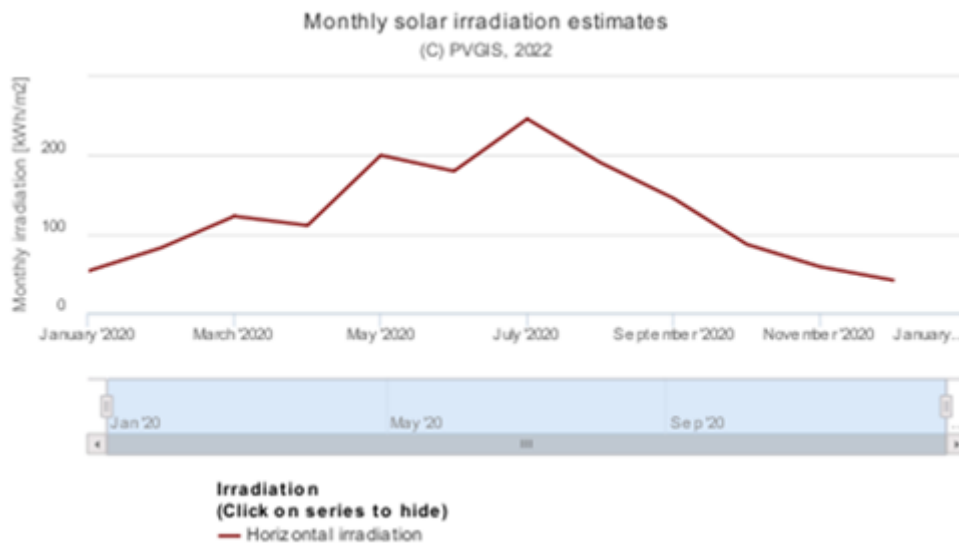


Figura 30 Dados Irradiação de 2020

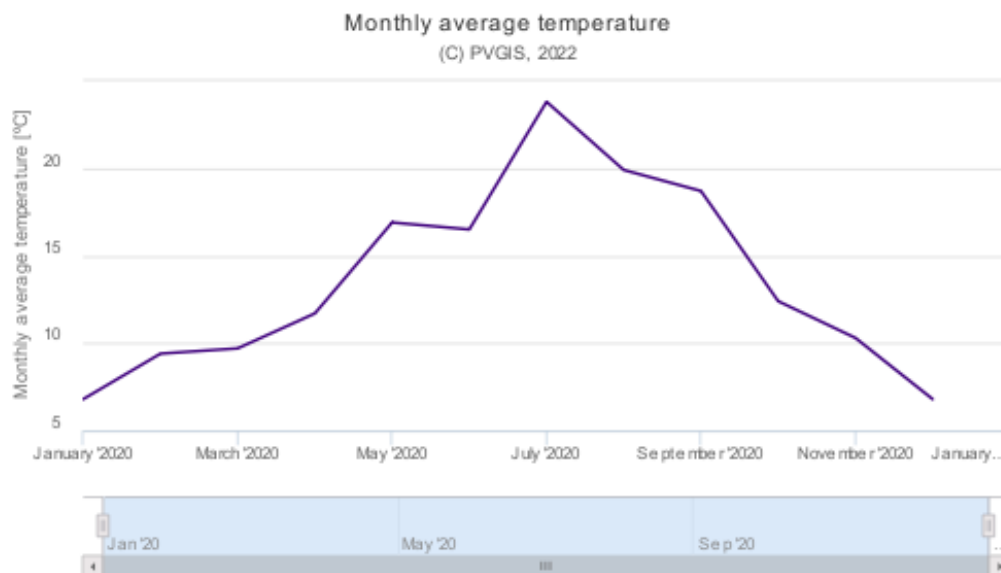


Figura 31 Dados Temperatura de 2020

Um fator relevante a ter em conta no dimensionamento de qualquer sistema fotovoltaico é a distância entre fileiras, estas devem ficar suficientemente afastadas entre si de modo evitar a existência de sombreamento entre as mesmas. Atendendo a que não existe obstáculos físicos na envolvente, terá de haver um cuidado adicional na instalação das fileiras de painéis, tendo em conta que estes não irão ficar fixos diretamente, na estrutura da pala terá de ser criada uma estrutura de suporte triangular (“esquadros”) para promover a inclinação e orientação dos painéis.

Desta forma e tendo em conta que não existe sombreamento provocado pelos painéis fotovoltaicos, será realizado um cálculo para determinar o afastamento mínimo necessário entre cada fileira.

Para o dimensionamento, considerou-se a medida *standard* dos painéis fotovoltaicos de 177 x 101 x 3,5 cm (comprimento x largura x espessura), com estrutura para orientação a sul. Foi ainda considerada a utilização apenas de uma das áreas da pala pois era a que tinha a melhor orientação e apresentava maior aproveitamento do espaço, diminuía a resistência ao vento e com menor impacto a nível de imagem.

Para área disponível de 283 m<sup>2</sup>, é possível instalar 48 painéis, 8 painéis em 6 *strings*. Este dimensionamento teve em conta o espaçamento necessário entre *strings* e as necessidades futuras de manutenção.

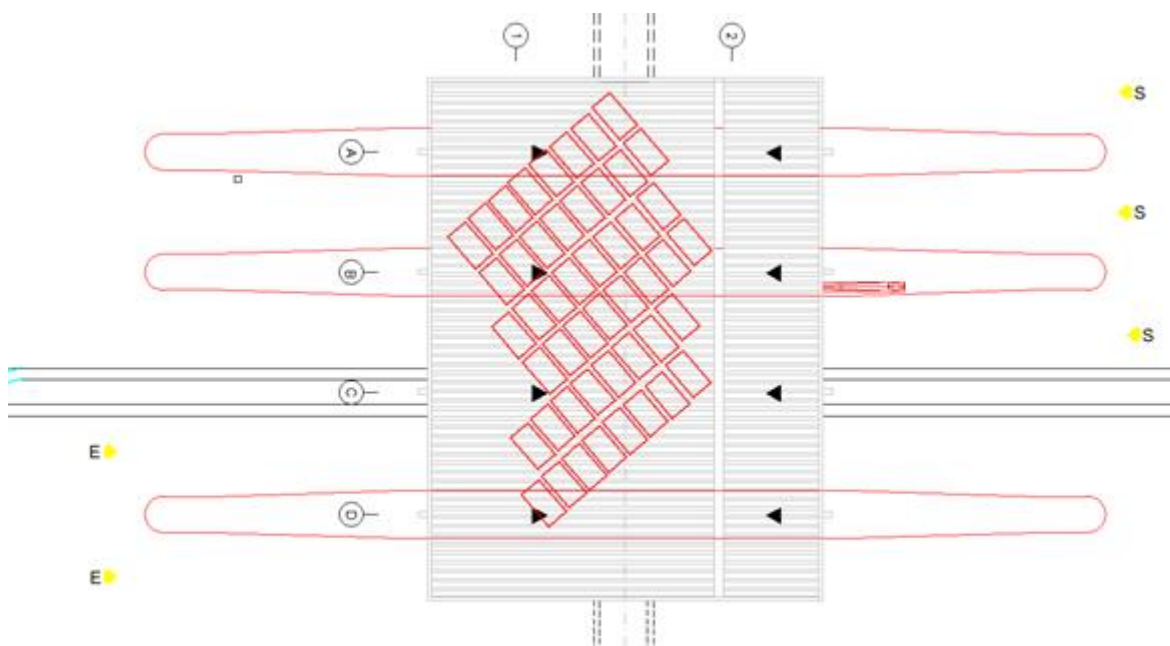


Figura 32 Dimensionamento da Instalação Fotovoltaica

Tendo em conta o número de painéis fotovoltaicos instalado e considerando a potência por painel de 335 Wp (a indicar no ponto 4.2.3.3.), será possível atingir uma potência de 16,08 kWp. Considerando que só é possível implementar uma UPAC com potência até 46,5 kW, que é a potência contratada no local, pretendeu-se dimensionar uma UPAC com menor potência, que permita o total consumo da sua produção e caso exista excedente, que este seja usado no carregamento de baterias de acumulação ou injetado na rede.

Para a realização desta simulação, foi utilizado o *software* PV SOL da Valentim Software [47], tendo sido carregados todos os valores de consumos de energia do período de análise.

#### 4.2.2.3. ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS

A seleção dos equipamentos a instalar teve em consideração as características técnicas, mas também a relação preço qualidade dos módulos e inversores. Foi também considerado o tempo estimado de entrega dos equipamentos para que este não compromettesse o investimento e os *paybacks* previstos.

Após consulta ao mercado, a escolha dos módulos fotovoltaicos recaiu sobre a marca Risen Energy, dada a qualidade e garantia dos mesmos. A *datasheet* do equipamento consta do anexo G.

Tabela 14 Características Técnicas dos Módulos Fotovoltaicos [47]

| Marca/Modelo                | Potência por módulo (Wp) | W/m <sup>2</sup> | Eficiência por módulo (%) | Garantia Produção (anos) | Garantia Materiais (anos) |
|-----------------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Risen Energy RSM 120-6-335M | 335                      | 213              | 20                        | 20                       | 15                        |

Na figura 33, são apresentadas as curvas de eficiência do módulo fotovoltaico selecionado.

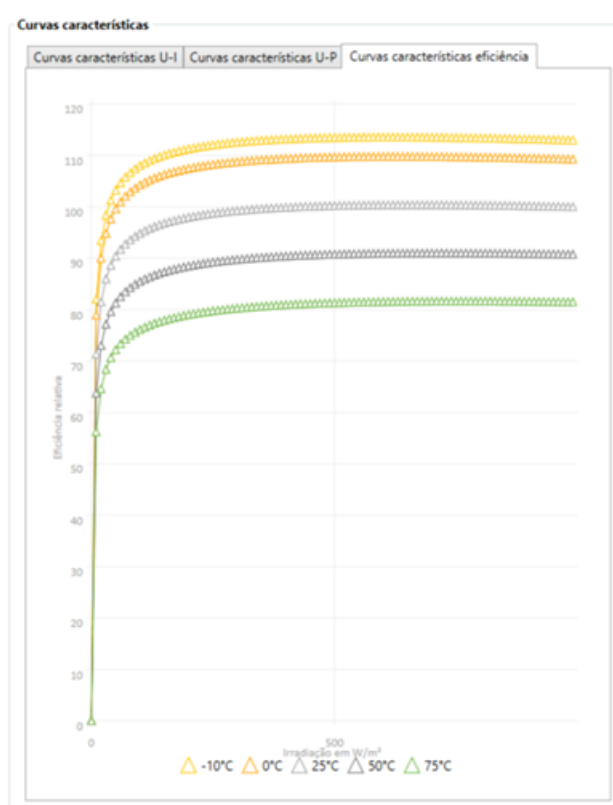


Figura 33 Curvas características de Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos [47]

Da mesma forma, procurou-se inversores que nos dessem garantias de qualidade e dada a experiência no mercado, optou-se pela SMA Solar Technology. Este inversor tem ainda a

vantagem de contemplar três reguladores MPPT, possibilitando, dessa forma, a existência de fileiras com quantidades diferentes de fotovoltaico. As especificações deste inversor podem ser consultadas no *datasheet* do fabricante no Anexo H.

Tabela 15 Características Técnicas do Inversor

| Marca/Modelo                         | Potência Nominal (kW) | Tensão Nominal em DC (V) | Eficiência global (%) | Tipo de Ligação | Garantia Produção (anos) |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|
| SAM Technology AG SunnyTripower X 20 | 20                    | 800                      | 98,15                 | Bidirecional    | 5                        |

Na figura 34, são apresentadas as curvas de eficiência do módulo fotovoltaico selecionado.

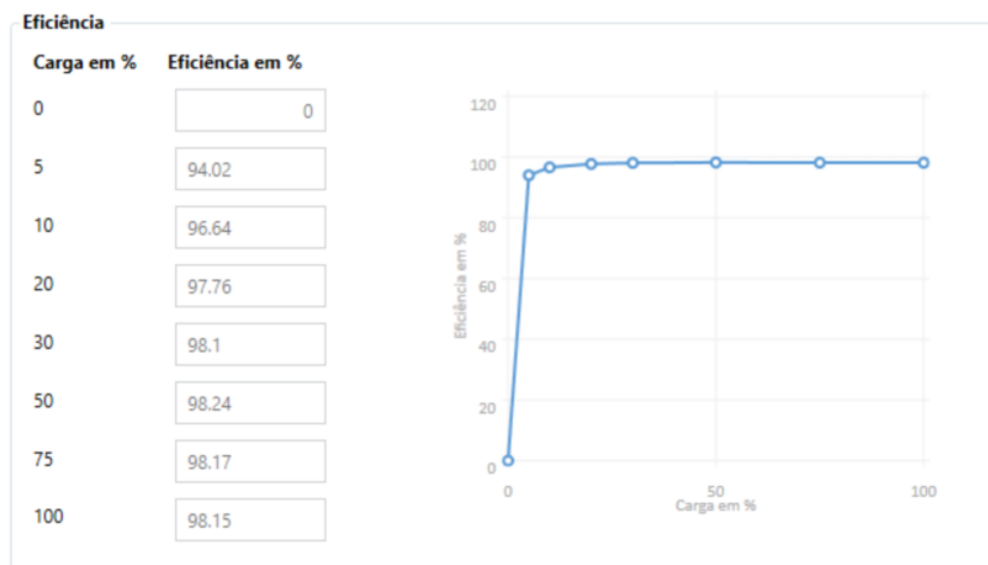


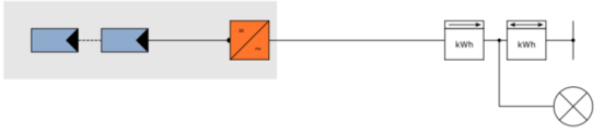
Figura 34 Curvas características de Eficiência do Inversor [49]

#### 4.2.2.4. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Através do *software* PV SOL [47], foi possível obter os consumos e produção diária para o dimensionado da instalação fotovoltaica a instalar na instalação do caso de estudo.

**Tipo de sistema, clima e rede**

Tipo de sistema  
 Sistema fv conectado à rede com consumo



Tipo de modelagem  
☐ Modelar sistema em 3D  
 Esta função está disponível somente no PV\*SOL premium

Intervalo da simulação  
☒ 1 hora (simulação mais rápida)  
☐ 1 minuto (simulação mais precisa)

Dados climáticos

| País     | Local                                             | Soma anual da irradiação global | Média anual da temperatura |
|----------|---------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Portugal | Arco de Baúlhe (2005-2016, PVGIS-SARAH/ERA-Inter) | 1539 kWh/m²                     | 13,3 °C                    |

Latitude: 41° 28' 41" (41,48°)  
 Longitude: -7° 57' 9" (-7,95°)  
 Fuso horário: UTC-0  
 Período: 2005 - 2016  
 Fonte: PVGIS-SARAH/ERA-Inter

Rede c.a.  
 Tensão (V~): 230 V  
 Quantidade de fases: 3-fásico  
 cos φ: 1  
 Limitação da potência de injeção: Não

[Parâmetros da simulação](#)

Figura 35 Configuração dos parâmetros no PV SOL [47]

Diretamente do *software*, conseguimos obter os dados de produção da instalação fotovoltaica, consumidos e injetados na rede.

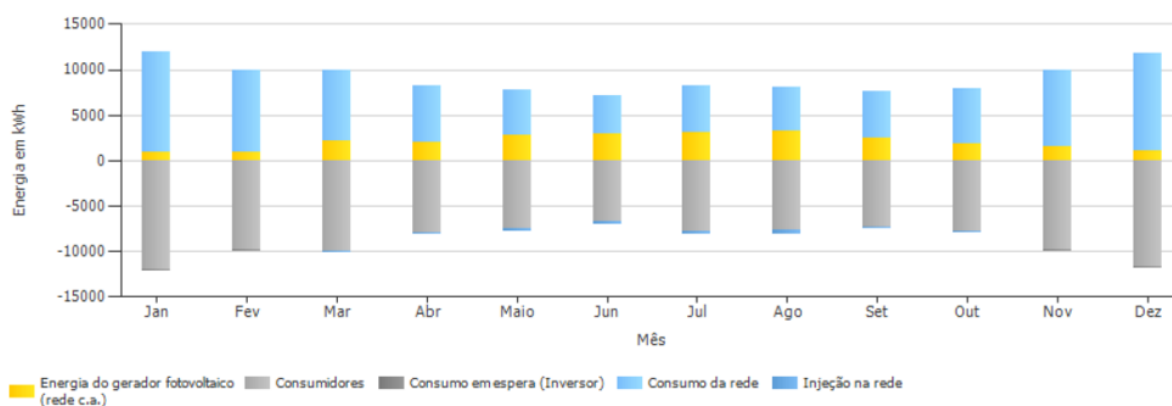


Figura 36 Utilização da Energia Fotovoltaica [47]

Após tratamento dos dados retirados do *software*, constatamos que a produção anual foi de 85 447 kWh obtidos na simulação com os parâmetros dos equipamentos escolhidos. Se toda esta produção fosse consumida pelo edifício, teríamos aproximadamente 80% do consumo do edifício produzida com recurso a energia “limpa”.

Contudo, verificamos que da produção obtida, 1 897 kWh/ano seriam injetados na rede, valor que não iremos considerar na análise de investimento. Adicionalmente e através

da simulação realizada no *software* PVSOL, verificamos que cerca da 20% da energia produzida não é consumida atendendo que a maioria das necessidades da instalação é em período noturno. Para que não fosse considerado esse “desperdício” teriam de ser dimensionadas sistemas de acumulação (a desenvolver no ponto 4.3.2.6) que permitiria colmatar parcialmente as necessidades de consumo noturnas.

#### 4.2.2.5. PROPOSTAS E ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Para o processo de análise de investimento, foi solicitada uma proposta a um fornecedor que executa a manutenção das instalações elétricas da entidade e que também atua no mercado das UPAC's, tendo sido solicitada uma solução completa do tipo “chave na mão”.

Além das garantias previstas pelos fornecedores dos equipamentos, a empresa concorrente apresentou uma garantia adicional na instalação de 10 anos.

A implementação da medida de eficiência energética da instalação do sistema fotovoltaico obedece a um investimento de 42 500 € e estima-se os seguintes dados económicos, apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 Dados da Poupança do Sistema Fotovoltaico

| Projetor/<br>Equipamento             | Redução<br>Anual<br>(kWh/ano) | Poupança<br>(€/ano) | Investimento<br>(€) | Retorno<br>(Anos) | Redução<br>Energética<br>a Global<br>(%) | Redução<br>Emissões CO2<br>(ton) (a) |
|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
| Sistema<br>Fotovoltaico<br>16,08 kWp | 67.675,5                      | 11.504,8            | 42500,00            | 3,7               | 2,6                                      | 20,6                                 |

(a) O cálculo das emissões de CO2 foi obtido através da relação de 0,44 kgCO2 por kWh [46]

Verifica-se um retorno de investimento ao final de 3 anos e 7 meses, com uma poupança anual de aproximadamente 11 000 €/ano.

