

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ILUMINAÇÃO PÚBLICA PARA O MUNICÍPIO DE VILA NOVA DE GAIA

**ADÃO MANUEL PAIS DA SILVA**

outubro de 2024

# **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ILUMINAÇÃO PÚBLICA PARA O MUNICÍPIO DE VILA NOVA DE GAIA**

**Adão Manuel Pais da Silva**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica-Sistemas Elétricos de Energia**

**Orientador: Rui Ramos de Castro**

**Júri:**

**Presidente:**

Fernando Maurício Teixeira de Sousa Dias, Professor Adjunto, ISEP

**Vogais:**

Custódio João Pais Dias, Professor Coordenador, ISEP

Rui Ramos de Castro, Professor Adjunto, ISEP



## **Dedicatória**

“ Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, que me deu forças para vencer todas as dificuldades, à minha mãe, Maria Aurora Pais da Costa (in memoriam), que já se foi, que se faz presente em todos os dias da minha vida. Sei que, de algum lugar, ela olha por mim. Dedico este trabalho ao meu pai, Abel Fernandes da Silva (in memoriam), grande companheiro dos bons e maus momentos.

Também quero dedicar aos meus queridos filhos e esposa, João Francisco, Vasco Miguel, Paula Estrela.”

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

# Agradecimentos

Expresso aqui o meu mais profundo agradecimento a todas as pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram e apoiaram na elaboração deste projeto de dissertação.

Quero agradecer ao Sr.º Coordenador Diretor de Curso, Professor Dr. Maurício, também agradecer ao meu orientador Professor Dr. Eng.º Rui Castro pelo acompanhamento e disponibilidade ao longo da elaboração desta dissertação

Agradeço também com muito orgulho, a todos da Camara Municipal de Gaia, A Sra. Variadora, Célia Maria Mendes Correia, Dra. Raquel Ribeiro, Recursos Humanos pelo trabalho que proporcionaram para que eu terminasse a minha Dissertação.

Um agradecimento muito especial ao meu orientador da Camara Municipal de Gaia Sr.º Eng.º Manuel António Ribeiro, que me incentivou de várias formas, me transmitiu conhecimentos técnicos indispensáveis na elaboração desta tese, deste tipo de projetos, bem como a toda a equipa de trabalho do departamento

Dedico esta dissertação a toda a minha família, que são o meu amparo, principalmente aos meus filhos e esposa

A todos os que aqui estão descritos e a todos os que de alguma forma contribuíram para a minha tese, gostaria de expressar o meu carinho e o meu maior agradecimento.

Muito Obrigado!

A todos deixo estas palavras em forma de agradecimento simples, humilde e sentido, pela ajuda recebida.

Muito Obrigado!



## Resumo

Atualmente para efetuar o estudo sobre o tema “Desenvolvimento de Sistemas de Iluminação Pública inteligentes para Município de Vila Nova Gaia”, é necessário recorrer de forma imprescindível a todas normas, tais como a norma EN13201 para poder efetuar estudo luminotécnico, de forma validar os requisitos da própria norma bem como, determinar a numero de luminárias necessárias, distancia entre elas e altura a que devem ser instaladas.

Neste caso de estudo do Município de Vila Nova de Gaia, pretende-se levar a cabo o conhecimento da rede de Iluminação pública quer seja viária (espaço publico, ruas, passeios, auto-estradas) ou decorativa (monumentos, fachadas, jardins), fazer ainda uma análise de consumo/gestão de energia dos dispositivos de I.P, o tipo de equipamentos como sistemas de Luminárias tipo LEDs.

As lâmpadas de gases mais frequentemente de vapor de sódio de baixa e alta pressão ainda são bastante utilizadas contudo também merecem um estudo comparativo com outros dispositivos de Iluminação.

Procurar utilizar e desenvolver sistemas de monitorização em que se possa melhorar na eficiência energética, telegestão, horários, tipologias de colunas, índices luminotécnicos gestão e verificação de avarias, gestão da manutenção preventiva e corretiva da rede IP, Elaborar Estudo económico de forma de forma a concluir a solução maias adequada e rentável para o caso de estudo

### *Palavras-Chave*

Iluminação Pública, Eficiência Energética, Unidades de Fotometria, EN13201, Estudo Luminotécnico, LED, VSAP, Sistemas de Controlo, Sistemas Inteligentes, Sistema Scada, Rede aérea, Rede subterrânea, Manutenção, Consumo Energético, Gestão de Energia, Analise Económica.



# Abstract

Currently, to carry out the study on the topic “Development of Public Lighting Systems for the Municipality of Vila Nova Gaia”, it is necessary to make essential use of all standards, such as standard EN13201 in order to carry out a lighting technical study, in order to validate the requirements of the own standard as well as determining the number of luminaires required, the distance between them and the height at which they should be installed.

In this case study of the Municipality of Vila Nova de Gaia, the aim is to develop knowledge of the public lighting network, whether road (public space, streets, sidewalks, highways) or decorative (monuments, facades, gardens), also carry out an analysis of energy consumption/management of I.P devices, the type of equipment such as LED luminaire systems.

Gas lamps, most often low and high pressure sodium vapor, are still widely used, but they also deserve a comparative study with other lighting devices.

Seek to use and develop monitoring systems that can improve energy efficiency, remote management, schedules, column types, lighting indices, management and verification of faults, management of preventive and corrective maintenance of the IP network, Prepare an economic study in order to conclude the most appropriate and profitable solution for the case study

## Keywords

Public Lighting, Energy Efficiency, Photometry Units, EN13201, Lighting Study, LED, VSAP, Control Systems, Overhead network, Underground network, Maintenance, Energy Consumption, Energy Management.

## Résumé

Actuellement, pour réaliser l'étude sur le thème « Développement de systèmes d'éclairage public pour la municipalité de Vila Nova Gaia », il est nécessaire d'utiliser de manière essentielle toutes les normes, comme la norme EN13201 pour réaliser une étude technique d'éclairage, afin de valider les exigences de sa propre norme ainsi que de déterminer le nombre de luminaires requis, la distance entre eux et la hauteur à laquelle ils doivent être installés.

Dans cette étude de cas de la municipalité de Vila Nova de Gaia, l'objectif est de développer la connaissance du réseau d'éclairage public, qu'il soit routier (espace public, rues, trottoirs, autoroutes) ou décoratif (monuments, façades, jardins), ainsi que de réaliser une analyse de la consommation énergétique/gestion des appareils I.P, du type d'équipements tels que les systèmes de luminaires LED.

Les lampes à gaz, le plus souvent à vapeur de sodium de basse et haute pression, sont encore largement utilisées, mais elles méritent également une étude comparative avec d'autres appareils d'éclairage.

Chercher à utiliser et développer des systèmes de surveillance pouvant améliorer l'efficacité énergétique, la gestion à distance, les horaires, les types de colonnes, les indices d'éclairage, la gestion et la vérification des défauts, la gestion de la maintenance préventive et corrective du réseau IP, Préparer une étude économique afin de conclure la solution la plus appropriée et la plus rentable pour l'étude de cas

### ***Mots-clés***

Éclairage public, efficacité énergétique, unités de photométrie, EN13201, étude d'éclairage, LED, VSAP, systèmes de contrôle, réseau aérien, réseau souterrain, maintenance, consommation d'énergie, gestion de l'énergie.

Índice	
<b>Agradecimentos</b> .....	i
<b>Resumo</b> .....	iii
<b>Abstract</b> .....	v
<b>Résumé</b> .....	vi
<b>Índice de Figuras</b> .....	xiii
<b>Índice de Tabelas</b> .....	xvii
<b>Siglas e Acrónimos</b> .....	xxi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	24
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	24
1.2 OBJECTIVOS.....	25
1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO .....	26
<b>2 ESTADO DA ARTE</b> .....	29
2.1 INTRODUÇÃO HISTÓRIA DE ILUMINAÇÃO .....	29
2.1.1 Evolução da iluminação no Mundo-Europa .....	30
2.1.2 Evolução da iluminação pública em Portugal.....	31
2.1.3 Eficiência Energética na iluminação Pública .....	31
2.1.4 Eficiência Energética de uma instalação .....	32
2.2 GRANDEZAS E MÉTODOS DE CALCULO.....	34
2.2.1 Conceitos Luminotécnicos .....	34
2.2.2 Grandezas Luminotécnicas .....	34
2.2.3 Fluxo Luminoso .....	36
2.2.4 Intensidade Luminosa .....	36
2.2.5 Iluminância.....	38
2.2.6 Iluminância Horizontal.....	39
2.2.7 Iluminância Hemisférica.....	39
2.2.9 Iluminância Vertical .....	40
2.2.10 Iluminância.....	41
2.3 VISÃO DA SENSIBILIDADE DO SER HUMANO-LUZ .....	43
2.3.1 Acuidade Visual.....	43
2.3.2 Curva de Sensibilidade do Olho .....	44
2.3.3 Visão escotópica .....	45

2.3.4 Visão fotópica- .....	45
2.3.5 Visão mesópica .....	46
<b>2.4 FONTES LUMINOSAS .....</b>	<b>46</b>
2.4.1 Lâmpadas de vapor de Sódio .....	49
2.4.2 Lâmpada de Vapor de Mercúrio e Lâmpada de Iodetos Metálicos .....	50
2.4.3 Vários Tipos de LED.....	50
2.4.4 Temperatura da cor .....	53
2.4.5 Lâmpadas Led .....	55
2.4.6 Eficiência e vida útil.....	57
2.4.7 Balastros.....	58
2.4.8 Balastros Electromagnéticos.....	58
2.4.9 Balastros Electrónicos .....	59
2.4.10 Drivers Led .....	60
<b>2.5 SOFTWARE DIALUX-SOFTWARE SCHRÉDER.....</b>	<b>62</b>
2.5.1 Objetivo do Software .....	63
2.5.2 Vantagens .....	64
2.5.3 Desvantagens.....	65
2.5.4 Comparação de Softwares .....	65
<b>2.6 SISTEMAS DE CONTROLO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....</b>	<b>65</b>
2.6.1- Sensores.....	66
2.6.2 Sensores crepusculares.....	66
2.6.3 Relógios Astronómicos.....	67
2.6.4 Reguladores de fluxo .....	69
2.6.5 PLC (Power Logic Control).....	71
2.6.6 LPwan Rede de área ampla de baixo consumo de energia (LPWAN) .....	72
2.6.7 Redução do fluxo luminoso por Redução de Tensão.....	73
<b>2.7 PROTOCOLOS DE CONTROLO NA ILUMINAÇÃO .....</b>	<b>74</b>
2.7.1 Scada descrição Tecnológica-Aplicações .....	74
2.7.2 Estação remota (RTU -Remote Terminal Unit ) .....	75
2.7.3 Rede de comunicação .....	75
2.7.4 Estação mestre (MTU - Master Terminal Unit).....	75
2.7.5 Protocolo DALI .....	76
2.7.6 Instalação .....	77

2.7.7 Configuração .....	78
2.7.8 Regulação.....	78
2.7.9 Outros Protocolos .....	79
<b>2.8 PLATAFORMAS DE TELEGESTÃO .....</b>	<b>79</b>
2.8.1 Comparação de sistemas telegestão .....	80
2.8.2 Plataformas de telegestão de Iluminação .....	81
2.8.3 Philips CityTouch.....	81
2.8.4 Telensa PLANet .....	81
2.8.5 Schréder - Owlet .....	83
2.8.6 Owlet Nightshift .....	83
<b>3 DOCUMENTO DE REFERENCIA E NORMAS IP-LEGISLAÇÃO APLICAVEL.....</b>	<b>89</b>
<b>3.1 NORMA EUROPEIA PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA-EN13201.....</b>	<b>89</b>
3.1.1 EN 13201-1 – Escolha das classes de iluminação.....	90
3.1.2 EN 13201-2 – Parâmetros fotométricos recomendados .....	92
3.1.3 Classes de Iluminação .....	92
3.1.4 Classe ME .....	95
3.1.5 Classe CE .....	98
3.1.6 Classe S.....	103
3.1.7 Classe A .....	105
3.1.8 Classe ES.....	105
3.1.9 Classe EV .....	106
3.1.10 Classe P .....	107
<b>3.2 EN 13201-3 – CALCULO DOS PARAMETROS FOTOMÉTRICOS .....</b>	<b>109</b>
<b>3.3 EN 13201-4 – METODOS DE MEDIÇÃO DAS PERFORMANCES FOTOMÉTRICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>3.4 PROJECTOS DE IP CRITÉRIOS A CONSIDERAR.....</b>	<b>110</b>
3.4.1 Melhoria Continua na rede IP.....	110
3.4.2 Encadeamento Incomodativo (G) .....	111
3.4.3 Encandeamento perturbador (TI).....	111
3.4.3 Rácio de Saída do Fluxo Luminoso – Light Output Ratio (LOR).....	112
3.4.5 Fator de Manutenção .....	115
3.4.6 Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada .....	116
3.4.7 Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF) .....	117
3.4.8 Fator de Manutenção da Luminária (LMF) .....	117

3.5 NIVEIS, UNIFORMIDADES E CLASSES DE ILUMINAÇÃO.....	118
3.5.1 - Nível de Iluminação .....	118
3.5.2 - Uniformidade da Iluminação- .....	118
3.5.3 Uniformidade Longitudinal (UL ).....	119
3.5.4 Uniformidade extrema (Eu ) .....	120
3.5.5 Uniformidade Média (UM ).....	120
3.6 GESTÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE IP .....	120
3.6.1 FMLL (Fator de Manutenção da luminosidade da lâmpada) .....	121
3.6.2 LSF (Fator de Sobrevivência da Lâmpada) .....	122
3.6.3 LMF (Fator de Manutenção da Luminária) .....	123
3.6.4 Fator de Manutenção .....	123
3.7 TIPOS DE REDE – NORMAS DISTRIBUIDORAS DMAS .....	123
3.7.1 Rede Subterrânea .....	123
3.7.2 Tipos de equipamento .....	125
3.7.3 Luminárias.....	125
3.7.4 Suportes .....	126
3.7.5 Colunas de aço direitas ou com braço .....	126
3.7.6 Rede aérea .....	126
<b>4 CASOS DE ESTUDO</b> .....	127
4.1 INTRODUÇÃO .....	127
4.2 ESTUDO LUMINOTECNICO DAS CLASSIFICAÇÃO DA VIA .....	128
4.3 VIA PRINCIPAL (CASO DE ESTUDO 1) .....	128
4.3.1 Situação Atual Presente .....	129
4.3.2 Unidades de Avaliação.....	130
4.3.3 Software de Cálculo .....	130
4.3.4 Estudo luminotécnico .....	130
4.3.5 Classificação energética .....	133
4.4 ANALISE ECONÓMICO/ FINANCEIRO .....	134
4.4.1 Cálculo do valor atualizado líquido .....	134
4.4.2 Parâmetros para efetuar a análise económica .....	137
4.4.3 Custo da energia elétrica .....	137
4.4.4 Solução LED.....	138
4.4.5 Custo Solução LED.....	140

4.4.6	Custo da instalação elétrica da Solução LED.....	141
4.4.7	Custo da energia consumida anualmente solução LED .....	141
4.4.8	Estudo económico/Financeiro para solução LED.....	142
4.4.9	Custo Solução equipamento vapor de Sódio de Alta Pressão. ....	143
4.4.10	Custo da Instalação Elétrica da solução vapor de sódio alta pressão.....	144
4.4.11	Energia Consumida anualmente Luminárias de Vapor de Sódio de alta pressão solução. ....	144
4.4.12	Custo de Manutenção de Vapor de Sódio Alta pressão. ....	145
4.4.13	Estudo económico para a solução de vapor de sódio alta pressão económica.....	145
4.5	<b>VIA SECUNDARIA (CASO 2)</b> .....	147
4.5.1-	Caracterização do local.....	147
4.5.2	Situação atual.....	147
4.5.3	Estudo luminotécnico .....	147
4.5.4.	– Classificação energética .....	150
4.5.5	Análise económica/ Financeira .....	150
4.5.6	Custo de Equipamentos com Solução LED Caso 2 .....	151
4.5.7	Estudo económica solução LED.....	154
4.5.8	Custo Solução equipamento vapor de Sódio de Alta Pressão 150W.....	154
4.5.9	Custo da instalação elétrica da solução vapor de sódio de alta pressão.....	155
4.5.10	Energia Consumida anualmente solução vapor de sódio de alta pressão.....	155
4.5.11	Custos de manutenção para solução das luminárias de vapor de Sódio de alta pressão ..	156
4.5.12	Estudo económico da Solução vapor de sódio de alta pressão.....	157
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	159
5.1	Caso 1 (Avenida da Republica),.....	159
5.2	Caso II (R.Gil Eanes).....	160
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	161
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	163
	<b>ANEXOS</b> .....	171



## Índice de Figuras

Figura 1 Camara Municipal de Gaia 1.....	25
Figura 2 candeeiro de rua [2].....	30
Figura 3 Vista do Planeta Iluminado [3 ] .....	30
Figura 4 Custos de vida útil[6] .....	32
Figura 5 Calculo da area para infice da eficiencia electrica[7] .....	33
Figura 6 Classificação energética das Instalações Electricas [7].....	34
Figura 7 Superficie Iluminada, dividida pela área Visível denomina.se por Luminância [9]35	
Figura 8 Fluxo Luminoso .....	36
Figura 9 Angulo solido [10] .....	36
Figura 10-intensidade Luminosa .....	37
Figura 11 Iluminancia sobre uma Superficie [5].....	38
Figura 12 Angulos usados no calculo da Iluminância semicilindrica [11].....	40
Figura 13- Angulos usados no calculo da Iluminância [11] .....	41
Figura 14 Luminância [11] .....	41
Figura 15 Área aparente [11].....	42
Figura 16 Esquematização da acuidade Visual [7] .....	43
Figura 17 Sensibilidade relativa da visão fotópica e escotópica[7] .....	45
Figura 18 Visão Mesópica [12] .....	46
Figura 19 Lampada de Vapor de Sódio .....	50
Figura 20 Lâmpada de iodetos Metálicos 1.....	50
Figura 21 Junção P-N 1 .....	51
Figura 22 Tipos de LED – Baixa Potencia, 1Média Potencia, alta potencia.....	52
Figura 23 Constituição dos LEDs brancos 1baixa potencia[32] .....	53

Figura 24 Constituição Golden Dragon (1W)sem lente[32] .....	53
Figura 25 - Temperatura de cor do LEDs, [33].....	54
Figura 26- Exemplo de lâmpadas LED .....	55
Figura 27 Exemplo de aplicação 1e distribuição LUZ [OSRAM] .....	56
Figura 28 Relação entre o tempo de vida util e a temperatuta da luminaria [34].....	58
Figura 29 Balastro eletromagnético .....	59
Figura 30 Balastro electrónico .....	60
Figura 31 Driver para Iluminação LED .....	62
Figura 32 Conversores AC/DC DC/AC 1 .....	62
Figura 33 - Arquitetura Owlet IoT, [36] .....	63
Figura 34 Projeto de iluminação 1interior exterior Stware Dialux EVO.....	65
Figura 35 Exemplo de uma instalação com Sensores[37] .....	66
Figura 36 Sensor Crepuscular[38] .....	67
Figura 37 - Variações das Estações do ano Hemisferionorte [39].....	68
Figura 38 - Relógio astronómico [40] .....	68
Figura 39 Regulador de Fluxo Luminoso periodo noturno [38] .....	70
Figura 40 - Reguladores de Fluxo[38] .....	70
Figura 41 - Vantagens dos reguladores de 1fluxo [38].....	71
Figura 42 Sistema de controlo por PLC .....	72
Figura 43 Exemplo de rede LPWAN .....	73
Figura 44 exemplo de funcionamento de redução por tensão[46] .....	74
Figura 45 Sistema Scada [47] .....	74
Figura 46 Sistema de hardware para ligação Sistema Dali.....	77
Figura 47 Comunicação do Sistema Dali .....	77

Figura 48 circuito de interligação DALI .....	78
Figura 49 Arquitetura do CityTouch, [5 1] .....	81
Figura 50 Arquitetura Telensa PLANet [52] .....	82
Figura 51 - Arquitetura Owlet Nightshift [53] .....	83
Figura 52 SeCo (à esquerda) e LuCos ( direita).....	84
Figura 53 exemplo do Funcionamento da Telegestao[54]] .....	87
Figura 54 Ilustração da Gestão por Ponto de Luz.....	87
Figura 55 Índice da classe de iluminação area conflito criterio de luminancia [16] .....	100
Figura 56- Brilho encadeaste (Glare) [17 1.....	112
Figura 57 O DLOR .....	113
Figura 58 Rácio envolvente .....	114
Figura 59 Rácio envolvente (5m) .....	114
Figura 60 Rácio envolvente (metade da largura da estrada) .....	115
Figura 61 Rácio envolvente (largura da f 1( largura da faixa exterior ao limite da estrada que nao esteja obstruida ).....	115
Figura 62 Fator de manutenção .....	116
Figura 64 Fator de sobrevivência da lâmpada.....	117
Figura 65 Fator de manutenção da luminaria .....	118
Figura 66 - Uniformidade Longitudinal [17] .....	119
Figura 67- Fator de manutenção da luminosidade da lampada .....	122
Figura 68 Fator de sobrevivência llampada.....	122
Figura 69 Fator de manutenção LMF .....	123
Figura 70 Avenida da Republica .....	127
Figura 71 R. Gil Eanes .....	127

Figura 72 Avenida da República 3D .....	131
Figura 73 Avenida da República .....	132
Figura 74 Avenida da República Dialux .....	132
Figura 75 -Linhas isográficas da Luminancia .....	132
Figura 76 Linhas isográficas da luminancia .....	133
Figura 77 Uniformidade longitudinal .....	133
Figura 78-Cálculo da área para o índice de eficiência energética [14].....	133
Figura 79-Rua do Gil Eanes 3 D caso 2.....	148
Figura 80 – Esquema da Rua Gil Eanes Perspetiva Dialux 2 faixas.....	148
Figura 81 Esquema 3D da Rua Gil Eanes Dialux .....	148
Figura 82-Linhas isográficas da luminância Iluminância .....	149
Figura 83 Linhas isográficas da Iluminância .....	149
Figura 84 Uniformidade Longitudinal .....	149
Figura 85 Cálculo da área para o índice de eficiência energética [14].....	150

## Índice de Tabelas

Tabela 1 Índice de Eficiência Energética I.P[7] .....	33
Tabela 2 características lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão .....	47
tabela 3 características de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão .....	48
Tabela 4 Características de Lâmpadas de 1Vapor de sódio baixa pressão .....	48
Tabela 5 Características das lâmpadas de iodetos metálicos .....	49
Tabela 6 Temperatura de cor e eficiência típicos para LEDs de alta potência.....	55
Tabela 7 vantagens e desvantagens das lâmpadas LEDs.....	57
Tabela 8 Poupança energética com regulação de fluxo para cada tipo de lâmpada [38] ..	71
Tabela 9- Sistemas de Telegestão de Iluminação Pública .....	85
Tabela 10-Parâmetros de iluminação para cada tipo de estrada[16].....	93
Tabela 11- Parâmetros de iluminação para cada tipo de estrada[16].....	94
Tabela 12 Classificação de vias principais 1ME[16] .....	96
Tabela 13 Parâmetros da classe de iluminação .....	97
Tabela 14 Classe área conflito, Classe adjacente [16].....	99
Tabela 15 Método para a seleção da classe [16] .....	101
Tabela 16 Parâmetros de Iluminação CE da Norma EN13202-2:2003[16] .....	102
Tabela 17-Classes ME e CE com um nível de Iluminação comparável[16] .....	103
Tabela 18-Método para a seleção da classe de Iluminação[16] .....	104
Tabela 19 Parâmetros da classe de iluminação S da Norma EN132001-2:3003[16] .....	104
Tabela 20 Parâmetros da classe de iluminação da Norma 13201-2:2003[16] .....	105
Tabela 21 Parâmetros da classe de iluminação ES da norma 13201-2:2003[19] .....	106
Tabela 22 Parâmetros da classe de iluminação 1 EV da Norma EN 132001-2:2003[16] .....	106
Tabela 23 Correspondência do nível de Iluminação das diversas classes [16] .....	107

Tabela 24 Parâmetros da classe de iluminação Norma EN 13201-2:2003[16] .....	107
Tabela 25 Método para a seleção da classe de Iluminação [P7].....	108
Tabela 26 - Número de horas por regime de funcionamento .....	117
Tabela 27 Classe de Iluminação .....	129
Tabela28 Características das Luminárias 1AV.da República .....	130
Tabela 29 características das Luminarias 1 .....	131
Tabela 30 Valores tarifários de B.T segundo ERSE .....	138
Tabela 31 Ciclo Tri-horario para BTN Portugal Continental .....	139
Tabela 32 Distribuição horaria diaria Iluminação Publica .....	139
Tabela 33 Distribuição horaria anual da Iluminação I.P. ....	140
Tabela 34 Custo equipamentos incluindo postes para Solução LED.....	141
Tabela35 Custo de instalação componentes-equipamentos solução LED.....	141
Tabela 36 Custo anual da Luminaria Eternity PHILIPS.....	142
Tabela 37 custo total anual de energia consumida Solução LED .....	142
Tabela 38 Estudo Economico solução LED .....	143
Tabela 39 custo de equipamentos Solução vapor de sódio alta pressão .....	144
Tabela 40 custo do equipamento VSAP.....	144
Tabela 41 custo anual da energia MC2 VSAP scréder150W .....	144
Tabela 42 Custo total de energia solução VSAP .....	145
Tabela 43 dados de analise economica da solução VPSA .....	145
Tabela 44 Estudo económico 1para solução vapor de sódio alta pressão.....	146
Tabela 45 classe Iluminação .....	147
Tabela 46 Características das 1luminarias R.Gil Eanes.....	147
Tabela 47 características das Luminarias .....	147

Tabela 49 Custo da instalação dos componentes solução LED.....	151
Tabela 50 Tarifas Transitórias de Venda clientes finais ERSE.....	152
Tabela 51 Ciclo tri-horario B.T .....	152
Tabela 52 Distribuição horaria de I.P. ....	152
Tabela 53 Distribuição horaria anual I.P .....	153
Tabela 54 Custo Total de Energia Consumida por LED.....	153
Tabela 55 Estudo Economico para solução LED .....	154
Tabela 56 Custo Solução equipamento VSAP .....	155
Tabela 57 Custo de equipamento solução VSAP postes incluídos.....	155
Tabela 58 Custo anual das MC2 VSAP schröder 150W .....	155
Tabela 59 Custo anual de energia consumida VSAP .....	156
Tabela 60 dados da Luminária VSAP 150w.....	156
Tabela 61 Estudo económico solução VSAP.....	157



## **Siglas e Acrónimos**

AC – Alternating Current (corrente alternada)

ADC – Analog-to-Digital Converter

AV-Avenida

BT– Baixa Tensão

CA-Alternate Current (Corrente Alternada)

CIE-Commission Internationale de L'éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)

CL-Controlador da Luminária

CS Controlador de Segmento

DALI Digital Addressable Lighting Interface (Interface de Comunicação Digital para Iluminação)

DC – Direct Current (corrente direta)

DC Direct Current (Corrente Contínua)

DFT Documento de materiais e aparelhos - Fichas Técnicas

DIAC – Diode for alternating current

DIT Documento de Instalações Tipo DLOR Downward Light Output Ratio (rácio de saída do fluxo luminoso para baixo)

DMA Documento de materiais e aparelhos - características e ensaios

DRE Documento de Regras de Execução

DSI Digital Serial Interface (Interface Serial Digital)

DTC Distribution Transformer Controller

DTT Documento de Tabelas Técnicas EDP Energias de Portugal

EN European Norm (Norma Europeia)

ENE Estratégia Nacional para a Energia

ERSE Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FM Fator de Manutenção FML Fator de Manutenção da Luminária

FMLL Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada

FSL Fator de Sobrevivência da Lâmpada FU Fator de Utilização

HDI High Discharge Intensity (Descarga de Elevada Intensidade)

HID – High Intensity Discharge

HMI- Human Machine Interface

IDE – Integrated development environment

IEC International Electrotechnical Commission (Comissão Internacional de Eletrotécnica)

IEE Índice de Eficiência Energética

IP Iluminação Pública

IP-Iluminação Publica

IRC – Índice de Reprodução de Cor

IRC Índice de Restituição de Cor

LDR – Light Dependent Resistor

LED – Light Emitting Diode

LED Light Emitting Diode (Díodo Emissor de Luz)

LFC – Lâmpadas Fluorescentes Compactas (Poupança de energia)

LITES – Led-based Intelligent Street Lighting for Energy Savin

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

MEID Ministério da Economia, Inovação e Desenvolvimento

MT Média Tensão

PCB-Printed Circuit Board

PN – junção semicondutora constituída por um material dopado positivamente e um material dopado negativamente

QREN-Quadro de Referencia Estratégico Nacional

RTD – Resistive Thermal Devices

SCR – Silicon-controlled rectifier

SI – Sistema Internacional

SSL – Solid State Lighting

TRAV- Travessa

TRIAC – Triode for Alternating Current

VSAP- lâmpadas de vapor de sódio

$\phi(t)$  Fluxo luminoso de uma lâmpada no instante  $t$

$\phi_0$  Fluxo luminoso inicial

$\lambda$  Comprimento de onda

$\varnothing$  Diâmetro

$\eta$  Eficiência luminosa

$\phi$  Fluxo útil

$\phi$  Fluxo luminoso

$\partial\phi$  Fluxo luminoso incidente num elemento de superfície

$\partial A$  Elemento de área

$\partial\Omega$  Ângulo sólido

$\theta$  Ângulo entre dois segmentos

$\omega$  Unidade de ângulo sólido  $\varepsilon$  Rendimento luminoso de uma fonte de luz

$\varepsilon$  Índice de eficiência energética das instalações de iluminação pública

## **1 INTRODUÇÃO**

Nos dias de hoje a iluminação pública é muito importante ou seja essencial nos grandes centros urbanos tendo em conta a qualidade de vida das pessoas, permitindo os habitantes levar uma vida normal, atuando como instrumento de cidadania, permitindo desfrutar, plenamente, do espaço público no período noturno.

Foram tempos em que antigamente se utilizava as candeias a petróleo, penduradas em raros e privilegiados pontos, nomeadamente em pontos centrais dos centros mais importantes públicos designados por logradouros públicos constituídos por um grande défice iluminação sem qualquer tipo legislação técnica e muito longe de se pensar em grandes centros urbanos.

Nos dias de hoje iluminação pública previne a criminalidade está ligada a segurança pública, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, facilita a hierarquia viária, orienta percursos e aproveita melhor as áreas de lazer.

A melhoria da qualidade dos sistemas de iluminação pública traduz-se em melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio, e o lazer noturno, ampliando a cultura do uso eficiente e racional da energia elétrica, contribuindo, assim, para o desenvolvimento social e econômico da população.

Apesar de indispensável nos dias que correm, tornou-se necessário encontrar formas de maximizar a eficiência dos sistemas de iluminação pública, sob pena de pagar uma elevada fatura energética cada vez mais difícil de comportar.

### **1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO**

Neste trabalho sobre o tema, desenvolvimento de sistemas de Iluminação Pública, no âmbito de fiscalização e gestão tecnológica de Iluminação pública, Pretende-se obter melhorias muito significativas sobre o aproveitamento da energia elétrica nos meios urbanos domésticos que atualmente é indispensável nas nossas vidas.

Para melhor compreensão devemos ter maior conhecimento e informação sobre as percentagens de energia consumida pelos consumidores e a energia gasta em perdas que podem ser evitadas ou seja recuperadas, em parte através de métodos e processos de melhoria, tendo em conta as tecnologias existentes ou seja através de programas de gestão informática e através de melhorias efetuar na rede elétrica (por ex: Equipamentos, condutores elétricos, tipos de materiais utilizados.)

Em resumo procurar evitar os desperdícios e baixar os custos energéticos. [1]



Figura 1 Camara Municipal de Gaia

## 1.2 OBJECTIVOS

Este trabalho tem como objetivo a implementação de Sistema de Monitorização e Gestão tecnológica com recurso a várias tecnologias.

Dada a complexidade inerente a este objetivo, sentiu a necessidade de o subdividir em múltiplas tarefas de realização mais simples, tais como:

O trabalho será dividido em várias fases: análise e estudo da rede de iluminação pública, gestão tecnológica e por último caso de estudo.

- Esboçar um plano Municipal de Iluminação Pública contemplando eficiência energética, telegestão, horários, tipologias de colunas, índices luminotécnicos, tipos de IP.
- Melhorar a eficiência energética (através de supervisão: com sistemas de software e gestão).
- Estudo e análise de informações sobre o tipo de materiais utilizados (condutores elétricos, tipos de isolamento) fazendo comparações através de estudos (dos respetivos materiais)
- Efetuar estudo sobre periodicidade de manutenções quer seja preventiva, corretiva de forma a retirar vantagens.
- Verificação de custos financeiros em termos de ramais quer sejam subterrâneos, ou aéreos. Analisar as perdas elétricas existentes de forma a melhorar o desperdício
- Utilização de modelos de software para melhor análise e compreensão dos estudos a efetuar.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

No Trabalho de estudo proposto foi considerado que seria importante contar com um total de cinco capítulos, sendo o capítulo atual um breve enquadramento do tema no contexto atual e local.

No capítulo dois refere o estado de arte do trabalho onde é feita uma caracterização historial da Iluminação pública quer do passado e do presente, fala sobre eficiência energética, Grandezas e respetivas unidades, Expressões e métodos de calculo, Software Dialux vantagens desvantagens, fontes Luminosas, legislação sobre iluminação geral e os diversos protocolos existentes, como também uma revisão dos conceitos luminotécnicos envolvidos convergindo para a análise da situação portuguesa e mais especificamente Município de Vila Nova de Gaia

No capítulo terceiro refere as normas e legislação referentes a norma europeia

EN 13201:1- Escolha das classes de iluminação;

EN 13201:2- Parâmetros fotométricos recomendados,

EN 13201:3- Cálculo dos parâmetros fotométricos

EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométrica.