#### 4.2.3. SISTEMAS DE ACUMULAÇÃO DE ENERGIA

Atendendo ao indicado no ponto 4.2.3.3, em que é referido que nem toda a produção da energia fotovoltaica é aproveitada, dado atendendo ao facto de a maioria do consumo energético desta infraestrutura ser realizado em período noturno aquando do ligar da iluminação pública.

#### 4.2.3.1. DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS

Para o dimensionamento, foi novamente escolhido o *software* PVSOL tendo sido realizado o calculo que nos permitisse carregar as baterias com o excedente de produção fotovoltaica.

Através do simulador, escolhemos as baterias da marca Huawei de Fosfato de Ferro de Lítio, sendo que a *datasheet* se encontra no anexo I.

Tabela 17 Características Técnicas das Baterias de Acumulação [47]

| Marca/Modelo                      | Potência Nominal (kW) | Tensão Nominal em DC (V) | Capacidade Bateria C10 (Ah) | Tipo de Acoplamento                   | Garantia Produção (anos) |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Huawei Technologies LUNA2000-5-S0 | 25,0                  | 51,2                     | 100,0                       | Acomplamento circuito intermédio c.c. | 5,0                      |

Na figura 37, é apresentada a curva de eficiência da percentagem de carga da bateria seleccionada.

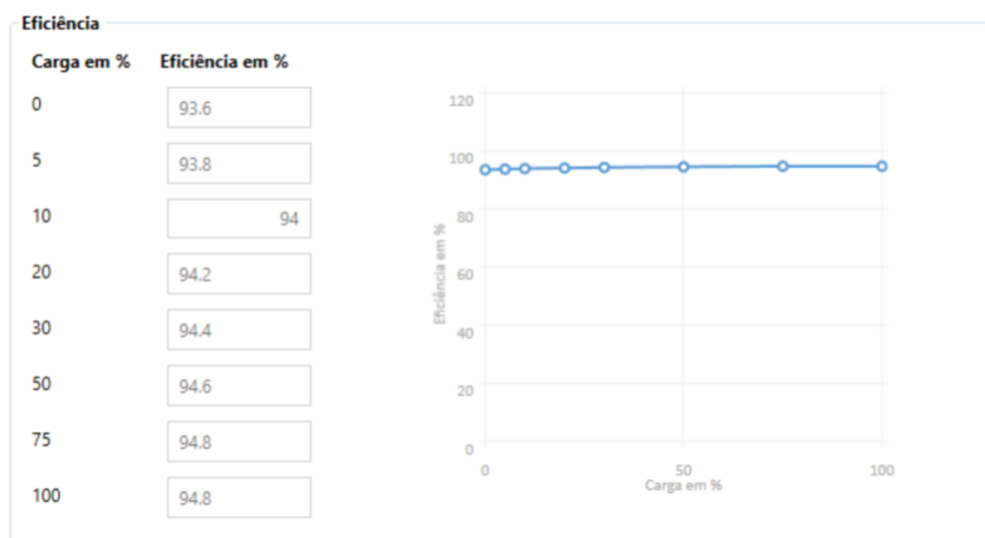


Figura 37 Curvas características de Eficiência da % de Carga da Bateria [47]

Atendendo aos consumos estimados, foi considerada a instalação de 10 baterias obtendo uma carga conectada de 25 kW.

#### 4.2.3.2. PROPOSTAS E ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Para o processo de análise de investimento, foi solicitada uma proposta ao mesmo fornecedor para a qual obtemos proposta para o sistema fotovoltaico. Além das garantias

previstas pelo fornecedor dos equipamentos, a empresa concorrente apresentou uma garantia adicional na instalação de 10 anos.

A implementação da medida de eficiência energética da instalação do sistema fotovoltaico obedece a um investimento de 19 000 € e estima-se os seguintes dados económicos, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 Dados da Poupança da Medida Baterias Acumulação

| Projektor/<br>Equipamento    | Redução<br>Anual<br>kWh/ano) | Poupança<br>(€/ano) | Investimento<br>(€) | Retorno<br>(Anos) | Redução<br>Energétic<br>a Global<br>(%) | Redução<br>Emissões CO2<br>(ton) (a) |
|------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| Sistema<br>Baterias<br>25 kW | 15 874,5                     | 2 698,7             | 19 500,0            | 7,2               | 0,6                                     | 4,75                                 |

(a) O cálculo das emissões de CO2 foi obtido através da relação de 0,44 kgCO2 por kWh [46]

Verifica-se um retorno de investimento ao final de 7 anos e 2 meses, com uma poupança anual de aproximadamente 20 000 €/ano.

#### 4.3. RESUMO DAS PROPOSTAS DAS OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Neste capítulo, pretende-se realizar uma síntese de todas as oportunidades de melhoria de eficiência energética identificados ao longo deste trabalho. Os resultados obtidos foram gerados de acordo com o perfil de consumo do local em estudo e considerando que todos os equipamentos se encontravam em pleno funcionamento.

A Tabela 19 apresenta o quadro resumo das medidas de eficiência energética identificadas.

Tabela 19

Resumo das Medidas de Eficiência Propostas

| ID    | Medida Proposta                             | Locais         | Redução Estimada (kWh.Ano ) | Poupança (€/ano) | Investimento (€) | Retorno (Anos) | Redução Energética Global (%) | Redução Emissões CO2 (ton) |
|-------|---------------------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1     | Iluminação LED na Iluminação Pública        | Caso de Estudo | 16.911,18                   | 4 179,4          | 19 304           | 7,0            | 0,8                           | 6,1                        |
| 3     | Iluminação LED no Edifício                  |                | 7 467,9                     | 1 343,5          | 2 940            | 2,2            | 0,2                           | 1,5                        |
| 3     | Instalação Sistema Fotovoltaico             |                | 67 675,5                    | 11 504,8         | 42500            | 3,7            | 2,60                          | 20,6                       |
| 4     | Instalação Sistema de Acumulação de Energia |                | 15 874,5                    | 2 698,7          | 19 500           | 7,2            | 0,6                           | 4,75                       |
| TOTAL |                                             |                | 91 981,50                   | 19 726,40        | 84 244           | 4,27           | 4,2                           | 32,95                      |

(a) O cálculo das emissões de CO2 foi obtido através da relação de 0,44 kgCO2 por kWh [46]

Da análise à Tabela 19 destaca-se a poupança anual aproximada de 91 981 kWh e aproximadamente 20 000 € na fatura da eletricidade. Quanto às emissões de CO2 estima-se uma redução de 32,95 toneladas em emissões nos locais visados com estas medidas.

## 5. CONCLUSÕES

Na primeira etapa deste trabalho, foi possível realizar o enquadramento do projeto a desenvolver bem como estudar as tecnologias que foram implementadas no caso de estudo. No decorrer do trabalho, foi também realizada a auditoria energética a infraestrutura piloto e realizadas medições elétricas para calcularmos com exatidão os potenciais de poupança das medidas de eficiência energética.

O objetivo desta dissertação procurou estudar e implementar as medidas de eficiência energética que se ajustassem de melhor forma ao perfil de consumo e utilização dos ativos alvo de estudo, promovendo a implementação de medidas que se adequassem a instalação em questão.

A possibilidade de realizar este estudo no contexto empresarial proporcionou uma maior aproximação a realidade e ao dia-a-dia da atividade em questão, havendo sempre a consciência que as implementações destas medidas não podem afetar o fim para que as instalações servem.

As propostas de implementação tiveram de ser adaptar a infraestrutura e as regras contratuais impostas, nomeadamente na questão da iluminação pública. Através de simulação computacional realizada em softwares profissionais foi possível validar os indicadores em especial o cumprimento da classe IP ME2 nas luminárias instaladas.

A análise dos consumos e faturas de energia permitiu a desagregação dos mesmos em grupos de consumo e encontrar 4 medidas de eficiência energética para o caso de estudo piloto. Destacando-se a substituição de lâmpadas de vapor de sódio e de halogénio por LED que foi implementada em setembro de 2022.

A avaliação ambiental e económica de cada investimento proposto permitiu validar o sucesso das medidas, estimadas numa poupança aproximada de 32,95 toneladas de CO<sub>2</sub> e de 20 000 euros por ano na fatura de eletricidade.

A presente tese permitiu desenvolver e melhorar competências praticas e consolidar conhecimentos teóricos na área de análise. Foi possível desenvolver os estudos analíticos sempre com um sentido critico, utilizando a ótica empresarial.

## *Referências Bibliográficas*

- [1] UN CLIMATE CHANGE, Cop26 The Glasgow Climate Pact Outcomes, <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>, acessado em 28/11/2021
- [2] STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>, 2021, acessado em 28/11/2021
- [3] COUNTRY TRENDS IN FOSSIL-FUEL SUBSIDIES, <https://fossilfuelsubsidytracker.org/country/>, 2021, acessado em 28/11/2021
- [4] FUNDO AMBIENTAL, <https://www.fundoambiental.pt/home.aspx>, 2021, acessado em 28/11/2021
- [5] “HJ Round Was A Pioneer In The Development Of The LED”, <https://myledpassion.com/history/hj-round/>, 2020, acessado em 12/12/2021
- [6] “Invention History of Light Emitting Diode (LED”, <http://www.circuitstoday.com/invention-history-of-light-emitting-diode-led>, acessado em 12/12/2021
- [7] Portal de Medidas de Eficiência Energética em Sistemas Industriais, <https://meesi.pt/medidas-transversais/capitulo-7-iluminacao-industrial>, 2021, acessado em 14/12/2021
- [8] “History of LED - Development of Light-Emitting Diodes”, <http://www.historyoflighting.net/light-bulb-history/history-of-led/>, 2016, acessado em 14/12/2021
- [9] PINTO, RAFAEL ADAIME, “Projecto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando díodos emissores de luz (LEDs)”.Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, 2008, acessado em 14/12/2021
- [10] HARRIS, TOM. "How Light Emitting Diodes Work -Led Advantages", 2013, acessado em 14/12/2021

- [11] ELAB INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, [http://www.elab.tecnico.ulisboa.pt/wiki/index.php?title=Determina%C3%A7%C3%A3o\\_da\\_Constante\\_de\\_Planck](http://www.elab.tecnico.ulisboa.pt/wiki/index.php?title=Determina%C3%A7%C3%A3o_da_Constante_de_Planck), 2015, acedido em 18/12/2021
- [12] VILLATE, Jaime, Eletricidade, Magnetismo e Circuitos, Universidade do Porto, 2013, acedido em 10/01/2022
- [13] DICAS LED, <https://www.dicasled.pt/diferencas-entre-led-cob-led-smd-e-microled/>, 2019, acedido em 10/01/2022
- [14] RELIABLE ACTUAL FABRIC-BASED ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODES: TOWARD A WEARABLE DISPLAY, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aelm.201600220>, 2016, acedido em 10/01/2022
- [15] F. SCHUBERT, Light-emitting diodes, 2nd ed. Cambridge university press, 2006. , acedido em 10/01/2022
- [16] T. KHAN, P. BODROGI, Q. T. VINH, AND H. WINKLER; LED lighting: technology and perception. John Wiley & Sons, 2015. , acedido em 22/03/2022
- [17] ALMEIDA, C; <https://blogligacaohomecenter.wordpress.com/2015/07/08/qual-a-diferenca-entre-lampada-incandescente-fluorescente-e-led/>, 2015 , acedido em 22/03/2022
- [18] ISAÍAS BARBODA JUNIOR; Luminotécnica, Universidade Federal do Piauí – UFPI, 2012 , acedido em 22/03/2022
- [19] E-REDES, Manual de iluminação pública, <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf>, 2019. , acedido em 22/04/2022
- [20] SCHREDER, <https://pt.schreder.com/pt>, 2021
- [21] MORGADO, Jorge Manuel; CHARAS, Ana Maria, Photovoltaic cells based on conducting polymers and anthocyanins, Instituto de Telecomunicações, 2008 , acedido em 22/04/2022
- [22] FLOOD, Michael; Solar Cells: A case study of invention, development and inovation, The Open University, Faculty of technology, 1995 , acedido em 22/04/2022
- [23] SAGA,Tatsuo; Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production, 2010 , acedido em 22/04/2022

- [24] GARRIDO, Emmanuel Loureiro; Concepção e Certificação de nova geração de candeeiros de iluminação pública, Tecnologia fotovoltaica, [https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index\\_ficheiros/Page830.htm](https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page830.htm), 2010 , acedido em 22/04/2022
- [25] ALVES, Vitor; Dimensionamento de sistemas de produção de eletricidade baseados em energia solar fotovoltaica, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da FEUP, 2008 , acedido em 22/04/2022
- [26] PLASTICPHOTOVOLTAICS.ORG; <http://ww7.plasticphotovoltaics.org/>, 2022.
- [27] Sunflower: What is Difference between monocrystalline, polycrystalline and amorphous thin film solar cell, [http://www.sunflower-solar.com/index.php?act=content&scheduler\\_id=429/](http://www.sunflower-solar.com/index.php?act=content&scheduler_id=429/), 2019 , acedido em 25/04/2022
- [28] SOLABRASIL; <https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-fotovoltaicos-caracteristicas-eletricas/>, 2017, acedido em 25/04/2022
- [29] KALOGIROU, Soteris; Solar Energy Engineering - Processes and Systems; 2009, acedido em 25/04/2022
- [30] COSTA, M.J.; A minigeração fotovoltaica em edifícios escolares – Um caso de Estudo; 2013. , acedido em 10/05/2022
- [31] Decreto-Lei n.º 76/2019 de 03/06/2019; Diário da República Eletrónico; 2019, acedido em 10/05/2022
- [32] Decreto-Lei 34/2011 de 08/03/2011; Diário da República Eletrónico; 2011, acedido em 10/05/2022
- [33] Decreto-Lei 363/2007 de 02/11/2007; Diário da República Eletrónico; 2007, acedido em 10/05/2022
- [34] Direção Geral de Energia e Geologia; Produção de Energia Eléctrica a Partir de Fontes Renováveis, <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/renovaveis/>, 2020, acedido em 10/05/2022
- [35] BHUIYAN, F., YAZDANI, A. Energy storage technologies for grid-connected and off-grid power system applications, IEEE, 2012, acedido em 14/05/2022
- [36] ANEKE, M., WANG, M.; Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review, Appl Energy, 2016, acedido em 14/05/2022

- [37] MARTINS, Nuno Luís; Sistema Integrado de Produção e Armazenamento de Energia a partir de Fontes Renováveis, Tese dissertação Mestrado, IST, 2007, acessado em 14/05/2022
- [38] BARNES, F. e JONAH, E.L; Large energy storage systems handbook. 2011. , acessado em 05/06/2022
- [39] CORREIRA,T., Sistemas de armazenamento de energia integrados em centrais fotovoltaicas, Dissertação de mestrado, FEUP, 2016,. acessado em 05/06/2022
- [40] DREEIP - Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública, 2018,. acessado em 05/06/2022
- [41] Decreto-Lei n.º 162/2019 de 25/10/2019; Diário da República Eletrónico; 2019,. acessado em 05/06/2022
- [42] “Auditorias Energéticas,” [Online]. Disponível: <https://www.slideshare.net/Green-Campus/apresentao-green-campus-ees> , Acessado 2022,. acessado em 05/06/2022
- [43] “A importância e as fases de uma auditoria energética,”. Disponível: <https://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/>, Acessado 2022,. acessado em 05/06/2022
- [44] Agência Regional De Energia E Ambiente Do Oeste [Online]. Disponível: <http://Www.Oestesustentavel.Pt/?/Calculadora-Carbono>,. acessado em 07/09/2022
- [45] «DIALux», Disponível em: <https://www.dial.de/en/dialux/>. acessado em 07/09/2022
- [46] PVGIS,  
[HTTPS://RE.JRC.EC.EUROPA.EU/PVG\\_TOOLS/EN/TOOLS.HTML#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#pvp)  
acessado em 07/09/2022
- [47] PV SOFTWARE, <https://valentin-software.com/en/downloads/>, acessado em 07/09/2022



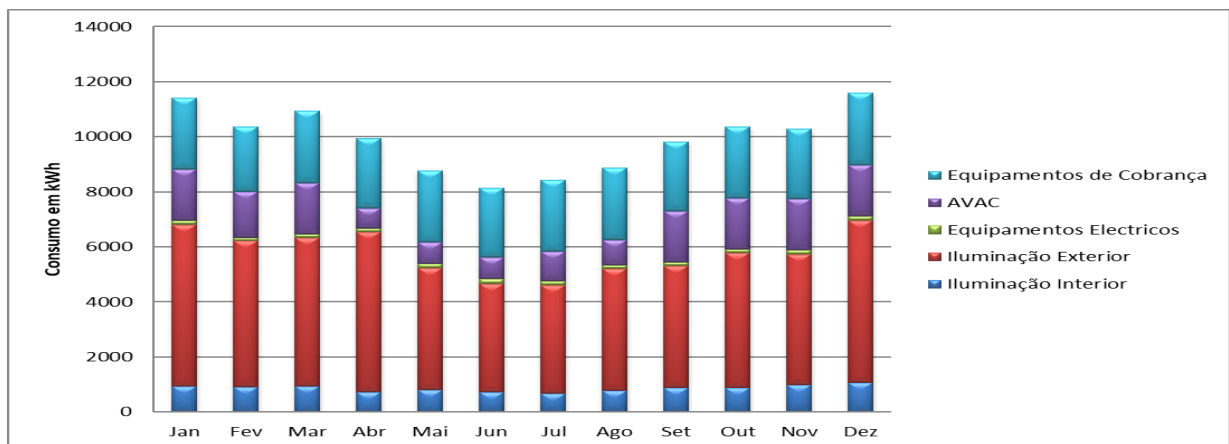
Anexo A. Consumo Energia Eléctrica (2021)

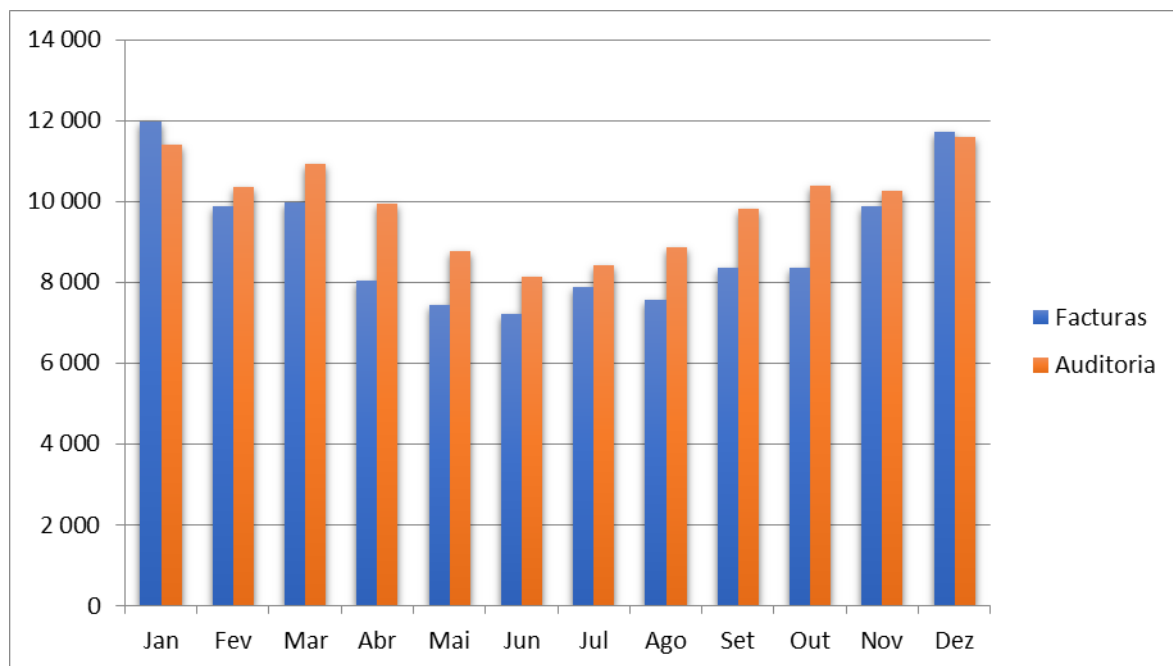


## Anexo B. Simulação Auditoria Energética – Desagregação Consumos

| Auditoria Energética   |                     |                     |                         |              |                          |              |
|------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| Meses                  | Iluminação Interior | Iluminação Exterior | Equipamentos Electricos | AVAC         | Equipamentos de Cobrança | Total Mensal |
| Jan                    | 943                 | 5870                | 134                     | 1860         | 2604                     | 11410        |
| Fev                    | 912                 | 5302                | 121                     | 1680         | 2352                     | 10367        |
| Mar                    | 943                 | 5387                | 134                     | 1860         | 2604                     | 10928        |
| Abr                    | 717                 | 5813                | 130                     | 750          | 2520                     | 9929         |
| Mai                    | 808                 | 4422                | 167                     | 775          | 2604                     | 8776         |
| Jun                    | 717                 | 3939                | 194                     | 775          | 2520                     | 8145         |
| Jul                    | 673                 | 3939                | 134                     | 1085         | 2604                     | 8435         |
| Ago                    | 782                 | 4422                | 130                     | 930          | 2604                     | 8867         |
| Set                    | 875                 | 4422                | 134                     | 1860         | 2520                     | 9811         |
| Out                    | 875                 | 4904                | 130                     | 1860         | 2604                     | 10373        |
| Nov                    | 977                 | 4746                | 167                     | 1860         | 2520                     | 10271        |
| Dez                    | 1077                | 5870                | 167                     | 1860         | 2604                     | 11578        |
| <b>Total (kWh.ano)</b> | <b>10300</b>        | <b>59035</b>        | <b>1742</b>             | <b>17155</b> | <b>30660</b>             |              |
| <b>%</b>               | <b>9%</b>           | <b>50%</b>          | <b>1%</b>               | <b>14%</b>   | <b>26%</b>               |              |
| <b>Global</b>          | <b>118 891,33</b>   |                     |                         |              |                          |              |

| Facturas Electricidade |                |
|------------------------|----------------|
| Janeiro                | 11 980         |
| Fevereiro              | 9 875          |
| Março                  | 9 968          |
| Abril                  | 8 033          |
| Maio                   | 7 447          |
| Junho                  | 7 214          |
| Julho                  | 7 888          |
| Agosto                 | 7 564          |
| Setembro               | 8 356          |
| Outubro                | 8 356          |
| Novembro               | 9 894          |
| Dezembro               | 11 734         |
| <b>Total (kWh.ano)</b> | <b>108 310</b> |
| 0,91                   |                |





## Anexo C. Características Técnicas dos Equipamentos de Medição

## 5. SPECIFICATIONS

### 5.1. REFERENCE CONDITIONS

| Parameter                                                     | Reference Condition                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ambient temperature                                           | 23 ± 2 °C                                                                                                   |
| Relative humidity                                             | [45% RH; 75% RH]                                                                                            |
| Voltage                                                       | No DC component in AC, no AC component in DC (< 0.1 %)                                                      |
| Current                                                       | No DC component in AC, no AC component in DC (< 0.1 %)                                                      |
| Phase voltage                                                 | [100 V <sub>RMS</sub> ; 1000 V <sub>RMS</sub> ] without DC (< 0.5%)                                         |
| Input voltage of current inputs (except AmpFlex® / MiniFlex®) | [50 mV; 1.2 V] without DC (< 0.5%) for AC measurement, without AC (< 0.5%) for DC measurement               |
| Supply system frequency                                       | 50 Hz ± 0.1 Hz and 60 Hz ± 0.1 Hz                                                                           |
| Harmonics                                                     | < 0.1%                                                                                                      |
| Voltage unbalance                                             | 0%                                                                                                          |
| Preheating                                                    | Device powered for at least an hour                                                                         |
| Common mode                                                   | Neutral input and enclosure are held at earth potential<br>Instrument powered on battery, USB disconnected. |
| Magnetic field                                                | 0 A/m AC                                                                                                    |
| Electric field                                                | 0 V/m AC                                                                                                    |

Table 11

### 5.2. ELECTRICAL SPECIFICATIONS

#### 5.2.1. VOLTAGE INPUTS

**Operating Range:** up to 1 000 V<sub>RMS</sub> for phase-to-neutral voltages  
up to 1 700 V<sub>RMS</sub> for phase-to-phase voltages

**Note:** Phase-to-neutral voltages lower than 2 V and phase-to-phase voltages lower than  $2\sqrt{3}$  are zeroed.

**Input Impedance:** 1908 kΩ (phase-to-neutral)

**Max Overload:** 1100 V<sub>RMS</sub> (phase-to-neutral)

#### 5.2.2. CURRENT INPUTS

**Note:** Current sensor outputs are voltages.

**Operating Range:** 0.5 mV to 1.2 V (1 V = I<sub>nom</sub>) with crest factor =  $\sqrt{2}$

**Input Impedance:** 1 MΩ (except for AmpFlex® / MiniFlex® current sensors):  
12.4 kΩ (AmpFlex® / MiniFlex® current sensors)

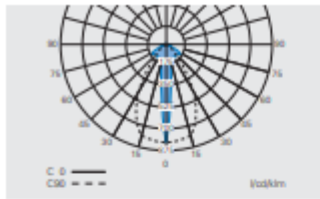
**Max Overload:** 1.7 V



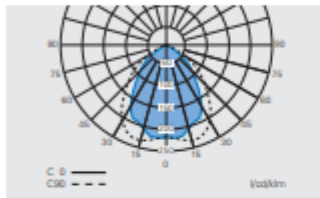
|                                             |                            |
|---------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Configuration</b>                        |                            |
| PEL Transfer, Version 2.6.13629             |                            |
| <b>Recording status</b>                     |                            |
| Session name                                | portagem Basto12           |
| Report start                                | 03/01/2022 16:27:00        |
| Report end                                  | 10/01/2022 16:26:00        |
| Report duration                             | 6 days, 23:59:00 (h:min:s) |
| Recording start                             | 03/01/2022 16:26:55        |
| Recording end                               | 10/01/2022 16:26:51        |
| Recording duration                          | 6 days, 23:59:56 (h:min:s) |
| 1 s trend                                   | Yes                        |
| 1 s harmonics                               | Yes                        |
| <b>Instrument ID</b>                        |                            |
| PEL model                                   | PEL103                     |
| PEL serial number                           | 171867RKH                  |
| PEL name                                    | PEL103-171867RKH           |
| PEL location                                | Office                     |
| Firmware DSP version                        | 1.25                       |
| Firmware microprocessor version             | 1.19                       |
| Hardware version                            | A.D                        |
| <b>Measurement configuration and status</b> |                            |
| Aggregation period                          | 1 min                      |
| Electrical hook-up                          | 3-phase 4-wire Y           |
| Nominal frequency                           | 50 Hz                      |
| Primary nominal voltage                     | 1000 V phase-to-neutral    |
| Secondary nominal voltage                   | 1000 V phase-to-neutral    |
| Current sensor I1                           | MA193/MA194/A193/A196      |
| Current sensor I2                           | MA193/MA194/A193/A196      |
| Current sensor I3                           | MA193/MA194/A193/A196      |
| Line flexible sensor range                  | 400 A                      |
| Line flexible sensor wraps                  | 1                          |

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| <b>Session Totals</b>  |              |
|                        |              |
| <b>Name</b>            | <b>Value</b> |
| Ep+ Total (Wh)         | 21,05 kWh    |
| Ep- Total (Wh)         | 459,2 kWh    |
| Ep Total (Wh)          | -438,116 kWh |
| Eq/q1 Total (varh)     | 93,99 kvarh  |
| Eq/q2 Total (varh)     | 782,4 kvarh  |
| Eq/q3 Total (varh)     | -0,176 kvarh |
| Eq/q4 Total (varh)     | -0,003 kvarh |
| Eq Total (varh)        | 876,5 kvarh  |
| Es+ Total (VAh)        | 391,3 kVAh   |
| Es- Total (VAh)        | 2,79 MVAh    |
| Es Total (VAh)         | 3,181 MVAh   |
|                        |              |
| MAX 1 min Summary I1   | 35,51 A      |
| MAX 1 min Summary I2   | 40,2 A       |
| MAX 1 min Summary I3   | 54,09 A      |
| MAX 1 min Summary IN   | 78,71 A      |
| MAX 1 min Summary PFT+ | 0,286        |
| MAX 1 min Summary PFT- | 0,594        |
| MAX 1 min Summary PT   | 4,484 kW     |
| MAX 1 min Summary QT   | 8,331 kvar   |
| MAX 1 min Summary ST   | 27,07 kVA    |

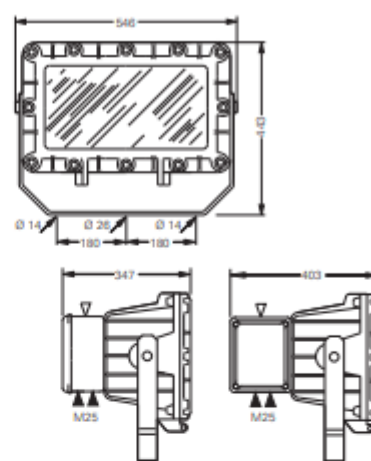
Polar curve with narrow beam reflector



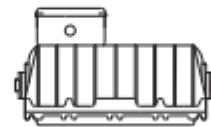
Polar curve with wide beam reflector



PX 04 and FLT 10



without ballast for QT- and HME-SB-lamps



with ballast for all high pressure discharge lamps



## Anexo D. Estudo luminotécnico - Iluminação Pública



PROJETO TEDSEE\_CLinear



## Conteúdo

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Capa .....                     | 1 |
| Observações preliminares ..... | 2 |
| Conteúdo .....                 | 3 |
| Descrição .....                | 4 |
| Lista de luminárias .....      | 5 |

## Fichas de informação de produto

|                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------|---|
| Philips - BGP283 T25 1 xLED190-4S/740 DM12 (1x LED190-4S/740) ..... | 6 |
|---------------------------------------------------------------------|---|

## Acesso praça Portagem · Alternativa 1

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| Descrição .....                          | 7  |
| Resumo (em direcção EN 13201:2015) ..... | 8  |
| Pista acostamento 2 (C3) .....           | 12 |
| Pista de rodagem 2 (M2) .....            | 14 |
| Pista de rodagem 1 (M2) .....            | 25 |
| Pista acostamento 1 (C3) .....           | 36 |

## Acesso praça Portagem · Alternativa 2

|                 |    |
|-----------------|----|
| Descrição ..... | 38 |
|-----------------|----|

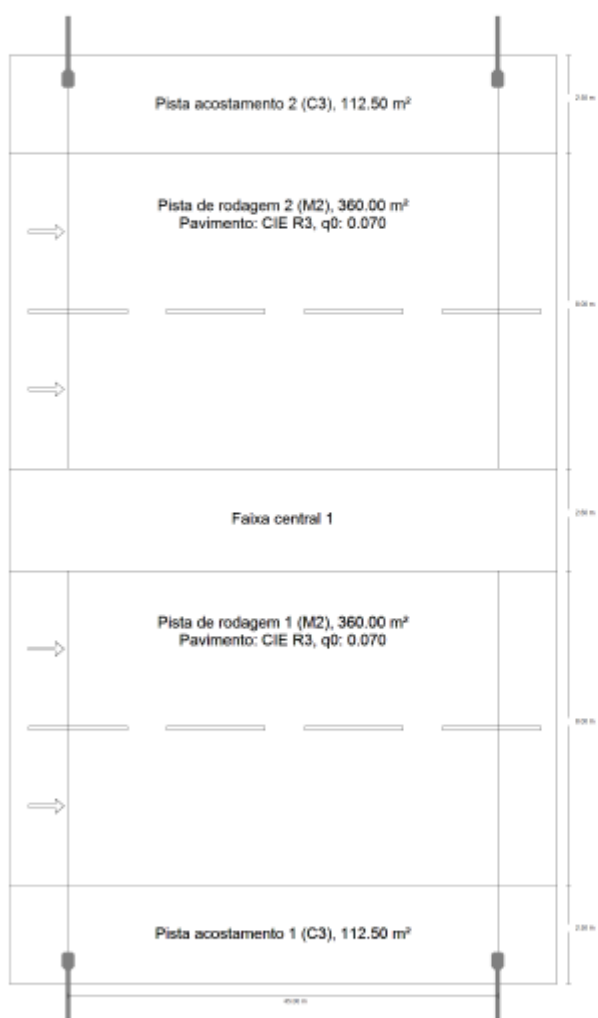
## Acesso praça Portagem · Alternativa 3

|                 |    |
|-----------------|----|
| Descrição ..... | 39 |
|-----------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| Glossário ..... | 40 |
|-----------------|----|

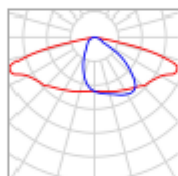
Acesso praça Portagem

Resumo (em direcção EN 13201:2015)



Acesso praça Portagem

## Resumo (em direcção EN 13201:2015)



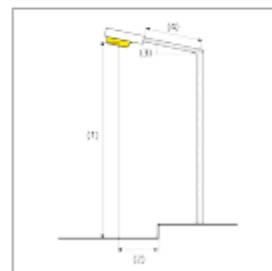
|                |                                        |                           |          |
|----------------|----------------------------------------|---------------------------|----------|
| Fabricante     | Phillips                               | P                         | 118.0 W  |
| Nome do artigo | BGP283 T25 1<br>xLED190-4S/740<br>DM12 | $\Phi_{\text{lâmpada}}$   | 19000 lm |
|                |                                        | $\Phi_{\text{luminária}}$ | 16409 lm |
| Equipagem      | 1x LED190-4S/740                       | $\eta$                    | 86.36 %  |

Acesso praça Portagem

**Resumo (em direcção EN 13201:2015)**

BGP283 T25 1 xLED190-4S/740 DM12 (bilateral frente a frente)

|                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Distância entre postes                                                                                                                                                                                           | 45.000 m                                                                                      |
| (1) Altura de ponto de luz                                                                                                                                                                                       | 12.000 m                                                                                      |
| (2) Saliência de ponto de luz                                                                                                                                                                                    | -1.950 m                                                                                      |
| (3) Inclinação de braço extensor                                                                                                                                                                                 | 5.0°                                                                                          |
| (4) Comprimento braço extensor                                                                                                                                                                                   | 1.129 m                                                                                       |
| Horas de funcionamento anual                                                                                                                                                                                     | 4000 h: 100.0 %, 118.0 W                                                                      |
| Consumo                                                                                                                                                                                                          | 5192.0 W/km                                                                                   |
| ULR / ULOR                                                                                                                                                                                                       | 0.00 / 0.00                                                                                   |
| Intensidades luminosas máx.<br>Em todas as direcções que, em uma luminária<br>correctamente instalada, formam o ângulo dado com<br>as verticais inferiores.                                                      | $\geq 70^\circ$ : 832 cd/klm<br>$\geq 80^\circ$ : 100 cd/klm<br>$\geq 90^\circ$ : 3.14 cd/klm |
| Classe de potência luminosa<br>Os valores de intensidade luminosa em [cd/klm] para<br>o cálculo da classe de intensidade luminosa referem<br>se ao fluxo luminoso das luminárias de acordo com<br>EN 13201:2015. | G*2                                                                                           |
| Classe de índice de encandeamento                                                                                                                                                                                | D.4                                                                                           |
| MF                                                                                                                                                                                                               | 1.00                                                                                          |



## Acesso praça Portagem

## Resumo (em direcção EN 13201:2015)

## Resultados para os campos de avaliação

Foi calculado com uma valor de manutenção 1.00 para a instalação.

|                          | Tamanho  | Calculado              | Nominal                       | Check |
|--------------------------|----------|------------------------|-------------------------------|-------|
| Pista acostamento 2 (C3) | $E_m$    | 19.14 lx               | $\geq 15.00$ lx               | ✓     |
|                          | $U_o$    | 0.49                   | $\geq 0.40$                   | ✓     |
| Pista de rodagem 2 (M2)  | $L_m$    | 1.50 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50$ cd/m <sup>2</sup> | ✓     |
|                          | $U_o$    | 0.82                   | $\geq 0.40$                   | ✓     |
|                          | $U_l$    | 0.82                   | $\geq 0.70$                   | ✓     |
|                          | TI       | 10 %                   | $\leq 10$ %                   | ✓     |
|                          | $R_{gl}$ | 0.84                   | $\geq 0.35$                   | ✓     |
| Pista de rodagem 1 (M2)  | $L_m$    | 1.50 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50$ cd/m <sup>2</sup> | ✓     |
|                          | $U_o$    | 0.82                   | $\geq 0.40$                   | ✓     |
|                          | $U_l$    | 0.82                   | $\geq 0.70$                   | ✓     |
|                          | TI       | 10 %                   | $\leq 10$ %                   | ✓     |
|                          | $R_{gl}$ | 0.84                   | $\geq 0.35$                   | ✓     |
| Pista acostamento 1 (C3) | $E_m$    | 19.14 lx               | $\geq 15.00$ lx               | ✓     |
|                          | $U_o$    | 0.49                   | $\geq 0.40$                   | ✓     |

## Resultados para indicadores de eficiência energética

|                                                                    | Tamanho | Calculado                 | Consumo      |
|--------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------|--------------|
| Acesso praça Portagem                                              | $D_p$   | 0.011 W/lx*m <sup>2</sup> | -            |
| BGP283 T25 1<br>xLED190-4S/740 DM12<br>(bilateral frente a frente) | $D_e$   | 1.0 kWh/m <sup>2</sup> yr | 944.0 kWh/yr |