Também refere níveis, uniformidades e classes de Iluminação, Gestão do processo de Iluminação de IP, Normas distribuidoras DMAS.

Capítulo quarto é apresentada o caso de estudo ou seja estudo Luminotécnico das classificações das vias, custos e análise financeira sobre redes aéreas/subterrâneas, comparações, protocolos vantagens e desvantagens

No capítulo quinto: Conclusões e Trabalho Futuro, neste último capítulo apresentam-se as conclusões retiradas da realização desta dissertação e projeta-se qual o trabalho a realizar no futuro.



## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 INTRODUÇÃO HISTÓRIA DE ILUMINAÇÃO

Durante séculos, as cidades europeias tinham um especto sombrio à noite. A partir do toque de recolher, tudo desaparecia numa absoluta escuridão, só compensada pelo brilho das estrelas e pelo esplendor da Lua. O melhor, por isso, era ficar fechado em casa, mas por vezes era necessário sair, fosse por motivos de trabalho, para ir à igreja ou para assistir ao teatro, a um baile ou um jantar em casa de amigos. No Inverno, era habitual o crepúsculo surpreender as pessoas fora de suas casas.

“O problema não era apenas a falta de luz, mas também a insegurança, pois a noite tornava-se no reino dos criminosos. Quando as sombras pacíficas do crepúsculo fazem fechar as lojas com grades duplas, os ladrões tomam conta da cidade”, escreveu o poeta Boileau em 1666 a propósito de Paris.

O candeeiro de rua, uma invenção holandesa [figura2]. As lanternas instaladas em Paris impressionavam os visitantes e pode dizer-se que o futuro da iluminação pública moderna começou quase ao mesmo tempo noutra cidade: Amsterdão. Ali, Jan van der Heyden inventou uma luminária de rua que funcionava a óleo, provida de reflectores que multiplicavam a luz. Em 1669, a metrópole neerlandesa criou uma rede de luminárias nas ruas e espaços abertos para dar segurança aos transeuntes não apenas contra os ladrões, mas também para reduzir o risco de quedas nos canais. Berlim adoptou este sistema em 1682 e, no ano seguinte, Anthony Vernatty introduziu em Londres uma luminária parecida, a chamada “lâmpada convexa”. Na imagem lanterna a óleo com reflector. Projeto do arquiteto Pierre Patte. Amsterdão, 1766.

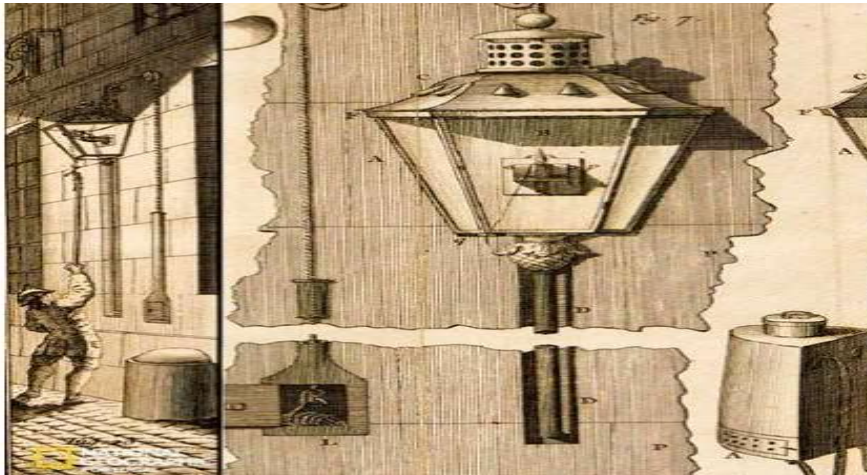


Figura 2 candeeiro de rua [2]

### 2.1.1 Evolução da iluminação no Mundo-Europa

Hoje em dia a Iluminação urbana, o seu desenvolvimento e o impacto gerado é de tal ordem que o ser humano por vezes não se apercebe vejamos a figura 3 Constatamos-se que os países mais evoluídos são os que têm maior quantidade de pontos de luz.



Figura 3 Vista do Planeta Iluminado [ 3 ]

Verificamos que a Europa em geral tem muita iluminação, os Estados Unidos são o país com a maior concentração de pontos luminosos, o Brasil tem bastantes pontos luminosos igualmente, finalmente pode ver-se a Rússia e o Japão com numerosos pontos luminosos. No lado oposto sem pontos luminosos existe o continente africano, exceto á Africa do Sul e o continente Asiático também com um número reduzido de pontos de Luz.

### 2.1.2 Evolução da iluminação pública em Portugal.

Em Portugal a iluminação pública é responsável por aproximadamente 3% do consumo total de energia elétrica. Nos municípios a fatura relativa a esta componente pode em alguns casos ultrapassar 50% do total do seu orçamento.

Tendo em conta, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (4) define, entre outras áreas, um conjunto de medidas de eficiência energética na área do Estado, que incluem a “Iluminação Pública Eficiente”. Também o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP), que visa reduzir 30% da fatura energética do Estado até 2020, atribui especial importância ao desenvolvimento de ações dirigidas à utilização racional de energia e ao aumento da eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública [5]

### 2.1.3 Eficiência Energética na iluminação Pública

A Iluminação seu conjunto usa cerca de 10 a 20% do total da eletricidade nos países industrializados, pelo que deve ser um dos principais alvos na energética. Com o uso de equipamento eficiente de nível de iluminação produzido e em bastantes casos a uma redução de potência, conseguindo se poupanças substâncias de energia elétrica e qualidade de luz superior. Observando (figura 4), os custos associados a um vida útil, em custos iniciais de investimento e custos operacionais (manutenção e energia).

Custo de vida numa instalação industrial, num edifício de serviços ou na iluminação, com elevado número de horas de funcionamento é o consumo de energia. Para que haja um uso eficiente de iluminação requer um projeto que integre de forma ótima a iluminação natural e o sistema de iluminação artificial.

Uma instalação de equipamento eficiente inclui, lâmpadas de alto rendimento, balastros eletrónicos, armaduras com reflexão elevada e equipamento de controlo. [6]

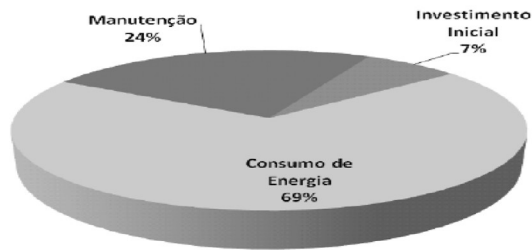


Figura 4 Custos de vida útil [6]

Principais alvos na racionalização e iluminação, que leva a um aumento do nível de iluminação produzido e em bastantes casos a uma redução de potência, conseguindo-se poupanças substanciais de energia elétrica e qualidade de luz superior.

#### 2.1.4 Eficiência Energética de uma instalação

A eficiência energética de uma instalação de IP define-se como a relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada, conforme a seguinte equação :

$$\epsilon = \frac{k \times S \times E}{P} \quad (1)$$

Legenda:

- $\epsilon$  – Eficiência energética da instalação
- $S$  – área total (m<sup>2</sup>) resultante do produto do valor da interdistância entre pontos de luz e largura total da via e passeios, no caso do perímetro urbano, de fachada a fachada
- $E$  – nível médio de serviço calculado (lux)
- $P$  – potência total das luminárias mais auxiliares intervenientes na área calculada (W)
- $K = 1$  para  $L > 6m$ ;  $1,33$  para  $L < 6m$

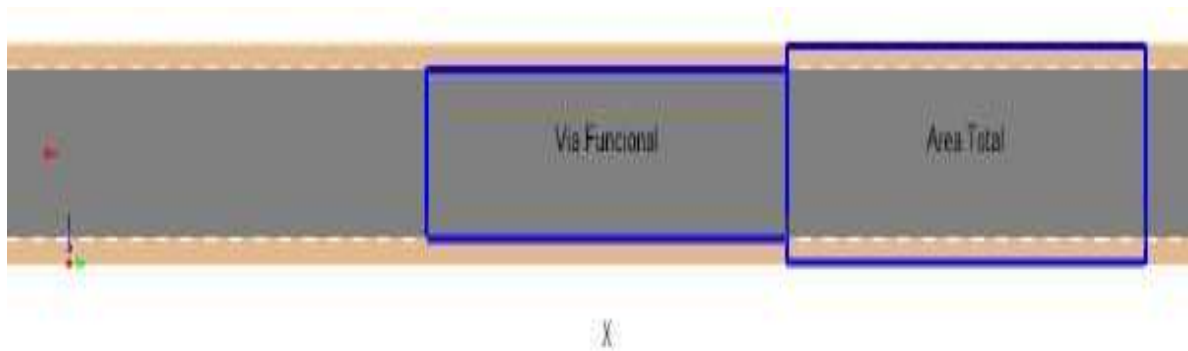


Figura 5 Calculo da área para índice da eficiência elétrica [7]

O certificado energético (CE) de uma instalação IP é um documento que traduz o desempenho energético da instalação, classificando-a numa escala de A a G. As várias classes energéticas representam os intervalos percentuais do consumo de referência.

Assim, a classe energética mais eficiente corresponde à letra A, e a menos eficiente à letra G.

Tabela 1 Índice de Eficiência Energética I.P [7]

Funcional	Eficiência Energética
A	$\epsilon > 40$
B	$40 \geq \epsilon > 35$
C	$35 \geq \epsilon > 30$
D	$30 \geq \epsilon > 25$
E	$25 \geq \epsilon > 20$
F	$20 \geq \epsilon > 15$
G	$\epsilon \leq 15$

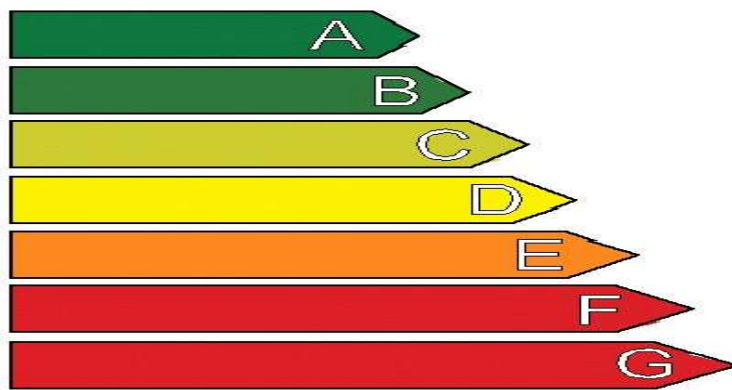


Figura 6 Classificação energética das Instalações Elétricas [7]

## 2.2 GRANDEZAS E MÉTODOS DE CALCULO

### 2.2.1 Conceitos Luminotécnicos

Conceito luminotécnico nada mais é do que o conjunto de ações e aplicações da iluminação em ambientes internos e externos, baseadas em um estudo científico da luz e suas aplicações. Estes sistemas devem ser projetados tendo em conta alguns parâmetros que definem uma iluminação de qualidade e adequada à atividade a desenvolver.

### 2.2.2 Grandezas Luminotécnicas

Basicamente em luminotecnia as quatro grandezas principais a considerar são:

- Fluxo luminoso;
- Intensidade luminosa;
- Iluminação ou iluminância;
- Luminância;

Estas grandezas permite caracterizar as instalações iluminação, permite avaliar os diversos locais, a eficiência energética, e a qualidade. [8]

Luminância é uma medida da densidade da intensidade de uma luz refletida numa dada direção, cuja unidade SI é a candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície em questão, e decai segundo um ângulo sólido.

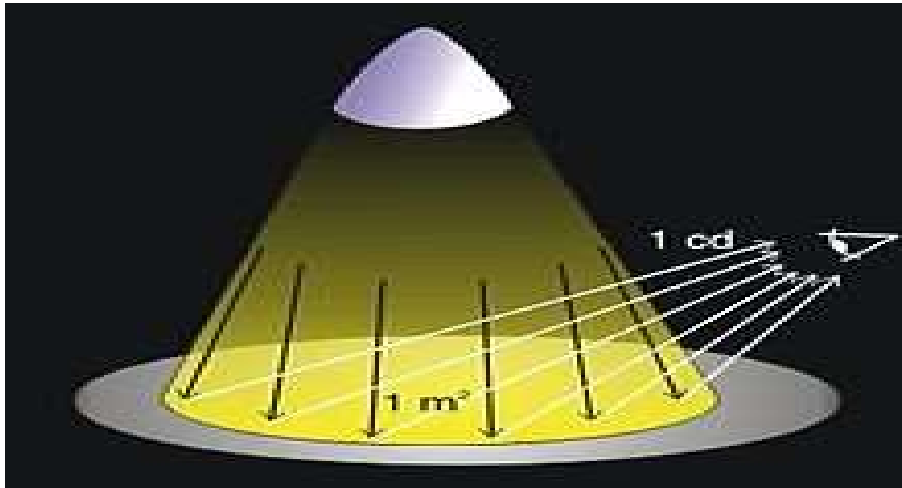


Figura 7 Superfície Iluminada, dividida pela área visível denomina-se por Luminância [9]

Observando parte uma superfície iluminada, a intensidade luminosa refletida por uma superfície dividida pela área visível para os olhos denomina-se luminância.

Pode ser descrita com a seguinte equação (2):

$$L_V = \frac{d^2 F}{dS d\Omega \cos \theta} \quad (2)$$

Onde:

- $L_V$  é a luminância, medida em candelas /metro<sup>2</sup>.
- $F$  é o fluxo luminoso, em lumens.
- $dS$  é o elemento de superfície considerado, em metros<sup>2</sup>.
- $d\Omega$  é o elemento de ângulo sólido, em estereorradianos.
- $\theta$  é o ângulo entre a normal da superfície e a direção considerada.

### 2.2.3 Fluxo Luminoso

Designado como sendo a radiação total emitida em todas as direções por uma fonte luminosa ou fonte de luz que pode produzir estímulo visual. A parte significativa do fluxo que produz sensação luminosa ao olho é o fluxo luminoso (F ou  $\phi$ ) [10]



Figura 8 Fluxo Luminoso

O valor do fluxo luminoso permite saber a quantidade de luz emitida pela fonte num intervalo de tempo, equação (3).

$$Q = F \times t \quad (3)$$

Em que:

- -Q é a quantidade de luz (lm.s);
- -F é o fluxo luminoso (lm);
- -t é o intervalo de tempo (s)

### 2.2.4 Intensidade Luminosa

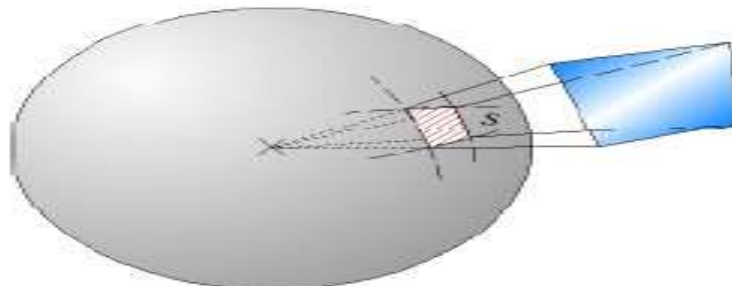


Figura 9 Angulo solido [10]

Assim o ângulo sólido será dado pela equação (4):

$$W = \frac{S}{r^2} \quad (4)$$

Em que:

- w É o ângulo sólido (sr);
- S é a área de superfície esférica (m<sup>2</sup>);
- r é o raio da esfera (m)

Intensidade luminosa pode então ser definida como fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido no qual é emitido, pressupondo-se que a fonte luminosa é pontual.

A unidade de intensidade luminosa é a candela (cd). A figura (10) mostra o conceito de fluxo luminoso

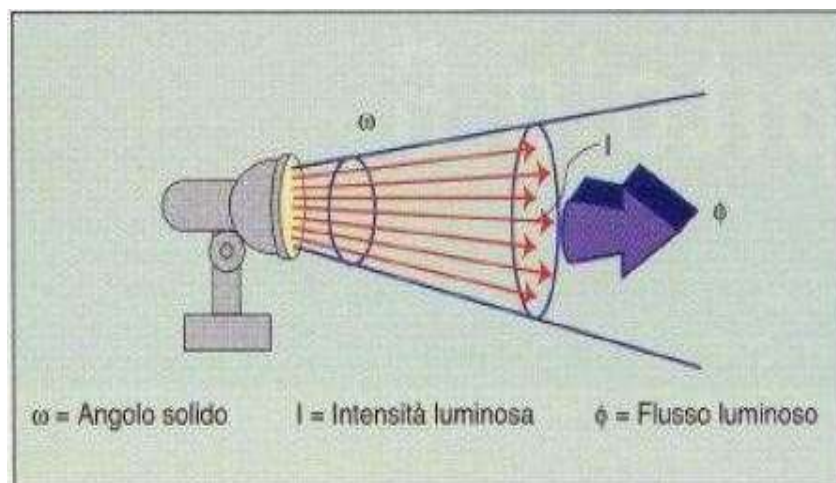


Figura 10-intensidade Luminosa

A intensidade luminosa é obtida pela expressão (5):

$$I = \frac{F}{w} \quad (5)$$

Em que:

I é a intensidade luminosa (cd)

### 2.2.5 Iluminância

Iluminância ou iluminação é o fluxo luminoso recebido por unidade de área iluminada como representado na figura 11. A unidade de iluminância é o lux (lx). Podemos definir um lux como a iluminância de uma superfície de 1m<sup>2</sup> que recebe, uniformemente repartida, o fluxo de 1 lúmen [10].

Assim, a iluminância é dada por:

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (6)$$

Em que:

-E é a iluminância (lux);

-S é área a superfície iluminada (m<sup>2</sup>).

A iluminância é um dos fatores mais importantes a ter em conta no dimensionamento de uma instalação de iluminação, pois deve ser adequada ao local.

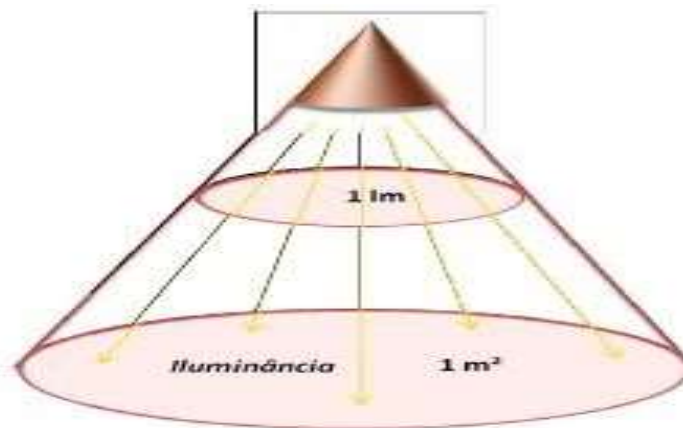


Figura 11 Iluminância sobre uma Superfície [5]

Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

- Horizontal.
- Vertical.
- Semicilíndrica.
- Hemisférica.

### 2.2.6 Iluminância Horizontal

Os pontos de cálculo devem estar localizados num plano ao nível do chão na área de interesse. Para cada ponto, a iluminância horizontal é calculada pela seguinte fórmula (7):

$$E = \frac{I \times \cos^3(\varepsilon) \times \Phi \times MF}{H^2} \quad (7)$$

Legenda:

E – Iluminância horizontal num ponto, em lux.

I – Intensidade luminosa na direção do ponto, em candelas (cd), normalizada por kilo lúmen (klm).

$\varepsilon$  - Ângulo de incidência da luz no ponto, em graus.

H – Altura a que se encontra a luminária, em metros.

$\Phi$  - Fluxo luminoso inicial da (s) lâmpada (s) da luminária, em klm.

MF – Produto do fator de manutenção do fluxo da lâmpada (LLMF) com o fator de manutenção da luminária (LMF).

### 2.2.7 Luminância Hemisférica

Os pontos de cálculo são novamente localizados num plano ao nível do chão, na área de interesse. Para o cálculo da iluminância hemisférica num determinado ponto, recorre-se à seguinte equação:

$$E = \frac{I \times [\cos^3(\varepsilon) + \cos^3(\varepsilon)] \times \Phi \times MF}{4 \times H^2} \quad (8)$$

### 2.2.8 Iluminância Semicilíndrica

Os pontos de cálculo devem estar localizados num plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância semicilíndrica é calculada pela seguinte fórmula:

$$E = \frac{I \times [1 + \cos(\alpha)] \times \cos^2(\epsilon) \times \sin(\epsilon) \times \phi \times MF}{\pi \times (H - 1.5)^2} \quad (9)$$

$\alpha$  - Ângulo entre o plano vertical que contém o caminho do raio incidente, com o plano vertical em ângulos retos à superfície rebatida do semicilindro (Figura 12).

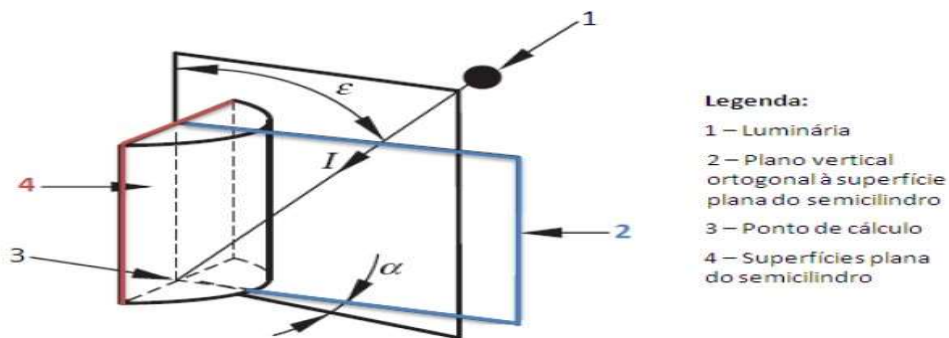


Figura 12 Ângulos usados no cálculo da Iluminância semicilíndrica [11]

### 2.2.9 Iluminância Vertical

Os pontos de cálculo devem igualmente estar localizados num plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância vertical é calculada pela seguinte fórmula: [10]

$$E = \frac{I \times \cos(\alpha) \times \cos^2(\epsilon) \times \sin(\epsilon) \times \phi \times MF}{(H - 1.5)^2} \quad (10)$$

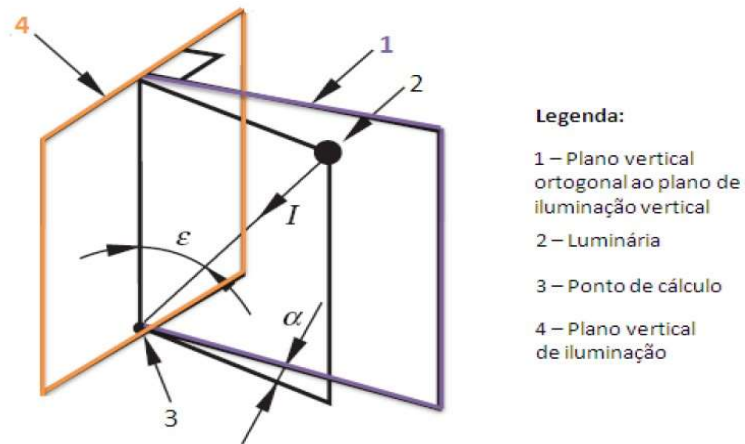


Figura 13- Ângulos usados no cálculo da Iluminância [11]

### 2.2.10 Luminância

É considerado a luminância ( $L$ ) uma medida da densidade da intensidade da luz quando refletida numa dada direção, é descrita como a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido ( $\partial\Omega$ ).

A unidade SI a candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), também conhecida por nit (nt)

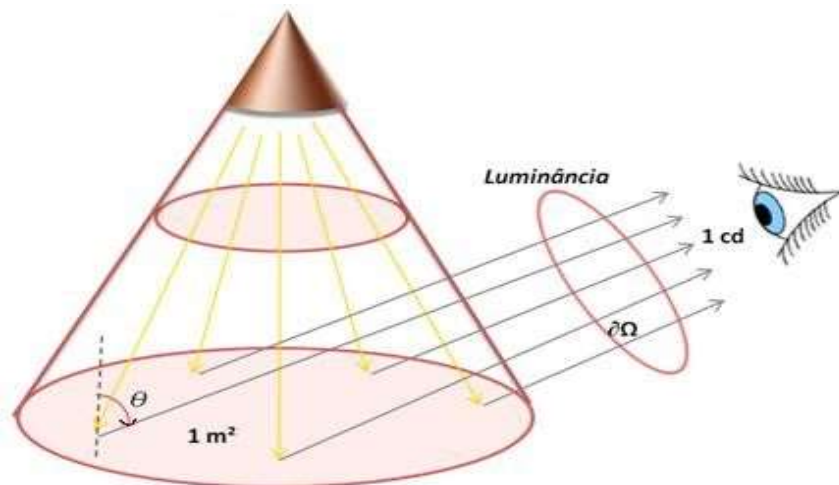


Figura 14 Luminância [11] 1

A luminância ( $L$ ) pode ser entendida como o quociente entre a intensidade luminosa ( $I$ ) e a área ( $A$ ) que a reflete segundo uma determinada direção ( $\theta$ ), ou seja conforme a equação (11):

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\theta)} \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (11)$$

Ao denominador desta equação, dá-se o nome de área aparente, que não é mais do que a área projetada na direção do observador, correspondente à área da superfície iluminada.

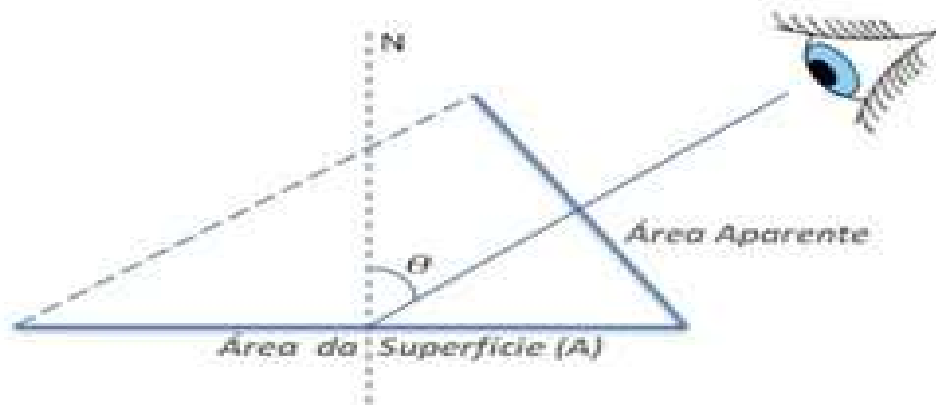


Figura15- Área aparente [11]

O cálculo da luminância (L), num ponto da via, pode ser efetuado através da expressão:

$$L = \frac{I \times r \times \phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2} \quad (12)$$

Legenda:

$I$  – intensidade luminosa (cd) normalizada por klm

$r$  – coeficiente de luminância reduzida para um vetor de luz incidente, com coordenadas angulares  $(\varepsilon, \beta)$  – obtido através da tabela de reflexão do pavimento, em  $st^{-1}$

$\phi$  – fluxo luminoso inicial de cada luminária (klm)

MF – produto do LLMF com o LMF

H – altura

$\varepsilon$  – Ângulo de incidência

- $\beta$  – Ângulo suplementar
- $\sigma$  – Ângulo de observação
- $\varphi$  – Azimute da instalação

## 2.3 VISÃO DA SENSIBILIDADE DO SER HUMANO-LUZ

### 2.3.1 Acuidade Visual

A acuidade visual relaciona-se com a capacidade de resolução espacial de dois pontos e depende da densidade dos recetores na retina e do poder de refração do sistema das lentes óticas. Por outras palavras a acuidade visual é a capacidade que o olho tem de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objetos muito pequenos e próximos entre si. As distâncias na retina são referidas em termos de ângulo visual ( $\theta$ ). Assim, dizemos que a capacidade do olho em distinguir dois pontos está associada a um certo valor de ângulo visual. Quantitativamente, podemos dizer que a acuidade visual é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor [3] [7].

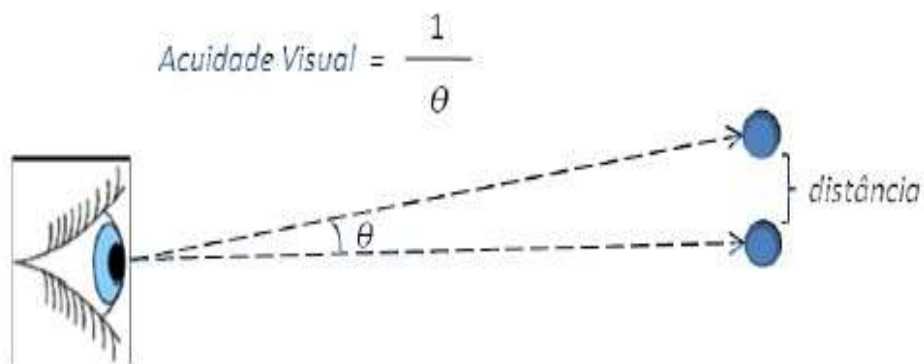


Figura 16 Esquematização da acuidade Visual [7]

Quando, por exemplo, são realizados testes visuais com letras e números de diferentes tamanhos num consultório oftalmológico, está a ser pesquisada a acuidade visual do paciente. O olho (na região da fóvea) possui uma capacidade de focagem elevada que permite discriminar duas linhas afastadas por 0,3 mm a uma distância de 1 metro.

Existem vários fatores que irão influenciar a acuidade visual, tais como [7]:

- Adaptação – capacidade que o olho humano possui para se ajustar a diferentes níveis de intensidade luminosa, mediante os quais a pupila irá dilatar ou contrair.
- Acomodação – é o ajustamento das lentes do cristalino do olho de modo a que a imagem esteja permanentemente focada na retina.
- Contraste – é a diferença de luminância entre um objeto que se observa e o seu espaço envolvente.
- Idade - A capacidade visual de uma pessoa diminui com a idade, uma vez que, com o passar dos anos o cristalino endurece perdendo a sua elasticidade, o que torna mais complicada a tarefa de focalização das imagens dos objetos.

### 2.3.2 Curva de Sensibilidade do Olho

- Define a sensibilidade do olho ao longo do dia.
- A curva define desde as condições de boa iluminação ( $> 3 \text{ cd/m}^2$ ) que ocorrem durante o período diurno, onde a visão é mais nítida, detalhada e as cores se distinguem perfeitamente, (denominada de visão fotópica, atingindo um valor máximo aos 555nm amarelo-esverdeado).
- Quando os níveis de luminância são inferiores a  $0,25 \text{ cd/m}^2$ , a sensação de cor não existe e a visão é mais sensível aos tons azuis e à luz (denominada de visão escotópica, com um valor máximo aos 493nm – azul-esverdeado).
- Nas situações existentes entre estes valores, a capacidade para distinguir as cores diminui em conformidade com a diminuição da quantidade da luz, variando a sensibilidade.

Aos tons amarelados para os tons azuis (denominada de visão mesópica).

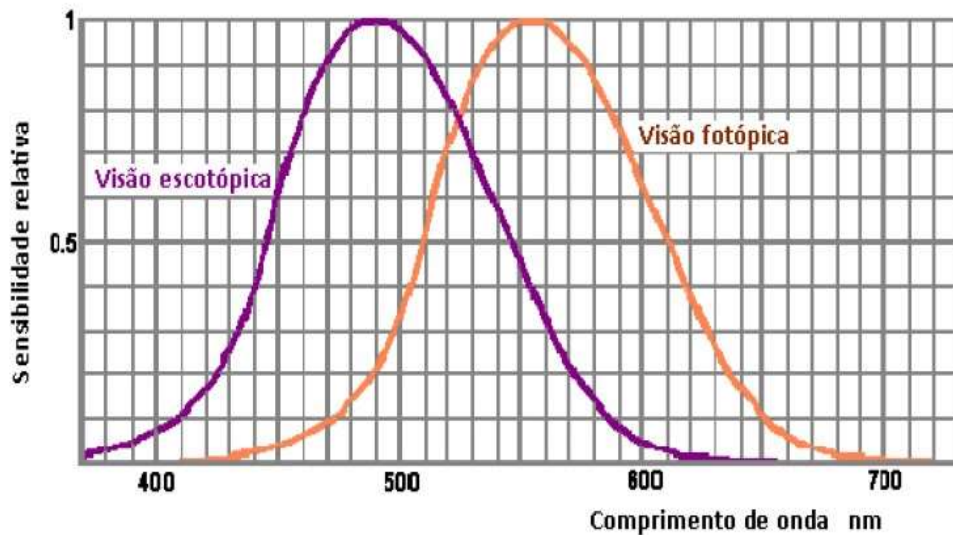


Figura 17 Sensibilidade relativa da visão fotópica e escotópica [7]

### 2.3.3 Visão escotópica

É o termo científico para referir a visão humana no escuro, sendo que nestas condições o olho humano utiliza os bastonetes para perceber a luz. A gama de sensibilidade dos bastonetes torna o olho mais sensível à luz azul durante a noite, enquanto a luz vermelha é quase exclusivamente percebida na visão fotópica (visão diurna). A máxima eficácia é 1700 lm/W num comprimento de onda de 507 nm [2].

### 2.3.4 Visão fotópica-

É o termo científico para a visão colorida dos humanos, sob condições normais de luminosidade durante o dia. O olho humano usa três tipos de cones para perceber a luz em três bandas respectivas de cor. Os pigmentos dos cones têm um valor máximo de absorção em comprimentos de onda de cerca de 445 nm (azul), 540 nm (verde) e 575 nm (amarelo). As suas gamas de sensibilidade sobrepõem-se para proporcionar uma visão contínua (mas não linear) ao longo do espectro visual. A máxima eficácia é 683 lm/W num comprimento de onda de 555 nm (amarelo). [12]

### 2.3.5 Visão mesópica

Encontra-se nos extremos da visão fotópica e escotópica. Nesta situação, quer os bastonetes quer os cones estão ativos. Acontece tipicamente ao entardecer e em condições noturnas com um luar intenso, e inclui quase todas as situações de iluminação externa.