Acesso praça Portagem

### Pista acostamento 2 (C3)

Resultados para o campo de avaliação

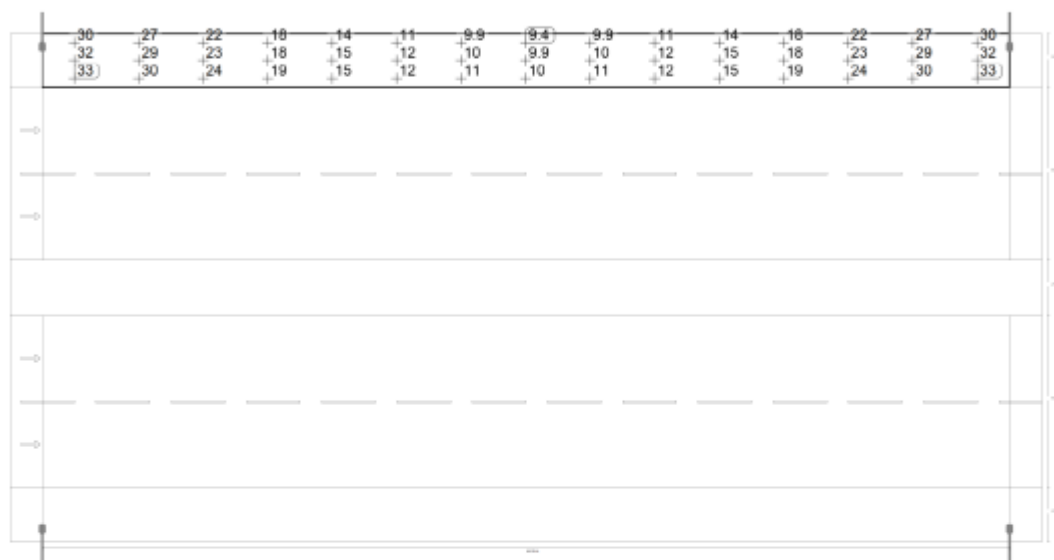
|                          | Tamanho  | Calculado | Nominal         | Check |
|--------------------------|----------|-----------|-----------------|-------|
| Pista acostamento 2 (C3) | $E_{av}$ | 19.14 lx  | $\geq 15.00$ lx | ✓     |
|                          | $U_0$    | 0.49      | $\geq 0.40$     | ✓     |



Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Linhas de Isolux)

## Acesso praça Portagem

### Pista acostamento 2 (C3)



Valor de manutenção de iluminância horizontal [lx] (Grelha de valores)

| m      | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 23.183 | 29.93 | 27.22 | 22.26 | 17.60  | 13.93  | 11.31  | 9.88   | 9.38   | 9.88   | 11.31  | 13.93  | 17.60  | 22.26  | 27.22  | 29.93  |
| 22.350 | 31.74 | 28.81 | 23.49 | 18.46  | 14.65  | 11.88  | 10.43  | 9.89   | 10.43  | 11.88  | 14.65  | 18.46  | 23.49  | 28.81  | 31.74  |
| 21.517 | 32.75 | 29.67 | 24.25 | 19.04  | 15.23  | 12.33  | 10.90  | 10.31  | 10.90  | 12.33  | 15.23  | 19.04  | 24.25  | 29.67  | 32.75  |

Valor de manutenção de iluminância horizontal [lx] (Tabela de valores)

|                                               | $E_m$   | $E_{min}$ | $E_{max}$ | $g_1$ | $g_2$ |
|-----------------------------------------------|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| Valor de manutenção de iluminância horizontal | 19.1 lx | 9.38 lx   | 32.8 lx   | 0.49  | 0.29  |

Acesso praça Portagem

**Pista de rodagem 2 (M2)**

Resultados para o campo de avaliação

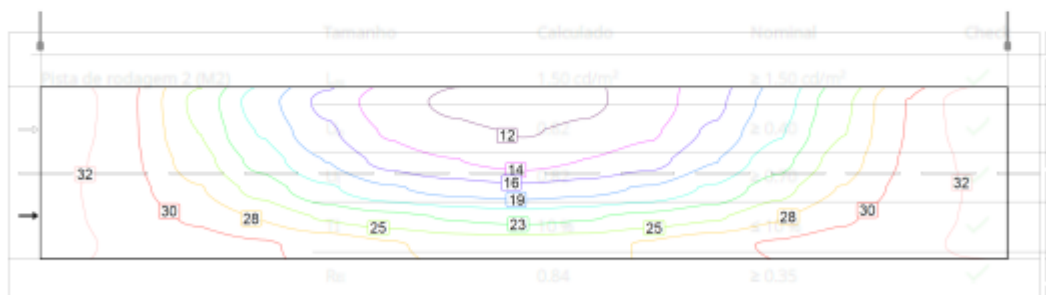
|                         | Tamanho  | Calculado              | Nominal                       | Check |
|-------------------------|----------|------------------------|-------------------------------|-------|
| Pista de rodagem 2 (M2) | $L_m$    | 1.50 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50$ cd/m <sup>2</sup> | ✓     |
|                         | $U_o$    | 0.82                   | $\geq 0.40$                   | ✓     |
|                         | $U_l$    | 0.82                   | $\geq 0.70$                   | ✓     |
|                         | TI       | 10 %                   | $\leq 10$ %                   | ✓     |
|                         | $R_{gl}$ | 0.84                   | $\geq 0.35$                   | ✓     |

Resultados para o observador

|                                                          | Tamanho | Calculado              | Nominal                       | Check |
|----------------------------------------------------------|---------|------------------------|-------------------------------|-------|
| Observador 1<br>Posição:<br>-60.000 m, 15.100 m, 1.500 m | $L_m$   | 1.64 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50$ cd/m <sup>2</sup> | ✓     |
|                                                          | $U_o$   | 0.83                   | $\geq 0.40$                   | ✓     |
|                                                          | $U_l$   | 0.82                   | $\geq 0.70$                   | ✓     |
|                                                          | TI      | 10 %                   | $\leq 10$ %                   | ✓     |
|                                                          |         |                        |                               |       |
| Observador 2<br>Posição:<br>-60.000 m, 19.100 m, 1.500 m | $L_m$   | 1.50 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50$ cd/m <sup>2</sup> | ✓     |
|                                                          | $U_o$   | 0.82                   | $\geq 0.40$                   | ✓     |
|                                                          | $U_l$   | 0.85                   | $\geq 0.70$                   | ✓     |
|                                                          | TI      | 9 %                    | $\leq 10$ %                   | ✓     |
|                                                          |         |                        |                               |       |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)

Resultados para o campo de avaliação

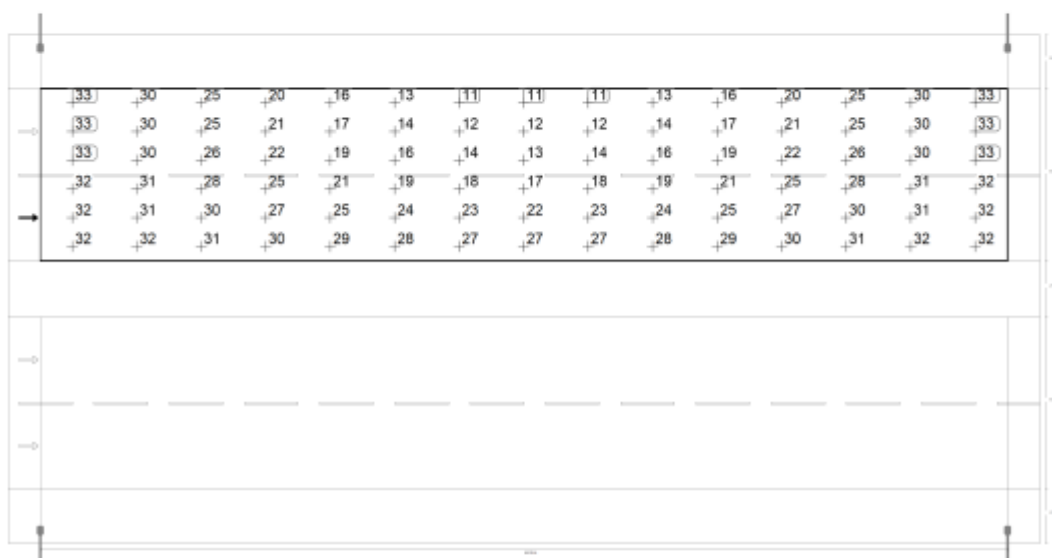


Resultados para o observador

|                                                                       | Tamanho | Calculado  | Nominal      | Check |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|------------|--------------|-------|
| Observador 1                                                          | Lx      | 1.64 cd/m² | ≥ 1.50 cd/m² | ✓     |
| Posição:<br>-60.000 m, 15.100 m, 1.500 m                              | Ua      | 0.83       | ≥ 0.40       | ✓     |
|                                                                       | Ub      | 0.82       | ≥ 0.70       | ✓     |
|                                                                       | Tl      | 10 %       | ≤ 10 %       | ✓     |
| Valor de manutenção de iluminância horizontal [lx] (Linhas de Isolux) |         |            |              |       |
| Observador 2                                                          | Lx      | 1.50 cd/m² | ≥ 1.50 cd/m² | ✓     |
| Posição:<br>-60.000 m, 19.100 m, 1.500 m                              | Ua      | 0.82       | ≥ 0.40       | ✓     |
|                                                                       | Ub      | 0.85       | ≥ 0.70       | ✓     |
|                                                                       | Tl      | 9 %        | ≤ 10 %       | ✓     |

## Acesso praça Portagem

## Pista de rodagem 2 (M2)



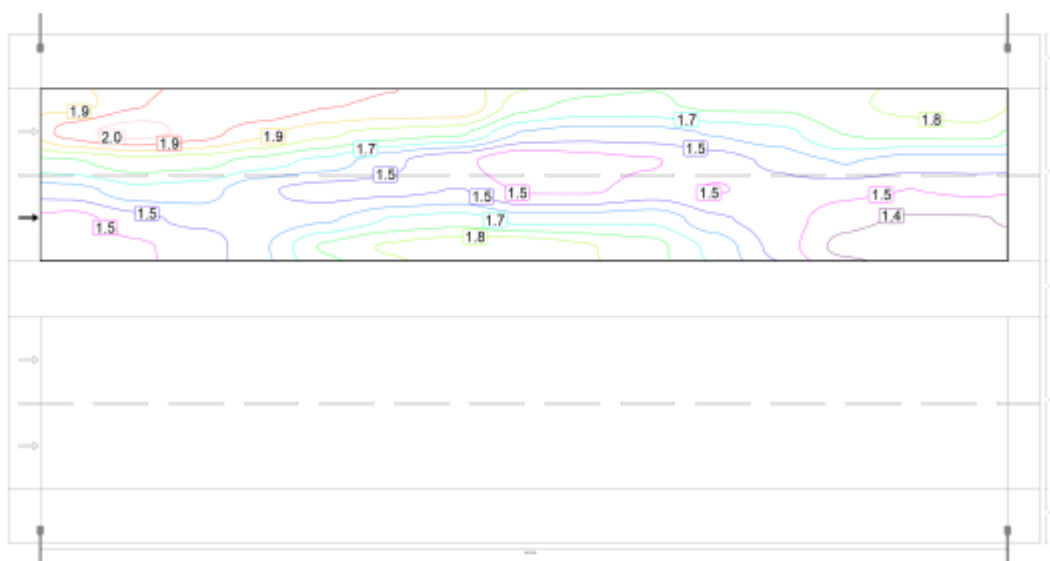
Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Grelha de valores)

| m      | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.433 | 33.35 | 30.03 | 24.90 | 19.73  | 15.85  | 12.90  | 11.45  | 10.77  | 11.45  | 12.90  | 15.85  | 19.73  | 24.90  | 30.03  | 33.35  |
| 19.100 | 33.09 | 30.07 | 25.39 | 20.68  | 16.86  | 13.80  | 12.41  | 11.75  | 12.41  | 13.80  | 16.86  | 20.68  | 25.39  | 30.07  | 33.09  |
| 17.767 | 32.59 | 30.22 | 26.47 | 22.27  | 18.56  | 15.50  | 14.16  | 13.20  | 14.16  | 15.50  | 18.56  | 22.27  | 26.47  | 30.22  | 32.59  |
| 16.433 | 32.33 | 30.59 | 27.86 | 24.53  | 21.34  | 18.96  | 17.73  | 17.10  | 17.73  | 18.96  | 21.34  | 24.53  | 27.86  | 30.59  | 32.33  |
| 15.100 | 32.36 | 31.18 | 29.55 | 27.44  | 25.10  | 23.89  | 22.92  | 22.30  | 22.92  | 23.89  | 25.10  | 27.44  | 29.55  | 31.18  | 32.36  |
| 13.767 | 32.50 | 31.69 | 30.98 | 30.21  | 29.25  | 27.98  | 26.89  | 26.78  | 26.89  | 27.98  | 29.25  | 30.21  | 30.98  | 31.69  | 32.50  |

Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Tabela de valores)

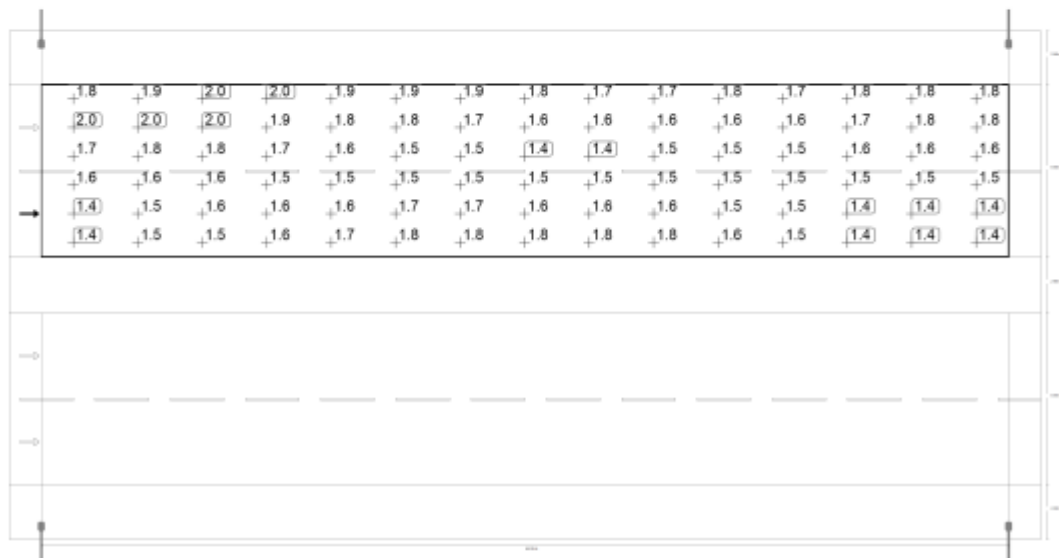
|                                              | $E_m$   | $E_{min}$ | $E_{max}$ | $g_1$ | $g_2$ |
|----------------------------------------------|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| Valor de manutenção de iluminação horizontal | 24.1 lx | 10.8 lx   | 33.3 lx   | 0.45  | 0.32  |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)



Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m²] (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)



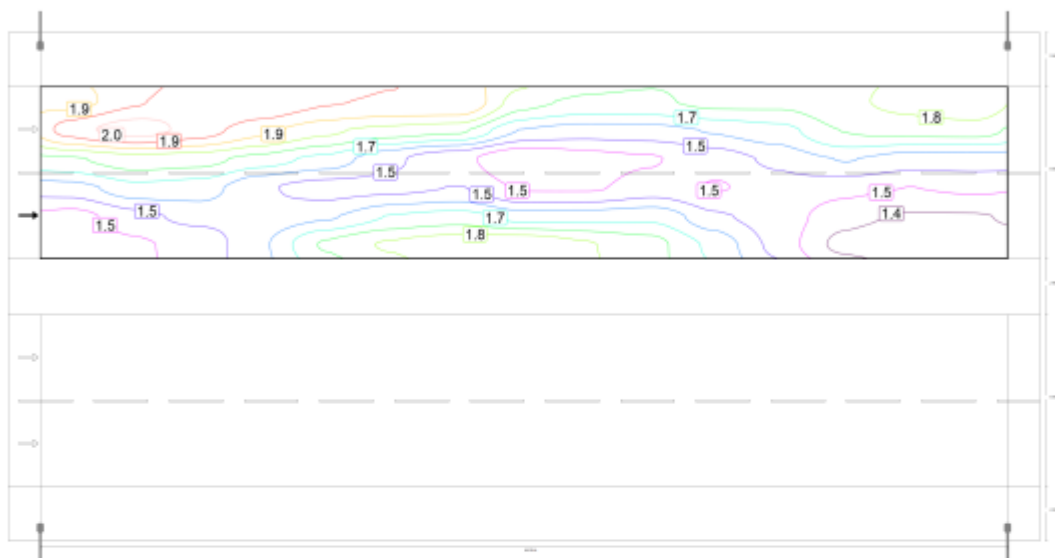
Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m²] (Grade de valores)

| m      | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.433 | 1.83  | 1.92  | 1.98  | 1.98   | 1.94   | 1.92   | 1.93   | 1.76   | 1.72   | 1.72   | 1.75   | 1.75   | 1.78   | 1.81   | 1.84   |
| 19.100 | 1.96  | 2.03  | 1.97  | 1.88   | 1.81   | 1.77   | 1.74   | 1.59   | 1.56   | 1.57   | 1.60   | 1.64   | 1.73   | 1.75   | 1.76   |
| 17.767 | 1.72  | 1.76  | 1.75  | 1.70   | 1.64   | 1.54   | 1.49   | 1.41   | 1.44   | 1.46   | 1.49   | 1.55   | 1.60   | 1.56   | 1.56   |
| 16.433 | 1.57  | 1.64  | 1.62  | 1.54   | 1.51   | 1.51   | 1.53   | 1.46   | 1.45   | 1.49   | 1.46   | 1.50   | 1.48   | 1.46   | 1.48   |
| 15.100 | 1.44  | 1.50  | 1.55  | 1.55   | 1.59   | 1.67   | 1.69   | 1.63   | 1.64   | 1.65   | 1.54   | 1.50   | 1.42   | 1.39   | 1.39   |
| 13.767 | 1.42  | 1.45  | 1.48  | 1.59   | 1.74   | 1.81   | 1.84   | 1.85   | 1.80   | 1.76   | 1.65   | 1.51   | 1.38   | 1.36   | 1.38   |

Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m²] (Tabela de valores)