À medida que os níveis de iluminação diminui a visão focal diminui assim como a percepção das cores. Existe, neste caso, uma deslocação da sensibilidade espectral desde o amarelo-esverdeado dos cones para o pico de comprimento de onda dos bastonetes, do azul esverdeado. [12]

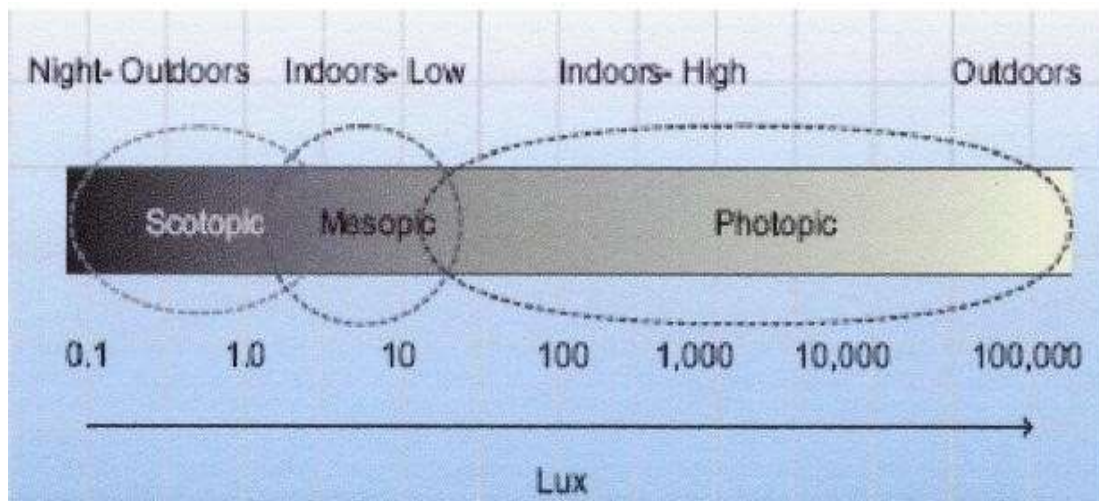


Figura 18 Visão Mesópica [12]

### 2.4 FONTES LUMINOSAS

Atualmente, em iluminação pública, as fontes luminosas mais utilizadas, são as lâmpadas de descarga, que têm como princípio básico de funcionamento a descarga elétrica entre dois elétrodos na presença de um gás que ao entrar em condução emite radiação eletromagnética. Em seguida são apresentados os princípios diferentes tipos de lâmpadas utilizados em iluminação pública com vários tipos de características Tabela 2,3,4,5. Lâmpadas Vapor de mercúrio de alta pressão: Este tipo de lâmpadas é

constituído por dois elétrodos principais e dois auxiliares que se encontram dentro do tubo de descarga em que existe uma mistura de mercúrio sob alta pressão e argon, este último de vaporização mais fácil o que facilita o arranque. Entre o tubo de descarga e a ampola exterior da lâmpada existe, normalmente, um gás inerte que permite a estabilidade térmica no interior da lâmpada. Alguns modelos têm também uma camada de pó fluorescente, adequados á produção de radiação vermelha, na parte interior do invólucro com o objetivo de transformar parte da radiação ultravioleta emitida em luz visível. Esta prática melhora significativamente o especto da luz emitida mas não se traduz numa grande melhoria do rendimento luminoso nem do índice de restituição cromática

Tabela 2 características lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

<b>Características das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão</b>	
Rendimento luminoso	De 36lm/W a 60lm/W
Temperatura de cor	De 3000°K a 4200°K
Índice de restituição cromática	Aproximadamente 50
Duração de Vida média	10000h
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Luminância	De 4cd/cm <sup>2</sup> a 15cd/cm <sup>2</sup>
Equipamento auxiliar	Balastro e condensador
Posição de funcionamento	Qualquer

Vapor de sódio de alta pressão: Este tipo de lâmpadas é constituído essencialmente por dois elétrodos inseridos num tubo de descarga de óxido de alumínio sinterizado. Dentro do tubo de descarga existe sódio, mercúrio e também xénon, em menor quantidade, para facilitar o arranque. O tubo de descarga é normalmente inserido dentro de uma ampola de vidro em vácuo, que forma o invólucro exterior da lâmpada

Tabela 3 Características de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

<b>Características das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão</b>	
Rendimento luminoso	De 65lm/W a 130lm/W
Temperatura de cor	De 1900°K a 2500°K
Índice de restituição cromática	De 25 a 80
Duração de vida média	De 8000h a 12000h
Tempo de arranque	Aproximadamente 5 minutos
Luminância	De 25cd/cm <sup>2</sup> a 500cd/cm <sup>2</sup>
Equipamento auxiliar	Ignitor, balastro e condensador
Posição de funcionamento	Qualquer

Vapor de sódio de baixa pressão: Este tipo de lâmpadas é composto por um tubo de descarga em vidro, em forma de “U” com um elétrodo em cada extremidade, desenhado para refletir a radiação infravermelha a fim de garantir uma temperatura suficientemente elevada para que seja possível a vaporização do sódio. Dentro do tubo de descarga existe sódio e um gás inerte que possibilita o arranque da lâmpada. O tubo de descarga encontra-se dentro de uma ampola de vidro que constitui o invólucro exterior da lâmpada.

Tabela 4 Características de Lâmpadas de Vapor de sódio baixa pressão

<b>Características das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão</b>	
Rendimento luminoso	De 98lm/W a 200lm/W
Temperatura de cor	Aproximadamente 1700°K
Índice de restituição cromática	0
Duração de vida média	12000h
Tempo de arranque	Aproximadamente 10 minutos
Luminância	6cd/cm <sup>2</sup>
Equipamento auxiliar	Ignitor e balastro
Posição de funcionamento	Qualquer

Iodetos metálicos: Este tipo de lâmpadas tem basicamente a mesma constituição que as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, exceto na mistura de substâncias

contida no tubo de descarga. Nas lâmpadas de iodetos metálicos são adicionadas ao mercúrio misturas com emissores iónicos ou com emissores moleculares, sendo que se obtêm uma emissão de luz com um espectro de riscas ou contínuo, respetivamente. Um exemplo de uma mistura utilizada com emissores iónicos é a composta por iodetos de sódio, tálio e índio. Uma mistura utilizada, com bons resultados, contendo emissores moleculares é conseguida pela junção de iodeto e cloreto de estanho.

Tabela 5 Características das lâmpadas de iodetos metálicos

<b>Características das lâmpadas de iodetos metálicos</b>	
Rendimento luminoso	De 65lm/W a 100lm/W
Temperatura de cor	De 3000°K a 6000°K
Índice de restituição cromática	De 81 a 95
Duração de vida média	De 3000h a 9000h
Tempo de arranque	Aproximadamente 4 minutos
Luminância	De 100cd/m <sup>2</sup> a 6000cd/m <sup>2</sup>
Equipamento auxiliar	Ignitor, balastro e condensador / balastro electrónico
posição de funcionamento	Pode haver restrições

#### 2.4.1 Lâmpadas de vapor de Sódio

A lâmpada de vapor de sódio é uma das tecnologias mais usada em Portugal. Esta é um tipo de lâmpada monocromático, de cor amarela com baixo IRC (índice de reprodução de cor) não permitindo uma boa reprodução de cores. São lâmpadas com elevada eficiência energética e que apresentam uma durabilidade elevada quando comparadas com outros tipos de lâmpadas, cerca de 24000 horas de funcionamento. Estas lâmpadas têm a possibilidade de variação de fluxo luminoso quando instaladas com balastros electrónicos associados. Existem as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e as de baixa pressão, sendo que a lâmpada de alta pressão com adição de mercúrio consegue melhorar o seu IRC [29] contudo, já não é utilizada



Figura 19- Lâmpada de Vapor de Sódio

#### 2.4.2 Lâmpada de Vapor de Mercúrio e Lâmpada de Iodetos Metálicos

A lâmpada de vapor de mercúrio ainda se encontra em algumas instalações em Portugal, principalmente em instalações mais antigas, embora atualmente a sua instalação já não seja permitida pela legislação existente para o efeito. A lâmpada de iodetos metálicos foi criada a partir da lâmpada de mercúrio, adicionando iodetos como o índio e sódio melhorando assim a nível de eficiência e o nível de IRC desta lâmpada. No entanto, são lâmpadas com um preço médio acima de 50€ e com baixa vida útil, cerca de 12000 horas. Este tipo de lâmpada necessita de um arrancador, pois apresenta uma impedância interna muito elevada, demorando inclusive algum tempo a acender quando é ligada.



Figura 20 Lâmpada de iodetos Metálicos

#### 2.4.3 Vários Tipos de LED

Na década de 60, surgiram os Díodos Emissores de Luz (Light Emitting Diode, LED). O LED é um dispositivo semicondutor com princípio de funcionamento a eletroluminescência,

emitindo luz através da combinação de elétrons e lacunas de um material sólido atualmente, estes dispositivos apresentam maior eficácia luminosa agregada á longa vida útil comparados às lâmpadas fluorescentes [11]

Além disso, o índice de reprodução de cores e a temperatura de cor são satisfatórios para o uso em iluminação de interiores. Os LEDs normalmente são alimentados em corrente contínua, possuem tensão de condução baixa, e não necessitam de ignição, diferente das lâmpadas fluorescentes.

O LED é composto por dois materiais distintos formando uma junção P-N, como acontece em alguns dispositivos semicondutores. Nesta junção, o lado P contém essencialmente lacunas (ou falta de elétron) enquanto o lado N contém essencialmente cargas negativas (excesso de elétron). Quando polarizado diretamente, os elétrons e lacunas se movimentam em direção ao mesmo ponto, assim resulta a emissão de fótons [11].

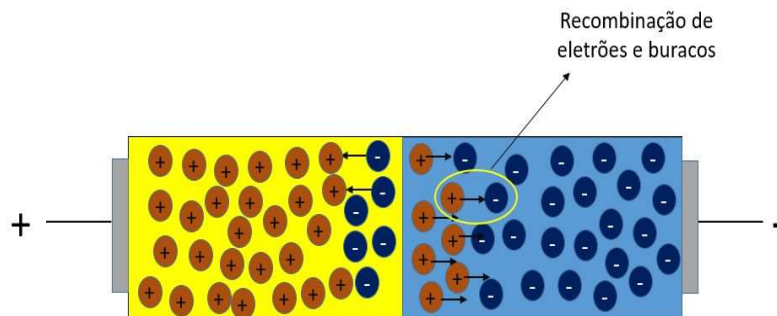


Figura 21 Junção P-N

Existe vários tipos de LEDs; Baixa Potencia ou LEDs, média Potencia, Alta Potencia Os leds mais utilizados em iluminação são os PC-Leeds (Phospor converted LEDs), Os LEDs de baixa potência ou Leeds de alto brilho são utilizados em eletrônica de consumo, serve para pontos luminosos com informação sobre se estão ligados, são muito utilizados na Indústria Automóvel. Tem consumos na ordem dos 0,1W e com fluxo luminoso inferior a 5 lm.

Os LEDs de média potência são utilizados em sinalização luminosa e em marcações luminosas, consomem cerca de 0,5W por unidade e um fluxo luminoso entre 20 a 60 lm.

Os leds de alta potência são os leds utilizados em vários tipos de aplicações de iluminação, têm uns consumos superiores a 1W e conseguem obter fluxos luminosos superiores a 100lm.



Figura 22 Tipos de LED – Baixa Potencia, Média Potencia, alta potencia

Os sofisticados LEDs de alta potência são variantes das arquiteturas apresentadas na Figura 22 com invólucros mais complexos, de forma a garantir uma melhor dissipação térmica. Apesar dos LEDs não emitirem radiação na gama do infravermelho, estes aquecem devido à dissipação de calor na junção PN, que pode ser representada pela potência dissipada pela resistência dinâmica do LED no ponto de polarização. Deste modo, foi necessário desenvolver invólucros que permitissem essa dissipação de calor, maximizando o tempo de vida útil do LED (Figura 23)

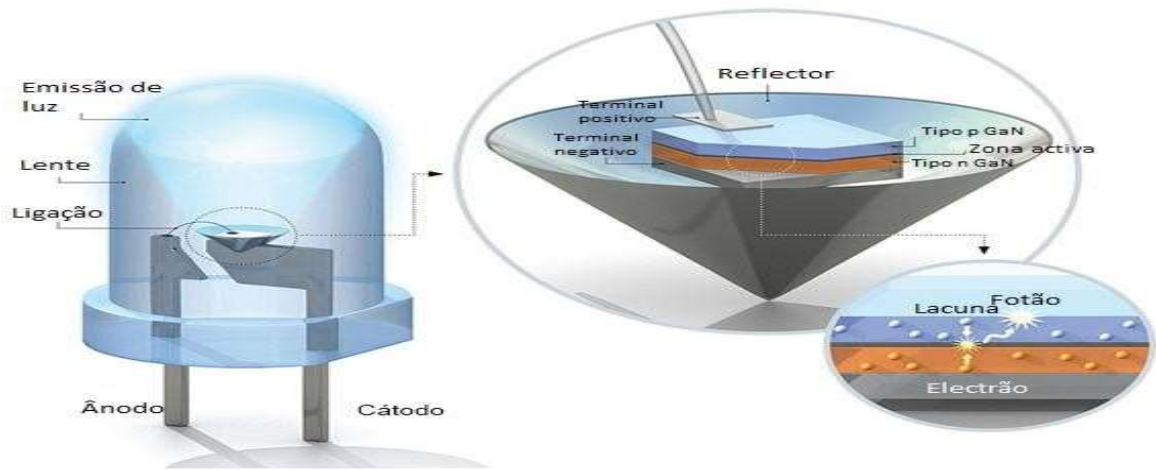


Figura 23 Constituição dos LEDs brancos baixa potência [32]

Na Figura 24 está representado um componente fabricado pela OSRAM, onde se ilustra a forma como é possível maior dissipação de calor pela integração de uma base térmica junto à junção do componente.

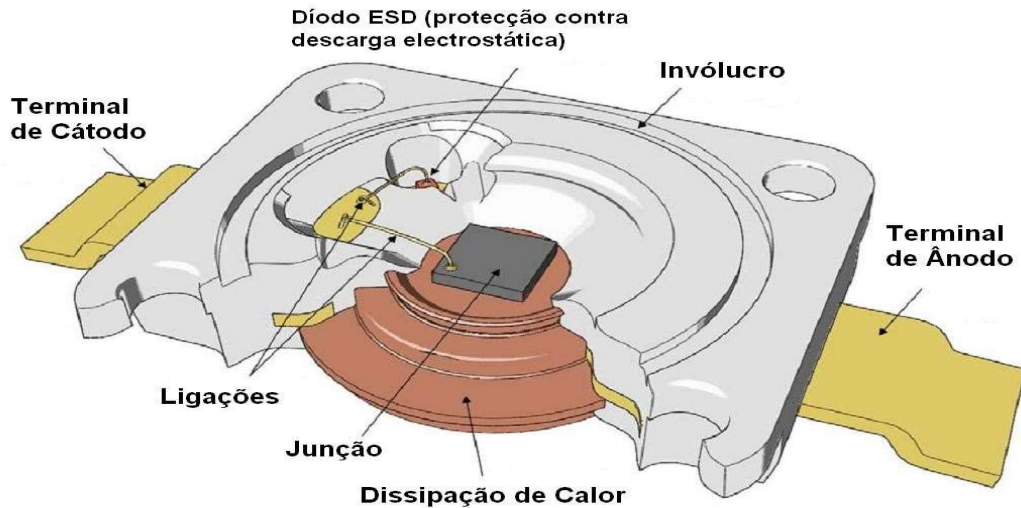


Figura 24 Constituição Golden Dragon (1W) sem lente [32]

#### 2.4.4 Temperatura da cor

A temperatura de cor dos LEDs vai desde o branco Frio, com valores próximos dos 9000K (5500K-9000K), branco neutro com valores de 5700K (4500K-5700K) e branco quente (2700K -4500K). A unidade de medida é o Kelvin (K). Quanto mais alta for a temperatura

de cor (TC) mais clara é a tonalidade de cor da luz. Estes valores são tidos em consideração para a zona onde irá ser efetuada uma aplicação de luminárias LED. Numa estrada ou em zonas viárias normalmente são aplicadas luminárias com TC superior a 4000K. Numa zona residencial, num bairro, ou até num centro histórico a cor recomendada a utilizar é o branco quente, pois considera-se que esta cor é mais confortável. Um dos fatores que tem sido mais utilizado para criticar a TC dos LEDs tem a ver com a poluição luminosa, é entendido que acima dos 3000K estes causam mais poluição luminosa derivado ao facto de existir uma maior presença de luz azul. Ultimamente também têm sido efetuados alguns estudos sobre a incidência da luz azul no quotidiano das pessoas, um deles foi feito pela AMA [33] onde se afirmava que a emissão da luz azul dos Leds com temperatura de cor em branco frio poderia causar cansaço e desconforto no olho humano, inclusive afetando os ciclos de sono das pessoas quando expostas à tecnologia com esta cor. Este artigo levou à procura de soluções com temperaturas de cor mais baixas e mais confortáveis para o olho humano, com o branco quente a ser a cor mais procurada.

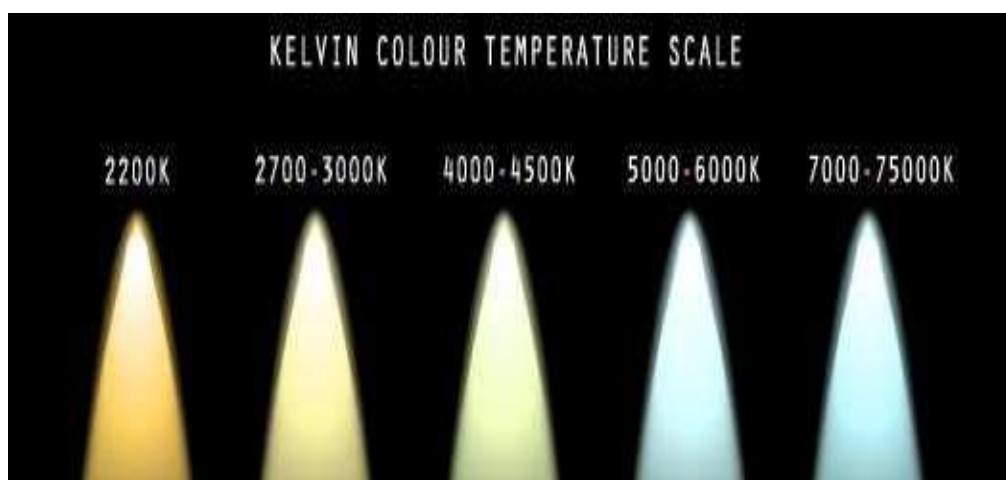


Figura 25 - Temperatura de cor do LEDs, [33]

Tabela 6 Temperatura de cor e eficiência típicos para leds de alta potencia

Cor	Temperatura de cor	Eficiencia (tipica)
Branco frio	5500K – 9000K	110lm/W
Branco	4500K – 5700K	100lm/W
Branco quente	2700K – 4500K	80lm/W

#### 2.4.5 Lâmpadas Led

Este tipo de dispositivos de iluminação surgiu recentemente no mercado de consumo e já conquistou grandes segmentos de mercado

Podem ser aplicadas nas mais diversas situações, pois devido ao seu tamanho reduzido permitem uma boa integração em termos de espaço requerido. O seu princípio de funcionamento baseia-se na utilização de díodos emissores de luz associados de forma a criar um fluxo luminoso elevado. A iluminação pública com LEDs tornou-se possível devido ao desenvolvimento de díodos brancos de alta potência e elevada eficiência



Figura 26- Exemplo de lâmpadas LED

No caso de iluminação pública estão representados na Figura 27 diferentes tipos de distribuição de luz numa estrada. As várias imagens dizem respeito a diferentes tipos de luminárias: uma recorrendo a LED de alta potência com lentes ovais; outra com a mesma configuração e tecnologia, mas sem lentes nos LEDs; e uma terceira com luminárias de lâmpadas de sódio de alta pressão.

Apesar de a iluminação ter uma menor intensidade a nível pontual, para o caso da utilização de lentes, a distribuição de luz é mais homogénea, para os restantes casos a luz é enviada sem que haja distribuição, criando focos de iluminação seguidos de zonas. Em conclusão existem muitos fatores a ter em conta na utilização de dispositivos de estado sólido na iluminação pública. Se por um lado o seu preço é um dos principais problemas à proliferação desta tecnologia, também é verdade que os LEDs proporcionam.

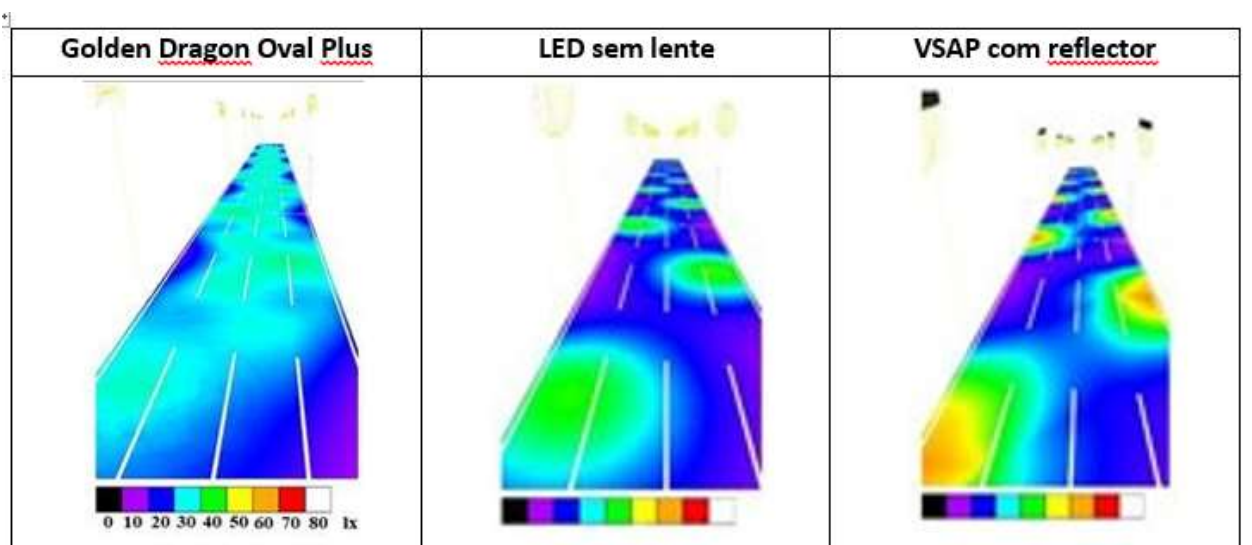


Figura 27 Exemplo de aplicação e distribuição LUZ [OSRAM]

Em conclusão existem muitos fatores a ter em conta na utilização de dispositivos de estado sólido na iluminação pública. Se por um lado o seu preço é um dos principais problemas à proliferação desta tecnologia, também é verdade que os LEDs proporcionam uma fonte de luz de elevada qualidade em índice de reprodução cromática e temperatura de cor disponíveis, para além da eficiência.

Tabela 7 Vantagens e desvantagens das lâmpadas Leds

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Tamanho reduzido	Caros
Possibilidade simples de variação de fluxo	Alimentação em DC
Arranque rápido	Necessitam de dissipadores de calor Necessitam de lentes para melhor
Eficiência espectral elevada	Dependência da temperatura
Não contém mercúrio IRC elevado	
Tempo de vida muito elevado	
Robustos contra vibrações	
Gamas de temperatura de cor variadas	

#### 2.4.6 Eficiência e vida útil

LEDs são a tecnologia mais atrativa e com mais potencial no mercado de iluminação. Aliando uma elevada eficiência energética ao seu baixo consumo, conseguem ser soluções bastante económicas a longo prazo. No entanto, a eficiência do mesmo é afetada pela temperatura de cor, assim um LED de uma temperatura de cor quente será menos eficiente que um LED de temperatura de cor neutra. No entanto, estas diferenças são cada vez menores, e acredita-se que num curto espaço de tempo este problema seja atenuado ou resolvido.

A vida útil do LED pode ser até 10 vezes superior à vida útil de uma lâmpada de vapor de sódio o que levará a uma redução significativa dos custos de manutenção de uma instalação com este tipo de tecnologia, face a uma instalação tradicional. No entanto, a vida útil poderá ser afetada pela temperatura de funcionamento da luminária, caso a

estrutura de dissipação da luminária não esteja bem dimensionada e preparada. Com o aumento da temperatura, a vida útil dos LEDs irá baixar substancialmente, como é demonstrado

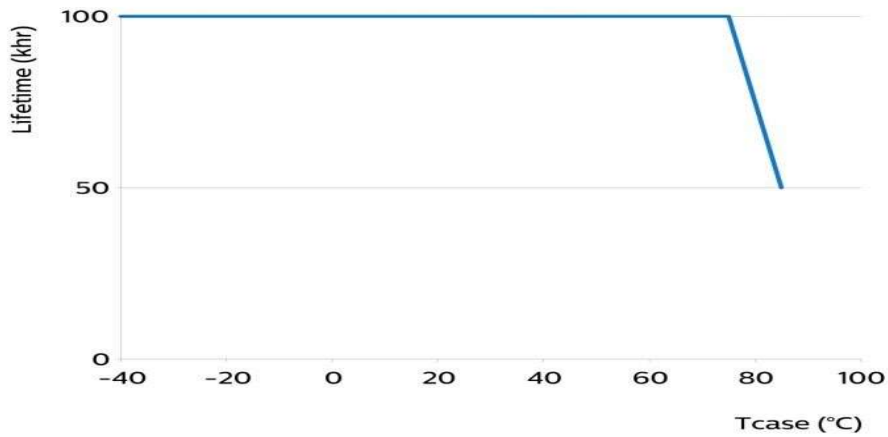


Figura 28 Relação entre o tempo de vida útil e a temperatura da luminária [34]

#### 2.4.7 Balastros

São equipamentos necessários para funcionamento das lampadas de descarga tem como função principal limitar a corrente de acordo com os valores adequados das lampadas

Em função das suas características o balastro pode: Transformar a tensão de alimentação, Fazer a regulação do fluxo luminoso (dimming) da lâmpada, Corrigir o fator de potência, Melhorar o arranque a frio da lâmpada.

Conforme a sua constituição, os balastros podem ser magnéticos ou eletrônicos.

#### 2.4.8 Balastros Electromagnéticos

Os balastros eletromagnéticos, ou simplesmente magnéticos, são constituídos, essencialmente, por um grande número de espiras de cobre sobre um núcleo ferromagnético laminado. As perdas de Joule que ocorrem no cobre e as perdas magnéticas [11]

Há vários tipos de balastros magnéticos disponíveis. Os mais usuais são apropriados para o funcionamento com arrancadores, menos vulgares são os destinados ao funcionamento com lâmpadas de arranque rápido, com elétrodos pré-aquecidos e com circuito semiressonante [34].

Os balastros magnéticos mais comuns são:

Indutivo formado por uma simples bobina e o seu correspondente núcleo magnético. É o mais simples, pequeno e eficiente de todos os balastros e usa a tensão da linha para que o arrancador faça a ignição da lâmpada,

- Autotransformador utilizado quando a tensão da linha de alimentação não é suficiente para que se dê a ignição da lâmpada através de um simples balastro indutivo. Assim, eleva a tensão para auxiliar o processo.
- Autorregulador | combina um autotransformador com um circuito regulador. O seu tamanho é reduzido, uma vez que, parte do enrolamento do primário é comum ao do secundário

Os balastros magnéticos podem ser classificados em 3 Classes: B (baixas perdas), C (standard), e D (altas perdas) [34]



Figura 29 Balastro eletromagnético

#### 2.4.9 Balastros Electrónicos

Os balastros eletrónicos apareceram na década de 80 são constituídos por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados e

outros componentes eletrônicos. Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), o que proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim os balastros eletrônicos em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os eletromagnéticos [8]

Estes balastros podem ser classificados nas seguintes classes: A1 (balastros eletrônicos com regulação), A2 (balastros eletrônicos com baixas perdas) e A3 (balastros eletrônicos standard)

Vantagens principais dos balastros eletrônicos em relação aos eletromagnéticos:

- Aumento do rendimento luminoso, Menor potência de perda, Podem operar mais de quatro lâmpadas simultaneamente, enquanto os eletromagnéticos operam um máximo de duas, Maior tempo de vida da lâmpada, uma vez que proporcionam arranques suaves, - Funcionamento silencioso, - Dimensões e peso reduzidos

Desvantagens-Preço mais elevado, embora com tendência decrescente, Impossibilidade de instalação de reguladores de fluxo de cabeceira, Possíveis interferências elétricas (RFI e EMI), - Impossibilidade de instalação de reguladores de fluxo de cabeceira [ 57]



Fig 30 Balastro eletrônico [57]

#### 2.4.10 Drivers Led

Ao contrário das lâmpadas antigas que eram alimentadas por corrente AC, apenas necessitando de alguns componentes de auxílio ao balastro no momento em que eram ligadas, como ignitores e reatores, os LEDs necessitam de ser alimentados por corrente DC. Neste caso é necessário a utilização de um *driver* para transformar a corrente AC

em DC e assim poder acionar um conjunto de LEDs. O *driver* normalmente é escolhido com base nos LEDs utilizado pela luminária, podendo ser de dois tipos: corrente constante ou tensão constante. [7]

Na iluminação pública, normalmente são utilizados os *drivers* de corrente constante sendo esta adequada para o tipo de potência máxima com que se pretende que a luminária funcione. Atualmente, já é raro ser aplicado o *driver standard*, que apenas faz a conversão AC/DC e não tem qualquer tipo de controlo. Os *drivers* utilizados pelos principais fabricantes de luminárias LED possuem vários tipos de opções de controlo e também várias proteções elétricas.

Um fator importante nos drivers de iluminação LED é o seu elevado Fator de Potência, sempre muito perto de 1. Muitos *drivers* têm a possibilidade de compensar a depreciação dos LEDs, mantendo assim o fluxo constante por toda a vida útil da luminária, outros têm a possibilidade de programar perfis automáticos para redução de fluxo luminoso durante as suas horas de funcionamento, e ainda têm a possibilidade de se conectarem a outro tipo de equipamentos para receberem destes ordens e efetuarem assim reduções de fluxo.

Entende-se por Driver de LED's todo o circuito controlador dos LED's e tem como função efetuar a conversão da energia elétrica da rede, em tensão contínua, de forma a alimentar todos os componentes eletrónicos da luminária de LED's e a controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LED's. Adicionalmente, alguns drivers permitem ainda efetuar o dimming nos LED's, controlar as comunicações e implementar inclusive capacidades de inteligência artificial. Existem dois tipos de drivers de LED's:

- Corrente constante.
- Tensão constante.

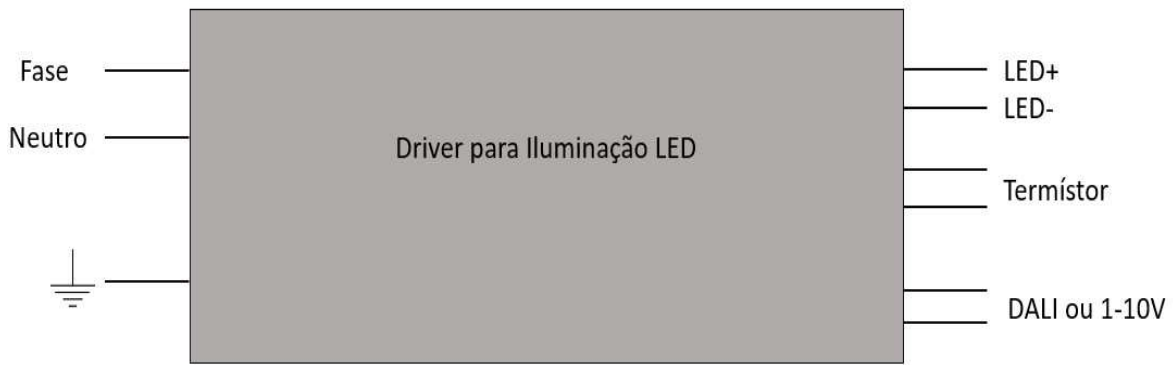


Figura 31 Driver para Iluminação LED

A Figura 32 Representa a configuração mínima de um sistema driver de LEDs. Temos um conversor AC/DC para converter a tensão sinusoidal da rede em tensão contínua e de seguida um conversor DC/DC que irá fornecer ao secundário a tensão necessária para o correto funcionamento dos LEDs.

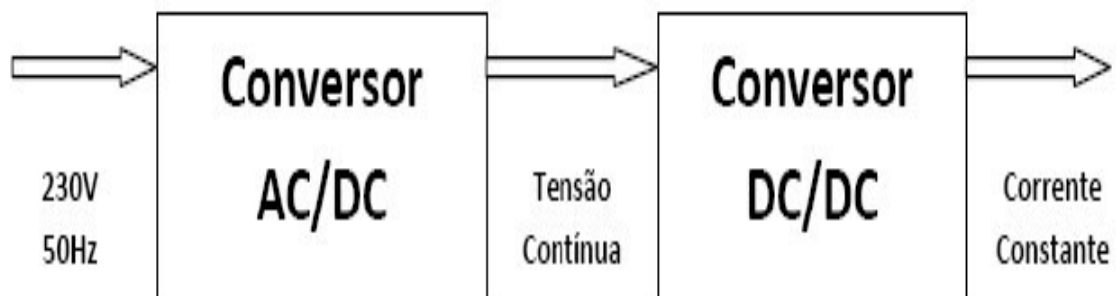


Figura 32 Conversores AC/DC DC/AC

## 2.5 SOFTWARE DIALUX-SOFTWARE SCHRÉDER

A empresa DIAL desenvolveu o software DIALux, para projeto, cálculo e visualização de iluminação interior e exterior é um software de simulação de iluminação em edifícios e ruas com a finalidade de projetar soluções de iluminação. É considerado um dos melhores programas na área de iluminação, com a grande vantagem de ser gratuito.

A Owlet é uma empresa alemã que pertence ao grupo Schröder, responsável por desenvolver softwares, sistemas de controlo para iluminação pública. Atualmente oferece dois tipos de soluções: Owlet Nightshift e Owlet IoT.

Este sistema é mais virado para o panorama IoT, em que o objetivo a longo prazo passa por haver integração de sensores e outro tipo de aplicações IoT com os controladores de luminária IoT.

Neste caso a comunicação é direta para o servidor, sem necessidade de utilização de uma *gateway*.

Este sistema tem comunicação híbrida pois cada controlador pode comunicar diretamente para o servidor ou podem haver pequenos grupos que se juntam e um dos controladores irá comunicar todas as informações desse grupo para o servidor. A comunicação para o servidor é feita por serviço GSM e a comunicação na rede local é feita por outro tipo de protocolo chamado de *Thread* [35]

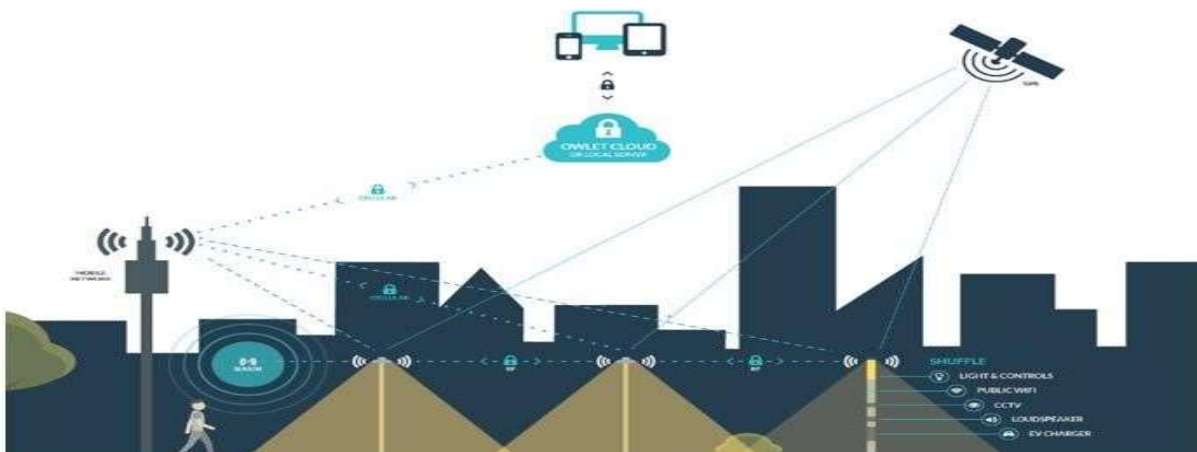


Figura 33 - Arquitetura Owlet IoT, [36]

### 2.5.1 Objetivo do Software

O objetivo fundamental do software Dialux é contribuir para melhoria da Iluminação através de simulação como por exemplo:

- Projetar casos de iluminação em espaços interiores.
- Projetar soluções de iluminação eficientes;

- Analisar e Otimizar com rapidez soluções de iluminação (de espaços interiores e exteriores.)
- Fornecer bases teóricas, metodológicas e operativas do projeto de iluminação.
- Realizar cálculos luminotécnicos
- Unidades e Grandezas de luminotecnia – Lúmen, candela, Lux e Cd/m<sup>2</sup>
- Diagramas fotométricos
- Normativas de referência
- Princípios de visão e percepção humana

### 2.5.2 Vantagens

O Dialux Evo apresenta um interface intuitivo, tornando-o acessível até mesmo para iniciantes na área de design e projeto de iluminação.

Uma das características mais notáveis do Dialux Evo é sua capacidade de oferecer uma visualização realista dos projetos de iluminação. A capacidade de visualizar o resultado final ajuda a evitar erros e garante que o projeto atenda às expectativas dos clientes.

Oferece uma série de vantagens significativas para o projeto de iluminação interior e exterior. O seu interface intuitivo, a capacidade de visualização realista, os cálculos precisos, o suporte a normas, a otimização de tempo e recursos e a facilidade de colaboração fazem deste programa uma ferramenta essencial para profissionais da iluminação. Ao aproveitar estas vantagens, engenheiros, projetistas, arquitetos e designers podem criar ambientes luminosos funcionais que atendam às necessidades dos seus clientes e cumpram os requisitos legais.

Oferece ferramentas avançadas de cálculo que permitem realizar análises precisas da iluminação dos projetos: cálculos de luminotecnia, uniformidade luminosa e luminotecnia, entre outros. A capacidade de realizar cálculos precisos é fundamental para garantir que os níveis de iluminação atendam aos padrões de segurança.



Figura 34 Projeto de iluminação 1interior exterior Stware Dialux EVO

### 2.5.3 Desvantagens

Quanto as desvantagens do software Dialux Evo são praticamente desconhecidas, apenas depende como podemos trabalhar com este software. Como plataforma e ferramenta só têm vantagens.

### 2.5.4 Comparação de Softwares

Ambos os softwares tem imensas vantagens, o Software Dialux será mais apropriado para realizar cálculos luminotécnicos, Unidades e Grandezas de luminotecnia (Lúmen, candela, Lux e Cd/m<sup>2</sup>), diagramas fotométricos, normativos de referência, princípios de visão e percepção humana. O software Schröder também está preparado para desenho luminotécnico de luminárias mas com a função principal de controlo de vários sistemas e pode comunicar diretamente com o servidor.

## 2.6 SISTEMAS DE CONTROLO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Nesta secção serão abordados vários tipos de sistemas de controlo usados em iluminação pública maioritariamente por LED, pois é possível aplicar este tipo de soluções a luminárias com lâmpada, no entanto sem grande eficácia, devido às limitações das mesmas.

O método mais comum é o ligar da iluminação quando anoitece e desligar quando o sol volta a nascer, utilizando sensores crepusculares ou relógios astronómicos.

Contudo, já começam a existir formas adicionais de controlo numa instalação de iluminação pública.

#### 2.6.1- Sensores

Juntamente com a aposta na iluminação LED apareceu também a possibilidade de se utilizar sensores de deteção. Os sensores, aliados a um *driver* que possibilite redução de fluxo são também uma excelente escolha para instalações em que se pretenda um controlo individual da luminária, tornando também a instalação mais interativa com o utilizador da via. Esta opção pode até ser mais rigorosa no horário da redução de fluxo, aumentando o mesmo sempre que o sensor detete a presença de, por exemplo, um peão.



Figura 35 Exemplo de uma instalação com Sensores [37]

#### 2.6.2 Sensores crepusculares

Na iluminação pública é importante saber em que altura o nível de iluminação está suficientemente escuro, de forma a ativar as luzes. É necessário haver um controlo, não pode ser efetuado de forma eficaz utilizando temporizadores, tendo em conta que em dias de chuva ou nevoeiro intenso pode ser necessário ativar o sistema de iluminação por razões de segurança.

O horário natural, nascer e pôr-do-sol não é constante, muda todos os dias. Uma das soluções que reúne maior consenso é aquela que utiliza sensores de luz ambiente também conhecidos como crepusculares.

A célula fotoelétrica no sensor crepuscular irá funcionar em função da mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível estipulado, permitindo, desta forma, gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de iluminação pública. A colocação da fotocélula poderá ser feita de duas formas na cabeceira enviando o sinal em simultâneo a um conjunto de luminárias, ou ainda fazendo parte cada ponto de iluminação individual. A utilização da fotocélula à cabeceira dos circuitos poderá trazer problemas, nomeadamente quando uma determinada rua tem diferentes circuitos de iluminação controlados por diferentes fotocélulas. Poderá originar que que o ligar e desligar os circuitos não se efetue em sincronismo. O mesmo poderá acontecer quando temos uma fotocélula por luminária. Outra solução é de utilizar um sistema misto: utilização de sistemas à cabeceira para ligar e desligar, e fotocélulas individuais nas luminárias para regular o fluxo de cada luminária de acordo com as condições de iluminação ambiente. [38].



Figura 36 Sensor Crepuscular [38]

### 2.6.3 Relógios Astronómicos

O relógio astronómico é uma solução de comando on-off cujo horário de funcionamento encontra-se enquadrado na variação do ciclo solar ao longo do ano (Figura 36).

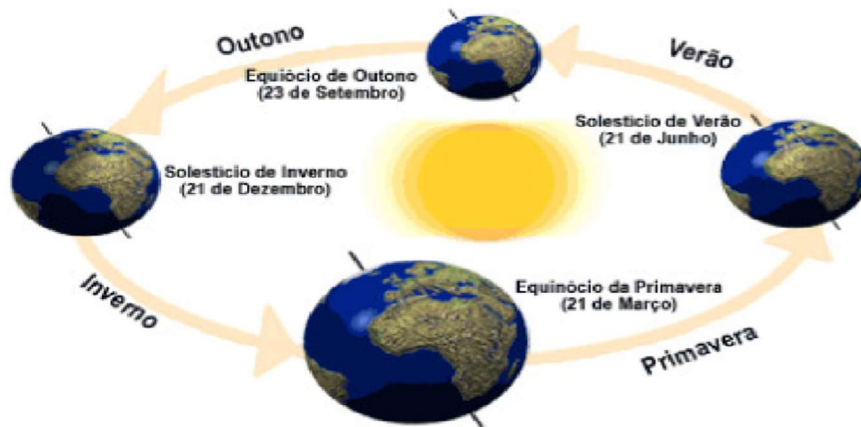


Figura 37 - Variações das Estações do ano Hemisfério norte [39]

Estes equipamentos (Figura 38) são programadores eletrónico-digitais utilizados para o controlo automático de ligações e cortes de iluminação pública em função do pôr e do nascer do sol, respetivamente.



Figura 38 - Relógio astronómico [40]

A grande vantagem em relação a um sistema interruptor horário antigo é que adapta o controlo da rede de IP ao horário respeitante à altura do ano. Ou seja, ao passo que no sistema antigo, caso não se fizesse um ajustamento manual do relógio, a iluminação pública ligava e desligava sempre à mesma hora programada, o que acontece com o relógio astronómico é que a ação *on-off* será determinada pelas suas coordenadas geográficas. Por exemplo, o sinal transmitido para acender a iluminação pública será emitido mais cedo no Inverno do que no Verão, sem qualquer tipo de intervenção humana.

- Cálculo diário, para as ações ligar / desligar, considerando a latitude e longitude, em graus e minutos, do local onde se encontra.
- Válido para qualquer região geográfica de qualquer hemisfério tendo apenas que o programar previamente.
- Alteração automática do horário de inverno e verão.
- Possibilidade de outro tipo de programação que não a programação astronómica (*default*).
- Possibilidade de inclusão no ciclo de funcionamento astronómico de uma programação diferente para dias festivos e feriados.

Tal como os sensores crepusculares, o relógio astronómico poderá funcionar como sistema de controlo da rede de IP isolado, ou então poderá ser um equipamento auxiliar aos reguladores de fluxo e/ou sistemas de telegestão, tendo como função transmitir o sinal de ligação e corte das lâmpadas do sistema de iluminação.

#### 2.6.4 Reguladores de fluxo

Os sistemas de regulação de fluxo luminoso permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos de menor atividade. Em períodos noturnos de menor tráfego, estes sistemas permitem diminuir o nível de luminância, não limitando a abrangência dos dispositivos luminosos.

Um regulador de fluxo pode estar integrado num sistema de telegestão complexo, estando às ordens do Sistema Central de Gestão (CSM), ou então inicia o seu ciclo de ignição após um sinal transmitido por um sensor de luminosidade, ou por um relógio astronómico, aumentando gradualmente a tensão até atingir o valor pré-estabelecido de funcionamento. Quando esse nível de tensão não é mais necessário, o regulador baixa a tensão de alimentação das lâmpadas. As transições entre as várias condições de operação devem ser lentas, para que a alteração do nível de iluminação se torne impercetível ao utilizador



Figura 39 Regulador de Fluxo Luminoso período noturno [38]

Atualmente estão identificados tipos de sistemas de regulação de fluxo luminoso, para instalação à "cabeceira", dos circuitos de iluminação pública [38]

- Reguladores de fluxo eletrônicos que utilizam eletrônica de potência.
- Reguladores de fluxo que utilizam auto-transformadores, cuja comutação é efetuada por:
- Circuitos eletromecânicos (relés/contactores), que por sua vez são acionados eletronicamente
- Circuitos estáticos eletrônicos (Triacs, IGBTs, Transístores e Tirístores), que, por sua vez, são controlados pelo módulo eletrônico de controlo



Figura 40 - Reguladores de Fluxo [38]

Tabela 8 - Poupança energética com regulação de fluxo para cada tipo de lâmpada [38]

Tipo de Lâmpada	Tensão Mínima	Poupança Energética
Vapor de Mercúrio	200[V]	26-30%
Vapor de sódio de alta pressão	183[V]	45-50%
Vapor de sódio de baixa pressão	190[V]	35%
Fluorescentes com equipamentos de controlo	190[V]	35-45%
CFLs	190[V]	30-35%
Iodetos Metálicos	183[V]	40%

Os reguladores de fluxo existentes no mercado conseguem proporcionar poupanças energéticas entre 25 a 50%, sem ter de recorrer ao método arcaico de desligar alguns pontos de luz da rede de iluminação



Figura 41 - Vantagens dos reguladores de fluxo [38]

#### 2.6.5 PLC (Power Logic Control)

O PLC (*Power Line Communication*) é um dos sistemas de controlo mais conhecidos para controlar sistemas de iluminação [42]. Não é necessário criar qualquer tipo de estrutura uma vez que usa a infraestrutura da rede elétrica para comunicação através de modulação de onda por uma determinada frequência [41].

Tem como base uma hierarquia mestre-escravo, sendo o mestre que irá gerir os controladores que estão nas luminárias a controlar, os escravos. O mestre fica colocado nos postos de transformação de iluminação pública à saída do circuito elétrico para as luminárias. Cada controlador de luminária dará ordens ao *driver* utilizando os protocolos DALI ou 1-10V.

Um dos problemas que afeta este tipo de sistemas é o ruído, que prejudica significativamente a transmissão de dados entre controladores [43]. Por esta razão e também pela crescente aposta em sistemas sem fios esta solução tem vindo a ser cada vez menos utilizada.

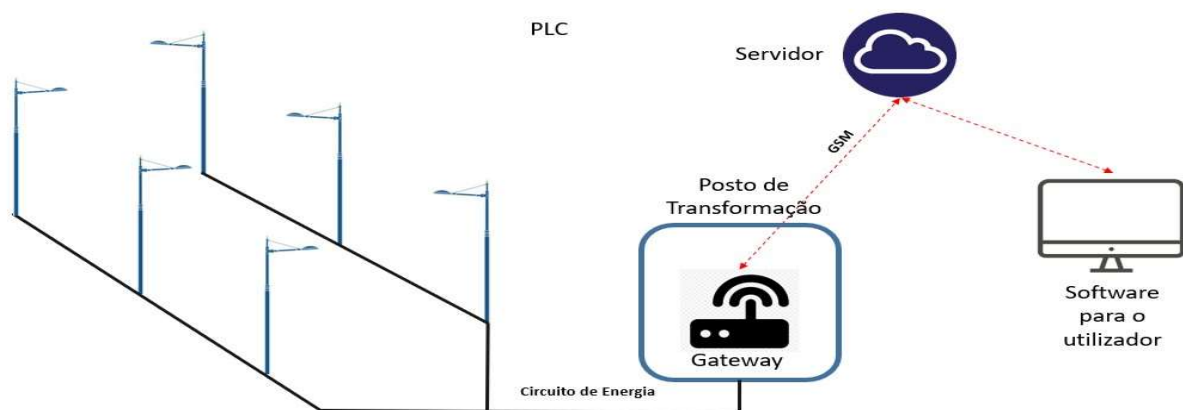


Figura 42- Sistema de controlo por PLC

#### 2.6.6 LPwan Rede de área ampla de baixo consumo de energia (LPWAN)

*Low Power Wide Area Network* (LPWAN) é um tipo de tecnologia sem fios que está a ser muito utilizado para aplicações em IoT (*internet of things*). Esta tecnologia permite comunicações a longas distâncias e consegue ter milhares de dispositivos na mesma rede [44]. Este sistema funciona com uma tipologia de rede em estrela, ou seja, a comunicação é sempre entre a *gateway* e os dispositivos finais, não havendo a possibilidade de os dispositivos finais comunicarem entre si. Esta tecnologia tem um consumo de energia muito baixo, o que em alguns casos significa que uma bateria pode durar anos com uma simples pilha AA [45]. A velocidade de transmissão de dados é

relativamente baixa e estes dispositivos apenas comunicam algumas vezes por dia, sendo esta uma das desvantagens deste tipo de sistemas.

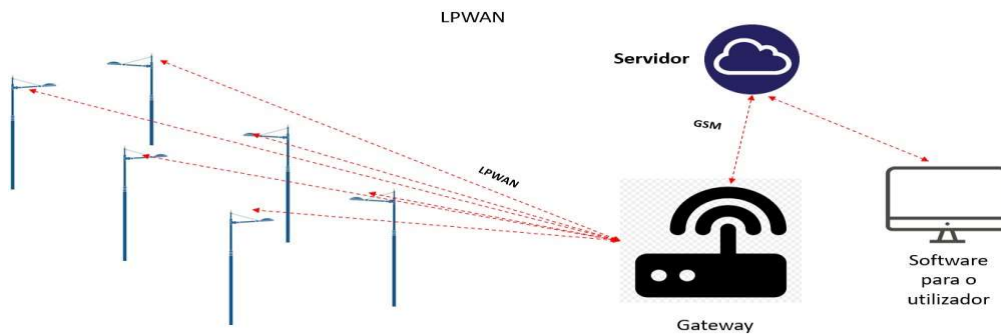


Figura 43 - Exemplo de rede LPWAN

### 2.6.7 Redução do fluxo luminoso por Redução de Tensão

Esta tecnologia já tem alguns anos e é bastante utilizada com lâmpadas de vapor de sódio. O funcionamento é relativamente simples, ao longo do período noturno vai-se baixando a tensão de saída para a instalação permitindo assim poupanças nas horas de menos tráfego. Aproveitando a infraestrutura elétrica já existente, evita-se novos custos para criação de uma instalação dedicada, sendo apenas necessário colocar um armário no circuito dedicado à iluminação pública.

É uma tecnologia que está presente em algumas zonas de Portugal, podendo também ser utilizada com luminárias LED, desde que os *drivers* destas estejam configurados para reduzirem o fluxo luminoso quando detetarem redução na tensão de alimentação das luminárias. É uma tecnologia simples e eficaz quando a rede elétrica em que está instalada não apresenta problemas.

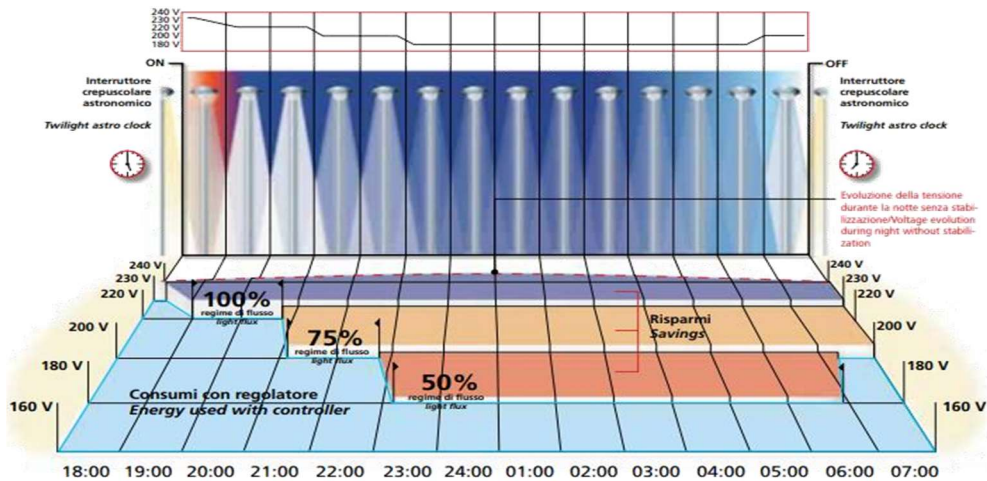


Figura 44 exemplo de funcionamento de redução por tensão [46]

## 2.7 PROTOCOLOS DE CONTROLO NA ILUMINAÇÃO

### 2.7.1 Scada descrição Tecnológica-Aplicações

Sistema de supervisão e aquisição de dados, sistema que utiliza um software para controle dos vários tipos de processos que através dum PC realiza aquisição de dados e faz interface de comunicação com um ou mais dispositivos. O sistema Scada pode ser dividido em várias partes são comuns na maioria dos projetos. Este sistema de supervisão tem por objetivo geral monitorizar e controlar as principais variáveis do circuito eletrônico projetado para o acionamento de LEDs de uma luminária destinada para aplicação em vias públicas conforme circuito figura 45

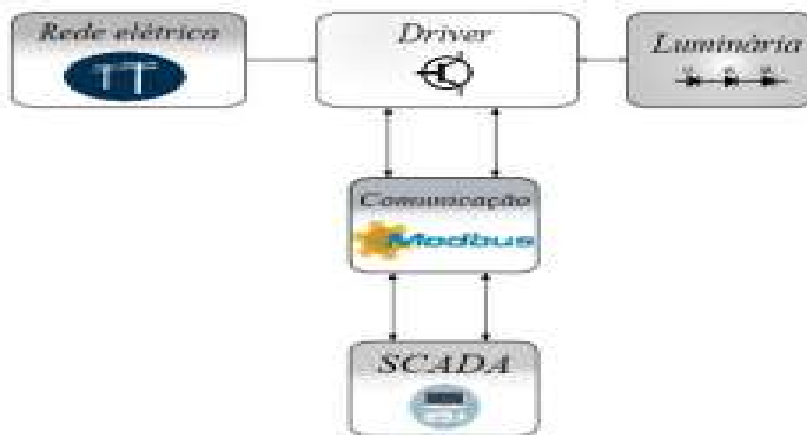


Figura 45- Sistema Scada [47]

O sistema SCADA é também uma combinação de elementos de software e de hardware, como controladores lógicos programáveis (PLCs) e unidades terminais remotas (RTUs). A aquisição de dados começa com os PLCs e RTUs, que se comunicam com os equipamentos, como máquinas e sensores. Os dados coletados dos equipamentos são enviados ao próximo nível, como a sala de controle, onde os operadores poderão supervisionar os controles de PLC e RTU usando interfaces homem-máquina (HMIs). HMIs são um elemento importante deste tipo de sistema. São as telas utilizadas pelos operadores para a comunicação com o sistema SCADA. É sistema que é muito utilizado na indústria/ Iluminação

Aplicações do sistema SCADA: Controlar processos de forma local ou remota; Interagir com dispositivos por meio da HMI do software; Coletar, monitorizar e processar dados; registrar eventos e dados.

#### 2.7.2 Estação remota (RTU -Remote Terminal Unit )

É um circuito de controle equivalente a um PLC dedicado para aplicações remotas possui um terminal de comunicação e é possível exercer todas as funções internamente, tem ainda como função adquirir dados dos instrumentos de campo sobre parâmetros do processo e respetivo estado de alarme, este mantém toda a informação até que MTU as solicite, MTU comanda RTU por exemplo dar ordens para alterar variáveis de processo por meio de ações de controle, por exemplo abrir ou fechar válvulas, ligar ou desligar outputs.

#### 2.7.3 Rede de comunicação

UTRs no campo são conectadas entre si por meio de uma rede de controladores. Cada RTU possui um endereço único e a rede é conectada a um dispositivo tipo modem, hoje em dia, são sempre redes de switchy formando anéis ou estrelas. A transmissão de dados de RTUs para MTU pode ser por meio de conexão elétrica.

#### 2.7.4 Estação mestre (MTU - Master Terminal Unit)

Ler e gravar dados, responsável pelo reset de dados programados nas RTUs, informações, verifica as ocorrências dos estados de alarme e respetivos níveis-

de processamento de dados (client)- Sistema que realiza as instruções de um programa para executar a aritmética básica, lógica entrada e saída de dados (tem como função de “Slave “.

#### 2.7.5 Protocolo DALI

*Digital Addressable Lighting Interface*, Este sistema comum para todos os componentes da iluminação, permite controlá-los de forma digital. De acordo com este sistema, todos os controladores, sensores, equipamentos de controlo eletrónico e luminárias trabalham em sintonia (conjunto).

Este modelo de interface funciona como uma estrutura de Master-Slave (mestre-escravo), onde a informação flui de um controlador, que opera como mestre, até aos equipamentos de iluminação ou outros controladores que funcionam como escravos, executando os comandos ou respondendo aos pedidos de informação recebidos.

O fluxo de informação do DALI é bidirecional, pois para além de comandar o nível de iluminação, também permite obter informações sobre em que estado se encontra cada equipamento.

Com esta interface de controlo profissional da iluminação é possível ligar, desligar e regular a luz, assim como automatizá-la, sendo possível regular os fluxos luminosos ou cores e programar os diferentes cenários de iluminação para cada altura do dia, aproveitando da melhor forma a luz natural. Com o sistema DALI é possível integrar sensores de presença ou de luminosidade, permitindo que a instalação seja mais eficiente, pois a luz emitida pelas luminárias vai adaptar-se às condições existentes no espaço.

Este protocolo permite que os dispositivos de controlo eletrónico possam ser codificados individualmente em formato digital e atribuídos a mais de um grupo ao mesmo tempo. Pode também armazenar diferentes estados e níveis de iluminação, bem

como possuir um sistema de retorno com mensagens individuais para cada componente para verificar o estado da luminária.

O sistema DALI pode ser integrado em sistemas inteligentes de automação de edifícios, mais conhecidos como sistemas domóticos, possibilitando inúmeras soluções de iluminação que, para além de serem facilmente planeadas e instaladas, têm uma funcionalidade bastante superior aos sistemas baseados em interfaces de 1-10 V. Métodos possíveis-Controlo de Iluminação Pública com fios, sem fios.

### 2.7.6 Instalação

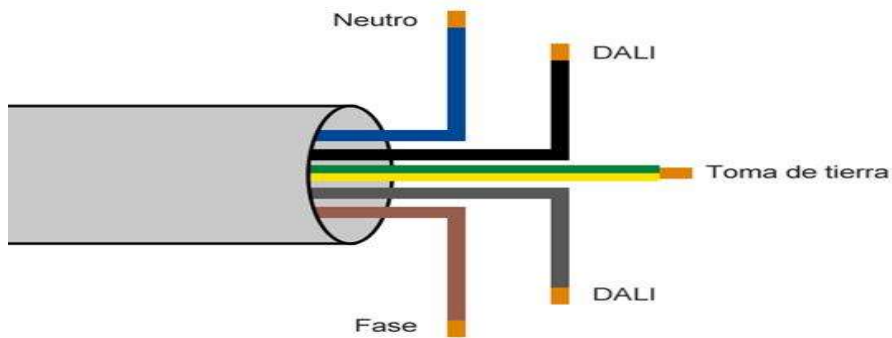


Figura 46 Sistema de hardware para ligação Sistema Dali

Um dos primeiros pontos a ter em conta é a cablagem da instalação, a máxima queda de tensão na instalação ao longo da linha de controlo não pode ser superior a 2V com a corrente máxima do bus de 250mA. Portanto, a máxima distância de cablagem permitida depende da secção do cabo, mas em nenhum caso deve ser superior a 300m.

### Métodos possíveis-Controlo de Iluminação Pública Com fios

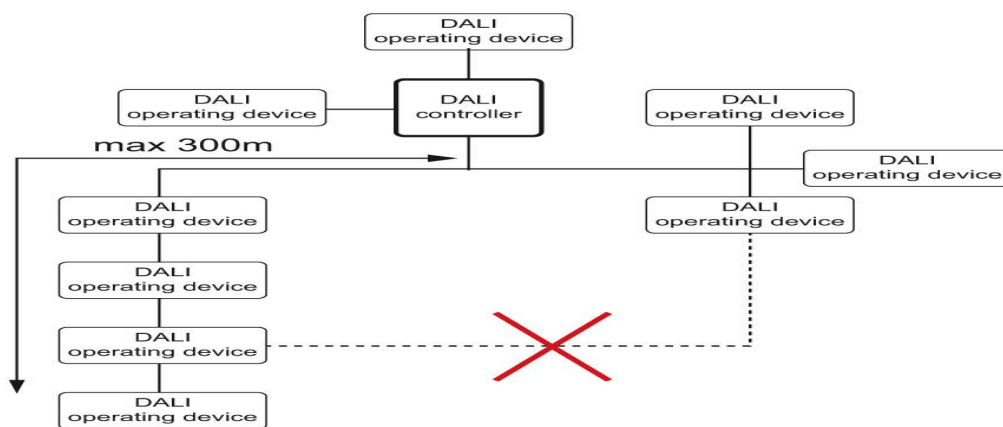


Figura: 47 Comunicação do Sistema Dali

## 2.7.7 Configuração

Uma vez realizado a cablagem, realiza-se a configuração software do sistema. O sistema DALI permite configurar até 16 cenários diferentes, redirecionar 64 equipamentos individuais ou até 16 grupos de forma simultânea através de um comando “broadcast”. Outro dado importante a ter em conta, é a possibilidade de mudar a configuração da instalação em qualquer momento sem necessidade de mexer nos cabos.

## 2.7.8 Regulação

O sistema DALI possui uma curva de regulação logarítmica ajustada à sensibilidade do olho humano, definida na norma internacional IEC 62386. O rango de regulação possível está estabelecido entre o 0.1% e o 100%, estando determinado o nível mínimo pelo fabricante do equipamento.

O tempo necessário para ir desde um nível aluminico a outro denomina-se fade time e a velocidade da mudança da luz chamada fade rate, são parâmetros configuráveis via soft.

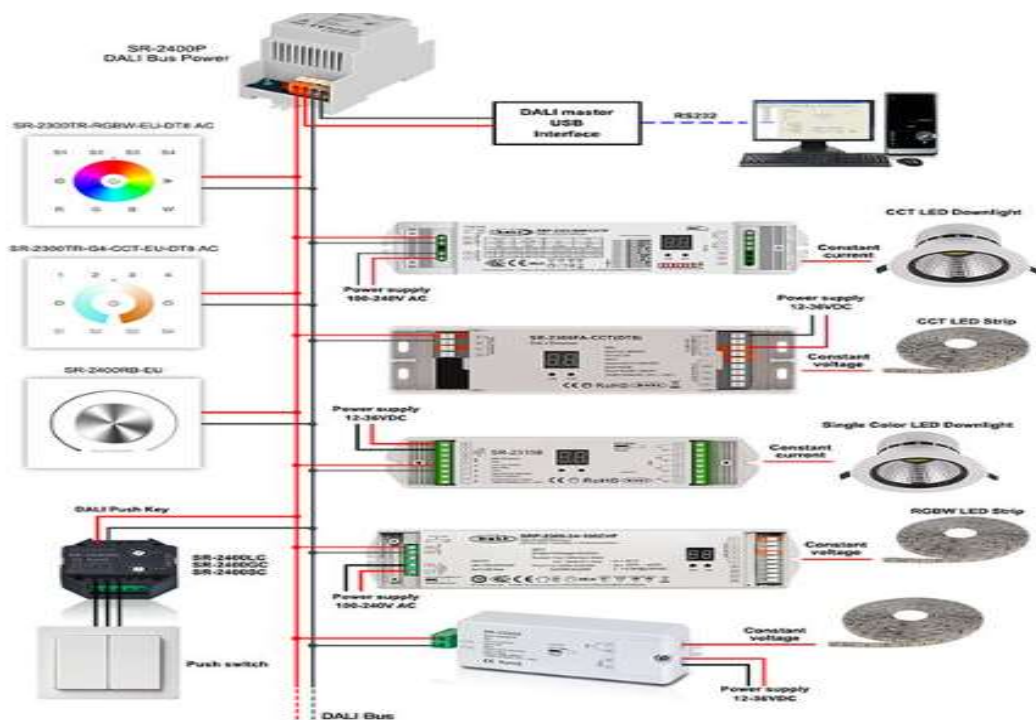


Figura 48 circuito de interligação DALI

### 2.7.9 Outros Protocolos

Os dois protocolos anteriormente descritos juntamente com o protocolo DMX são indubitavelmente os mais utilizados em iluminação [49]. Existem, no entanto, outras formas que são utilizadas para controlo de fluxo na iluminação. Alguns *drivers* têm a possibilidade de fazerem variação do fluxo luminoso através da sua alimentação, ou seja, se a tensão de alimentação for abaixo dos 230VAC os *drivers* irão reduzir a sua saída para os LEDs, não sendo necessário um cabo suplementar, bastando o cabo de alimentação.

Quanto ao protocolo DMX (*Digital Multiplex*), é um protocolo digital muito utilizado em espetáculos e música, que foi adaptado para a iluminação. A sua aplicabilidade é feita normalmente em instalações com iluminação RGB e requer cablagem dedicada. Neste caso, cablagem blindada pois o sinal é bastante afetado por ruído.

## 2.8 PLATAFORMAS DE TELEGESTÃO

Aliadas às tecnologias de sistemas de controlo que foram anteriormente descritas, surgem as plataformas de telegestão. São ferramentas usadas para gerir instalações de iluminação pública. Estes sistemas permitem gerir as luminárias individualmente ou em grupos utilizando os seus parâmetros operacionais.

Embora não seja um conceito novo, apenas recentemente passou a ser visto como uma solução a ter em conta, devido à corrida que tem sido feita as plataformas *Smart City*. Todos os fabricantes oferecem soluções para que a sua plataforma de telegestão de iluminação seja facilmente integrada com outros serviços nas plataformas inteligentes das cidades.

As Características de um sistema de telegestão de iluminação pública [44]

- Mapa com todos os pontos de luz geograficamente localizados;
- Informação acerca de todas as características das luminárias;

- Possibilidade de definir perfis de fluxo luminoso para diferentes grupos de luminárias;
- Possibilidade de enviar comandos manuais para grupos de luminárias ou luminárias individualmente;
- Informação de todas as grandezas elétricas de cada luminária e o número total de horas que já funcionou;
- Informação sobre qualquer falha nas luminárias da instalação;
- Relatórios de energia e relatórios de avarias de toda a instalação.