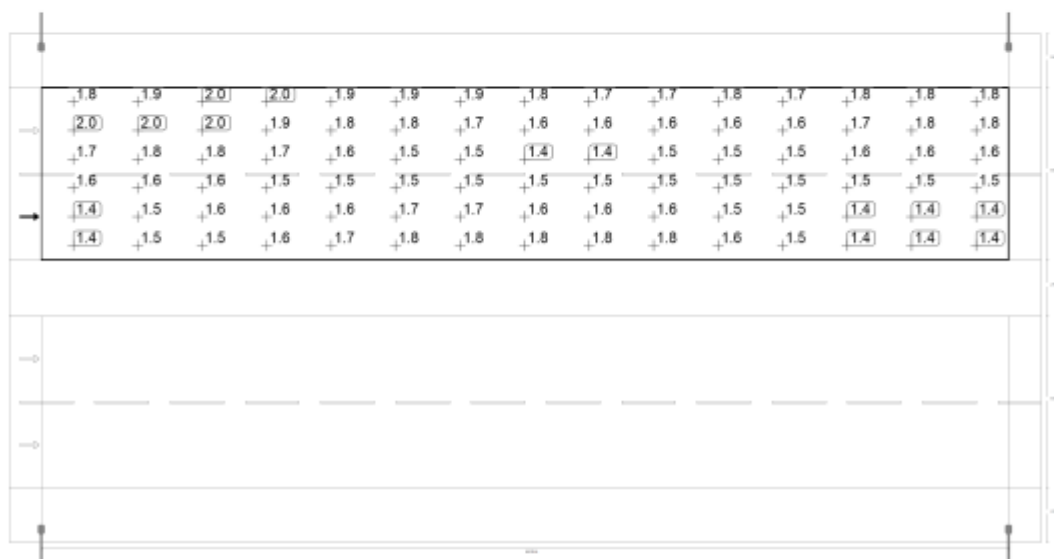
|                                                                         | L <sub>m</sub> | L <sub>min</sub> | L <sub>max</sub> | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca | 1.64 cd/m²     | 1.36 cd/m²       | 2.03 cd/m²       | 0.83           | 0.67           |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)



Observador 1: Luminância com instalação nova [cd/m²] (Linhas de isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)



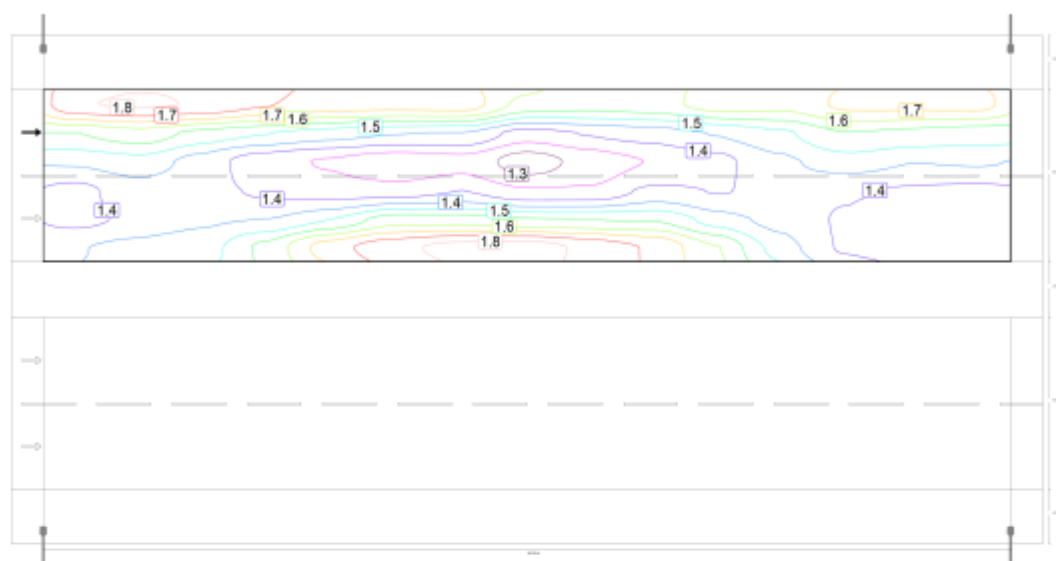
Observador 1: Luminância com instalação nova (cd/m²) (Grade de valores)

| m      | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.433 | 1.83  | 1.92  | 1.98  | 1.98   | 1.94   | 1.92   | 1.93   | 1.76   | 1.72   | 1.72   | 1.75   | 1.75   | 1.78   | 1.81   | 1.84   |
| 19.100 | 1.96  | 2.03  | 1.97  | 1.88   | 1.81   | 1.77   | 1.74   | 1.59   | 1.56   | 1.57   | 1.60   | 1.64   | 1.73   | 1.75   | 1.76   |
| 17.767 | 1.72  | 1.76  | 1.75  | 1.70   | 1.64   | 1.54   | 1.49   | 1.41   | 1.44   | 1.46   | 1.49   | 1.55   | 1.60   | 1.56   | 1.56   |
| 16.433 | 1.57  | 1.64  | 1.62  | 1.54   | 1.51   | 1.51   | 1.53   | 1.46   | 1.45   | 1.49   | 1.46   | 1.50   | 1.48   | 1.46   | 1.48   |
| 15.100 | 1.44  | 1.50  | 1.55  | 1.55   | 1.59   | 1.67   | 1.69   | 1.63   | 1.64   | 1.65   | 1.54   | 1.50   | 1.42   | 1.39   | 1.39   |
| 13.767 | 1.42  | 1.45  | 1.48  | 1.59   | 1.74   | 1.81   | 1.84   | 1.85   | 1.80   | 1.76   | 1.65   | 1.51   | 1.38   | 1.36   | 1.38   |

Observador 1: Luminância com instalação nova (cd/m²) (Tabela de valores)

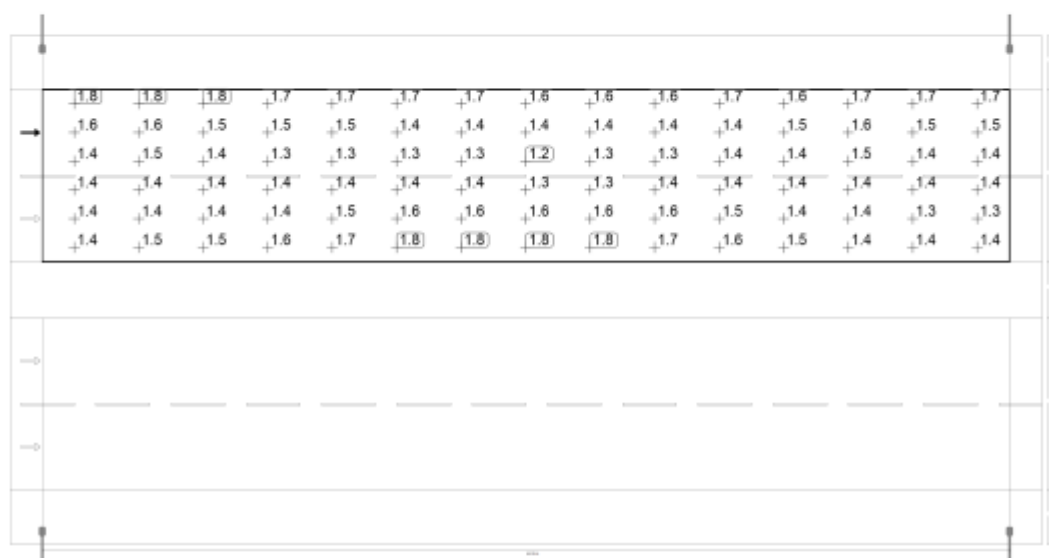
|                                              | L <sub>m</sub> | L <sub>min</sub> | L <sub>max</sub> | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> |
|----------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Observador 1: Luminância com instalação nova | 1.64 cd/m²     | 1.36 cd/m²       | 2.03 cd/m²       | 0.83           | 0.67           |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)



Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca ( $\text{cd/m}^2$ ) (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)



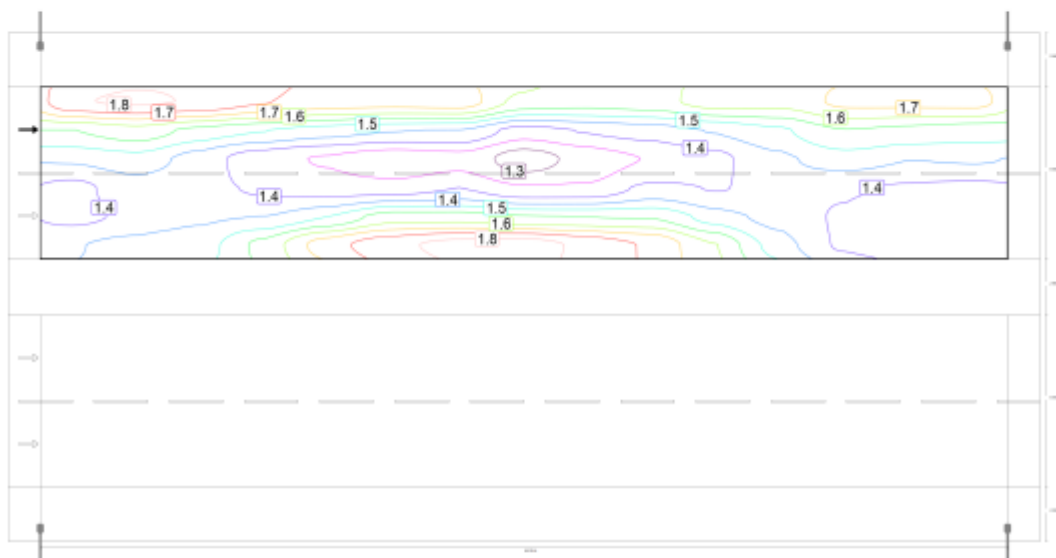
Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m²] (Grelha de valores)

| m      | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.433 | 1.79  | 1.81  | 1.80  | 1.75   | 1.71   | 1.71   | 1.71   | 1.60   | 1.58   | 1.60   | 1.65   | 1.64   | 1.70   | 1.70   | 1.70   |
| 19.100 | 1.56  | 1.59  | 1.54  | 1.50   | 1.47   | 1.44   | 1.44   | 1.35   | 1.38   | 1.41   | 1.44   | 1.49   | 1.56   | 1.54   | 1.52   |
| 17.767 | 1.45  | 1.47  | 1.41  | 1.35   | 1.31   | 1.28   | 1.30   | 1.23   | 1.28   | 1.32   | 1.36   | 1.43   | 1.47   | 1.44   | 1.45   |
| 16.433 | 1.37  | 1.41  | 1.40  | 1.37   | 1.35   | 1.35   | 1.38   | 1.33   | 1.33   | 1.40   | 1.38   | 1.41   | 1.39   | 1.37   | 1.37   |
| 15.100 | 1.36  | 1.40  | 1.43  | 1.44   | 1.50   | 1.60   | 1.60   | 1.57   | 1.56   | 1.56   | 1.47   | 1.42   | 1.37   | 1.35   | 1.35   |
| 13.767 | 1.44  | 1.46  | 1.48  | 1.58   | 1.71   | 1.78   | 1.82   | 1.83   | 1.79   | 1.74   | 1.62   | 1.47   | 1.37   | 1.36   | 1.37   |

Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m²] (Tabela de valores)

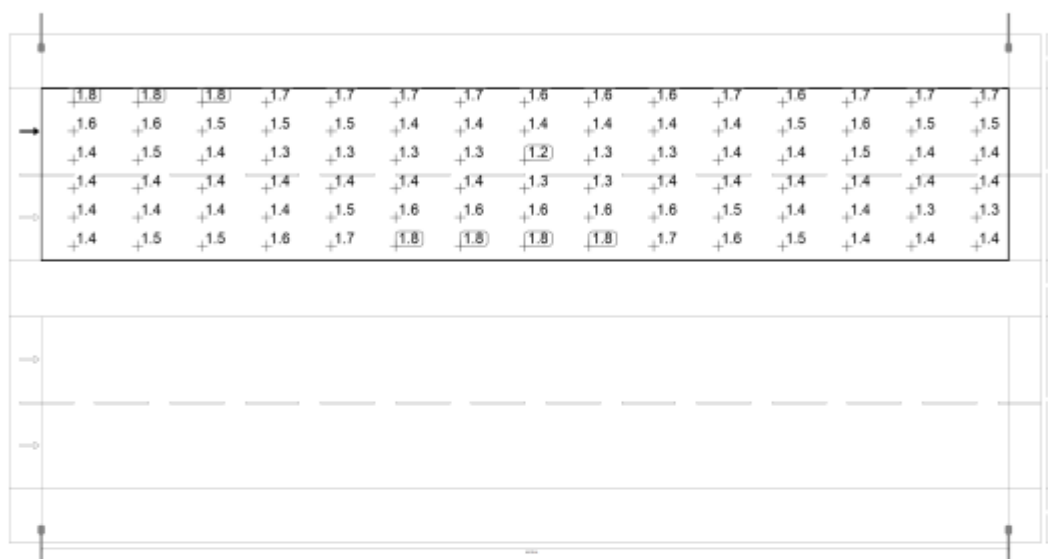
|                                                                         | $L_m$      | $L_{min}$  | $L_{max}$  | $g_1$ | $g_2$ |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|-------|
| Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca | 1.50 cd/m² | 1.23 cd/m² | 1.83 cd/m² | 0.82  | 0.67  |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 2 (M2)



Observador 2: Luminância com instalação nova [cd/m²] (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem

**Pista de rodagem 2 (M2)**

Observador 2: Luminância com instalação nova [cd/m²] (Grade de valores)

| m      | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 20.433 | 1.79  | 1.81  | 1.80  | 1.75   | 1.71   | 1.71   | 1.71   | 1.60   | 1.58   | 1.60   | 1.65   | 1.64   | 1.70   | 1.70   | 1.70   |
| 19.100 | 1.56  | 1.59  | 1.54  | 1.50   | 1.47   | 1.44   | 1.44   | 1.35   | 1.38   | 1.41   | 1.44   | 1.49   | 1.56   | 1.54   | 1.52   |
| 17.767 | 1.45  | 1.47  | 1.41  | 1.35   | 1.31   | 1.28   | 1.30   | 1.23   | 1.28   | 1.32   | 1.36   | 1.43   | 1.47   | 1.44   | 1.45   |
| 16.433 | 1.37  | 1.41  | 1.40  | 1.37   | 1.35   | 1.35   | 1.38   | 1.33   | 1.33   | 1.40   | 1.38   | 1.41   | 1.39   | 1.37   | 1.37   |
| 15.100 | 1.36  | 1.40  | 1.43  | 1.44   | 1.50   | 1.60   | 1.60   | 1.57   | 1.56   | 1.56   | 1.47   | 1.42   | 1.37   | 1.35   | 1.35   |
| 13.767 | 1.44  | 1.46  | 1.48  | 1.58   | 1.71   | 1.78   | 1.82   | 1.83   | 1.79   | 1.74   | 1.62   | 1.47   | 1.37   | 1.36   | 1.37   |

Observador 2: Luminância com instalação nova [cd/m²] (Tabela de valores)

|                                              | $L_m$      | $L_{min}$  | $L_{max}$  | $g_1$ | $g_2$ |
|----------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|-------|
| Observador 2: Luminância com instalação nova | 1.50 cd/m² | 1.23 cd/m² | 1.83 cd/m² | 0.82  | 0.67  |

Acesso praça Portagem

**Pista de rodagem 1 (M2)**

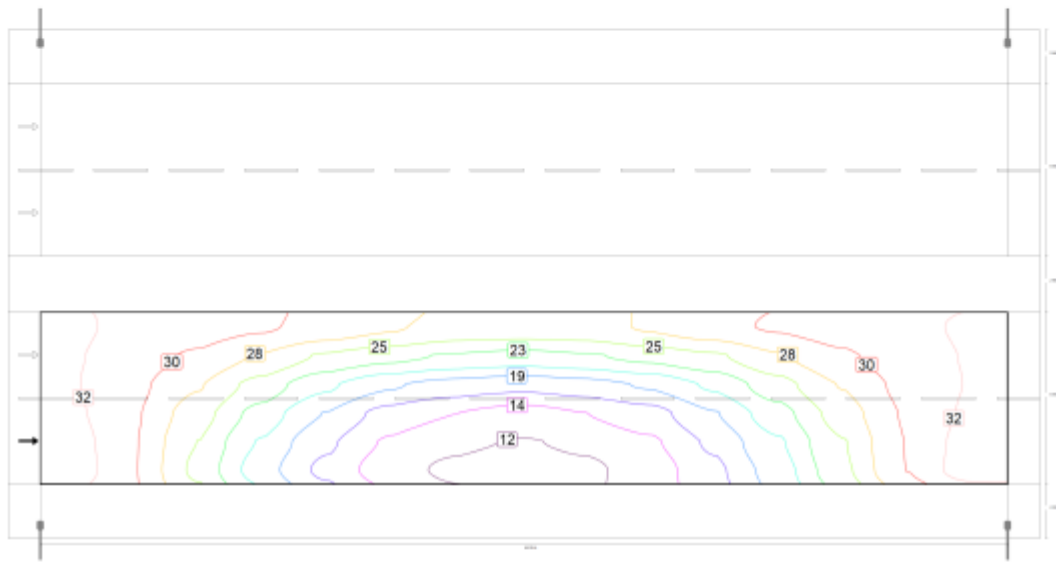
Resultados para o campo de avaliação

|                         | Tamanho  | Calculado              | Nominal                    | Check |
|-------------------------|----------|------------------------|----------------------------|-------|
| Pista de rodagem 1 (M2) | $L_m$    | 1.50 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50 \text{ cd/m}^2$ | ✓     |
|                         | $U_o$    | 0.82                   | $\geq 0.40$                | ✓     |
|                         | $U_l$    | 0.82                   | $\geq 0.70$                | ✓     |
|                         | TI       | 10 %                   | $\leq 10 \%$               | ✓     |
|                         | $R_{gl}$ | 0.84                   | $\geq 0.35$                | ✓     |