Este tipo de plataformas é o futuro da iluminação pública, elas permitem aumentar as poupanças de energia, obter poupanças a nível de manutenção da instalação e têm a possibilidade de conectarem a outros serviços numa plataforma superior, tornando os serviços municipalizados mais eficazes e mais adequados às necessidades de cada cidadão.

#### 2.8.1 Comparação de sistemas telegestão

Após terem sido descritos alguns dos mais usados sistemas de telegestão, apresenta-se um sumário das características dos mesmos. Escolher um sistema como sendo melhor que os outros não é fácil, pois todos eles têm características diferenciadoras, o ideal é sempre conhecer bem o projeto onde se vai utilizar o sistema de telegestão e aí, sim, podemos selecionar o mais adequado para esse mesmo projeto.

Os sistemas de telegestão com protocolos de comunicação que necessitam de *gateway* têm a desvantagem da obrigatoriedade de, na instalação, ter de haver um local específico para colocar a *gateway*, o que muitas vezes não é fácil. Por outro lado, os sistemas com protocolos que utilizam a rede GSM, ou outra semelhante, sem necessidade de ter uma *gateway*, *normalmente*, são mais caros e a esse valor de investimento ainda acresce o custo em comunicações móveis, cobrado pelas operadoras. Este tipo de sistemas geralmente também têm um consumo energético superior, que apesar de se traduzir em valores baixos por luminária, normalmente 2 a 3W, quando somados numa instalação com um grande número de luminárias poderá ser relevante.

## 2.8.2 Plataformas de telegestão de Iluminação

### 2.8.3 Philips CityTouch

Este é um sistema desenvolvido pela empresa holandesa Philips, uma das empresas de referência no ramo da iluminação, a nível mundial. A Philips sempre teve muitas soluções para controlo de iluminação e o seu novo sistema para controlo de iluminação pública com o nome Philips CityTouch é apenas mais um exemplo disso. Na figura 50, é apresentada a Arquitetura do Sistema [50].

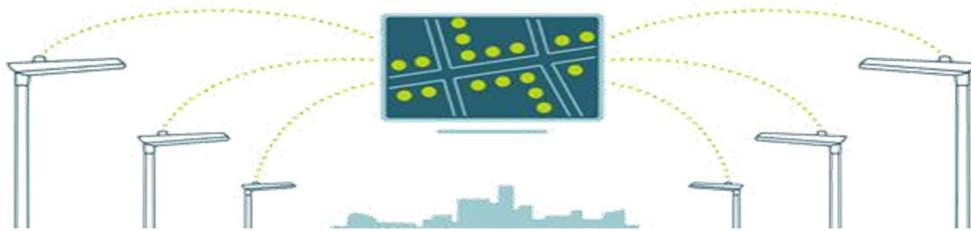


Figura 49 - Arquitetura do CityTouch, [51]

Claramente, virado para as aplicações IoT este sistema não possui qualquer intermediário entre a luminária e o servidor onde estão armazenados os dados da instalação, ou seja, neste sistema não existe nenhuma *Gateway* responsável por gerir a rede local como existe noutros sistemas. A comunicação é feita através da rede móvel, utilizando as tecnologias móveis GSM, 2G ou 3G interligando a luminária e o servidor remoto onde está localizado o software de gestão *CityTouch connect application*.

### 2.8.4 Telensa PLANet

A Telensa é uma empresa inglesa que produz soluções para aplicações em *Smart Cities*. O seu sistema tem o nome de Telensa PLANet [52] e é uma das soluções mais utilizadas no para controlar iluminação pública, embora também seja a solução para várias aplicações em IOT, tais como: sensores ambientais, controlo de tráfego, parques de

estacionamento, entre outros, o que o torna num sistema que está a ter cada vez mais aplicabilidade.

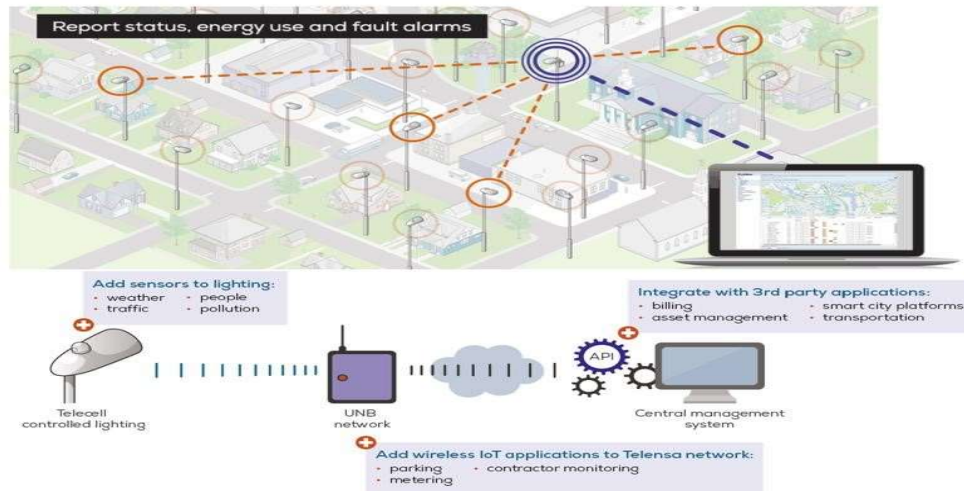


Figura 50 - Arquitetura Telensa PLANet [52]

Utiliza um protocolo proprietário chamado *Ultra Narrow Band* (UNB) que vem da tecnologia *Low Power Wide Area* (LPWA) que combina soluções de baixo custo, com capacidades para comunicar a longas distâncias, bidirecional e com um elevado número de controladores na mesma rede.

Possui uma *Gateway (Base Station)* que é responsável pela gestão dos controladores de luminária (Telecell). Cada controlador de luminária apenas comunica com a *Gateway*, o que indica que utiliza uma tipologia de rede em estrela. Cada *Gateway* pode controlar até 5000 controladores de luminária.

Os controladores são colocados no topo da luminária e as luminárias têm de estar equipadas com um acessório especial para o controlador, chamado de *NEMA Socket*. Este acessório é utilizado por vários fabricantes de luminárias, no sentido de se universalizar um conector que permita aplicar controladores de diferentes marcas no mesmo tipo de luminária. O Telecell tem a capacidade de enviar comandos para a luminária utilizando protocolo 1-10V ou DALI e capacidade para efetuar todas as medições de dados elétricos da luminária.

## Telensa PLANet

- Permite distâncias máximas entre a *Gateway* e a luminárias até 10kms;
- Baixo consumo dos componentes;
- Apenas uma comunicação GSM (*Gateway*) numa instalação de máximo 5000 luminárias;
- Disponibiliza todos os pontos de luz num mapa interativo, cada controlador possui antena GPS;
- Regista os consumos de energia de cada luminária e da instalação;

### 2.8.5 Schröder - Owlet

A Owlet é uma empresa alemã que pertence ao grupo Schröder, responsável por desenvolver sistemas de controlo para iluminação pública. Atualmente oferece dois tipos de soluções: Owlet Nightshift e Owlet IoT. Nas próximas secções vai aprofundar-se o sistema Owlet Nightshift.

### 2.8.6 Owlet Nightshift

O Owlet Nightshift é um sistema de controlo que utiliza o protocolo *ZigBee* com uma tipologia de rede em malha e funciona com base numa hierarquia mestre-escravo. Na figura 2.8.1.4, é possível verificar a arquitetura do sistema [53].



Figura 51 - Arquitetura Owlet Nightshift [53]

A *Gateway* (que neste sistema se chama SeCo) é responsável por fazer a comunicação para o servidor, possui um módulo GSM para esse efeito e também tem a responsabilidade de gerir todos os controladores da sua rede local, num máximo até 150 controladores. O sistema tem disponível um relógio astronómico, que em alguns casos pode ser útil, pois permite controlar a hora que liga e desliga a iluminação pública, permitindo assim um maior controlo e poupanças adicionais na instalação.

Os controladores de luminária (LuCo) podem ser colocados dentro da luminária, o que implica a sua pré-instalação na altura da sua compra, ou no topo da luminária desde que esta esteja equipada com *NEMA Socket*. O LuCo permite enviar ordens para o *driver* recorrendo ao protocolo 1-10V ou DALI, e tem a capacidade para medir todos os dados elétricos da luminária. Este controlador permite ainda a conexão de sensores de presença o que pode aumentar ainda as poupanças e tornar a iluminação mais interativa com o utilizador. Na figura seguinte são mostrados os componentes deste sistema.



Figura 52 SeCo (à esquerda) e LuCos (a direita) [54]

Tabela 9- Sistemas de Telegestão de Iluminação Pública

	Tipo de Tecnologia	Gateway e nº de Controladores	Alcance	Potência (W)	Largura de banda	Ponto Forte	Ponto Fraco
<b>Philips CityTouch</b>	GSM	Não tem <i>gateway</i> , Comunica Diretamente Com a rede GSM	Vários km's	<2W	Elevada	Não necessitar de <i>Gateway</i> .	Preço elevado do Controlador e de Comunicações
<b>Telensa PLANet</b>	UNB e GSM	5000 Controladores por <i>Gateway</i>	>10Km	0.8W	Baixa	Elevado número de Controladores por <i>gateway</i>	Preço elevado do sistema e baixa Velocidade de Transmissão de dados
<b>Owlet Nightshift</b>	ZigBee e GSM	150 Controladores por <i>Gateway</i>	Até 100m	<1W	Média	Preço competitivo e número de Instalações já realizadas	Baixo número de Controladores por <i>Gateway</i>

Foram mencionados três plataformas de telegestão que existem no mercado de iluminação pública. Em relação às plataformas não existem grandes diferenças entre elas, todas elas permitem programar perfis de fluxo luminoso, formar grupos de luminárias, enviar comandos para as luminárias, conseguem registrar os consumos da instalação entre outras possibilidades. A grande diferença tem a ver com a arquitetura da tecnologia, e também com o preço dos componentes que a constituem.

Enquanto o sistema da Philips apresenta uma grande dependência das comunicações GSM, os outros sistemas apresentam soluções para contornar esse problema, o que pode ser uma desvantagem para este sistema, pois o preço das comunicações é uma fatia importante na escolha de um sistema de telegestão.

O facto de a Telensa ter um sistema que utiliza um protocolo proprietário, pode ser encarado como uma vantagem por um lado ou como uma desvantagem. A vantagem, pois, sendo um protocolo próprio tem um elevado nível de segurança, a desvantagem será não ter a possibilidade de comunicação com outros dispositivos IoT, que utilizem protocolos abertos.

Outra vantagem deste sistema são as grandes distâncias a que ele consegue comunicar e o número elevado de controladores de luminária que consegue abranger com uma *gateway*. No entanto, existem dúvidas em relação aos tempos de resposta a comandos enviados da plataforma e também reservas quanto aos preços elevados deste sistema, principalmente *da gateway*.

O sistema Owlet Nightshift é um sistema que funciona num protocolo fiável bastante testado, no entanto, com a limitação de apenas controlar 150 controladores por *gateway*, contudo, em instalações pequenas isso não será visto como um problema.

O sistema Owlet IoT é visto como um avanço do anterior, uma vez que deixa de existir em teoria a *gateway*, no entanto essa função pode ser atribuída a alguns controladores de luminária, resta saber como será feita essa gestão e se não terá problemas de resposta.

Em Portugal os grandes projetos de Iluminação pública hoje em dia já contemplam a totalidade ou uma parte significativa de luminárias preparadas com sistemas de controlo e telegestão.

Os programas de financiamento da União Europeia, como o Portugal 2020, com fundos para investir na iluminação pública até final dos próximos anos que têm em conta este tipo de tecnologias são um grande incentivo para a sua implementação.

Estes sistemas, aliados à iluminação LED, permitem otimizar ainda mais as poupanças energéticas e melhorar a iluminação das cidades ou de algumas zonas rurais. A telegestão abordada no capítulo anterior, as diferenças, e a comparação dos diferentes tipos de Sistemas são uma solução tecnológica de gestão do futuro, permite a monitorização e controlo fácil e rápido de uma rede IP.

Este tipo de tecnologia consiste num conjunto de hardware e software acoplado às luminárias que as permite monitorizar remotamente, ligar, desligar, regular o fluxo luminoso, programar, georreferenciar, mensurar vários parâmetros (tensão, corrente, fator de potência, consumos, temperatura, outros), gerir, entre outras funções. Têm ainda a capacidade de incorporar sensorização, como sensores de movimento, ruído,

presença, velocidade, qualidade do ar, entre outros. O seu funcionamento encontra-se ilustrado na *Figura 53*

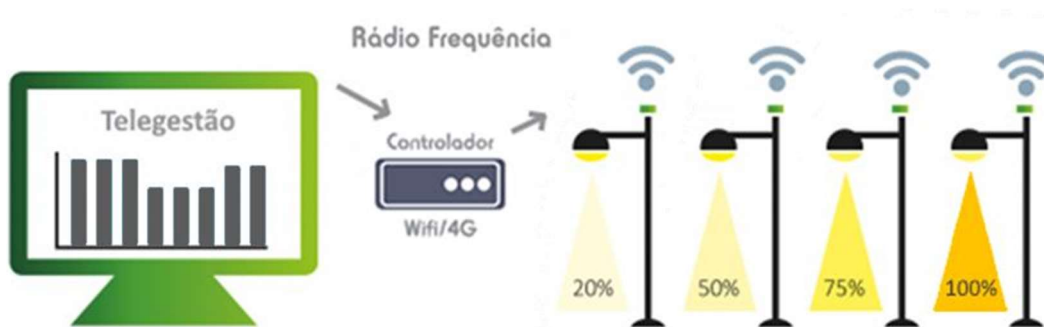


Figura 53 exemplo do Funcionamento da Telegestão [54]

A implementação destes sistemas possibilita dar um salto qualitativo na área do IP, pois permitem: Reduzir os custos de exploração: Elimina a pesquisa diurna e noturna de avarias, permite planejar trabalhos de manutenção, reduz o tempo das intervenções, gera automaticamente relatórios de avarias, proporciona informação para programar manutenção preventiva.

Formas de usar a energia de forma eficiente e inteligente: Supervisiona e regista os parâmetros elétricos da instalação, monitoriza em tempo real e remotamente os consumos de energia,-centraliza o comando de toda a instalação, programa níveis de iluminação em zonas distintas em função da utilização ou necessidades especiais, individualmente ou por grupos de luminárias, quantifica o número de horas de funcionamento da luminária

Em termos de melhor qualidade de serviço o Sistema ajuda a diminuir o número de pontos de luz inoperativos, reduz o tempo de resposta às reclamações, melhora a qualidade de iluminação, envia alertas automáticos, aumenta a perceção de segurança



Figura 54 – Ilustração da Gestão por Ponto Luz

Atualmente a arquitetura mais eficaz é a gestão por ponto de luz, sendo que os sistemas de telegestão continuam a sua evolução natural. Portanto será sempre necessário garantir que todos os equipamentos que constituem o sistema de telegestão sejam interoperáveis, intermutáveis e integráveis em plataformas de gestão standard. Importa ainda referir que a maximização do potencial dos sistemas de telegestão é alcançada com o uso da tecnologia LED.

Dentro dos sistemas de telegestão a arquitetura que se recomenda, por ser mais eficaz, é a *gestão por ponto de luz*. Para um correto funcionamento do sistema é fundamental existir um cadastro completo da rede de iluminação e garantir o cumprimento das especificações técnicas seguintes:

Gestão ponto a ponto: *on-off* e *dimming*; possibilita a comunicação com drivers: DALI ou 1-10 V, parametrização de perfis, por noite, por época e dias festivos, georreferenciação dos pontos de iluminação, Informação do estado da rede, número de luminárias ligadas, desligadas e reguladas, Emissão automática de alertas sobre anomalias, reportes diários, semanais, mensais ou anuais, controlo e comunicação de parâmetros elétricos por ponto de luz, tais como: tensão, intensidade de corrente, potência, fator de potência, possibilidade de integrar e interagir com outros dispositivos, como sensores de temperatura, nível de ruído, qualidade do ar, tráfego, câmaras, entre outros.

### **3 DOCUMENTO DE REFERENCIA E NORMAS IP-LEGISLAÇÃO APLICAVEL**

De forma a simplificar, uniformizar e harmonizar a temática da IP em território europeu, foi transcrita a norma EN 13201 que introduz e define as classes de iluminação com o objetivo de regulamentar os requisitos luminotécnicos. Nas sequências do mesmo seguimento, a norma CIE 115:2010 estabelece recomendações utilizando um método simplificado, reduzindo o número de parâmetros necessários e clarificando alguns conceitos [14].

A nível nacional não existem documentos legais ou normativos com a definição dos parâmetros de iluminação indicados nas vias. Contudo, em setembro de 2012, foi publicado o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP), revisto numa 2.ª edição em 2018 por iniciativa da Secretaria do Estado da Energia [14]

Neste sentido, um projeto deve incluir os estudos luminotécnicos, bem como as fichas técnicas da totalidade dos equipamentos preconizados. As luminárias a instalar devem cumprir com as seguintes normas na sua redação mais atual:

#### **3.1 NORMA EUROPEIA PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA-EN13201**

A norma 13201, aplicável à iluminação pública, está dividida em quatro partes, que consiste no seguinte:

EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação;

EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados [15];

EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos [8];

EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométricas [10].

### 3.1.1 EN 13201-1 – Escolha das classes de iluminação

A escolha das classes de iluminação tem que obedecer a determinados critérios consoante o tipo de via a que se destina a iluminação. As classes de iluminação existentes são:

- Classes de iluminação M para tráfego motorizado;
- Classes de iluminação C para áreas de conflito;
- Classes de iluminação P para áreas pedestres e áreas onde o tráfego se processe a velocidade reduzida

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

- Velocidade (natureza da via): alta ou moderada;
- Geometria (separação de vias, tipos de entradas/saídas na via, áreas de conflito): separação das vias – sim ou não; Densidade de saídas/entradas na via – alta ou moderada;
- Natureza do tráfego (fluxo do tráfego, ciclistas, peões, estacionamento, propensão ao crime/necessidade de reconhecimento facial): apenas motorizado, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- Influências ambientais (complexidade do campo visual, luminância envolvente, condições climatéricas);
- Orientação visual, controlo de tráfego: Fraca, boa ou muito boa. As áreas de conflito ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por peões, ciclistas ou outros utilizadores e são exemplo de zonas de conflito: cruzamentos, rotundas, estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas, etc.

Para a classe C, os parâmetros são:

- Velocidade: alta, moderada ou baixa;
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, reduzido ou muito reduzido;
- Composição do tráfego: apenas motorizado, misto, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado; Separação das vias: sim ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa;
- Orientação visual, controlo de tráfego: pobre, bom, muito bom. A existência destas áreas tem como resultado o aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada. Assim, a iluminação destas zonas deverá revelar em especial: a posição dos passeios, as marcas e sinalizações da estrada, a movimentação dos veículos na vizinhança da área e a presença de pedestres, outros utilizadores e de eventuais obstáculos.

Para a classe P, os parâmetros a considerar são:

- Velocidade: baixa ou muito baixa (velocidade de marcha);
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, baixo ou muito baixo;
- Composição do tráfego: peões, ciclistas e tráfego motorizado; peões e tráfego motorizado; apenas peões e ciclistas; apenas peões; apenas ciclistas.
- Estacionamento de veículos: presente ou ausente;
- Reconhecimento facial: necessário ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa. Para efetuar a correspondência entre as classes de iluminação e os critérios a ter em consideração, existem tabelas para o efeito, enunciadas de seguida. Os valores mencionados referem-se à luminância média recomendada para os diversos tipos de vias.

### 3.1.2 EN 13201-2 – Parâmetros fotométricos recomendados

Segundo esta norma EN 13201-2 classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos que apontam para as necessidades de visibilidade dos utilizadores dos vários tipos de ruas, estradas e áreas frequentadas. [16]

Na norma EN 13201-2 existem várias tabelas onde são atribuídos os seguintes parâmetros:

Valores de luminância (cd/m<sup>2</sup>) para as classes ME.

Valores de iluminância (lux) para as restantes classes.

Existem ainda as subclasses que variam desde o valor 1 (requisitos mais elevados do nível de iluminação) até um valor n (nível mais baixo) que varia de classe para classe.

Para as condições existentes no nosso País, as classes a ter em conta num projeto de IP podem ser simplificadas em três categorias de estradas que irão compreender as classes de iluminação da norma EN 13201-2

### 3.1.3 Classes de Iluminação

Cada tipo de estrada a ser iluminada está associado a mais do que uma classe de iluminação. Esta será determinada, no plano diretor de iluminação pública da responsabilidade da autarquia.

Uma classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos que apontam para as necessidades de visibilidade dos utilizadores dos vários tipos de ruas, estradas e áreas frequentadas. [16]

Na norma EN 13201-2 existem várias tabelas onde são atribuídos:

- Valores de luminância (cd/m<sup>2</sup>) para as classes ME.
- Valores de iluminância (lux) para as restantes classes.

Existem ainda as subclasses que variam desde o valor 1 (requisitos mais elevados do nível de iluminação) até um valor n (nível mais baixo) que varia de classe para classe.

Para as condições existentes no nosso País, as classes a ter em conta num projeto de IP podem ser simplificadas em três categorias de estradas que irão compreender as classes de iluminação da norma EN 13201-2:2003.

Tabela10-Parâmetros de iluminação para cada tipo de estrada [16]

Categorias	Descrição
<p style="text-align: center;">R (Rápido)</p>	<p>Corresponde ao tráfego motorizado de elevada velocidade, ou seja, em estradas nacionais e Rurais de ligação a populações, tendo apenas requisitos de luminância (cd/m<sup>2</sup>)</p> <p>Compreende as seguintes classes definidas na norma EN13201-2:2003:</p> <p style="text-align: center;">[ME1 a ME5]</p>
<p style="text-align: center;">M (Misto)</p>	<p>Corresponde ao tráfego misto, ou seja, comporta tráfego motorizado a baixa e media velocidade bem com a existência de ciclistas e pedestres. Nessas áreas. Tal como na classe anterior, tem apenas requisitos de luminância (cd/m<sup>2</sup>)</p> <p>Compreende as seguintes classes definidas na norma EN13201-2:2003:</p> <p style="text-align: center;">[ME2 a ME5]</p>
<p style="text-align: center;">L (Lento)</p>	<p>Corresponde ao tráfego lento, ou seja, para zonas residências e áreas pedonais (jardins e outros espaços públicos) com requisitos somente de iluminância (lux).</p> <p>Compreende as seguintes classes definidas na norma EN13201-2:2003:</p> <p>[CE0 a CE5] [S1 a S6] [ES1 a ES9] [EV1 a EV6] [A1 a A5]</p>

Tabela 11- Parâmetros de iluminação para cada tipo de estrada [16]

Classe		Parâmetros de iluminação				
Tipo de estrada	Situação típica	Classe EN 13201	Lavg (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UI	TI (%)
R	Transito Elevado	ME1	2	0.4	0.7	10
	Velocidade Normal e com Trânsito	ME2	1.5	0.4	0.7	10
	Chuva e pouco trânsito	ME3a	1	0.4	0.7	15
	Pouco Transito	ME4a	0.75	0.4	0.6	15
M	Transito Elevado	ME2	1.5	0.4	0.7	10
	Normal	ME3a	1	0.4	0.7	15
	Pouco trânsito	ME4a	0.75	0.4	0.6	15
			Eavg(lux)	Umin	Emin	
L	Transito Elevado	CE2	20	0.4		
	Normal	CE3	15	0.4		
	Pouco Trânsito	CE4	10	0.4		
	Trânsito	S2	10		3	
	Normal	S4	5		1	
	Pouco trânsito	S6	2		0.6	

Facilmente se entende que alterando o sistema de iluminação para um nível de intensidade inferior, mas perfeitamente ajustado à zona em questão, conseguir-se-á obter uma poupança quer ao nível do consumo, quer ao nível da quantidade de luminárias necessárias.

### 3.1.4 Classe ME

Como já fora referido na Tabela 11, a classe ME aplica-se a veículos motorizados em estradas de alta e média velocidade. Para a determinação da classe ME deve-se proceder do seguinte modo:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado na Tabela 12
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe ME.

De notar que por vezes é necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais próximo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0 - 5].

Tabela 12 Classificação de vias principal ME [16]

Seleção das classes de iluminação –ME			
Parâmetro	Opções	Fator de peso	Seleção
Velocidade	Alta	1	
	Moderada	0	
Volume de tráfego	Muito Elevado	1	
	Alto	0,5	
	Moderada	0	
	Baixa	-0,5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não Motorizadas	1	
	Misturado	0,5	
	Apenas Motorizados	0	
Separação das Faixas	Não	1	
	Sim	0	
Densidade de cruzamentos	Alta	1	
	Moderada	0	
Veículos Estacionados	Presente	1	
	Não Presente	0	
Luminância Ambiente	Muito Alta	1	
	Alta	0,5	
	Moderada	0	
	Baixa	-0,5	
	Muito Baixa	-1	
Controlo do Trânsito	Fraco	0,5	
	Bom	0	
	Muito Bom	-0,5	
		Total	

Na Tabela 11, para utilização do método mais simples mas menos preciso, o índice máximo encontrado para uma classe ME é 4, no entanto, a

norma EN 13201 – 2: 2003 define 6 índices possíveis, cujos parâmetros estão indicados na tabela seguinte.

Tabela 13 Parâmetros da classe de iluminação ME EN1301-2 2:2003 [16]

Classe	Luminância da superfície da estrada			Glare
	Lavg (cd/m <sup>2</sup> )	Uo	UI	TI (%)
ME1	2	0,4	0,7	10
ME2	1,5	0,4	0,7	10
ME3a	1	0,4	0,7	15
ME3b	1	0,4	0,6	15
ME3c	1	0,4	0,5	15
ME4a	0,75	0,4	0,6	15
ME4b	0,75	0,4	0,5	15
ME5	0,5	0,35	0,4	15
ME6	0,3	0,35	0,4	15

Além dos seis índices definidos, a norma ainda faz uma ligeira distinção, nível da uniformidade longitudinal (UI), dentro das classes ME3 e ME4. Assim, se ao índice estiver associado à letra minúscula:

a- É permitido um aumento de 5% no valor do TI, usadas fontes de iluminação Luminância de baixa pressão e fluorescentes tubulares luminâncias idêntica.

b- Significa que este critério apenas poderá ser aplicado em locais onde não existam zonas de tráfego com os seus próprios requisitos adjacentes às faixas de rodagem. É um valor não ótimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado.

Assim, caso o índice obtido no método da Tabela 13 seja 3 ou 4, convencionam-se a utilização dos parâmetros de iluminação da classe ME que possui a letra a associado ao índice, ou seja, ME3a e ME4a respetivamente.

Opções volume de tráfego:

- Muito baixo inferior a 4.000 veículos por dia.
  - Baixo: 4.000 a 15.000 veículos por dia.
  - Moderado 15.000 a 25.000 veículos por dia.
  - Muito alto: Superior a 40.000 veículos por dia.
- 
- Opções Luminância Ambiente o Baixa Zonas Rurais, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação.
  - Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários e contribuição residencial;
  - Opções Luminância Ambiente o Baixa: Zonas Rurais, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação;
  - Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários e contribuição residencial;
  - Alta: Centros Urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (e.g. estacionamento).

### 3.1.5 Classe CE

A classe CE aplica-se nas áreas de conflito. Estas ocorrem quando as faixas dos veículos se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres, ciclistas ou outros utilizadores, como por exemplo:

- Cruzamentos.
- Rotundas.
- Estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas.
- Zonas de centros comerciais, etc.

A existência destas áreas resulta, portanto, num aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada, logo a iluminação destas zonas deverá revelar em especial a:

- Posição dos passeios e lancis.
- Marcas e sinalizações da estrada.
- Movimentação dos veículos na vizinhança da área.
- Presença dos pedestres, outros utilizadores (e.g. ciclistas) e de eventuais obstáculos.

Existem dois critérios de seleção da classe de iluminação para as áreas de conflito. Assim, ou se consideram os níveis de luminância, ou então os de iluminância. [16]

Se o critério escolhido for o da luminância, as áreas de conflito devem ter no mínimo o mesmo nível de iluminação das estradas adjacentes (que dão acesso à área de conflito). O ideal mesmo é que a classe de iluminação da zona de conflito tenha um índice abaixo da classe de iluminação da estrada adjacente.

Tabela 13- Classe da área de conflito correspondente à classe da Estrada adjacente, quando a luminância é o critério usado [16].

Tabela 14 Classe área conflito, Classe adjacente [16]

Classe da Estrada Adjacente	Classe da Área de Conflito
ME1	ME1
ME2	ME1
ME3a	ME2
ME4a	ME3a
ME5	ME4a
ME6	ME5

Por exemplo, se uma estrada de classe ME2 se depara com uma zona de conflito (e.g.rotunda), esta nova zona terá de estar iluminada com os parâmetros de iluminação correspondentes à classe ME1.

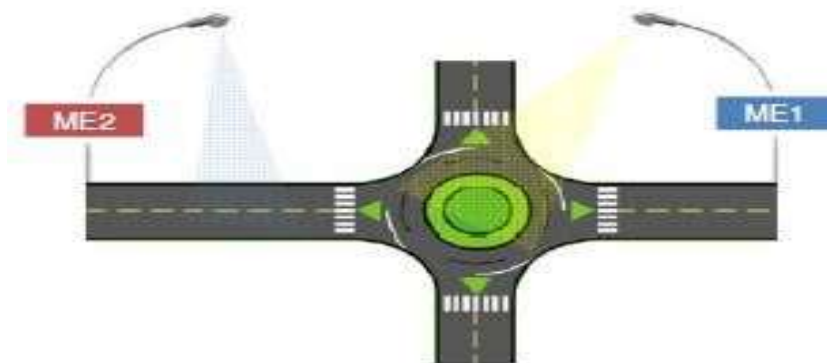


Figura 55-Índice da classe de iluminação área conflito critério de luminância [16]

Pode-se dar o caso do critério mais adequado, para a determinação da classe de iluminação das áreas de conflito, não ser o uso da luminância. Verifica-se, por exemplo, quando:

- As distâncias de percepção visual são curtas.
- Há necessidade de distinguir bem os contornos.
- Estrada adjacente não é, ou é muito mal iluminada.

Quando assim acontece, o critério a utilizar para a parametrização dos níveis de iluminação do sistema de iluminação pública, é o uso da iluminância. Dentro deste critério, encontramos dois procedimentos consoante o nível de iluminação da estrada adjacente à área de conflito. Para determinar o índice correspondente da classe CE, ou seja:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado na Tabela 15
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor "Total".
- Introduzir esse valor na equação: **Índice (CE) = 6 – Total**, obtendo o índice da classe CE.

Novamente ter-se-á de ter em atenção os valores possíveis do índice, sendo que neste caso poderá ser necessário arredondar o resultado "Total" obtido ao inteiro mais próximo, ou mesmo limitá-lo ao intervalo [1-6].

Tabela 15 Método para a seleção da classe de Iluminação [16]

Seleção das Classes de Iluminação -CE			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Alta	2	
	Moderada	1	
	Baixa	0	
Volume de Tráfego	Muito Elevado		
	Alto		
	Moderada		
	Baixo		
	Muito Baixo		
Composição do Trânsito	Elevada percentagem de não motorizadas	1	
	Misturado	0,5	
	Apenas Motorizados	0	
Separação das Faixas	Não	1	
	Sim	0	
Luminância Ambiente	Muito Alta	1	
	Alta	0,5	
	Moderada	0	
	Baixa	-0,5	
	Muito Baixa	-1	
Controlo de Transito	Fraco	0,5	
	Bom	0	
	Muito Bom	-0,5	
		Total	

Tabela 16 Parâmetros de Iluminação CE da Norma EN13202-2:2003 [16]

Classe	Iluminância horizontal	
	Eavg (lux)	U0
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Caso o nível de iluminação da estrada adjacente cumpra os nas normas, surgem dois casos passíveis de análise:

A estrada adjacente tem como parâmetro a iluminância. A estrada adjacente tem como parâmetro a luminância.

No primeiro caso, os níveis de iluminância da área de conflito não poderão ser menores do que os da estrada adjacente.

No segundo caso recorre-se à Tabela 17 incluída no relatório CIE 144:2001, onde é feita uma analogia, dos níveis de iluminação, entre as classes ME (cujo parâmetro é a luminância) e as classes CE (cujo parâmetro é a iluminância).

Assim, se a classe da estrada adjacente for ME2, a classe CE equivalente a utilizar é a CE2, logo a classe a utilizar na área de conflito (tendo a iluminância como parâmetro) será a CE1.

Tabela 17-Classes ME e CE com um nível de Iluminação comparável [16]

Classe de Iluminação		ME1	ME2	ME3a	ME4a	ME5	ME6
Luminância média (cd/m <sup>2</sup> )		2	1,5	1	0,75	0,5	0,3
Classe de iluminação	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	
Iluminância Média (Lux)	50	30	20	15	10	7,5	

### 3.1.6 Classe S

A terceira e última classe de iluminação utilizada na versão simplificada da Tabela 11 é a classe S. Esta classe, é peculiar apenas à classe do tipo de estrada L, mais especificamente às zonas exclusivamente pedonais. Tem como critérios:

- Iluminância média (Eavg).
- Iluminância mínima (Emin).

Mais uma vez, o processo de aferição do índice da classe de iluminação S segue a mesma lógica dos anteriores:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (S) = 6 – Total, obtendo o índice da classe S.

Ter em atenção que por vezes será necessária a aproximação ao inteiro mais próximo ou a limitação do valor “Total” no intervalo [0 - 5].

Finalmente, utilizar no projeto de iluminação, os valores de Emed e Emin, indicados na Tabela 18, correspondentes à classe S do índice determinado

Tabela 18-Método para a seleção da classe de Iluminação [16]

Seleção das Classes de Iluminação -S			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Baixo	1	
	Muito Baixo	0	
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1	
	Alto	0,5	
	Moderada	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do Tráfego	Pedestre e tráfego motorizadas	0,5	
	Pedestre, ciclistas	0,5	
	Pedestres	0	
	Ciclistas	0	
Veículos estacionados	Presentes	0,5	
	Não Presentes	0	
Luminância Ambiente	Muito Alta	1	
	Alta	0,5	
	Baixa	-0,5	
	Muito Baixa	-1	
		Total	

Tabela 19 Parâmetros da classe de iluminação da Norma EN132001-2:3003 [16]

Classe	Iluminância Horizontal	
	Eavg (lux)	Emin (lux)
S1	15	5
S2	30	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6

Zonas problemáticas em termos de atividade criminal. Classes A, ES, EV, e quais as situações onde deverão ser tidas em conta.

### 3.1.7 Classe A

Tal como a classe S, a classe A é destinada aos pedestres e aos ciclistas e aplica-se se a zonas pedonais, vias próprias para bicicletas, caminhadas e outras vias que se encontrem separadas mas ao longo de uma estrada para veículos motorizados. Alguns países preferem recorrer a esta classe do que à classe S.

A diferença é que os parâmetros de iluminação utilizados já não irão ser a iluminância horizontal média e mínima, mas sim a iluminância hemisférica e a sua uniformidade geral (tabela 20) [16].

Tabela 20 Parâmetros da classe de iluminação da Norma 13201-2:2003 [16]

Classe	Iluminância Horizontal	
	Eavg (lux)	Emin (lux)
A1	5	0,15
A2	3	0,15
A3	2	0,15
A4	1,5	0,15
A5	1	0,15

### 3.1.8 Classe ES

A classe ES é uma classe adicional aplicada a zonas pedonais onde o risco de criminalidade é maior. A Tabela 21 especifica valores para a iluminância semicilíndrica de modo a criar um ambiente de maior conforto e segurança para as pessoas, potenciando a diminuição da criminalidade.

Tabela 21 Parâmetros da classe de iluminações ES da norma 13201-2:2003 [19]

Classe	Iluminância Semicilíndrica
	E <sub>min</sub> (lux)
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

### 3.1.9 Classe EV

A classe EV é igualmente uma classe adicional aplicada a zonas onde se pretenda que haja a possibilidade de reconhecimento claro em superfícies verticais. Poderá ser utilizada em zonas pedonais, bem como em locais específicos das estradas do tipo R e M, da tabela 11 nomeadamente em áreas que possuam placas informativas (e.g. bifurcações, rotundas, etc.). O parâmetro utilizado na classe EV é a iluminância mínima do plano vertical, cujos valores estão indicados na Tabela 22

Tabela 22 Parâmetros da classe de iluminação EV da Norma EN 132001-2:2003 [16]

Classe	Iluminância do plano vertical
	E <sub>min</sub> (lux)
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

Não obstante o critério utilizado (iluminância ou luminância) é possível estabelecer uma analogia entre os níveis de iluminação das diversas classes de iluminação (Tab23).

Quer a classe ES, quer a classe EV apenas serão aplicadas caso o projetista considere necessário, para a zona em questão.

Tabela 23 Correspondência do nível de Iluminação das diversas classes [16]

	ME1	ME2	ME3a	ME4a	ME5	ME6		
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6
				A1	A2	A3	A4	A5
ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9
EV2	EV3	EV4	EV5	3(lx)	2,5(lx)	1,5(lx)	1(lx)	0,6(lx)

### 3.1.10 Classe P

Iluminação de zonas Pedonais e Jardins -Uma boa qualidade do projeto de iluminação irá permitir aos utilizadores pedestres distinguir e antecipar obstáculos e situações de perigo no seu caminho, pois será possível aperceberem-se da movimentação e fazer o reconhecimento facial de outros pedestres relativamente próximos e intuir as suas intenções.

Nestes casos particulares é importante ter-se em conta não só a iluminância horizontal (Eh), mas também iluminância semicilíndrica (Esc) e a iluminância do plano vertical (Ev) [7].

Tabela 24 Parâmetros da classe de iluminação P Norma EN 13201-2:2003 [16]

Classes da via	Eh,avg (lux)	Requerimentos adicionais no caso de ser necessário reconhecimento facial			
		Ev,min (lux)	Eh,min (lux)	Esc,min (lux)	Encadeamento perturbador
P1	15	30	5,0	3,0	20
P2	10	2,0	3,0	2,0	25
P3	7,5	1,5	2,5	1,5	25
P4	5,0	1,0	1,5	1,0	30
P5	3,0	0,6	1,0	0,6	30
P6	2,0	0,4	0,6	0,4	35

Tabela 25 Método para a seleção da classe de Iluminação [P7]

Seleção das Classes de Iluminação –P			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Baixo	1	
	Muito Baixo	0	
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1	
	Alto	0,5	
	Moderada	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito Baixo	-1	
Composição do Trânsito	Pedestre, Ciclistas e tráfego motorizadas	2	
	Pedestre e tráfego motorizadas	1	
	Pedestres, Ciclistas	1	
	Pedestres	0	
	Ciclistas	0	
Veículos estacionados	Presentes	0,5	
	Não Presentes	0	
Luminância Ambiente	Muito Alta	1	
	Alta	0,5	
	Moderada	0	
	Baixa	-0,5	
	Muito Baixa	-1	
		Total	

Para determinação da classe P, deve-se proceder do seguinte modo:

- Atribuir um fator de peso a cada trâmite especificado para efeitos de normalização Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.

Equação: Índice (P) = 6 – Total, obtendo o índice da classe P.

### 3.2 EN 13201-3 – CALCULO DOS PARAMETROS FOTOMÉTRICOS

Os métodos de cálculo descritos nesta parte permitem a obtenção das características de qualidade de iluminação mediante procedimentos padronizados, no sentido de obter, a partir de diferentes fontes, uma base uniforme.

Nesta secção, são definidas e descritas as convenções e procedimentos matemáticos a ser adotados no cálculo dos parâmetros fotométricos de instalações de iluminação pública, tendo em consideração a norma EN 13201-2.

### 3.3 EN 13201-4 – METODOS DE MEDIÇÃO DAS PERFORMANCES FOTOMÉTRICAS

Esta parte especifica os procedimentos a ter em consideração para se efetuar medições fotométricas e outras relacionadas, na iluminação pública. Os procedimentos adotados devem ser levados a cabo apenas com o propósito de medição. Quando as medições são requeridas para intuito de comparação com valores previamente calculados, deve ser tido um maior rigor na medição para assegurar que possa ser feita uma comparação válida. Quando as medições têm o propósito de monitorização do estado da instalação, é possível que o leque de medições a efetuar não seja tão abrangente, e compreenda localizações mais espaçadas. O essencial neste caso é que as medições sejam levadas a cabo da mesma forma que a monitorização. Noutros casos, o controlo in loco é suficiente. As convenções para posição de observação e locais de medição são os adotados na EN13201-3. As condições que poderão levar a imprecisões nas medições estão identificadas e as precauções que permitam uma diminuição deste tipo de erro estão previstas e devidamente referenciadas. Está também disponível o formato a adotar aquando da apresentação de resultados.

### 3.4 PROJECTOS DE IP CRITÉRIOS A CONSIDERAR

Objetivos de um sistema de IP a considerar são:

- Fornecer informação visual para uma fácil e segura circulação, dos peões e dos condutores, nos espaços públicos de lazer, nas estradas e ruas.
- Segurança de ordem pública e mitigação de atividades ilícitas.
- Proporcionar visão noturna.
- Criação de ambientes agradáveis e acolhedores, em zonas comerciais, parques, jardins e centros históricos.
- Promover ambiências simbólicas e psicológicas
- Funcionar como elemento de interação social
- Funcionar como linguagem visual
- Interagir com a paisagem urbana noturna Neste sentido, a Iluminação Pública é um instrumento de conforto, segurança e atratividade numa cidade ao mesmo tempo que potencia a perceção ambiental e influencia o comportamento humano; sendo que o sistema de IP não é mais um processo técnico e uni disciplinar mas sim um processo político e multidisciplinar.

#### 3.4.1 Melhoria Continua na rede IP

Há que ter em conta novas considerações de projeto e construção das redes de IP, como por exemplo, uma potencial diminuição do número ou potência de fontes de luz a utilizar em novos projetos. Isto é conseguido otimizando o espaçamento, os esforços mecânicos, as características das fontes de luz e a altura dos postes. Um outro aspeto positivo que resulta do aumento da altura dos postes é a diminuição do vandalismo, com a conseqüente redução dos custos de manutenção. Os postes de iluminação são definidos nas séries da norma EN 40 e podem ter um tempo de vida superior a 50 anos. Desta forma, poder-se-á obter um menor número de postes e luminárias, mantendo ou até mesmo melhorando a visibilidade noturna com custos mais reduzidos .

### 3.4.2 Encandeamento Incomodativo (G)

Corresponde à perda de faculdades de visualizar os objetos, agudeza visual, provocando simultaneamente fadiga ocular, em condições dinâmicas:

$$G = IEL + VRI \quad (13)$$

Legenda:

G = Índice de deslumbramento incomodativo

IEL = Índice específico da luminária

VRI = valor real da instalação

### 3.4.3 Encandeamento perturbador (TI)

O incremento limite (TI) é uma medida que permite quantificar a perda de visibilidade causada pelo encandeamento das luminárias de iluminação pública.

Neste caso um objeto que está no limite da visibilidade deixa de ser visível devido ao encandeamento. Caso se pretenda que o objeto seja visível nestas condições, há que aumentar o nível de contraste.

Este incremento corresponde ao TI [7].

$$TI = \frac{65}{(L)^{0,8}} \times L_v \% \quad (14)$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2} \quad (15)$$

Legenda:

$\bar{L}$  – Luminância média da estrada (cd/m<sup>2</sup>).

$L_v$  – Luminância encandeante (veiling luminance) equivalente (cd/m<sup>2</sup>).

$E_k$  – Iluminância (em lux, baseada no fluxo inicial da lâmpada em lumens) produzida pela

luminária k, num plano normal à linha de visão e à altura do olho do observador.

$\theta_k$  – Ângulo, em graus, do arco entre a linha de visão e a linha desde o observador ao centro da

luminária k.



Figura 56- Brilho encadeaste (Glare) [17]

### 3.4.3 Rácio de Saída do Fluxo Luminoso – Light Output Ratio (LOR)

O rácio de saída do fluxo luminoso (LOR) pode ser entendido como o quociente entre o fluxo luminoso ( $\Phi$ ) Total de uma luminária (medido em condições práticas específicas com a sua fonte de luz e equipamento auxiliar) e a soma dos fluxos luminosos individuais ( $\sum \Phi$ ) Dessas mesmas fontes de luz, quando operadas fora da luminária com o mesmo equipamento auxiliar e condições práticas.

$$LOR = \frac{\phi_{saída\ da\ luminária}}{\sum \phi_{fonte\ de\ luz\ individual}} \quad (16)$$

Para a realização de um projeto de IP eficiente convém conhecerem-se dois conceitos derivados do LOR, ou seja:

- Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente – *Upward Light Output Ratio* (ULOR)
- Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Descendente – *Downward Light Output Ratio* (DLOR)

O **ULOR** de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para cima, pela luminária, com a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas fontes de luz quando operadas fora da luminária.

O **DLOR** de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para baixo, pela luminária, com a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas fontes de luz quando operadas fora da luminária.

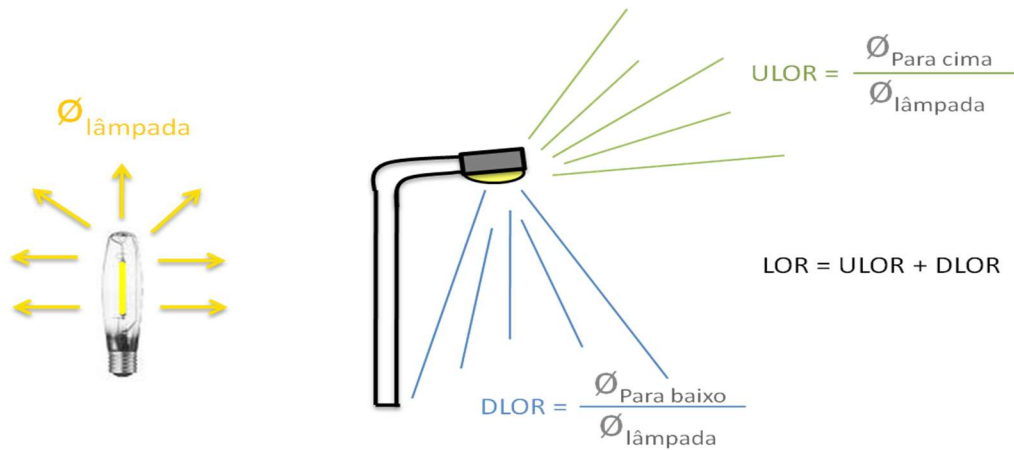


Figura 57 O DLOR

#### Rácio Envolvente – Surround Ratio (SR)

Um dos principais objetivos no IP é providenciar uma boa iluminação na superfície das ruas e estradas de modo a que os obstáculos sejam facilmente identificáveis.

No entanto, a parte superior de objetos mais altos na estrada, e os objetos que se encontram nas laterais das vias (particularmente em secções curvas), são vistos apenas se existir uma boa iluminação na envoltência, ou seja, na sua vizinhança.

Com efeito, uma iluminação adequada da zona envolvente à via possibilita ao utilizador uma melhor perceção da sua situação, fazendo ajustamentos devidos de velocidade e trajetória a tempo.

A função do rácio envolvente (SR) é assegurar que o fluxo luminoso direcionado para a periferia das vias seja suficiente para tornar perfeitamente visíveis os corpos aí existentes.

Assim, incrementa-se, por exemplo, a segurança dos peões nos passeios.

O SR é definido como sendo a iluminância média horizontal nas duas faixas longitudinais exteriores aos limites laterais de uma faixa de rodagem de viaturas, dividida pela iluminância média horizontal de duas faixas longitudinais dessa estrada, adjacentes aos seus limites.



Figura 58 Rácio envolvente

A largura de cada uma dessas faixas longitudinais definidas, para o cálculo do rácio envolvente, terá de ser a mesma.

O seu valor será o mínimo dos valores das seguintes três hipóteses:

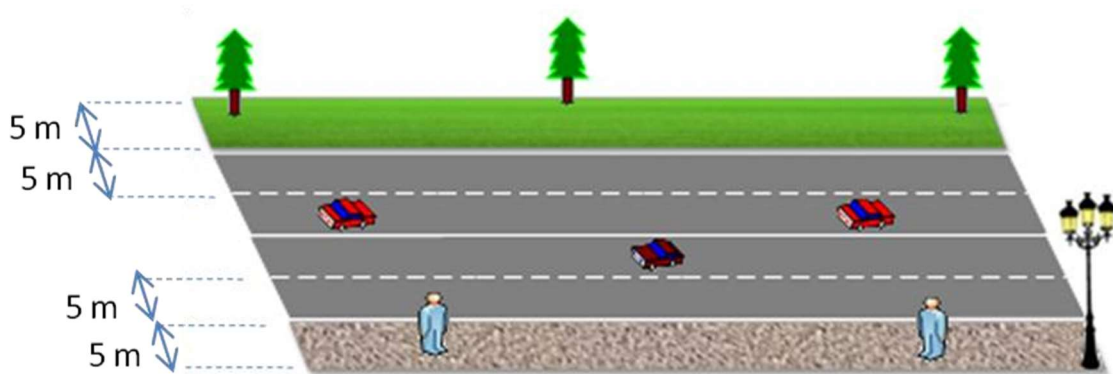


Figura 59 Rácio envolvente (5m)

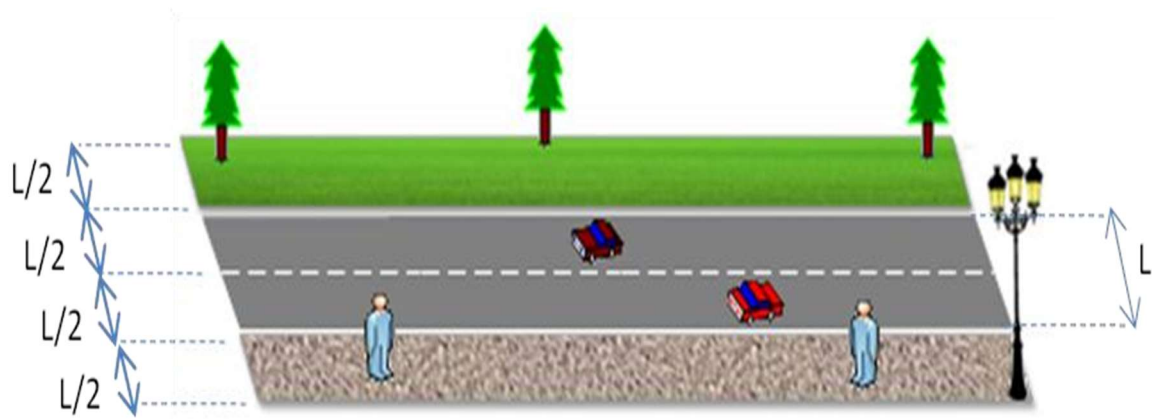


Figura 60 Rácio envolvente (metade da largura da estrada)

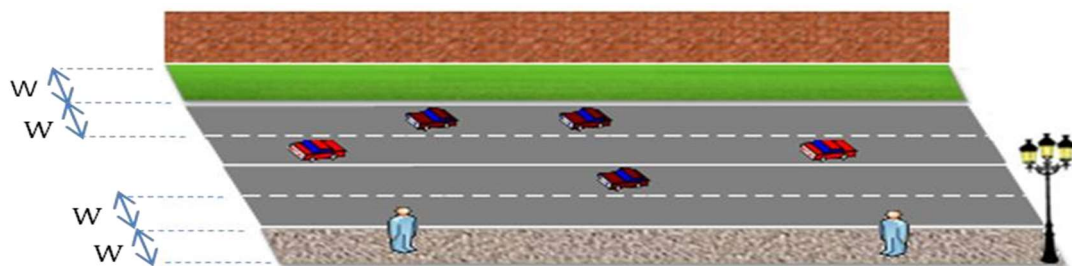


Figura 61 Rácio envolvente (largura da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída)

Em qualquer um dos casos o rácio envolvente (SR) poderá ser calculado através da iluminância média ( $\bar{E}$ ) Das várias faixas, pela seguinte expressão:

$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3} \quad (17)$$

### 3.4.5 Fator de Manutenção

O fator de manutenção (FM) – grau de conservação de uma instalação. É o rácio da iluminância num determinado momento ( $E(t)$ ), com a iluminância inicial ( $E_0$ ) [2].

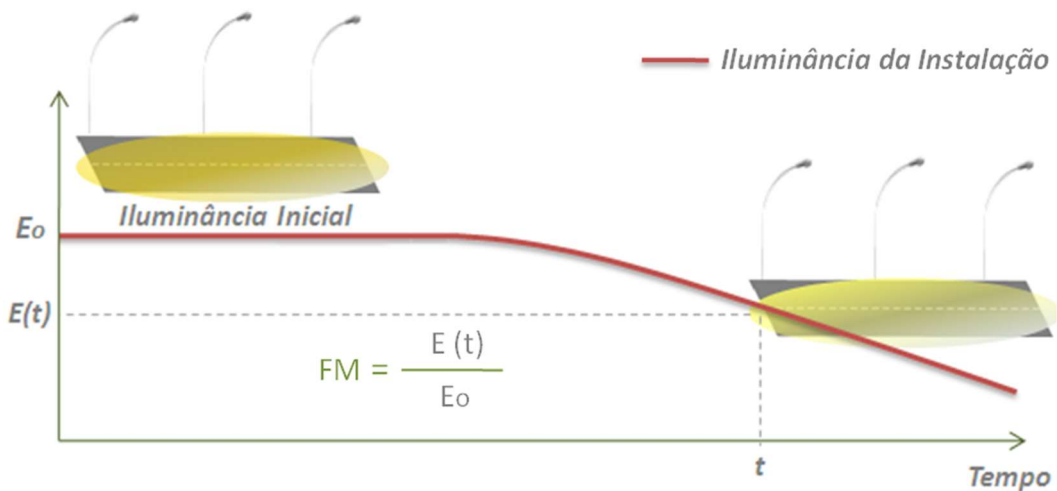


Figura 62 Fator de manutenção

O valor do fator de manutenção poderá afetar significativamente a potência da lâmpada a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância/luminância especificados [2].

$$\text{Em que: } FM = F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML} \quad (18)$$

### 3.4.6 Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada

O fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF – Lamp Luminance Maintenance Factor) é dado pelo rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ( $\phi(t)$ ) e o fluxo luminoso inicial ( $\phi_0$ ). [EN 12665:2002] Ou seja [2]

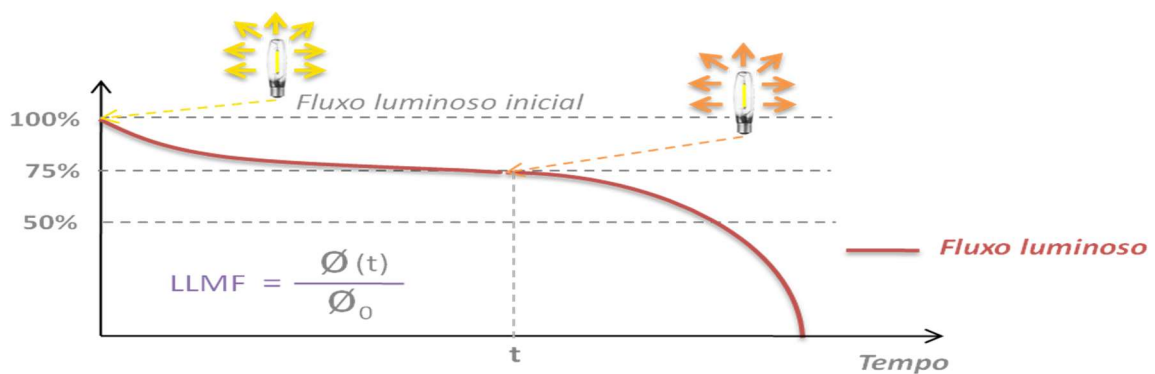


Figura 63--Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (LLMF)

### 3.4.7 Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF)

O fator de sobrevivência da lâmpada (LSF – Lamp Survival Factor) é definido pela fração do número total de lâmpadas que continuam a funcionar num dado momento e sob determinadas condições. [EN 12665:2002]

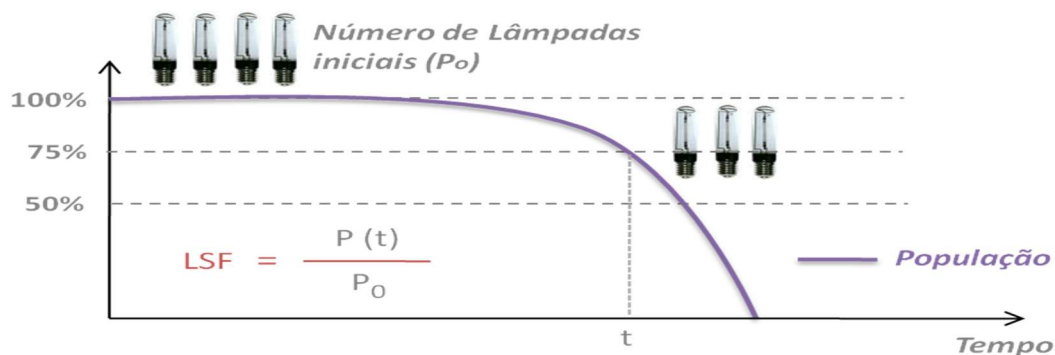


Figura 64 Fator de sobrevivência da lâmpada

O fator de sobrevivência de uma lâmpada depende bastante da quantidade de horas de funcionamento.

A tabela mostra os diversos regimes de funcionamento que uma rede de IP pode ter, [7]

Tabela 26 - Número de horas por regime de funcionamento

Regime de Funcionamento	Horas/ano
Contínuo	8760
Toda a noite (crepúsculo até amanhecer)	4380
Crepúsculo até à meia-noite (24h)	2600
Crepúsculo até as 22h (5noites/semana)	1300
4horas/semana	208

### 3.4.8 Fator de Manutenção da Luminária (LMF)

O fator de manutenção da luminária é o rácio do LOR de uma luminária num dado momento (LOR (t)), com o LOR dessa mesma luminária no seu início de vida (LOR0).

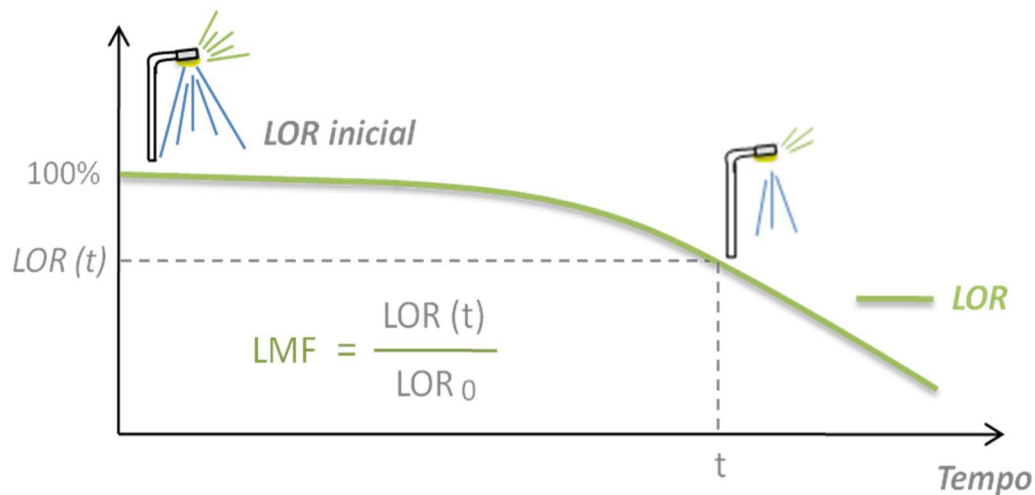


Figura 65 Fator de manutenção da luminária

### 3.5 NIVEIS, UNIFORMIDADES E CLASSES DE ILUMINAÇÃO

#### 3.5.1 - Nível de Iluminação

É imprescindível que o nível de iluminação do sistema de Iluminação Pública a instalar, seja o mais adequado para a zona e o tipo de utilizadores em questão. Com efeito, pessoas com idades superiores a 45 anos requerem mais 30% de nível luminoso para o reconhecimento facial, do que as pessoas com idades inferiores. [18]

O relatório técnico CEN/TR 13201-1: 2004 orienta na seleção das zonas onde as classes de iluminação, definidas na norma EN 13201-2, e os cálculos e procedimentos existentes na norma EN 13201-3 deveriam ser aplicados.

Não sendo um critério de decisão de projeto, este relatório técnico fornece uma linha orientadora, para descrever as diversas situações onde é possível elaborar um projeto de IP, com base em parâmetros como [18]:

- Geometria da área a ser considerada.
- Uso dessa mesma área.
- Influência do meio envolvente.

#### 3.5.2 - Uniformidade da Iluminação-

A qualidade da iluminação proporcionada é um parâmetro fulcral nos sistemas de iluminação e que salta de imediato à vista dos utilizadores. Há que tentar iluminar uma zona ou objeto de vários ângulos, tendo sempre presente o critério da uniformidade da iluminação, ou seja, uma distribuição equivalente de luz nas superfícies horizontal e vertical nas diversas zonas.

Para iluminar eficientemente uma paragem de autocarro, torna-se necessário criar ambiente luminotécnico adequado nos acessos até essa paragem. Desta forma, será transmitida uma sensação de maior conforto e segurança às pessoas, cujas feições e traços característicos devem poder ser reconhecidos entre 10 a 15m de distância. [29 shreder]

Relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância média, de uma instalação de iluminação, a unidade é %, de acordo com expressão

$$U_0 = L_{min}/L_{med} \quad (19)$$

### 3.5.3 Uniformidade Longitudinal (UL )

No sentido de deslocação do observador, é a relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância máxima longitudinal, de uma instalação de iluminação. A unidade é %, expressão.

$$UL = L_{min}L/L_{max}L \quad (20)$$

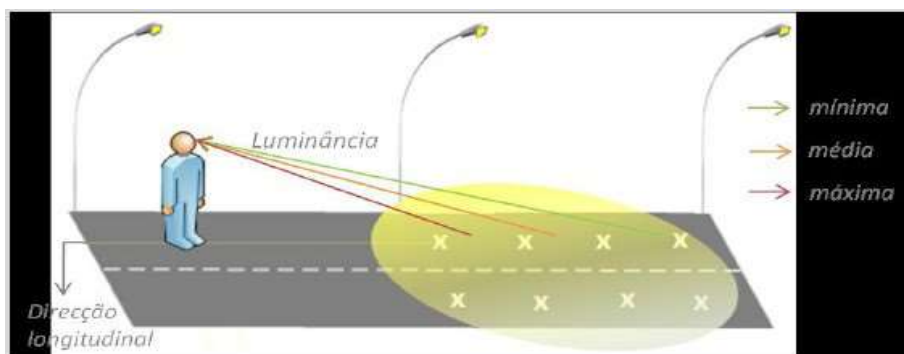


Figura 66 - Uniformidade Longitudinal [17]

O número de pontos na direção longitudinal (N) e o espaço entre eles terá de ser o mesmo que fora usado no cálculo da luminância média. Adicionalmente, a posição do observador terá de estar no enfiamento da linha dos pontos de cálculo

#### 3.5.4 Uniformidade extrema (Eu )

Relação entre o valor de iluminância mínima e o valor de iluminância máxima, de uma instalação de iluminação. A unidade é %, expressão.

$$U_e = E_{min}/E_{máx} \quad (21)$$

#### 3.5.5 Uniformidade Média (UM )

Relação entre o valor de iluminância mínima e o valor de iluminância média, de uma instalação de iluminação. A unidade é %. Expressão.

$$U_m = E_{min}/E_{med} \quad (22)$$

### 3.6 GESTÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE IP

A operação e manutenção da iluminação pública é um enorme desafio, devido ao vasto número de componentes inseridos num sistema. Todos os sistemas de iluminação irão deteriorar-se progressivamente a partir do instante inicial de funcionamento. Esta diminuição do desempenho é o resultado da:

- Acumulação de poeiras e lixo em todas as superfícies expostas das fontes de luz e/ou das luminárias.
- Diminuição do fluxo luminoso da fonte de luz.
- Fontes de luz avariadas
- Idade dos componentes.
- Complexidade dos sistemas.

Como a diminuição da intensidade luminosa do sistema é gradual, poder-se-á não notar imediatamente o seu efeito, decaindo mesmo para valores muito baixos se nenhum tipo de manutenção for efetuado, causando sérios problemas. Uma manutenção regular é, então, extremamente importante para manter a eficiência de uma instalação, assegurando uma aparência satisfatória e segurança para os utilizadores. No entanto, este tipo de manutenção tem custos elevados.

Existem vários fatores de depreciação de uma rede de IP que reduzem o seu nível de iluminação. Estes agrupam-se em dois grupos:

- Depreciação não recuperável.
- Depreciação recuperável.

Os fatores não recuperáveis, como por exemplo o envelhecimento, são inerentes à instalação e ao seu meio ambiente, não sendo possível melhorá-los (pelo menos de modo economicamente viável) com a manutenção efetuada.

Os fatores recuperáveis podem ser melhorados através de uma manutenção de rotina.

Uma vez que a manutenção de rotina se tem revelado técnica e economicamente incomportável, o projetista deverá ter o cuidado, na fase da escolha da luminária, de selecionar elevados índices do índice de proteção (IP). A escolha dos materiais, nomeadamente do difusor, também é muito importante, de modo a reduzir os efeitos de envelhecimento dos materiais.

### 3.6.1 FMLL (Fator de Manutenção da luminosidade da lâmpada)

O fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (fonte de luz) é dado pelo rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ( $\phi(t)$ ) e o fluxo luminoso inicial ( $\phi_0$ ). [EN 12665:2002] Ou seja:

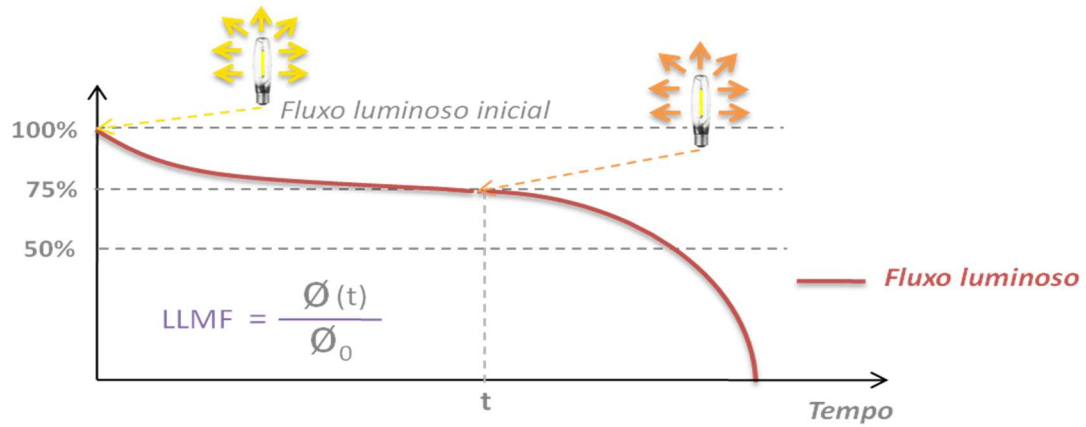


Figura 67- Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada

### 3.6.2 LSF (Fator de Sobrevivência da Lâmpada)

O fator de sobrevivência da lâmpada é definido pela fração do número total de lâmpadas que continuam a funcionar num dado momento e sob determinadas condições. [EN 12665:2002]

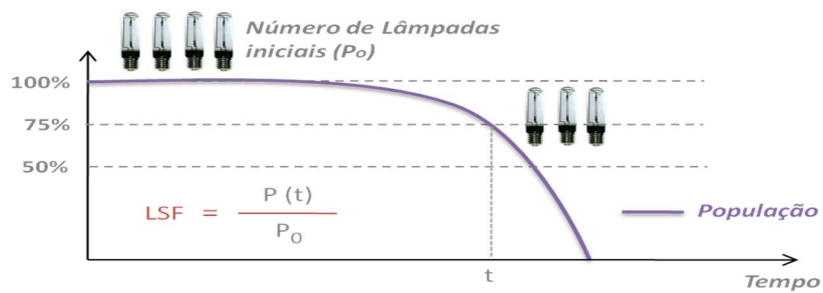


Figura 68 Fator de sobrevivência lâmpada

O fator de sobrevivência de uma lâmpada depende bastante da quantidade de horas de funcionamento.