Resultados para o observador

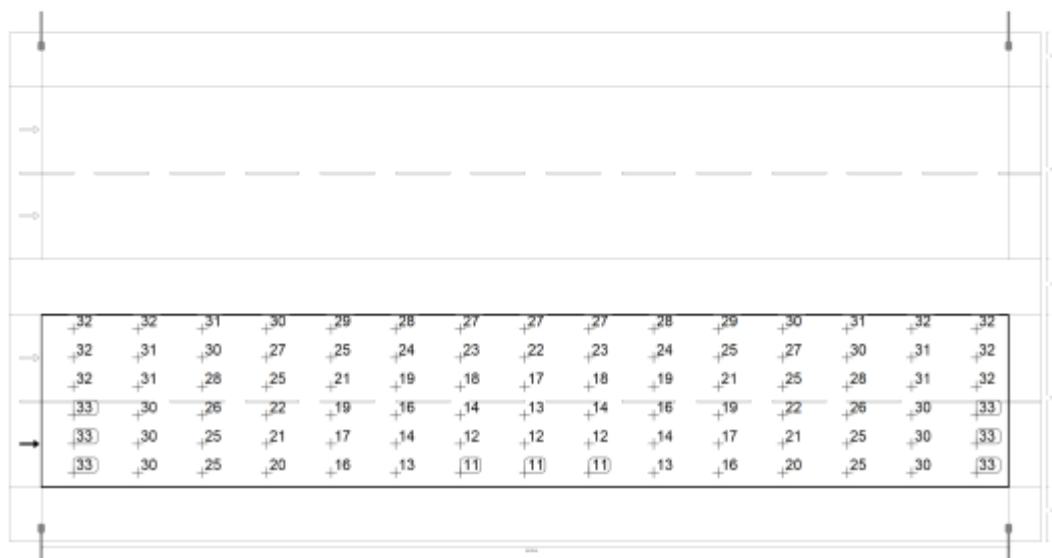
|                                                         | Tamanho | Calculado              | Nominal                    | Check |
|---------------------------------------------------------|---------|------------------------|----------------------------|-------|
| Observador 1<br>Posição:<br>-60.000 m, 4.500 m, 1.500 m | $L_m$   | 1.50 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50 \text{ cd/m}^2$ | ✓     |
|                                                         | $U_o$   | 0.82                   | $\geq 0.40$                | ✓     |
|                                                         | $U_l$   | 0.85                   | $\geq 0.70$                | ✓     |
|                                                         | TI      | 9 %                    | $\leq 10 \%$               | ✓     |
| Observador 2<br>Posição:<br>-60.000 m, 8.500 m, 1.500 m | $L_m$   | 1.64 cd/m <sup>2</sup> | $\geq 1.50 \text{ cd/m}^2$ | ✓     |
|                                                         | $U_o$   | 0.83                   | $\geq 0.40$                | ✓     |
|                                                         | $U_l$   | 0.82                   | $\geq 0.70$                | ✓     |
|                                                         | TI      | 10 %                   | $\leq 10 \%$               | ✓     |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



Valor de manutenção de iluminância horizontal [lx] (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



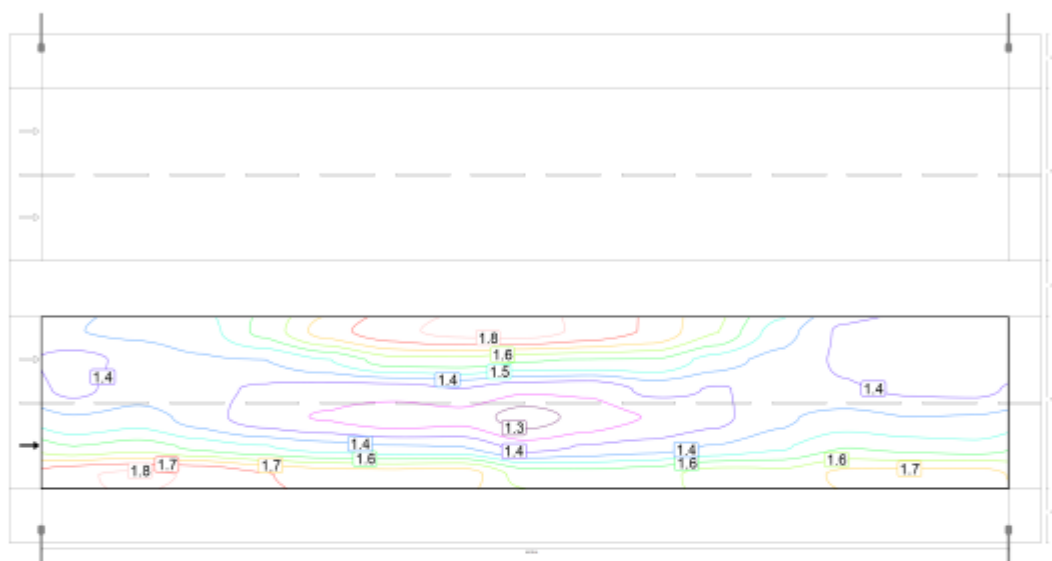
Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Grelha de valores)

| m     | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9.833 | 32.50 | 31.69 | 30.98 | 30.21  | 29.25  | 27.98  | 26.89  | 26.78  | 26.89  | 27.98  | 29.25  | 30.21  | 30.98  | 31.69  | 32.50  |
| 8.500 | 32.36 | 31.18 | 29.55 | 27.44  | 25.10  | 23.89  | 22.92  | 22.30  | 22.92  | 23.89  | 25.10  | 27.44  | 29.55  | 31.18  | 32.36  |
| 7.167 | 32.33 | 30.59 | 27.86 | 24.53  | 21.34  | 18.96  | 17.73  | 17.10  | 17.73  | 18.96  | 21.34  | 24.53  | 27.86  | 30.59  | 32.33  |
| 5.833 | 32.59 | 30.22 | 26.47 | 22.27  | 18.56  | 15.50  | 14.16  | 13.20  | 14.16  | 15.50  | 18.56  | 22.27  | 26.47  | 30.22  | 32.59  |
| 4.500 | 33.09 | 30.07 | 25.39 | 20.68  | 16.86  | 13.80  | 12.41  | 11.75  | 12.41  | 13.80  | 16.86  | 20.68  | 25.39  | 30.07  | 33.09  |
| 3.167 | 33.35 | 30.03 | 24.90 | 19.73  | 15.85  | 12.90  | 11.45  | 10.77  | 11.45  | 12.90  | 15.85  | 19.73  | 24.90  | 30.03  | 33.35  |

Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Tabela de valores)

|                                              | $E_m$   | $E_{min}$ | $E_{max}$ | $g_1$ | $g_2$ |
|----------------------------------------------|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| Valor de manutenção de iluminação horizontal | 24.1 lx | 10.8 lx   | 33.3 lx   | 0.45  | 0.32  |

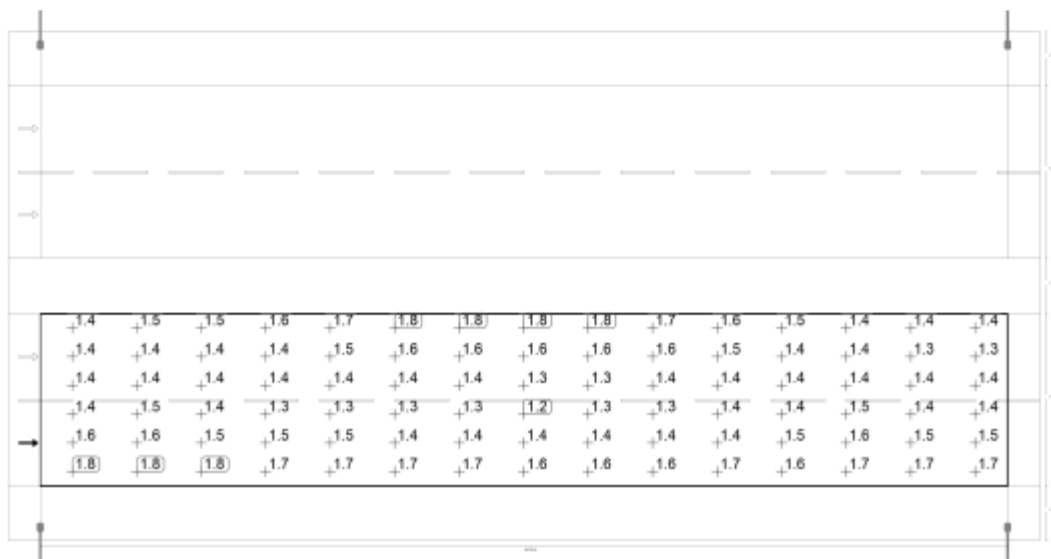
Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m²] (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem

## Pista de rodagem 1 (M2)

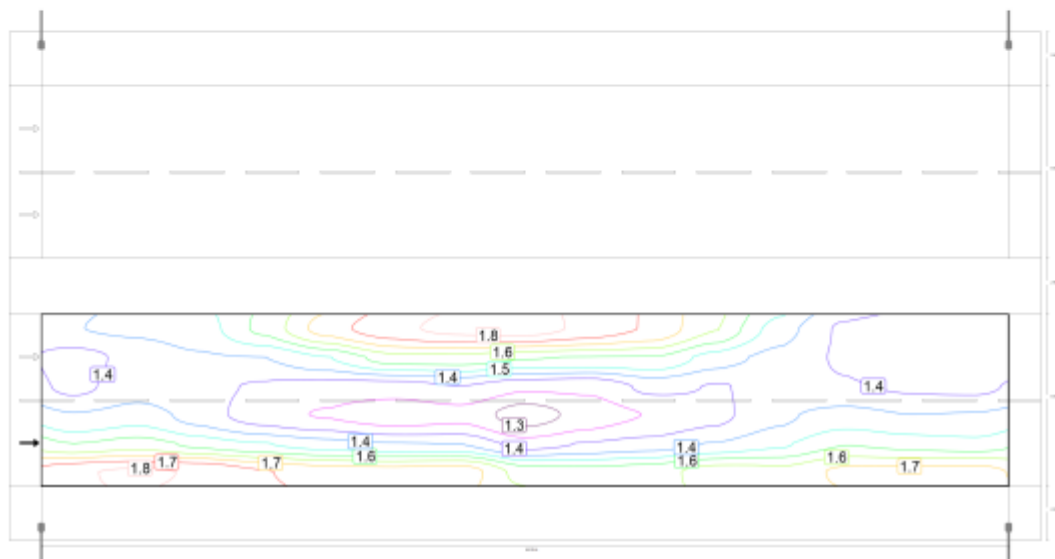
Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Grade de valores)

| m     | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9.833 | 1.44  | 1.46  | 1.48  | 1.58   | 1.71   | 1.78   | 1.82   | 1.83   | 1.79   | 1.74   | 1.62   | 1.47   | 1.37   | 1.36   | 1.37   |
| 8.500 | 1.36  | 1.40  | 1.43  | 1.44   | 1.50   | 1.60   | 1.60   | 1.57   | 1.56   | 1.56   | 1.47   | 1.42   | 1.37   | 1.35   | 1.35   |
| 7.167 | 1.37  | 1.41  | 1.40  | 1.37   | 1.35   | 1.35   | 1.38   | 1.33   | 1.33   | 1.40   | 1.38   | 1.41   | 1.39   | 1.37   | 1.37   |
| 5.833 | 1.45  | 1.47  | 1.41  | 1.35   | 1.31   | 1.28   | 1.30   | 1.23   | 1.28   | 1.32   | 1.36   | 1.43   | 1.47   | 1.44   | 1.45   |
| 4.500 | 1.56  | 1.59  | 1.54  | 1.50   | 1.47   | 1.44   | 1.44   | 1.35   | 1.38   | 1.41   | 1.44   | 1.49   | 1.56   | 1.54   | 1.52   |
| 3.167 | 1.79  | 1.81  | 1.80  | 1.75   | 1.71   | 1.71   | 1.71   | 1.60   | 1.58   | 1.60   | 1.65   | 1.64   | 1.70   | 1.70   | 1.70   |

Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Tabela de valores)

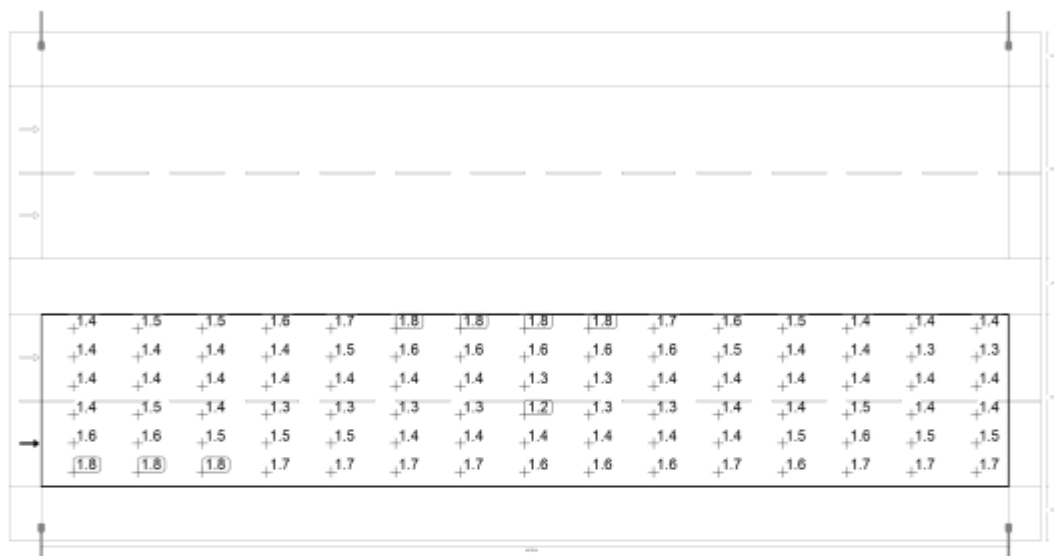
|                                                                         | L <sub>m</sub>         | L <sub>min</sub>       | L <sub>max</sub>       | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|----------------|
| Observador 1: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca | 1.50 cd/m <sup>2</sup> | 1.23 cd/m <sup>2</sup> | 1.83 cd/m <sup>2</sup> | 0.82           | 0.67           |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



Observador 1: Luminância com instalação nova ( $\text{cd/m}^2$ ) (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



Observador 1: Luminância com instalação nova (cd/m²) (Grade de valores)

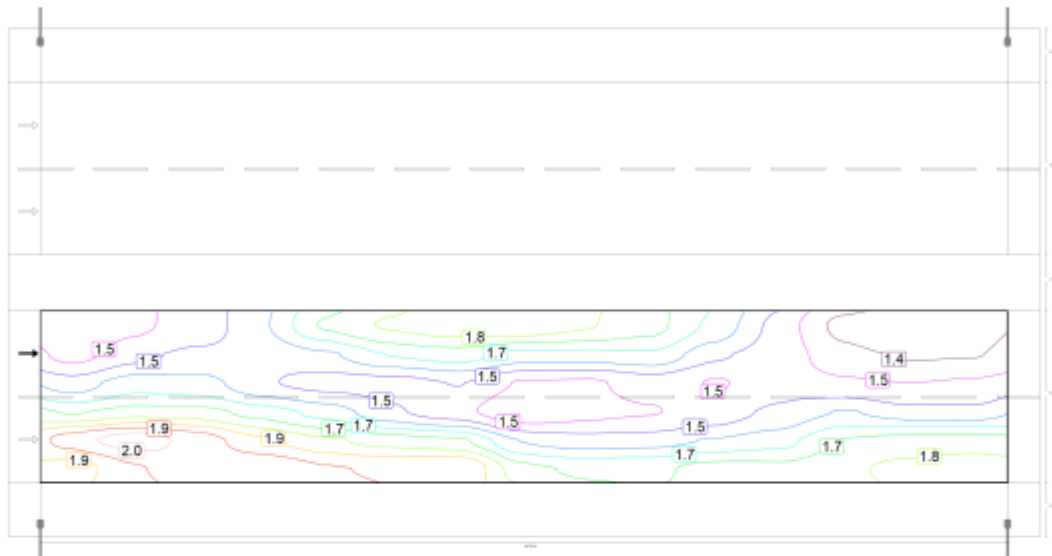
| m     | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9.833 | 1.44  | 1.46  | 1.48  | 1.58   | 1.71   | 1.78   | 1.82   | 1.83   | 1.79   | 1.74   | 1.62   | 1.47   | 1.37   | 1.36   | 1.37   |
| 8.500 | 1.36  | 1.40  | 1.43  | 1.44   | 1.50   | 1.60   | 1.60   | 1.57   | 1.56   | 1.56   | 1.47   | 1.42   | 1.37   | 1.35   | 1.35   |
| 7.167 | 1.37  | 1.41  | 1.40  | 1.37   | 1.35   | 1.35   | 1.38   | 1.33   | 1.33   | 1.40   | 1.38   | 1.41   | 1.39   | 1.37   | 1.37   |
| 5.833 | 1.45  | 1.47  | 1.41  | 1.35   | 1.31   | 1.28   | 1.30   | 1.23   | 1.28   | 1.32   | 1.36   | 1.43   | 1.47   | 1.44   | 1.45   |
| 4.500 | 1.56  | 1.59  | 1.54  | 1.50   | 1.47   | 1.44   | 1.44   | 1.35   | 1.38   | 1.41   | 1.44   | 1.49   | 1.56   | 1.54   | 1.52   |
| 3.167 | 1.79  | 1.81  | 1.80  | 1.75   | 1.71   | 1.71   | 1.71   | 1.60   | 1.58   | 1.60   | 1.65   | 1.64   | 1.70   | 1.70   | 1.70   |

Observador 1: Luminância com instalação nova (cd/m²) (Tabela de valores)

|                                              | L <sub>m</sub> | L <sub>min</sub> | L <sub>max</sub> | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> |
|----------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|
| Observador 1: Luminância com instalação nova | 1.50 cd/m²     | 1.23 cd/m²       | 1.83 cd/m²       | 0.82           | 0.67           |

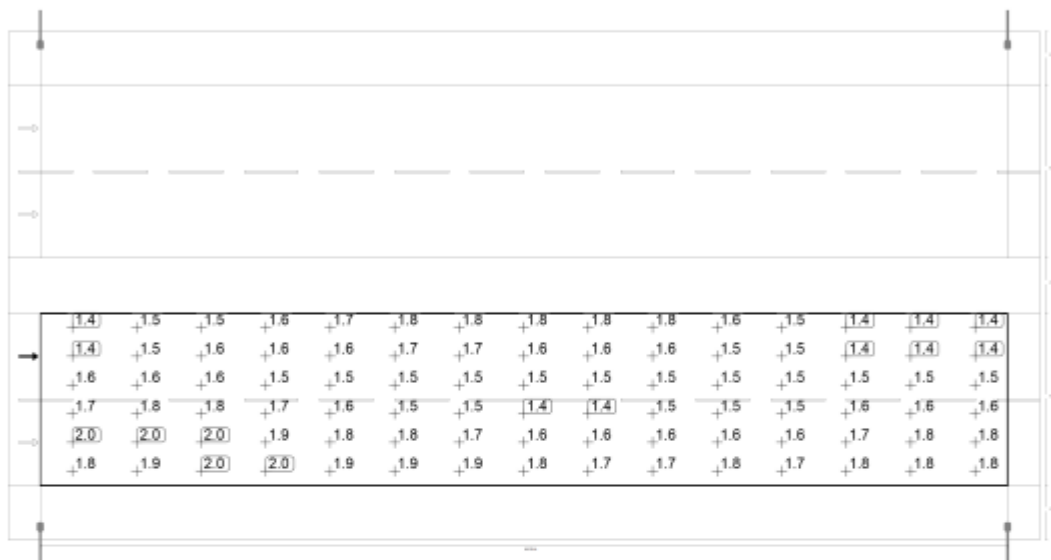
Acesso praça Portagem

**Pista de rodagem 1 (M2)**



Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca ( $\text{cd/m}^2$ ) (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