### 3.6.3 LMF (Fator de Manutenção da Luminária)

O fator de manutenção da luminária (LMF – Luminaire Maintenance Factor) é o rácio do LOR de uma luminária num dado momento (LOR(t)), com o LOR dessa mesma luminária no seu início de vida (LOR0)[3].

### 3.6.4 Fator de Manutenção

O fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (fonte de luz) é dado pelo rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ( $\phi(t)$ ) e o fluxo luminoso inicial ( $\phi_0$ ). [EN 12665:2002] Ou seja:

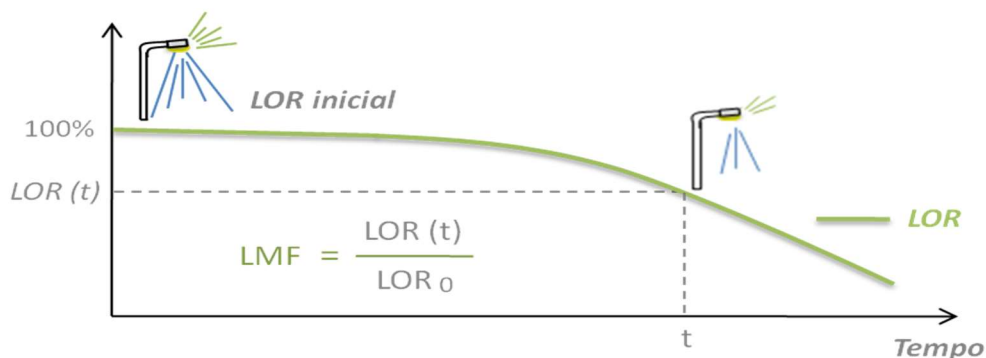


Figura 69 Fator de manutenção LMF

O valor do fator de manutenção poderá afetar significativamente a potência da lâmpada a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância/luminância especificados [7]. Em que a expressão é.

$$FM = F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML} \quad (23)$$

## 3.7 TIPOS DE REDE – NORMAS DISTRIBUIDORAS DMAS

### 3.7.1 Rede Subterrânea

Rede subterrânea de Iluminação - utiliza cabos de alumínio LSVAV- T4x16 torna-se mais disponível em termos de custo é mais utilizado em zonas urbanas ou semi-urbanas. Isto

porque os custos com reparos chegam a ser até 80% menores do que na rede aérea, exigindo menos substituições de cabos e reparações com custos mais baixos. As luminárias LED para aplicação em coluna, são qualificadas para fixação a braços de 60 mm de diâmetro exterior. A sua alimentação depende essencialmente do tipo de rede (aérea ou subterrânea) e do tipo de instalação da luminária (poste, parede ou coluna).

Nas redes subterrâneas de BT As ligações à terra serão feitas do seguinte modo: Nos Armários de distribuição Terra de neutro (Guia técnico de terras). A ligação da barra de neutro dos armários de distribuição (com a marcação PEN) ao eletrodo de terra deve ser executada através de cabo VV 1G35 mm<sup>2</sup>, com bainha exterior preta e isolamento verde/amarela. As massas, nomeadamente, as armaduras e o suporte dos cabos, devem ser ligados à barra de neutro através de um condutor de cobre (e.g., uma trança de cobre estanhado) com secção de 16 mm<sup>2</sup>. A ligação do neutro à terra aplica-se quer ao caso geral quer ao caso particular. A resistência global de terra de neutro não deve exceder 10 Ohm [20].

Rede subterrânea de Iluminação - utiliza cabos de alumínio LSVAV- T4x16 torna-se mais disponível em termos de custo é mais utilizado em zonas urbanas ou semiurbanas. Isto porque os custos com reparos chegam a ser até 80% menores do que na rede aérea, exigindo menos substituições de cabos e reparações com custos mais baixos [22] [23]

É definido no regulamento do Município que todas as instalações elétricas de domínio público constituídas por colunas, postes braços, consolas de parede, luminárias, cabos elétricos, quadros elétricos e sistemas proteção associados encontram-se sob a gestão/responsabilidade pública do Município.

A gestão de Iluminação pública no que diz respeito a nível de horários de Iluminação e ao tipo e número de pontos de Luz, como também a escolha do tipo de luminárias, potencia, fonte de luz, suporte e indicações de locais de instalação, tendo em conta sempre a eficiência energética.

### 3.7.2 Tipos de equipamento

### 3.7.3 Luminárias

As luminárias, ou armaduras de iluminação pública são constituídas por um conjunto de elementos elétricos, óticos e mecânicos. Destinam-se a assegurar a distribuição de fluxo luminoso desejado com o melhor rendimento possível evitando sempre o encandeamento dos utilizadores, verificar as condições técnicas para o bom funcionamento dos elementos elétricos, garantindo a segurança dos próprios componentes e dos utilizadores, e a proteção face às condições climatéricas das lâmpadas, do sistema ótico e dos componentes elétricos. [23]

As normas EN 13201 transpostas da União Europeia veio introduzir as classes de iluminação de forma a facilitar e desenvolver os serviços de IP com o objetivo de uniformizar e harmonizar os requisitos. Existe varias classes na União Europeia, em função da sua aplicabilidade.

Neste caso, conforme o projeto, deve ser utilizado a classe tipo P (peculiar as zonas exclusivamente pedonais definidas por parâmetros de Iluminância horizontal) ou ainda classe tipo ES( para zonas pedonais onde o risco de criminalidade é maior definida por parâmetros de Iluminância vertical).-São utilizados colunas octagonal (h=8m) + Braço, com luminária Led 100w.

Estas luminárias estão especificadas em vários documentos específicos [24][25] ( guia técnico de I.P) respetivamente. A luminária de VSAP é modular, pelo que são especificados em separado os restantes acessórios (Lâmpada, Balastro Indutivo ou Eletrónico, Ignitor, Condensador, etc.)

A luminária LED não é modular, uma vez que o seu driver e módulo de LED são parte integrante da própria luminária, pelo que é considerada um equipamento único, sendo os seus componentes especificados conforme documento [25]

#### 3.7.4 Suportes

As luminárias estão especificadas para serem instaladas em braços de aço tubulares de IP e em colunas de aço direitas ou com braço, conforme documentos normativos [26] [27], sendo que existem variantes de instalação

#### 3.7.5 Colunas de aço direitas ou com braço

As colunas são equipadas com braços apropriados de acordo com a norma em vigor [27], As colunas de aço de IP podem apresentar diversas formas: Fuste tronco-piramidal octogonal com/sem braços tronco-piramidais octogonais; Braços de IP com e sem patilhas fixação através de 2 abraçadeiras com espigão roscado conforme desenho C71-002-2006 (Anexo I) e fichas técnicas FT 010 – MAT FIX ou FT 011 – MAT FIX, incluídas no DFT-C60-010

#### 3.7.6 Rede aérea

As luminárias LED a instalar em poste estão qualificadas para fixação em braços de 42mm de diâmetro exterior.

Portanto, deve-se, a priori, fazer uma análise dos braços existentes e verificar se há ou não possibilidade de os aproveitar ou a necessidade de os substituir. [27]

## 4 CASOS DE ESTUDO

### 4.1 INTRODUÇÃO

O estudo presente tem como finalidade, comparar e avaliar duas soluções diferentes de estudo de iluminação viária da Avenida da Republica Vila Nova de Gaia e Rua Gil Eanes.

A 1ª solução a ser analisada será a solução LED e a segunda Solução será a VSAP, tendo em conta que em ambas as soluções será apresentado um estudo luminotécnico e análise de investimento nos dois casos de estudo



Figura 70 Avenida da Republica



Figura 71 R. Gil Eanes

É definido no regulamento do Município que todas as instalações elétricas de domínio público constituídas por colunas, postes braços, consolas de parede, luminárias, cabos elétricos, quadros elétricos e sistemas proteção associados encontram-se sob a gestão/responsabilidade pública do Município de Vila Nova de Gaia também no que diz respeito a eficiência energética.

#### 4.2 ESTUDO LUMINOTECNICO DAS CLASSIFICAÇÃO DA VIA

Segundo a norma EN 13201 a classe de iluminação é determinada por um conjunto de requisitos fotométricos que visam as necessidades visuais dos utilizadores, sendo estipulados três tipos de classificação:

Classe M2 – destinada a vias com tráfego motorizado;

A Tabela 27 que se segue, apresenta os níveis genéricos de iluminação entre a classe: M2 [20]. Em toda a iluminação pública funcional, de acordo com o DREEIP, documento baseado na norma EN 13201, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar os 120% nem ser inferiores a 95% dos níveis de referência correspondentes à respetiva classe, exceto quando se tratar de uma requalificação em que as características da rede não o permitam.

Para este tipo de via, foi feito um estudo das escolhas efetuadas para as normas do PDMIG e usado método a seguir pelas outras vias com a mesma classificação

#### 4.3 VIA PRINCIPAL (CASO DE ESTUDO 1)

A avenida da Republica é classificada de via principal devido a sua grande quantidade de tráfego dentro do município, sendo uma duas vias de dois sentidos com duas faixas de rodagem cada, ainda duas linhas de metro, contando vários cruzamentos e com ruas secundárias.

Para obter a classificação de iluminação da via, foram considerados os seguintes aspetos:

- Velocidade de circulação;
- Apenas tráfego motorizado está autorizado a circular na via;
- Condições meteorológicas dominantes de tempo seco;
- Existência de separação física entre faixas de rodagem com cruzamentos
- Tráfego previsto entre 15 000 a 25 000 veículos/dia;
- Sem área de conflito;
- Alta dificuldade de navegação;
- Luminosidade ambiente normal.

Atendendo a este cenário de utilização, a classe de iluminação atribuída é a M2 Avenida da Republica,

Tabela 27-Classe de Iluminação

Classe de Iluminação	Luminância média Lm(cd/m <sup>2</sup> )	Uniformidade global U <sub>o</sub>	Uniformidade longitudinal U <sub>l</sub>	Incremento Limiar TI (%)	Relação ambiente SR
M2	1,5	0,4	0,7	10	0,5

#### 4.3.1 Situação Atual Presente

Foi necessário recolher os dados no local para o estudo luminotécnico relativos ao perfil da via e material existente, de forma ser possível calcular os parâmetros luminotécnicos existentes, isto é, a situação Presente.

A será analisado duas soluções 1ª solução a ser analisada será a solução de VSAP e a 2ª solução Led para Avenida da Republica. Em ambas as soluções serão apresentadas um estudo luminotécnico e a análise de investimento

#### 4.3.2 Unidades de Avaliação.

**Luminância**- Efeito da luminosidade que uma superfície produz no olho humano, seja de uma fonte primária (luminária) ou secundária (estrada que reflete luz).

Resulta da relação entre a intensidade luminosa emitida pela superfície e a área da mesma.

**Uniformidade Longitudinal** - Relação entre a luminância mínima e máxima longitudinal.

**Uniformidade global** - relação entre a luminância mínima e média longitudinal

Incremento limiar Define a percentagem de brilho perturbador

**Iluminação da envolvente** -Define a percentagem que a iluminação envolvente produz no plano de cálculo.

#### 4.3.3 Software de Cálculo

Os cálculos foram realizados através software informático DIALUX certificado com as normas específicas em vigor para o cálculo de iluminação, As luminárias usadas na simulação são da marca Philips,Schreder

#### 4.3.4 Estudo luminotécnico

Tabela28 Características das Luminárias 1AV.da Republica

Modelo Luminária	Largura da Via (m)	Largura do Passeio (m)	Espaçamento entre Pontos de Luz (m)	Disposição dos pontos de Luz (unilateral ou bilateral)	Altura Luminária	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada Actual (W)	Potência Lâmpada Balastro Actual (W)	Comprimento da via
MC2 VSAP Schreder	12	2	30	Bilateral	12m	170	150	150	2550
Led	12	2	25	Bilateral	12m	204	60	60	2550

Tabela 29 características das Luminárias

classificação	Solução	Espaço entre Luminárias	Altura de Luminárias	Quantidade de Luminárias	Potência de Luminárias
Via Principal	LED	25m	12m	170	60W
Via Principal	VSAP	30m	12m	204	150W

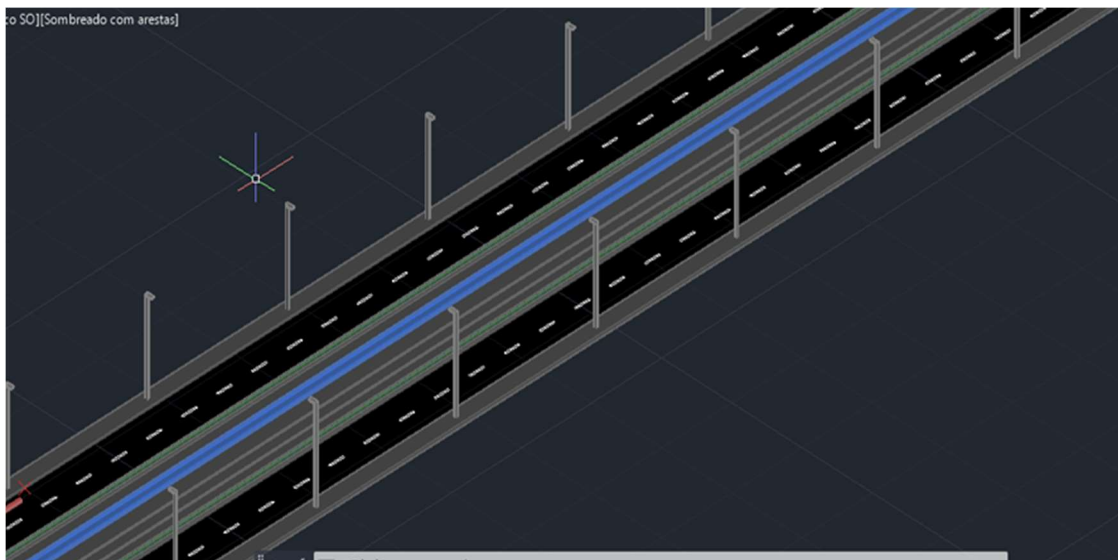


Figura 72 Avenida da Republica 3D

Estudo Luminotécnico

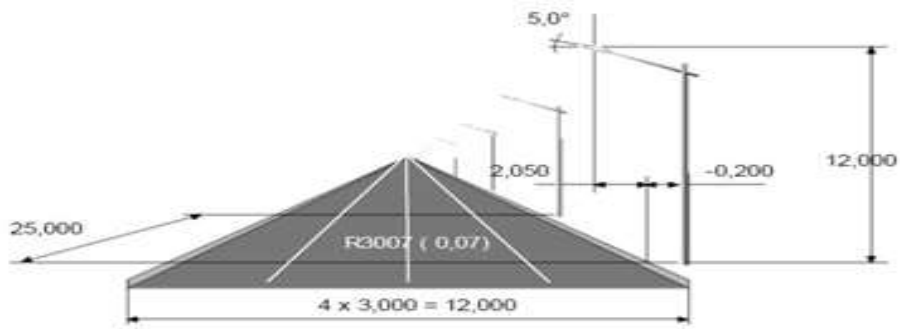


Figura 73 Avenida da República

Esquema 3D:

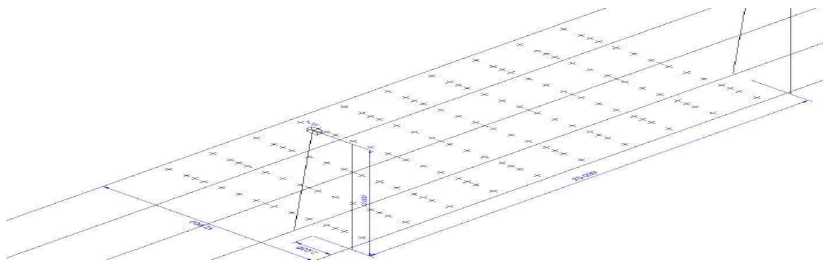


Figura 74 Avenida da República Dialux

Luminância:

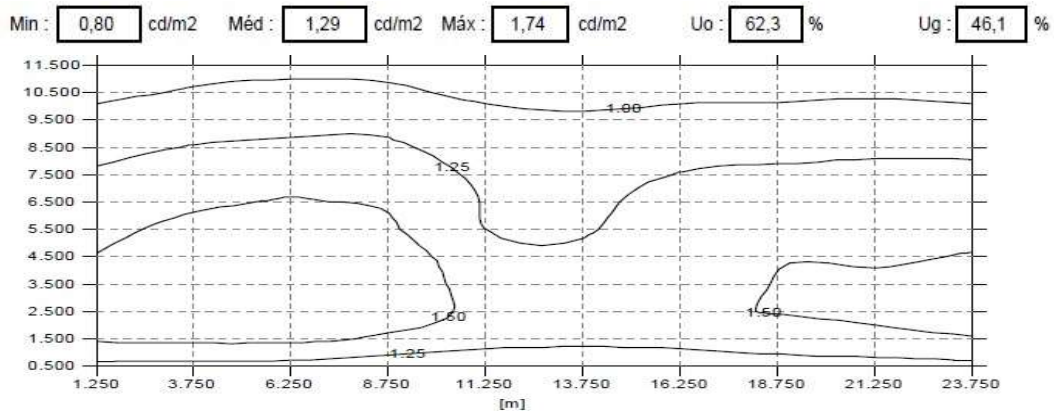


Figura 75 -Linhas isográficas da Luminância

Iluminância:



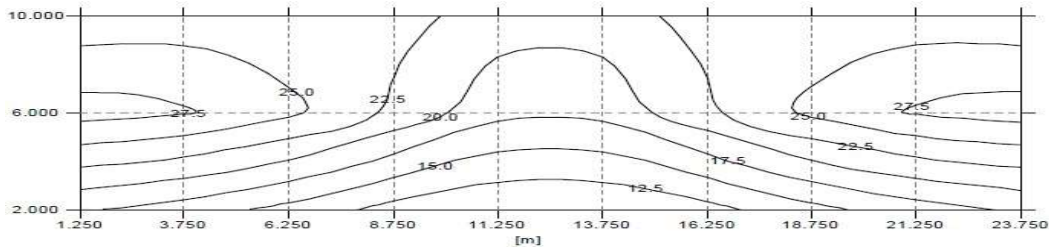


Figura 76 Linhas isográficas da Iluminância

Uniformidade longitudinal:

Min : 1,34 cd/m<sup>2</sup> Méd : 1,45 cd/m<sup>2</sup> Máx : 1,57 cd/m<sup>2</sup> Uo : 92,1 % Ug : 85,5 %

Figura 77 Uniformidade longitudinal

Este modelo para as vias principais com classificação de ME tem como principal objetivo apresentar níveis de luminância na ordem de 0.8 cd/m<sup>2</sup> de forma que com esta solução obtenha o uma luminância média de 1,30 cd/m<sup>2</sup>, Sendo diferente da usada nas vias secundárias tendo parâmetros diferentes como uma temperatura de cor diferente, alcançando níveis de uniformidade média e longitudinais muito superiores aos níveis mínimos exigidos, mantendo Caso Prático de estudos das diferentes classificações de vias. As baixas emissões de CO<sub>2</sub> e apresentando uma solução bastante eficiente.

#### 4.3.5 Classificação energética

$$\epsilon = k \times S \text{ (m}^2\text{)} \times E \text{ (lux)} / P \text{ (watts)} \text{ formula (24)}$$



Figura 78-Cálculo da área para o índice de eficiência energética [14]

$$\epsilon = 1 \times (25 \times 30) \times 20 / 204$$

$$\epsilon = 73,5$$

Classificação energética: A

#### 4.4 ANALISE ECONÓMICO/ FINANCEIRO

Análise e estudo deste trabalho consiste, uma solução LED outra VSAP (lâmpadas vapor de sódio alta pressão)

Devido às diferenças de horário entre o verão e o inverno, a iluminação funciona mais tempo durante o inverno do que durante o verão. Para o cálculo do valor da energia consumida para este estudo, foi estimado um valor médio de 10 horas de funcionamento por dia, valor médio de funcionamento utilizado pelas principais empresas de iluminação. Em relação ao número de dias de funcionamento, consideraram-se 365 dias por ano.

$$\textit{TotalHoras\_ano} = 10h \times 365\textit{dias} = 3650 h \textit{ por ano}$$

Fatores a considerar no caso de estudo são, o investimento solicitado para a sua concretização, custos de operação e de manutenção ao longo da sua vida.

Expectativa do investimento é de cerca 20 anos e este opera em média 10 horas por dia. Estes valores correspondem a 7300 dias ou 87600 hora (no caso de 20 anos)

Face ao tipo de cálculos económico-financeiros a solução previsível será baseada no cálculo do valor atualizado líquido (VAL) de cada opção, valor que traduz o resultado previsível, alcançável com cada solução [58]. Este indicador permite o cálculo deste da transposição dos fluxos financeiros gerados em torno do investimento.

##### 4.4.1 Cálculo do valor atualizado líquido

Sendo como baseado nas seguintes regras:

VAL > 0, as receitas excedem os custos;

VAL = 0, as receitas cobrem os custos;

VAL < 0, as receitas são insuficientes para pagar os custos.

O VAL é calculado a partir da seguinte expressão:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (25)$$

$$VAL = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (26)$$

$CF_t$  – Fluxo financeiro que ocorre no ano t no futuro;

$CF_0$  – Investimento inicial;

r – Taxa de atualização do capital (ou de custo do dinheiro);

t – ano;

n – Tempo de vida útil do projeto.

A taxa de atualização do capital (facultada por organismos oficiais). Pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$r = (1+i) * (1+j) - 1 \quad (27)$$

r – Taxa de atualização do capital (ou de custo do dinheiro);

i – Taxa de inflação, %;

j – Custo do dinheiro estimado, %.

A Formula para definir o custo de substituição/manutenção das lâmpadas é a seguinte:

$$C_{man} = \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \frac{N^{\circ} \text{Lamp} \times (\text{Custo lâmp} + \text{Custo subst})}{(1+r)^t} \quad (28)$$

$C_{man}$  – Custo de investimento quando é feita a substituição das lâmpadas, €;

Nº – Número de lâmpadas;

Custo lâmp – Custo unitário da lâmpada, €;

Custo Subst – Custo de substituição da lâmpada, €.

Para calcular o custo da energia consumida anualmente, recorreu-se à formula:

$$CkWh_t = C_{energia} * \frac{(1 + ce)^t}{(1 + r)^t} \quad (29)$$

$CkWh_t$  – Custo da energia consumida anualmente do ano t a preço do ano zero, €;

$Ce$  – Taxa de crescimento do preço da energia, %;

$C_{energia}$  – Custo da energia consumida anualmente no ano zero, €.

Para calcular a vida útil das lâmpadas recorreu-se à expressão:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFA} \quad (30)$$

Onde:

$AV_u$  – Nº de anos de vida útil;

$VUL$  – Vida útil da lâmpada, h;

$TFA$  – Tempo de funcionamento anual, h.

Definir o calculo de energia consumida anualmente recorreu-se à expressão

$$EC_a = P_t * TFA \quad (31)$$

Onde:

$EC_a$  – Energia consumida anualmente, Wh/ano;

$P_t$  – Potência total do conjunto das luminárias, W;

$TFA$  – Tempo de funcionamento anual, h

#### 4.4.2 Parâmetros para efetuar a análise económica

Tiveram-se em conta os seguintes parâmetros:

**Custo do dinheiro** Para o cálculo foi considerado o custo do dinheiro cerca de 5% para um empréstimo a empresas.

**Taxa de inflação** Segundo a Base de Dados Portugal Contemporâneo da PORDATA, a taxa de inflação (taxa de Variação - Índice de preços no consumidor) em Portugal para 2023 foi de 4,31 %.

#### **Taxa de crescimento do preço da eletricidade**

Citando a informação da ERSE – Entidade Reguladora de Serviços Energéticos, a taxa de crescimento do preço da eletricidade no comunicado da proposta de tarifas e preços para a energia elétrica em janeiro de 2024/dezembro 2023, obteve uma variação de 3,7%.

**Emissões de CO<sub>2</sub>** Referente ao site da EDP os valores de CO<sub>2</sub>, no ano de 2023 foram de 139.89 gC 155,22 g/kWh [59].

#### 4.4.3 Custo da energia elétrica

A tarifa considerada para o caso de estudo, desta via Principal é a tri-horária, na Baixa Tensão Nominal (BTN) com potência contratada de 27,6 kVA para a solução de vapor de

sódio e para a solução de LED foi identificado a potência contratada de 13,8 kVA. A Estes dados tem como informação disponível na entidade Reguladora Serviços de Energia elétrica (ERSE). A tabela seguinte apresenta os preços aplicados a este tipo de consumidor no ano de 2023/2024, aos quais acresce o IVA à taxa de 23%.

Segundo a ERSE as tarifas do preço de eletricidade obteve uma variação na ordem da 1,2% taxa de crescimento.

Tabela 30 Valores tarifários de B.T segundo ERSE

TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BTN ( $\leq 20,7$ kVA e $> 2,3$ kVA)		PREÇOS
<b>Potência contratada</b>		<b>EUR/dia</b>
Tarifa simples , bi-horária e tri-horária	3,45	0,1746
	4,6	0,2272
	5,75	0,2796
	6,9	0,3320
	10,35	0,4891
	13,8	0,6462
	17,25	0,8034
	20,7	0,9605
<b>Energia ativa</b>		<b>EUR/kWh</b>
Tarifa simples		0,1625
Tarifa bi-horária	Horas fora de vazio	0,1968
	Horas de vazio	0,1072
Tarifa tri-horária	Horas de ponta	0,2400
	Horas cheias	0,1741
	Horas de vazio	0,1072

Foi selecionado a respetiva potencia a contratar para VSAP, tendo em conta as duas Vias para efeito de cálculo.

#### 4.4.4 Solução LED

Com base nos pressupostos anteriores, forma adotados os seguintes valores para o cálculo do VAL:

- Taxa de inflação (i) 4,31 %;
- Custo do dinheiro (j) 6 %;

- Crescimento anual do preço da eletricidade 3,7% (para cálculo da expressão (19));  
Recorrendo à expressão (27) é possível determinar a taxa de atualização:

$$r=(1+i)*(1+j)-1 \Leftrightarrow r=((1+0,043)*(1+0,06)-1)*100\% =10,55 \%$$

Tabela 31 referente a distribuição dos ciclos diários, tri-horários das horas de ponta, cheia e vazio para os períodos de Verão e de Inverno.

Tabela 31 Ciclo Trio- orário para BTN Portugal Continental

<b>Ciclo diário tri-horário para BTN em Portugal Continental</b>			
<b>Período de hora legal de Verão</b>		<b>Período de hora legal de Inverno</b>	
<b>Ponta:</b>	10:30/13:00 h 19:30/21:00 h	<b>Ponta:</b>	09:00/10:30 h 18:00/20:30 h
<b>Cheias:</b>	08:00/10:30 h 13:00/19:30 h 21:00/22:00 h	<b>Cheias:</b>	08:00/09:00 h 10:30/18:00 h 20:30/22:00 h
<b>Vazio</b>	22:00/08:00 h	<b>Vazio</b>	22:00/08:00 h

Na tabela 31 é exposta a distribuição nas horas de ponta, cheias e vazio para os períodos de Verão e de Inverno. No período de Verão o sistema de IP está ligado durante 8 horas (entre as 21h30min e as 5h30min), sendo 0,5 hora em período de cheia e 7,5 horas em vazio. Nas restantes horas o sistema de IP está desligado. No Inverno a IP está ligado durante 12 horas (entre as 18h30min e as 6h30min), sendo 2 horas em período de ponta, 1,5 horas em cheia e 8,5 horas em vazio. Nas restantes horas o sistema de IP está desligado.

Tabela 32 Distribuição horaria diária Iluminação Publica

<b>Distribuição Horas Ponta/ Cheias/ Inverno</b>		
<b>Ponta (h)</b>	0	2
<b>Cheia (h)</b>	0.5	1,5
<b>Vazio (h)</b>	7,5	8,5
<b>TOTAL (h)</b>	8	12

Com a distribuição diária exposta, foi necessário elaborar uma distribuição anual. Os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro e Dezembro foram ponderados como período de Inverno. Os restantes como meses de Verão. Na tabela 33 é feita essa distribuição, obtendo um total de 3.648 horas de funcionamento por luminária.

Tabela 33 Distribuição horaria anual da Iluminação I.P.

Admitindo que o nº horas de ponta se mantém aos longos dos anos				
Periodo	Mês	Horas de Ponta	Horas de Cheia	Horas de Vazio
Inverno	Jan	62	46,5	263,5
	Fev	56	42	238
	Mar	62	46,5	263,5
Veraão	Abr	0	15	225
	Mai	0	15,5	232,5
	Jun	0	15	225
	Jul	0	15,5	232,5
	Agos	0	15,5	232,5
Inverno	Set	0	15	225
	Out	62	46,5	263,5
	Nov	60	45	255
	Dez	62	46,5	263,5
		364	364,5	2919,5
	Total	3648		

#### 4.4.5 Custo Solução LED

De forma a realizar o custo total para a solução LED, terão de ter em conta os seguintes fatores:

- Custo das luminárias
- Custo da instalação
- Energia Consumida

Tabela 34 Custo equipamentos incluindo postes para Solução LED

Referencia Luminária	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total (€)
Luminária LED 60W Eternity PHILIPS Xitanium Iluminação Pública 60 W	204	1690,58	344 878,32

Recorrendo (30) a expressão o tempo de vida útil de cada placa LED neste caso é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{60000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 16,4 \text{ anos}$$

A placa de LEDs tem uma durabilidade de vida útil de 16 anos e 146 dias. Neste período deve ser feita a sua substituição e manutenção para verificação do equipamento bem como a respetiva limpeza

#### 4.4.6 Custo da instalação elétrica da Solução LED

O valor de custo da instalação de cada Luminária na tabela 35 é considerado com o custo de mão-de-obra e ainda com todos os outros meios para instalação.