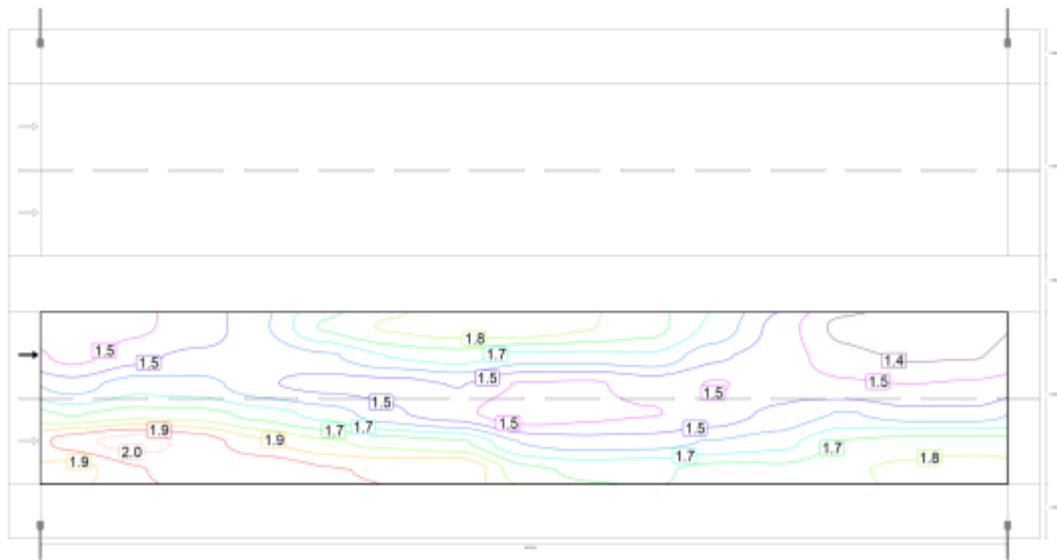
Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Grelha de valores)

| m     | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9.833 | 1.42  | 1.45  | 1.48  | 1.59   | 1.74   | 1.81   | 1.84   | 1.85   | 1.80   | 1.76   | 1.65   | 1.51   | 1.38   | 1.36   | 1.38   |
| 8.500 | 1.44  | 1.50  | 1.55  | 1.55   | 1.59   | 1.67   | 1.69   | 1.63   | 1.64   | 1.65   | 1.54   | 1.50   | 1.42   | 1.39   | 1.39   |
| 7.167 | 1.57  | 1.64  | 1.62  | 1.54   | 1.51   | 1.51   | 1.53   | 1.46   | 1.45   | 1.49   | 1.46   | 1.50   | 1.48   | 1.46   | 1.48   |
| 5.833 | 1.72  | 1.76  | 1.75  | 1.70   | 1.64   | 1.54   | 1.49   | 1.41   | 1.44   | 1.46   | 1.49   | 1.55   | 1.60   | 1.56   | 1.56   |
| 4.500 | 1.96  | 2.03  | 1.97  | 1.88   | 1.81   | 1.77   | 1.74   | 1.59   | 1.56   | 1.57   | 1.60   | 1.64   | 1.73   | 1.75   | 1.76   |
| 3.167 | 1.83  | 1.92  | 1.98  | 1.98   | 1.94   | 1.92   | 1.93   | 1.76   | 1.72   | 1.72   | 1.75   | 1.75   | 1.78   | 1.81   | 1.84   |

Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca [cd/m<sup>2</sup>] (Tabela de valores)

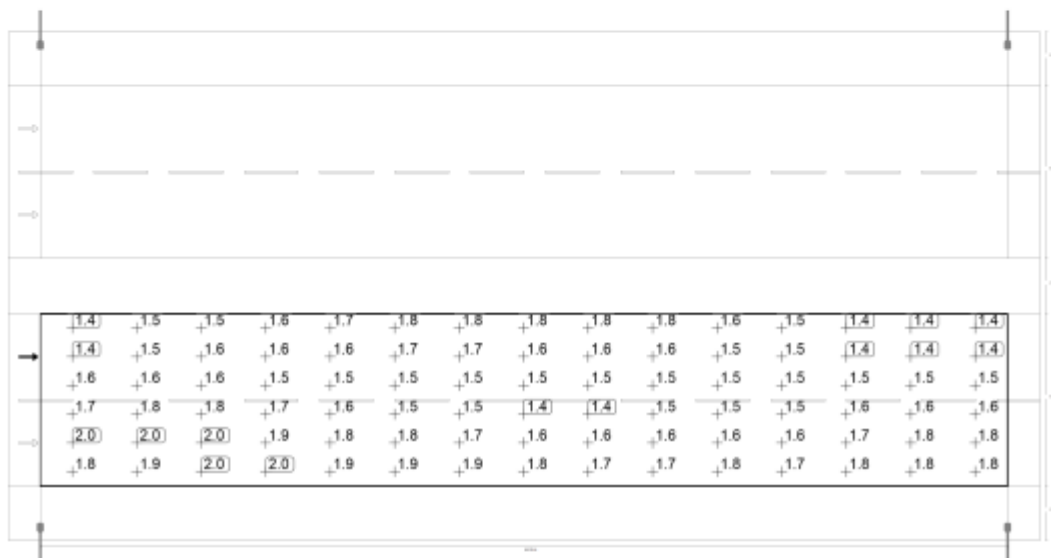
|                                                                         | L <sub>m</sub>         | L <sub>min</sub>       | L <sub>max</sub>       | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|----------------|
| Observador 2: Valor de manutenção de luminância com via de rodagem seca | 1.64 cd/m <sup>2</sup> | 1.36 cd/m <sup>2</sup> | 2.03 cd/m <sup>2</sup> | 0.83           | 0.67           |

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



Observador 2: Luminância com instalação nova [cd/m²] (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista de rodagem 1 (M2)



Observador 2: Luminância com instalação nova [cd/m²] (Grelha de valores)

| m     | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9.833 | 1.42  | 1.45  | 1.48  | 1.59   | 1.74   | 1.81   | 1.84   | 1.85   | 1.80   | 1.76   | 1.65   | 1.51   | 1.38   | 1.36   | 1.38   |
| 8.500 | 1.44  | 1.50  | 1.55  | 1.55   | 1.59   | 1.67   | 1.69   | 1.63   | 1.64   | 1.65   | 1.54   | 1.50   | 1.42   | 1.39   | 1.39   |
| 7.167 | 1.57  | 1.64  | 1.62  | 1.54   | 1.51   | 1.51   | 1.53   | 1.46   | 1.45   | 1.49   | 1.46   | 1.50   | 1.48   | 1.46   | 1.48   |
| 5.833 | 1.72  | 1.76  | 1.75  | 1.70   | 1.64   | 1.54   | 1.49   | 1.41   | 1.44   | 1.46   | 1.49   | 1.55   | 1.60   | 1.56   | 1.56   |
| 4.500 | 1.96  | 2.03  | 1.97  | 1.88   | 1.81   | 1.77   | 1.74   | 1.59   | 1.56   | 1.57   | 1.60   | 1.64   | 1.73   | 1.75   | 1.76   |
| 3.167 | 1.83  | 1.92  | 1.98  | 1.98   | 1.94   | 1.92   | 1.93   | 1.76   | 1.72   | 1.72   | 1.75   | 1.75   | 1.78   | 1.81   | 1.84   |

Observador 2: Luminância com instalação nova [cd/m²] (Tabela de valores)

|                                              | $L_m$      | $L_{min}$  | $L_{max}$  | $g_1$ | $g_2$ |
|----------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|-------|
| Observador 2: Luminância com instalação nova | 1.64 cd/m² | 1.36 cd/m² | 2.03 cd/m² | 0.83  | 0.67  |

Acesso praça Portagem  
**Pista acostamento 1 (C3)**

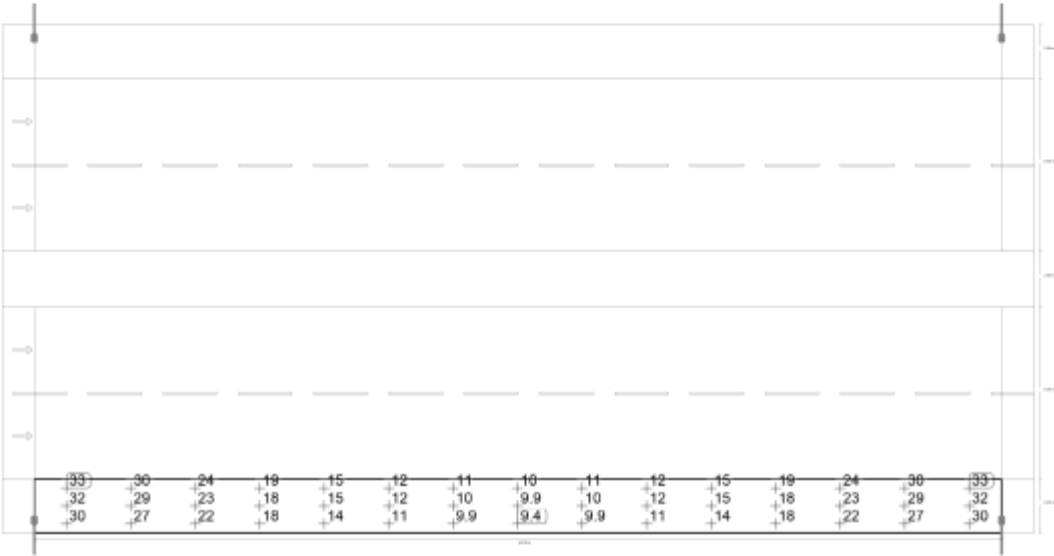
Resultados para o campo de avaliação

|                          | Tamanho        | Calculado | Nominal                 | Check |
|--------------------------|----------------|-----------|-------------------------|-------|
| Pista acostamento 1 (C3) | $E_{\text{m}}$ | 19.14 lx  | $\geq 15.00 \text{ lx}$ | ✓     |
|                          | $U_0$          | 0.49      | $\geq 0.40$             | ✓     |



Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Linhas de Isolux)

Acesso praça Portagem  
Pista acostamento 1 (C3)



Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Grelha de valores)

| m     | 1.500 | 4.500 | 7.500 | 10.500 | 13.500 | 16.500 | 19.500 | 22.500 | 25.500 | 28.500 | 31.500 | 34.500 | 37.500 | 40.500 | 43.500 |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2.083 | 32.75 | 29.67 | 24.25 | 19.04  | 15.23  | 12.33  | 10.90  | 10.31  | 10.90  | 12.33  | 15.23  | 19.04  | 24.25  | 29.67  | 32.75  |
| 1.250 | 31.74 | 28.81 | 23.49 | 18.46  | 14.65  | 11.88  | 10.43  | 9.89   | 10.43  | 11.88  | 14.65  | 18.46  | 23.49  | 28.81  | 31.74  |
| 0.417 | 29.93 | 27.22 | 22.26 | 17.60  | 13.93  | 11.31  | 9.88   | 9.38   | 9.88   | 11.31  | 13.93  | 17.60  | 22.26  | 27.22  | 29.93  |

Valor de manutenção de iluminação horizontal [lx] (Tabela de valores)

|                                              | $E_m$   | $E_{min}$ | $E_{max}$ | $g_1$ | $g_2$ |
|----------------------------------------------|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| Valor de manutenção de iluminação horizontal | 19.1 lx | 9.38 lx   | 32.8 lx   | 0.49  | 0.29  |



## Anexo E. Cash-flow – Implementação Medida Iluminação Pública

| Atual              |        |                  |                       |                          |       |
|--------------------|--------|------------------|-----------------------|--------------------------|-------|
| Qtd.<br>Luminárias | P. (w) | P. Total<br>(KW) | P. Total<br>Ano (KWh) | Custo energia<br>Ano (€) | tCO2  |
| 4                  | 150,00 | 0,60             | 1 708,20              | 294,66                   | 0,51  |
| 29                 | 250,00 | 7,25             | 20 640,75             | 3 560,53                 | 6,18  |
| 12                 | 400,00 | 4,80             | 13 665,60             | 2 357,32                 | 4,09  |
| -                  | 250,00 | -                | -                     | -                        | -     |
| 45                 |        | 12,65            | 36 014,55             | 6 212,51                 | 10,78 |

| Proposta           |        |                  |                       |                          |      |
|--------------------|--------|------------------|-----------------------|--------------------------|------|
| Qtd.<br>Luminárias | P. (w) | P. Total<br>(kW) | P. Total<br>Ano (KWh) | Custo energia<br>Ano (€) | tCO2 |
| 4                  | 82,00  | 0,33             | 933,82                | 161,08                   | 0,28 |
| 29                 | 118,00 | 3,42             | 9 742,43              | 1 680,57                 | 2,92 |
| 12                 | 146,00 | 1,75             | 4 987,94              | 860,42                   | 1,49 |
| -                  | 92,00  | -                | -                     | -                        | -    |
| 45                 |        | 5,50             | 15 664,19             | 2 702,07                 | 4,69 |

| Cash-flows                                                                                                                                                 |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
|                                                                                                                                                            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |
| Cash-flow vapor de sódio                                                                                                                                   | 0          | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12          |
| Lâmpadas e consumíveis(3)                                                                                                                                  | 1 552,89 € | 1 576,18 € | 1 599,83 € | 1 623,82 € | 1 648,18 € | 1 672,80 € | 1 698,00 € | 1 723,47 € | 1 749,32 € | 1 775,56 € | 1 802,19 € | 1 829,23 € | 1 856,66 €  |
| Custo energia                                                                                                                                              | 0,00 €     | 0,00 €     | 0,00 €     | 1 623,82 € | 0,00 €     | 1 672,90 € | 0,00 €     | 0,00 €     | 1 749,32 € | 0,00 €     | 1 802,19 € | 1 829,23 € | 1 856,66 €  |
| Custo tCO2                                                                                                                                                 | 0,00 €     | 6 212,51 € | 6 305,70 € | 6 400,28 € | 6 496,29 € | 6 593,73 € | 6 692,64 € | 6 793,03 € | 6 894,92 € | 6 998,35 € | 7 103,32 € | 7 209,87 € | 7 318,02 €  |
| Total                                                                                                                                                      | 0,00 €     | 6 468,80 € | 6 859,31 € | 6 962,20 € | 8 690,46 € | 8 953,13 € | 7 389,43 € | 7 500,27 € | 9 362,09 € | 7 726,97 € | 9 645,06 € | 9 789,74 € | 10 065,63 € |
| (3) Não incluído o custo com luminárias (housing da lâmpada), adquiridas no início da concessão e que agora estão descontinuadas, sem preço de referência. |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |             |

| Cash-flow LED |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|---------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|               |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Lâmpadas LED  | 0           | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         |
| Custo energia | 0,00 €      | 2 702,07 € | 2 742,60 € | 2 783,74 € | 2 825,50 € | 2 867,88 € | 2 910,90 € | 2 954,56 € | 2 998,88 € | 3 043,87 € | 3 089,52 € | 3 135,87 € | 3 182,90 € |
| Custo tCO2    | 0,00 €      | 281,32 €   | 285,54 €   | 289,82 €   | 294,17 €   | 298,58 €   | 303,06 €   | 307,61 €   | 312,22 €   | 316,91 €   | 321,66 €   | 326,48 €   | 331,38 €   |
| Total         | 19 303,61 € | 2 983,39 € | 3 028,15 € | 3 073,57 € | 3 119,67 € | 3 166,47 € | 3 213,96 € | 3 262,17 € | 3 311,11 € | 3 360,77 € | 3 411,18 € | 3 462,35 € | 3 514,29 € |
|               |             |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

| Cash-flow total                |              |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|--------------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                |              |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| Diferença vapor de sódio e LED | 0            | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         |
|                                | -19 303,61 € | 3 875,92 € | 3 934,06 € | 5 616,89 € | 4 052,96 € | 5 786,66 € | 4 175,47 € | 4 238,10 € | 6 050,99 € | 4 366,19 € | 6 233,88 € | 6 327,39 € | 6 422,30 € |
| Cash-flow total                | -19 303,61 € | 3 875,92 € | 3 934,06 € | 5 616,89 € | 4 052,96 € | 5 786,66 € | 4 175,47 € | 4 238,10 € | 6 050,99 € | 4 366,19 € | 6 233,88 € | 6 327,39 € | 6 422,30 € |
|                                |              |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

| Cash-flow total |              |              |             |             |             |            |            |             |             |             |             |             |             |
|-----------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                 |              |              |             |             |             |            |            |             |             |             |             |             |             |
|                 | -15 427,69 € | -11 493,63 € | -5 876,74 € | -1 823,78 € | -1 823,78 € | 3 962,89 € | 8 138,35 € | 12 376,45 € | 18 427,44 € | 22 793,63 € | 29 027,51 € | 35 354,90 € | 41 777,19 € |
| Cash-flow total | -15 427,69 € | -11 493,63 € | -5 876,74 € | -1 823,78 € | -1 823,78 € | 3 962,89 € | 8 138,35 € | 12 376,45 € | 18 427,44 € | 22 793,63 € | 29 027,51 € | 35 354,90 € | 41 777,19 € |
|                 |              |              |             |             |             |            |            |             |             |             |             |             |             |

## Anexo F. Datos PVGIS



#### PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

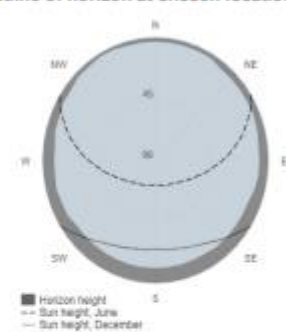
##### Provided inputs:

Latitude/Longitude: 41.476,-7.949  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH2  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 1 kWp  
 System loss: 14 %

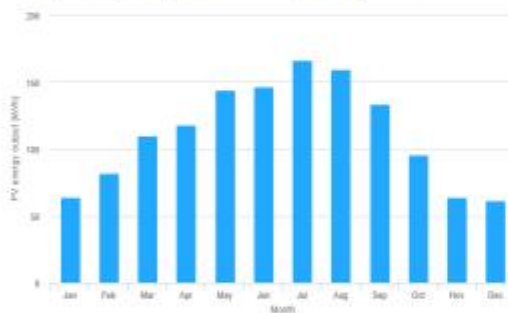
##### Simulation outputs

Slope angle: 20 °  
 Azimuth angle: 0 °  
 Yearly PV energy production: 1345.77 kWh  
 Yearly in-plane irradiation: 1727.18 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year-to-year variability: 57.47 kWh  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -2.83 %  
 Spectral effects: 0.69 %  
 Temperature and low irradiance: -7.4 %  
 Total loss: -22.08 %

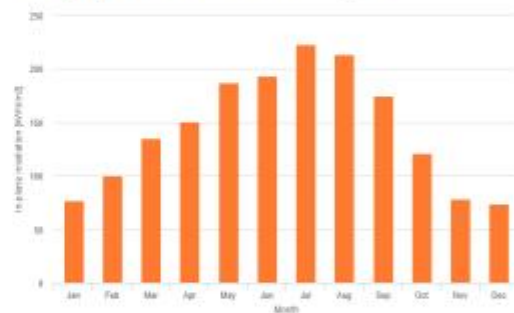
##### Outline of horizon at chosen location:



#### Monthly energy output from fix-angle PV system:



#### Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



#### Monthly PV energy and solar irradiation

| Month     | E_m   | H(i)_m | SD_m |
|-----------|-------|--------|------|
| January   | 64.2  | 76.9   | 17.4 |
| February  | 82.1  | 99.8   | 18.7 |
| March     | 109.6 | 135.4  | 23.0 |
| April     | 118.2 | 150.3  | 16.4 |
| May       | 144.2 | 187.3  | 20.4 |
| June      | 146.7 | 193.7  | 12.8 |
| July      | 186.4 | 222.5  | 9.5  |
| August    | 159.6 | 213.4  | 10.9 |
| September | 133.6 | 174.9  | 11.9 |
| October   | 95.7  | 120.9  | 16.5 |
| November  | 64.0  | 78.4   | 16.5 |
| December  | 61.4  | 73.8   | 9.2  |

E\_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].

H(i)\_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].

SD\_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

It is our goal to minimize disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been omitted or substituted in text or format, but we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

For more information, please visit: [https://ec.europa.eu/info/legal notice\\_en](https://ec.europa.eu/info/legal notice_en)

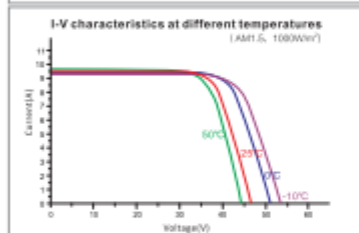
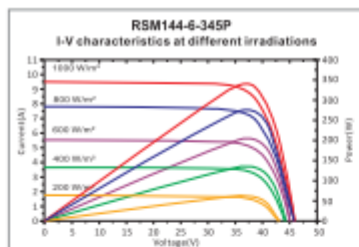
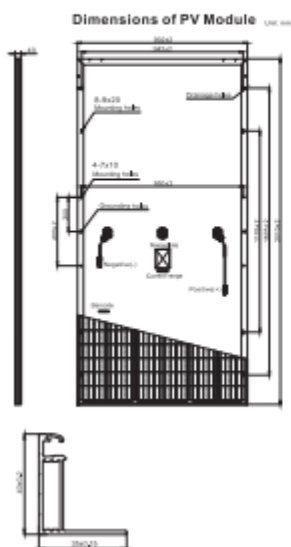
Joint  
Research  
Centre

PVGIS ©European Union, 2001-2022.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2022/09/18

# Anexo G. Data Sheet Módulo Fotovoltaico



Our Partners:

RSM144-P-5BB-EN-H1-2-2019

## ELECTRICAL DATA (STC)

| Model Number                  | RSM144-6-335P | RSM144-6-340P | RSM144-6-345P | RSM144-6-350P | RSM144-6-355P |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Rated Power in Watts-Pmax(Wp) | 335           | 340           | 345           | 350           | 355           |
| Open Circuit Voltage-Voc(V)   | 46.10         | 46.30         | 46.50         | 46.70         | 46.90         |
| Short Circuit Current-Isc(A)  | 9.30          | 9.40          | 9.50          | 9.60          | 9.70          |
| Maximum Power Voltage-Vmpp(V) | 38.60         | 38.70         | 38.80         | 38.95         | 39.10         |
| Maximum Power Current-Impp(A) | 8.70          | 8.80          | 8.90          | 9.00          | 9.10          |
| Module Efficiency (%)         | 16.8          | 17.1          | 17.3          | 17.6          | 17.8          |

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

## ELECTRICAL DATA (NMOT)

| Model Number                   | RSM144-6-335P | RSM144-6-340P | RSM144-6-345P | RSM144-6-350P | RSM144-6-355P |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Maximum Power-Pmax (Wp)        | 250.4         | 254.0         | 257.5         | 261.4         | 265.3         |
| Open Circuit Voltage-Voc (V)   | 42.40         | 42.60         | 42.80         | 43.00         | 43.10         |
| Short Circuit Current-Isc (A)  | 7.63          | 7.71          | 7.79          | 7.87          | 7.95          |
| Maximum Power Voltage-Vmpp (V) | 35.30         | 35.40         | 35.50         | 35.60         | 35.80         |
| Maximum Power Current-Impp (A) | 7.09          | 7.17          | 7.25          | 7.34          | 7.42          |

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

## MECHANICAL DATA

|                    |                                                         |
|--------------------|---------------------------------------------------------|
| Solar cells        | Polycrystalline 156.75×78.375 mm, 5BB                   |
| Cell configuration | 144 cells (6×12+6×12)                                   |
| Module dimensions  | 2010×992×40mm                                           |
| Weight             | 23kg                                                    |
| Superstrate        | 3.2 mm, High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass |
| Substrate          | White Back-sheet                                        |
| Frame              | Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color      |
| J-Box              | Potted, IP67, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes         |
| Cables             | 4.0mm² (12AWG), Positive(+)270mm, Negative(-)100mm      |
| Connector          | Risen Twinsel PV-SY02, IP67                             |

## TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| Nominal Module Operating Temperature (NMOT) | 45°C±2°C    |
| Temperature Coefficient of Voc              | -0.32%/°C   |
| Temperature Coefficient of Isc              | 0.055%/°C   |
| Temperature Coefficient of Pmax             | -0.39%/°C   |
| Operational Temperature                     | -40°C~+85°C |
| Maximum System Voltage                      | 1500VDC     |
| Max Series Fuse Rating                      | 20A         |
| Limiting Reverse Current                    | 20A         |

## PACKAGING CONFIGURATION

|                                        | 40ft           | 20ft           |
|----------------------------------------|----------------|----------------|
| Number of modules per container        | 594            | 270            |
| Number of modules per pallet           | 27             | 27             |
| Number of pallets per container        | 22             | 10             |
| Packaging box dimensions (LxWxH) in mm | 2040×1130×1130 | 2040×1130×1130 |
| Box gross weight[kg]                   | 670            | 670            |

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.  
©2019 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

THE POWER OF RISING VALUE

# Anexo H. Data Sheet Inversor

| Technical Data                                                                                                                                                                           | Sunny Tripower X 12                                    | Sunny Tripower X 15 | Sunny Tripower X 20 | Sunny Tripower X 25 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Input (DC)</b>                                                                                                                                                                        |                                                        |                     |                     |                     |
| Max. PV array power                                                                                                                                                                      | 18000 Wp, STC                                          | 22500 Wp, STC       | 30000 Wp, STC       | 37500 Wp, STC       |
| Max. input voltage                                                                                                                                                                       | 1000 V                                                 |                     |                     |                     |
| MPP voltage range                                                                                                                                                                        | 210 V to 800 V                                         | 260 V to 800 V      | 345 V to 800 V      | 430 V to 800 V      |
| Rated input voltage                                                                                                                                                                      | 580 V                                                  |                     |                     |                     |
| Min. input voltage / initial input voltage                                                                                                                                               | 150 V / 188 V                                          |                     |                     |                     |
| Max. usable input current per MPP tracker                                                                                                                                                | 24 A                                                   |                     |                     |                     |
| Max. short-circuit current per MPP tracker                                                                                                                                               | 37.5 A                                                 |                     |                     |                     |
| Number of independent MPP trackers / strings per MPP tracker                                                                                                                             | 3 / 2                                                  |                     |                     |                     |
| <b>Output (AC)</b>                                                                                                                                                                       |                                                        |                     |                     |                     |
| Rated power (at 230 V, 50 Hz)                                                                                                                                                            | 12000 W                                                | 15000 W             | 20000 W             | 25000 W             |
| Rated apparent power / max. apparent power                                                                                                                                               | 12000 VA / 12000 VA                                    | 15000 VA / 15000 VA | 20000 VA / 20000 VA | 25000 VA / 25000 VA |
| Nominal AC voltage                                                                                                                                                                       | 220 V / 380 V; 230 V / 400 V; 240 V / 415 V            |                     |                     |                     |
| Voltage range                                                                                                                                                                            | 176 V to 275 V / 304 V to 477 V                        |                     |                     |                     |
| Grid frequency / range                                                                                                                                                                   | 50 Hz / 44 Hz to 56 Hz<br>60 Hz / 54 Hz to 66 Hz       |                     |                     |                     |
| Rated grid frequency / rated grid voltage                                                                                                                                                | 50 Hz / 230 V                                          |                     |                     |                     |
| Rated output current / max. output current                                                                                                                                               | 17.4 A / 36.6 A                                        | 21.7 A / 36.6 A     | 29 A / 36.6 A       | 36.2 A / 36.6 A     |
| Feed-in phases / AC connection                                                                                                                                                           | 3 / 3(N)PE                                             |                     |                     |                     |
| Power factor at rated power / adjustable displacement power factor                                                                                                                       | 1 / 0 overexcited to 0 underexcited                    |                     |                     |                     |
| Harmonic (THD)                                                                                                                                                                           | < 3 %                                                  |                     |                     |                     |
| <b>Efficiency</b>                                                                                                                                                                        |                                                        |                     |                     |                     |
| Max. efficiency / European efficiency                                                                                                                                                    | 98.2 % / 97.6 %                                        | 98.2 % / 97.8 %     | 98.2 % / 97.9 %     | 98.2 % / 98.0 %     |
| <b>Protective devices</b>                                                                                                                                                                |                                                        |                     |                     |                     |
| Input-side disconnection point                                                                                                                                                           | ●                                                      |                     |                     |                     |
| Ground fault monitoring / grid monitoring                                                                                                                                                | ● / ●                                                  |                     |                     |                     |
| DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability                                                                                                                     | ● / ●                                                  |                     |                     |                     |
| All-pole sensitive residual-current monitoring unit                                                                                                                                      | ●                                                      |                     |                     |                     |
| Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)                                                                                            | I / AC; II; DC; II                                     |                     |                     |                     |
| Arc-fault circuit interrupter (AFCI) / HV generator diagnostics                                                                                                                          | ● / ● <sup>1</sup>                                     |                     |                     |                     |
| DC surge arrester (type 2, type 1/2)                                                                                                                                                     | ○                                                      |                     |                     |                     |
| <b>General data</b>                                                                                                                                                                      |                                                        |                     |                     |                     |
| Dimensions (W/H/D)                                                                                                                                                                       | 728 mm / 762 mm / 266 mm (28.7 in / 30.0 in / 10.5 in) |                     |                     |                     |
| Weight                                                                                                                                                                                   | 35 kg (77 lbs)                                         |                     |                     |                     |
| Operating temperature range                                                                                                                                                              | -25°C to +60°C (-13°F to +140°F)                       |                     |                     |                     |
| Noise emission, maximum (1 m)                                                                                                                                                            | 59 dB(A)                                               |                     |                     |                     |
| Self-consumption (night)                                                                                                                                                                 | < 5 W                                                  |                     |                     |                     |
| Topology / cooling concept                                                                                                                                                               | No galvanic isolation / OptiCool                       |                     |                     |                     |
| Degree of protection (according to IEC 60529)                                                                                                                                            | IP65                                                   |                     |                     |                     |
| Climatic category (according to IEC 60721-3-4)                                                                                                                                           | 4K26                                                   |                     |                     |                     |
| Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)                                                                                                                            | 100 %                                                  |                     |                     |                     |
| <b>Features / Functions / accessories</b>                                                                                                                                                |                                                        |                     |                     |                     |
| DC connection / AC connection                                                                                                                                                            | SUNCLIX / spring-cage terminal                         |                     |                     |                     |
| LED display (Status / Fault / Communication)                                                                                                                                             | ●                                                      |                     |                     |                     |
| Interface: Ethernet / local WLAN / RS485                                                                                                                                                 | ● (2 ports) / ● / ○ <sup>2</sup>                       |                     |                     |                     |
| Data protocols: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire                                                                                                                                  | ● / ● <sup>1</sup> / ●                                 |                     |                     |                     |
| Multifunction relay / slot for expansion module                                                                                                                                          | ● / ● (1 port)                                         |                     |                     |                     |
| Number of digital inputs                                                                                                                                                                 | 6                                                      |                     |                     |                     |
| Mounting type                                                                                                                                                                            | Wall mounting                                          |                     |                     |                     |
| SMA ShadeFix / Integrated Mast Control / Qi on Demand 24/7                                                                                                                               | ● / ● / ●                                              |                     |                     |                     |
| Off-grid capable / SMA Hybrid Controller compatible                                                                                                                                      | ● / ●                                                  |                     |                     |                     |
| Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 years                                                                                                                                                         | ● / ○ / ○ / ○                                          |                     |                     |                     |
| Certificates and approvals (more available upon request)                                                                                                                                 | VDE AR-N 4105/4110:2018, EN 50549-1/2:2018, CE, UL954  |                     |                     |                     |
| <b>System manager function</b>                                                                                                                                                           |                                                        |                     |                     |                     |
| Total number of supported devices – of which:                                                                                                                                            | 6                                                      |                     |                     |                     |
| Maximum number of supported SMA inverters                                                                                                                                                | 5                                                      |                     |                     |                     |
| Maximum number of supported energy meters                                                                                                                                                | 1                                                      |                     |                     |                     |
| Maximum nominal system power of PV inverters (nominal AC power)                                                                                                                          | 135 kVA                                                |                     |                     |                     |
| Centralized commissioning of all devices in the system                                                                                                                                   | ●                                                      |                     |                     |                     |
| Remote parameterization of SMA devices with Sunny Portal powered by senexOS                                                                                                              | ●                                                      |                     |                     |                     |
| Direct selling via SMA SPOT (Germany)                                                                                                                                                    | ●                                                      |                     |                     |                     |
| SMA Dynamic Power Control (e.g., zero export / Q(U))                                                                                                                                     | ○                                                      |                     |                     |                     |
| Type designation                                                                                                                                                                         | STP 12-50                                              | STP 15-50           | STP 20-50           | STP 25-50           |
| ● Standard features   ○ Optional   – Not available   *STC: Standard test conditions   Data in nominal conditions   last revision: 06/2022   1) planned for Q4/2022   2) planned for 2023 |                                                        |                     |                     |                     |

● Standard features ○ Optional – Not available <sup>1</sup>STC <sup>2</sup>Standard test conditions Data in nominal conditions Last revision: 08/2022 1) planned for Q4/2022 2) planned for 2023

## Accessories



SMA Sensor Module  
MD 52N-40<sup>1)</sup>



SMA RS485 modules  
MD 68S-40<sup>1)</sup>



DC surge arrester  
(Type I-II): DC\_SPD\_KIT7\_T1T2  
(Type I): DC\_SPD\_KIT6-I/O



DC terminal cover  
DC-TERM-COVER<sup>1)</sup>

# Anexo I. Data Sheet Baterias Acumulação

## LUNA2000-5/10/15-S0 Technical Specification

|                         | LUNA2000-5-S0                                                                     | LUNA2000-10-S0                                                                    | LUNA2000-15-S0                                                                      |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Technical Specification |  |  |  |

| Performance                                   |                 |            |            |
|-----------------------------------------------|-----------------|------------|------------|
| Power module                                  | LUNA2000-5KW-C0 |            |            |
| Number of power modules                       | 1               |            |            |
| Battery module                                | LUNA2000-5-E0   |            |            |
| Battery module energy                         | 5 kWh           |            |            |
| Number of battery Modules                     | 1               | 2          | 3          |
| Battery usable energy <sup>1</sup>            | 5 kWh           | 10 kWh     | 15 kWh     |
| Max. output power                             | 2.5 kW          | 5 kW       | 5 kW       |
| Peak output power                             | 3.5 kW, 10 s    | 7 kW, 10 s | 7 kW, 10 s |
| Nominal voltage (single phase system)         | 450 V           |            |            |
| Operating voltage range (single phase system) | 350 ~ 560 V     |            |            |
| Nominal voltage (three phase system)          | 600 V           |            |            |
| Operating voltage range (three phase system)  | 600 ~ 980 V     |            |            |

| Communication |                                           |
|---------------|-------------------------------------------|
| Display       | SOC status indicator, LED indicator       |
| Communication | RS485 / CAN (only for parallel operation) |

| General Specification                 |                                                                                                        |                                                |                                                 |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Dimension (W*D*H)                     | 670 * 150 * 600 mm<br>(26.4 * 5.9 * 23.6 inch)                                                         | 670 * 150 * 960 mm<br>(26.4 * 5.9 * 37.8 inch) | 670 * 150 * 1320 mm<br>(26.4 * 5.9 * 60.0 inch) |
| Weight (Floor stand toolkit included) | 63.8 kg (140.7 lb)                                                                                     | 113.8 kg (250.9 lb)                            | 163.8 kg (361.1 lb)                             |
| Power module dimension (W*D*H)        | 670 * 150 * 240 mm (26.4 * 5.9 * 9.4 inch)                                                             |                                                |                                                 |
| Power module weight                   | 12 kg (26.5 lb)                                                                                        |                                                |                                                 |
| Battery module dimension (W*D*H)      | 670 * 150 * 360 mm (26.4 * 5.9 * 14.0 inch)                                                            |                                                |                                                 |
| Battery module weight                 | 50 kg (110.2 lb)                                                                                       |                                                |                                                 |
| Installation                          | Floor stand (standard), Wall mount (optional)                                                          |                                                |                                                 |
| Operating temperature                 | -20°C ~ +55°C (-4°F ~ 131°F) <sup>2</sup>                                                              |                                                |                                                 |
| Operating altitude                    | 0 ~ 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2,000 m)                                                      |                                                |                                                 |
| Environment                           | Indoor / Outdoor                                                                                       |                                                |                                                 |
| Relative humidity                     | 5% ~ 95%                                                                                               |                                                |                                                 |
| Cooling                               | Natural convection                                                                                     |                                                |                                                 |
| Protection rating                     | IP 66                                                                                                  |                                                |                                                 |
| Noise emission                        | <29 dB                                                                                                 |                                                |                                                 |
| Cell technology                       | Lithium-Iron phosphate (LiFePO4)                                                                       |                                                |                                                 |
| Scalability                           | Max. 2 systems in parallel operation                                                                   |                                                |                                                 |
| Compatible inverters                  | SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 <sup>4</sup> , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 |                                                |                                                 |

| Standard Compliance (more available upon request) |                                                       |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Certificates                                      | CE, RCM, CEC, VDE2510-S0, IEC62619, IEC 60730, UN38.3 |

| Ordering and Deliverable Part       |                                                                |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Product ordering model <sup>5</sup> | LUNA2000-5KW-C0, LUNA2000-5-E0, LUNA2000 Wall Mounting Bracket |

- <sup>1</sup> Test conditions: 100% depth of discharge (DoD), 0.2C rate charge & discharge at 25 °C.  
<sup>2</sup> Charge/discharge derating occurs when the operating temperature from -20°C to 5 °C & 45 °C to 55 °C.  
<sup>3</sup> Refer to battery warranty letter for conditional application.  
<sup>4</sup> Available in Q1, 2021.  
<sup>5</sup> Storage system is ordered and delivered in the form of power module and battery module separately with corresponding quantity.

SOLAR.HUAWEI.COM/ AU /