Tabela 35 Custo de instalação Componentes-equipamentos solução LED

Referencia Luminária	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total (€)
Luminária LED 60W Eternity PHILIPS Xitanium Iluminação Pública	204	620,46	126 573,84
TOTAL			126 573,84

#### 4.4.7 Custo da energia consumida anualmente solução LED

Na tabela 36 é exposto o cálculo anual de energia consumida, baseada no somatório da energia consumida por 1 tipologias de luminárias de acordo com as tarifas praticadas pela entidade reguladora. A energia consumida anualmente pode ser calculada através do somatório da energia consumida em horas de ponta, cheia e vazio ou através da expressão (31):

$$ECa = Pt * TFA \Leftrightarrow ECa = (204 * 60W) * 3648h = ECa = 44 651 520 Wh/ano \Leftrightarrow ECa = 44, 651 520 MWh/ano$$

Tabela 36 Custo anual da Luminária Eternity PHILIPS

Luminária LED 60W Eternity PHILIPS Xitanium Iluminação Pública						
Custo por mês (kWh)			Custo por mês (€)			
Mês	horas de Ponta	Horas de cheio h	Horas Vazio	horas de Ponta	Horas de cheio h	horas de Ponta
Jan	222,2	165,4	948,6	48,88 €	36,75 €	207,59 €
Fev	203,4	151,2	856,8	44,75 €	33,26 €	188,50 €
Mar	223,4	168,4	948,6	49,15 €	37,05 €	208,69 €
Abr	0	53	810	0,00 €	11,66 €	178,20 €
Maio						
Jun	0	54	810	0,00 €	11,88 €	144,34 €
Jul	0	55,8	837	0,00 €	12,28 €	184,14 €
Ago	0	55,8	837	0,00 €	12,28 €	184,14 €
Set	0	54	810	0,00 €	11,88 €	144,34 €
Out	223,2	167,4	948,6	49,10 €	36,83 €	208,69 €
Nov	217	162	918	47,74 €	35,64 €	201,96 €
Dez	223	164,4	948,6	46,86 €	36,17 €	208,69 €
Total	1 312,41 €	1251,6	10490,1	286,48 €	287,59 €	2 251,34 €
	13054,1			2 825,41 €		

Tabela 37 custo total anual de energia consumida Solução LED

Custos anuais de energia	
Luminária LED 60W Eternity PHILIPS 60 W	2 825,41 €
Imposto especial de consumo de eletricidade	13,00 €
Potencia contratada	244,55 €
IVA 23%	709,08 €
TOTAL ANUAL	3792,04

Para calcular o custo recorreu a seguinte expressão (29)

$$CkWh_t = C_{energia} * \frac{(1 + ce)^t}{(1 + r)^t}$$

#### 4.4.8 Estudo económico/Financeiro para solução LED

Na Tabela 38 Recorrendo as formulas (25) (27) (29). Na tabela 36,37 são efetuados os cálculos do custo de investimento de energia consumida ao longo dos 20 anos de investimento

Tabela 38 Estudo Economico solução LED

Custo de económico para solução Led						
Ano		Cinvest	CkWh	Ctotais	Acumulativo	
2023	0	471 451	€ 3 792,04	€475243.04	€475243.04	
2024	1		3472,75	3472,75	478715,75	
2025	2		3180,34	3180,34	481896,14	
2026	3		2912,55	2912,55	484808,69	
2017	4		2667,32	2667,32	487476,01	
2028	5		2442,73	2442,73	489918,74	
2029	6		2238,82	2238,82	492157,56	
2030	7		€2048.69	2048,69	494206,25	
2031	8		1876,19	1876,19	496082,44	
2032	9		1718,21	1718,21	497800,65	
2033	10		1573,53	1573,53	499374,18	
2034	11		1441,05	1441,05	500815,23	
2035	12		1319,9	1319,9	502135,2	
2036	13		1208,59	1208,59	503343,72	
2037	14		1106,83	1106,83	504450,55	
2038	15		1013,63	1013,63	505564,18	
2039	16		928,28	928,28	506392,46	
2040	17		850,12	850,12	507242,58	
2041	18		768,54	768,54	508011,12	
2042	19		712,99	712,99	508724,11	
2043	20		€ 652,95	€ 652,95	€509377.06	

Nota: Conclui-se que ao fim de 20 anos de investimento o custo total é de €509377.06

#### 4.4.9 Custo Solução equipamento vapor de Sódio de Alta Pressão.

Para a resolução do custo total VSAP tem de ser considerados os seguintes fatores:

- Custo das Luminárias
- Custo de Instalação
- Custo de Energia
- Custo de manutenção

Na Tabela 39 é apresentado o valor do custo da luminária a instalar

Tabela 39 custo de equipamentos Solução vapor de sódio alta pressão

Referencia Luminária	Quantidade de luminárias	Preço Unitário	Preço Total (€)
MC2 VSAP Schröder 150W	204	710	144 840

Nota: O preço da luminária já esta inserido o preço do poste com iva incluído

#### 4.4.10 Custo da Instalação Elétrica da solução vapor de sódio alta pressão

Tabela 40 custo dos equipamentos VSAP

Referencia Luminária	Quantidade de luminárias	Preço Unitário	Preço Total (€)
MC2 VSAP Schröder 150W	204	520	106 080
TOTAL			106 080

#### 4.4.11 Energia Consumida anualmente Luminárias de Vapor de Sódio de alta pressão solução.

$$ECa = Pt * TFA \Leftrightarrow ECa = (204 * 150W) * 3648h = ECa = 111 628 800 Wh/ano \Leftrightarrow$$

$$ECa = 111, 628 800 MWh/ano$$

Tabela 41 custo anual da energia MC2 VSAP schröder150W

MC2 VSAP schröder 150 W						
Custo por mês (kWh)			Custo por mês (€)			
Mês	horas de P	Horas de cl	Horas Vazio	horas de Pont	Horas de cheio	horas de Ponta
Jan	415,13	313,34	1780,12	91,32 €	68,93 €	391,62 €
Fev	375,13	282,1	1608,7	82,52 €	62,06 €	353,91 €
Mar	420,12	312,34	1780,12	92,42 €	92,42 €	391,62 €
Abr	0	101,4	1523	0,00 €	22,30 €	335,06 €
Maio	0	104,76	1565,7	0,00 €	23,04 €	344,50 €
Jun	0	101,4	1523	0,00 €	22,30 €	335,06 €
Jul	0	104,76	1565,7	0,00 €	23,04 €	344,50 €
Ago	0	104,76	1565,7	0,00 €	23,04 €	344,50 €
Set	0	101,4	1523	0,00 €	22,30 €	335,06 €
Out	418,12	314,1	1780,12	83,62 €	69,10 €	391,62 €
Nov	403,2	303,12	1723,23	88,70 €	66,68 €	379,11 €
Dez	419,23	314,3	1780,12	92,23 €	69,14 €	391,62 €
Total	2 450,93	2457,78	19717,11	530,81 €	541,31 €	4 138,18 €
		24624,89			5210,3(€)	

Custo total da energia Consumida solução de vapor de Alta Sódio

Tabela 42 Custo total de energia solução VSAP

Custos anuais de energia		
MC2 VSAP schröder 150 LED		5210,3(€)
Imposto especial de consumo de eletricidade		24,62 €
Potencia contratada 27,6KVA		244,55 €
IVA 23%		1 260,20 €
<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>6739,37</b>

4.4.12 Custo de Manutenção de Vapor de Sódio Alta pressão.

Tabela 43 dados de análise económica da solução VPSA

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	Custo lâmp (€)	Nº lum	Custo subst/man ponto (€)
MC2 VSAP Schröder 150W	150	10000	17500	520€	45€	204	40€

Nota: preços com iva incluído

Vida Útil de cada lâmpada recorrendo a expressão

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{10000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 2,74 \text{ anos}$$

Por exemplo para o 5 ano Cman é calculado recorrendo a expressão [28] ou seja

$$Cman = \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \frac{N^{\circ} \text{Lamp} \times (\text{Custo lâmp} + \text{Custo subst})}{(1+r)^t}$$

$$Cman = 204 \times 45 + 40 / (1+r)^5 = 10509 \text{ €}$$

4.4.13 Estudo económico para a solução de vapor de sódio alta pressão económica

Na tabela 44, recorrendo as expressões (25) (27) (29) são expostos os cálculos do custo de investimento, custo anual, custos totais ao longo de 20 anos

Tabela 44 Estudo económico para solução vapor de sódio alta pressão

Solução de remodelação MC2 VSAP com lâmpada de 150W					
Ano		Cinvest	CkWh	Ctotais	Acumulativo
2023	0	250920	€ 6 739,70	€ 257659.37	€ 257659.37
2024	1		6171,91	6171,91	263831,28
2025	2		5652,23	5652,23	269483,51
2026	3		5176,32	5176,32	274659,83
2017	4		4740,47	4740,47	279400,3
2028	5		4341,32	4341,32	283741,62
2029	6		3975,78	3975,78	287714,4
2030	7		3641,02	3641,02	291358,42
2031	8		3334,45	3334,45	294692,87
2032	9		3053,69	3053,69	297746,56
2033	10		2796,56	2796,56	300543,12
2034	11		2561,09	2561,09	303104,21
2035	12		2345,45	2345,45	305449,66
2036	13		2147,96	2147,96	307597,62
2037	14		1967,1	1967,1	309567,72
2038	15		1801,47	1801,47	311366,19
2039	16		1649,79	1649,79	313015,98
2040	17		1510,88	1510,88	314526,86
2041	18		1383,66	1383,66	315910,52
2042	19		1267,15	1267,15	317177,67
2043	20		€ 1 160	€ 1 160	€318337.67

Pode-se concluir que ao fim de 20 anos de investimento o custo total de investimento é de €318337.67

## 4.5 VIA SECUNDARIA (CASO 2)

### 4.5.1- Caracterização do local

A Rua do Gil Eanes é uma rua classificada como secundária.

### 4.5.2 Situação atual

Para o estudo luminotécnico do local foi necessário recolher os dados relativos ao perfil da via e material existente, de modo a que fosse possível calcular os parâmetros luminotécnicos existentes, isto é, a situação atual.

Tabela 45 classe Iluminação

	Luminância	Uniformidade	Uniformidade	Incremento	Relação
Classe de Iluminação	média Lm(cd/m <sup>2</sup> )	global U <sub>o</sub>	longitudinal U <sub>l</sub>	Limiar TI (%)	ambiente SR
C2	1	0,4	0,7	15	0,5

### 4.5.3 Estudo luminotécnico

Tabela 46 Características das luminárias R.Gil Eanes

Modelo Luminária	Largura Via (m)	Largura do Passeio (m)	Espaçamento entre Pontos de Luz (m)	Disposição dos pontos de Luz (unilateral ou bilateral)	Altura Luminária	Quantidade Luminárias	Potência Lâmpada Actual (W)	Potência Lâmpada Balastro Actual (W)	Comprimento da via
MC2 VSAP Schröder	6,5m	2,0m	20m	Bilateral	8m	35	150	150	700
LED	6,5m	2,0m	15m	Bilateral	8m	46	30	30	700

Tabela 47 características das Luminárias

Classificação	Solução	Espaço entre Luminárias	Altura de Luminárias	Quantidade de Luminárias	Potência de Luminárias
Via Principal	LED	15m	8m	46	30W
Via Principal	VSAP	20m	8m	35	150W

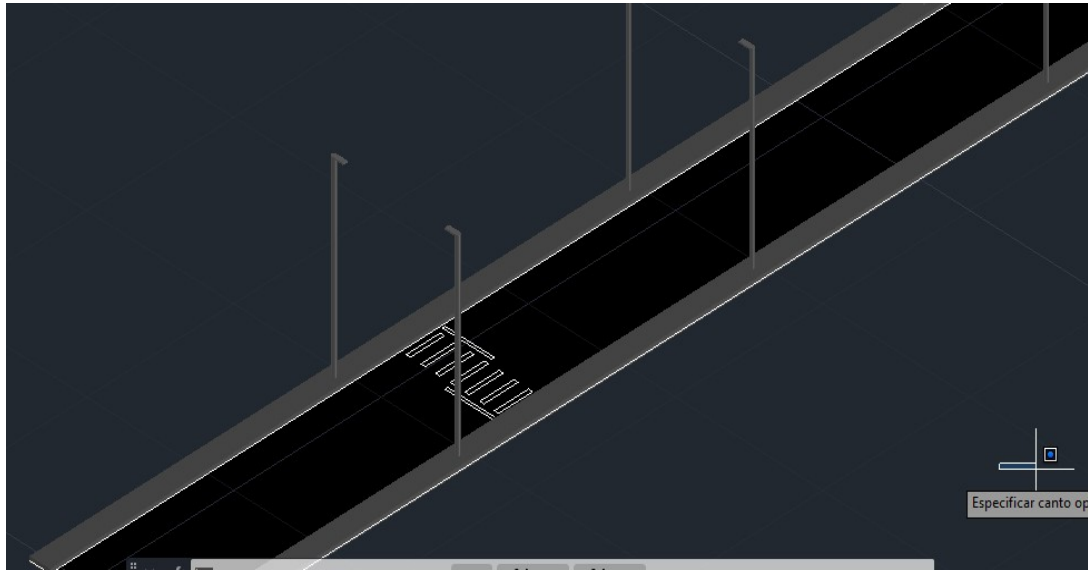


Figura 79-Rua do Gil Eanes 3 D caso 2

#### 4.4.3 - Estudo Luminotécnico

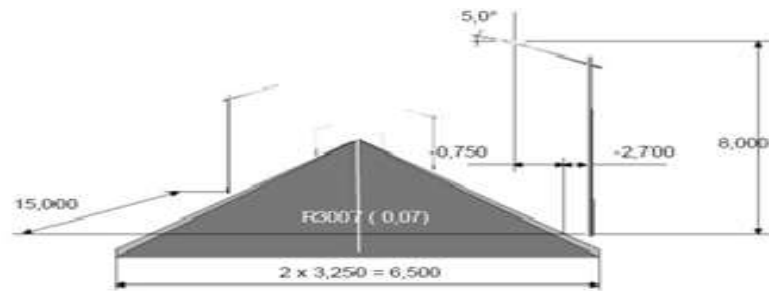


Figura 80 – Esquema da Rua Gil Eanes 1 Perspetiva Dialux 2 faixas

Esquema 3D:

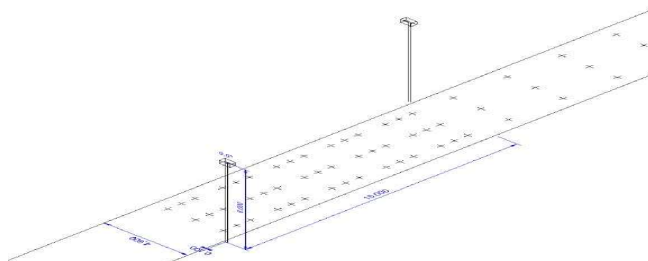


Figura 81 Esquema 3D da rua Gil Eanes Dialux

Luminância:

Min : 0,90 cd/m<sup>2</sup> Méd : 1,05 cd/m<sup>2</sup> Máx : 1,20 cd/m<sup>2</sup> Uo : 85,2 % Ug : 74,8 %

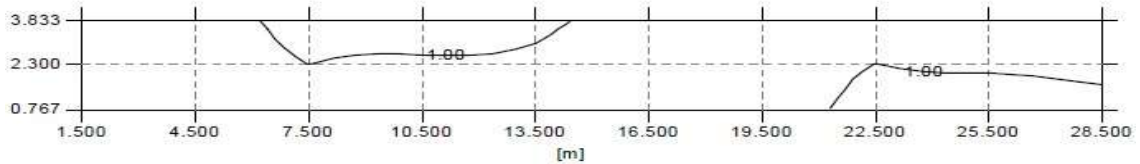


Figura 82-Linhas isográficas da luminância

Min : 12,7 lux Méd : 13,9 lux Máx : 16,1 lux Uo : 91,6 % Ug : 78,8 %

Iluminância:

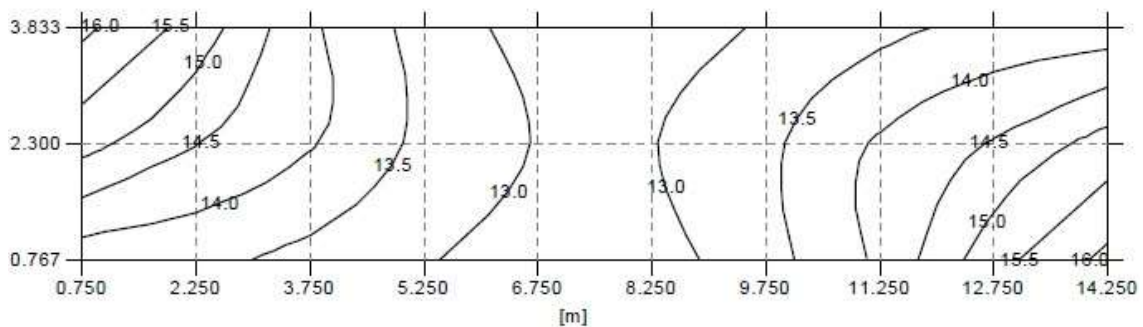


Figura 83 Linhas isográficas da Iluminância

Uniformidade Longitudinal:

Min : 1,00 cd/m<sup>2</sup> Méd : 1,06 cd/m<sup>2</sup> Máx : 1,11 cd/m<sup>2</sup> Uo : 94,6 % Ug : 89,7 %

Figura 84 Uniformidade Longitudinal

Devido à classificação de ME3a, este modelo para as vias secundárias pretende-se que apresente níveis de luminância aproximadamente de 1 cd/m<sup>2</sup> conseguindo com esta solução uma luminância média de 1,05 cd/m<sup>2</sup>, conseguindo ainda níveis de uniformidade média e longitudinais muito

superiores aos níveis mínimos exigidos, mantendo as baixas emissões de CO<sub>2</sub> e apresentando uma solução bastante eficiente.

#### 4.5.4. – Classificação energética

$$\epsilon = k \times S \text{ (m}^2\text{)} \times E(\text{lux})/P(\text{watts})$$



Figura 85 Cálculo da área para o índice de eficiência energética [14]

$$\epsilon = 1 \times (6,5 \times 15) \times 30/46$$

$$\epsilon = 63,62$$

Classificação energética: A

#### 4.5.5 Análise económica/ Financeira

Rua Gil Eanes (Via secundaria)

Tendo em conta alguns dados, formulas e cálculos do caso 1 , serão utilizados para este caso , caso 2 ( Rua Gil EANES)

Em relação ao número de dias de funcionamento, consideraram-se:

$$TotalHoras\_ano = 10h \times 365dias = 3650 h \text{ por ano}$$

Fatores a considerar no caso de estudo são, o investimento solicitado para a sua concretização, custos de operação e de manutenção ao longo da sua vida.

Expetativa do investimento é de cerca de 20 anos e este opera em média 10 horas por dia. Estes valores correspondem a 7300 dias ou 87600 hora

A tomada de decisão será baseada no cálculo do valor atualizado líquido (VAL) de cada alternativa [58]. O cálculo deste indicador consiste na transposição dos fluxos financeiros gerados pelo investimento. Para o ano económico zero e permitirá ordenar as soluções pelo seu grau de mérito. Assim

quando:

VAL > 0, as receitas excedem os custos;

VAL = 0, as receitas cobrem os custos;

VAL < 0, as receitas são insuficientes para pagar os custos.

O VAL é calculado a partir da seguinte expressão:

#### 4.5.6 Custo de Equipamentos com Solução LED Caso 2

Custo da instalação dos componentes solução Led com postes /colunas incluídos, conforme tabela 48

Tabela 48 Custo da instalação dos componentes solução LED com postes /colunas

Referencia Luminária	Quantidade de	Preço Unitário	Preço Total (€)
Luminaria LED PHILIPS	46	1400	64400

Tabela 49 Custo da instalação dos componentes solução LED

Referencia Luminária	Quantidade de	Preço Unitário	Preço Total (€)
Luminaria LED PHILIPS	46	193 .00	8878

$$ECa = Pt * TFA \Leftrightarrow ECa = ( 46 * 30W) * 3648h ) = ECa = 5 034 240 Wh/ano \Leftrightarrow ECa = 5 034 240 MWh/ano$$

Tabela 50 Tarifas Transitórias de venda a clientes finais ERSE

<i>TARIFA TRANSITÓRIA DE VENDA A CLIENTES FINAIS EM BTN (&gt; 20,7 kVA)</i>		PREÇOS
<b>Potência contratada</b>		<b>EUR/dia</b>
Tarifa de médias Utilizações	27,6	1,2838
	34,5	1,5970
	41,4	1,9102
Tarifa de longas Utilizações	27,6	2,3690
	34,5	2,9557
	41,4	3,5423
<b>Energia ativa</b>		<b>EUR/kWh</b>
Tarifa de médias Utilizações	Horas de ponta	0,2926
	Horas cheias	0,1598
	Horas de vazio	0,0928
Tarifa de longas Utilizações	Horas de ponta	0,2515
	Horas cheias	0,1502
	Horas de vazio	0,0918

Tabela 51 Ciclo tri-horario B.T

<b>Período de hora legal de Verão</b>		<b>Período de hora legal de Inverno</b>	
<b>Ponta:</b>	10:30/13:00 h	<b>Ponta:</b>	09:00/10:30 h
	19:30/21:00 h		18:00/20:30 h
<b>Cheias:</b>	08:00/10:30 h	<b>Cheias:</b>	08:00/09:00 h
	13:00/19:30 h		10:30/18:00 h
	21:00/22:00 h		20:30/22:00 h
<b>Vazio</b>	22:00/08:00 h	<b>Vazio</b>	22:00/08:00 h

Tabela 52 Distribuição horaria de I.P.

<b>Distribuição Horas Ponta/ Cheias/ Inverno</b>		
<b>Ponta (h)</b>	0	2
<b>Cheia (h)</b>	0.5	1,5
<b>Vazio (h)</b>	7,5	8,5
<b>TOTAL (h)</b>	8	12

Tabela 53 Distribuição horaria anual I.P

Luminaria LED PHILIPS CoreLine Malaga 30W						
Custo por mês (kWh)				Custo por mês (€)		
Mês	horas de P	Horas de cl	Horas Vazio	horas de Pont	Horas de cheio	horas de Ponta
Jan	212,11	155,2	850,23	46,66 €	34,14 €	187,05 €
Fev	187,5	141,2	802,12	41,25 €	31,06 €	176,49 €
Mar	210,1	160,1	860	46,22 €	35,20 €	189,20 €
Abr	0	55,5	760,12	0,00 €	12,21 €	167,22 €
Mai	0	52,3	760,12	0,00 €	11,50 €	167,22 €
Jun	0	52,3	760,3	0,00 €	11,50 €	167,20 €
Jul	0	52,3	765,3	0,00 €	11,50 €	168,36 €
Ago	0	52,3	765,3	0,00 €	11,50 €	168,36 €
Set	0	50	765,4	0,00 €	11,00 €	168,38 €
Out	208,1	160,1	850,12	45,78 €	35,22 €	178,02 €
Nov	201,2	152,1	850,21	44,26 €	33,46 €	178,02 €
Dez	209,1	157,1	870,21	46,00 €	34,56 €	191,44 €
Total	1 228,11 €	1292,8	9659,43	270,00 €	276,85 €	1 661,38 €
		12180,34			552,85 €	

Tabela 54 Custo Total de Energia Consumida por LED

Custos anuais de energia	
Luminaria LED PHILIPS CoreLine Malaga 30W	552,85 €
Imposto especial de consumo de eletricidade	12,18 €
Potencia contratada	127,75 €
IVA 23%	739,22 €
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>3 953,24€</b>

Para determinar o custo da energia anual por exemplo 5ºano recorre-se a expressão Seguinte:

$$CkWh_t = C_{energia} * \frac{(1 + ce)^t}{(1 + r)^t}$$

CKWh<sub>t</sub>= 2546,57 €

#### 4.5.7 Estudo económica solução LED

Tabela 55 Estudo Economico para solução LED

Luminaria LED PHILIPS CoreLine Malaga 30W					
Ano		Cinvest	CkWh	Ctotais	Acumulativo
2023	0	73178	€3953,24	€75131,24	€75131,24
2024	1		3620,37	3620,37	78751,77
2025	2		3315,54	3315,54	82067,31
2026	3		3036,37	3036,37	85103,68
2017	4		2780,71	2780,71	87884,39
2028	5		2546,57	2546,57	90430,96
2029	6		2332,15	2332,15	92763,11
2030	7		2135,78	2135,78	94898,89
2031	8		1955,95	1955,95	294692,87
2032	9		1791,26	1791,26	296484,13
2033	10		1640,43	1640,43	298124,56
2034	11		1502,31	1502,31	299626,86
2035	12		1375,81	1375,81	301002,68
2036	13		1259,97	1259,97	302262,65
2037	14		1153,88	1153,88	303416,53
2038	15		1057,52	1057,52	304474,05
2039	16		967,75	967,75	305441,8
2040	17		886,26	886,26	306253,06
2041	18		811,64	811,64	307064,7
2042	19		743,3	743,3	307808
2043	20		€ 681	€ 681	€ 308 489

Pode-se concluir que ao fim de 20 anos de investimento o custo total de investimento é de €308489.

#### 4.5.8 Custo Solução equipamento vapor de Sódio de Alta Pressão 150W.

Para efetuar ar o custo total da solução VSAP é necessário considerar os fatores do caso 1:

- Custo de Luminárias
- Custo de Instalação
- Energia consumida
- Custo de Manutenção

#### 4.5.9 Custo da instalação elétrica da solução vapor de sódio de alta pressão.

Na tabela 56 refere o custo de cada luminária, mão -de-obra.

Tabela 56 Custo Solução equipamento VSAP

Custo do Equipamento VSAP			
Referencia Luminária	Quantidade de luminárias	Preço Unitário (€)	Preço Total (€)
MC2 VSAP Schröder 150W	35	520	18200

Na tabela 57 é apresentado o valor de custo de cada luminária com mão-de- obra meios necessários.

Tabela 57 Custo de equipamento solução VSAP postes incluídos.

Custo de equipamento solução VSAP com postes incluidos+IVA			
Referencia Luminária	Quantidade de luminárias	Preço Unitário (€)	Preço Total (€)
MC2 VSAP Schroeder 150W	35	710	24850

#### 4.5.10 Energia Consumida anualmente solução vapor de sódio de alta pressão.

A energia consumida é calculada através do somatório das horas de ponta, cheia, vazio ou ainda pela expressão. (28)

$$ECa = Pt * TFA \Leftrightarrow ECa = (35 * 150W) * 3648h = ECa = 19152000 Wh/ano \Leftrightarrow ECa = 19,152000 MWh/ano$$

Tabela 58 Custo anual das MC2 VSAP Schröder 150W

Mês	Custo por mês (kWh)			Custo por mês (€)		
	horas de P	Horas de cl	Horas Vazio	horas de Pont	Horas de cheio	horas de Ponta
Jan	415,13	313,34	1780,12	91,32 €	68,93 €	391,62 €
Fev	375,13	282,1	1608,7	82,52 €	62,06 €	353,91 €
Mar	420,12	312,34	1780,12	92,42 €	92,42 €	391,62 €
Abr	0	101,4	1523	0,00 €	22,30 €	335,06 €
Maio	0	104,76	1565,7	0,00 €	23,04 €	344,50 €
Jun	0	101,4	1523	0,00 €	22,30 €	335,06 €
Jul	0	104,76	1565,7	0,00 €	23,04 €	344,50 €
Ago	0	104,76	1565,7	0,00 €	23,04 €	344,50 €
Set	0	101,4	1523	0,00 €	22,30 €	335,06 €
Out	418,12	314,1	1780,12	83,62 €	69,10 €	391,62 €
Nov	403,2	303,12	1723,23	88,70 €	66,68 €	379,11 €
Dez	419,23	314,3	1780,12	92,23 €	69,14 €	391,62 €
Total	2 450,93	2457,78	19717,11	530,81 €	541,31 €	4 138,18 €
		24624,89			5210,3(€)	

Tabela 59 Custo anual de energia consumida VSAP

Custos anuais de energia caso II		
MC2 VSAP schröder 150 W		5210,3(€)
Imposto especial de consumo de eletricidade		24,62 €
Potencia contratada 6,9KVA		62,00 €
IVA 23%		1 218,00 €
TOTAL ANUAL		6 452,62

4.5.11 Custos de manutenção para solução das luminárias de vapor de Sódio de alta pressão

Na tabela 60 os dados do sistema VSAP. Considerar 35 armaduras de 150W, com preço unitário 45€, para fazer a sua substituição o valor de mercado ronda os 40 € por ponto de iluminação.

Tabela 60 dados da Luminária VSAP 150w

Alternativa	P(W)	Vida útil (h)	Fluxo (lm)	Custo lum (€)	Custo lâmp (€)	Nº lum	Custo subst/man ponto (€)
MC2 VSAP Schröder 150W	150	10000	17500	520€	45€	35	40€

Recorrendo a expressão (30), vida Útil cada Lâmpada é:

$$AV_u = \frac{VUL}{TFMA} \Leftrightarrow AV_u = \frac{10000}{3648} \Leftrightarrow AV_u = 2,74 \text{ anos}$$

Por exemplo para 5ºano o Cman (custos de manutenção) é calculado recorrendo a expressão (28) ou seja:

$$C_{man} = \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \frac{N^\circ \text{Lamp} \times (\text{Custo lâmp} + \text{Custo subst})}{(1+r)^t}$$

$$C_{man}=2691.09€$$

#### 4.5.12 Estudo económico da Solução vapor de sódio de alta pressão.

Na tabela 61, teve-se que ter em conta as expressões (25), (27), (29), como também os cálculos de investimento, manutenção de energia ao longo dos 20 anos de investimento, tabela (56) (57)

Tabela 61 Estudo económico solução VSAP

Solução de remodelação MC2 VSAP com lâmpada de 150W caso II					
Ano		Cinvest	CkWh	Ctotais	Acumulativo
2023	0	43050	€6452.62	49 502,62	49 502,62
2024	1		5909,3	5909,3	55411.92
2025	2		5411,74	5416,74	60827,99
2026	3		4 956,07	4 956,07	65784,06
2017	4		4 538,77	4 538,77	70322,83
2028	5		4 156,61	4 156,61	74478,83
2029	6		3 806,62	3 806,62	78285,45
2030	7		3 486,10	3 486,10	81771,55
2031	8		3 192,57	3 192,57	84963,55
2032	9		2 923,76	2 923,76	87886,55
2033	10		2 677,58	2 677,58	90563,55
2034	11		2 452,12	2 452,12	93015,1
2035	12		2 245,65	2 245,65	95260,75
2036	13		2 056,57	2 056,57	97316,75
2037	14		1 883,41	1 883,41	99203,75
2038	15		1 724,82	1 724,82	100928,57
2039	16		1 579,59	1 579,59	102507,57
2040	17		1 446,59	1 446,59	103954,16
2041	18		1 324,79	1 324,79	105278,16
2042	19		1 213,24	1 213,24	106491,16
2043	20		1 111,08	1 111,08	€ 107 602

Pode-se concluir que ao fim de 20 anos de investimento o custo total de investimento é de €107 602



## 5 CONCLUSÕES

Nesta dissertação, foram estudados os benefícios da iluminação LED e sistemas de controlo ou sistemas de telegestão na iluminação pública. A título de exemplo, foi considerado o caso da instalação de iluminação atual na Município de Gaia para realizar um projeto, através de um caso prático.

Hoje em dia a gestão de I.P é fundamental nos orçamentos dos Municípios, estando sujeito as normas, mais especificamente EN 13201 que tem como função determinar o tipo de intensidades nas vias de acordo com a sua utilização.

Explicaram-se os protocolos de comunicação utilizados nos drivers de luminárias LED e abordaram-se as arquiteturas mais utilizadas em sistemas de telegestão e os protocolos de comunicação normalmente associados a estas tais como Scada. Fez-se também uma breve descrição acerca de algumas das plataformas de telegestão disponíveis no mercado e as suas principais valência também foi possível apurar o estudo da eficiência energética.

*Após se ter efetuado os dois casos de estudo.*

5.1 Caso 1 (Avenida da Republica),

Neste trabalho o custo de investimento nas luminárias para solução LED (60W) será de 471452€ (Tabela 38) Consumo anual 44 651,520 KWh, custo final ao longo dos 20 anos é de 509377,06€ (Tabela 38)

Relativamente a solução de VSAP (150W) terá um custo de investimento 250920€ (Tabela 44), com consumo anual 111 628,800 KWh, custo final ao longo de 20 anos 318337,67€.

Tendo em conta o tempo de vida útil das luminárias LED 60W,  $AVU = 60000/3048 = 16,4$  anos.

Dentro deste período é que deve ser feito a manutenção e Limpeza a este tipo de Luminárias.

No caso das Lâmpadas de VSAP 150 W o tempo de vida útil é de 2,74 anos,

Por exemplo o custo de manutenção por exemplo 2,74 anos será de  $C_{man} = 204 * 45 + 40 / (1+r) \exp 2,74 = 13.174,291€$

$20 \text{anos} / 2.74 = 7.24 \times 13.176,291 = 95478.21€$  Ou seja mesmo acrescentando este valor ao custo final de 20 anos da solução VSAP ou seja  $318337,67€ + 95478.21€ = 413 815,88€$

Poderá se concluir que para este caso 1 a diferença de valores entre solução LED e VSAP é de 95 561,18€ é bastante significativa sendo favorável a versão VSAP ao longo dos 20 anos.

## 5.2 Caso II (R.Gil Eanes)

Neste trabalho o custo de investimento nas luminárias para solução LED (30W) será de 73178 € (Tabela 55) consumo anual 5 034, 240 *KWh/ano*, custo final ao longo dos 20 anos é de 308489,06€

Relativamente a solução de VSAP (150W) terá um custo de investimento 43050€ (Tabela 61), com consumo anual 19152,000 *KWh*, custo final ao longo de 20 anos 107,602€.

Conforme os cálculos efetuados, da mesma forma do caso 1, a versão VSAP para este caso II é a mais favorável tendo em conta o estudo económico e todos os custos.

A partir deste estudo conclui-se que o estudo económico da solução LED não foi a solução mais adequada em termos de custo de investimento para 20 anos, poderá ser eventualmente vantajoso para 30 anos.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros no que ao município diz respeito, ficam os seguintes tópicos existem alguns aspetos a melhorar. Basicamente são referentes às limitações do sistema desenvolvido em relação a um sistema de iluminação pública atual. Estas limitações são de três naturezas distintas: mecânicas, elétricas e fotométricas.

Tópicos a desenvolver:

- Unidade de comando do sistema integrado de monitorização;
- Fazer o castramento existente e atualizado das restantes freguesias do Município;
- Projetar novas fontes de energia limpa capaz de alimentar a IP
- Melhorar os sensores aplicando redundância, e aumento de precisão, robustez e estabilidade
- Integrar protocolo de comunicação em rede e controlo remoto



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] [https://www.google.pt/search?sca\\_esv=567629206&q=fotografias+ilumina%C3%A7%C3%A3o+publica+da+camara+de+gaia&tbm](https://www.google.pt/search?sca_esv=567629206&q=fotografias+ilumina%C3%A7%C3%A3o+publica+da+camara+de+gaia&tbm)

[https://www.google.pt/search?sca\\_esv=567629206&q=fotografias+ilumina%C3%A7%C3%A3o+publica+da+camara+de+gaia&tbm](https://www.google.pt/search?sca_esv=567629206&q=fotografias+ilumina%C3%A7%C3%A3o+publica+da+camara+de+gaia&tbm) [Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[2] [[https://www.nationalgeographic.pt/historia/como-a-iluminacao-publica-mudou-as-cidades\\_3286](https://www.nationalgeographic.pt/historia/como-a-iluminacao-publica-mudou-as-cidades_3286)]

[https://www.google.com/search?q=%5Bhttps%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.pt%2Fhistoria%2Fcomo-a-iluminacao-publica-mudou-as-cidades\\_3286%5D&oq=%5Bhttps%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.pt%2Fhistoria%2Fcomo-a-iluminacao-publica-mudou-as-cidades\\_3286%5D&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUqBggAEEUYOzIGCAAQRrg70gEJMjg4OTdqMGo5qAIAA&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=%5Bhttps%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.pt%2Fhistoria%2Fcomo-a-iluminacao-publica-mudou-as-cidades_3286%5D&oq=%5Bhttps%3A%2F%2Fwww.nationalgeographic.pt%2Fhistoria%2Fcomo-a-iluminacao-publica-mudou-as-cidades_3286%5D&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBggAEEUYOzIGCAAQRrg70gEJMjg4OTdqMGo5qAIAA&sourceid=chrome&ie=UTF-8) [Acedido em 15 de Setembro de 2024],

Bernardo, Luís Miguel; “Histórias da Luz e das Cores”; U. Porto editorial, 2ª Edição, Volume 1; 2010 <https://www.up.pt/press/books/978-972-8025-87-8> [Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[3] Vista do Planeta Iluminado

<http://geocartografiadigital.blogspot.com/2019/12/mapa-mundi-noite.html>

[https://www.google.com/search?q=vista+do+planeta+iluminado&oq=vista+do+planeta+iluminado&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCARifBTIHCAQIRifBTIHCAQQIRifBTIHCAUQIRifBTIHCAQYQIRifBdIBCTEyMjc0ajBqOagCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=vista+do+planeta+iluminado&oq=vista+do+planeta+iluminado&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigATIHCARifBTIHCAQIRifBTIHCAQQIRifBTIHCAUQIRifBTIHCAQYQIRifBdIBCTEyMjc0ajBqOagCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8) [Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[ 4 ] <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/planeamento-energetico-e-seguranca-de-abastecimento/planeamento-e-politica-energetica/estrategias-e-politica-energetica/> Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[ 5 ] eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública [DREIIP]

[https://encpe.apambiente.pt/sites/default/files/documentos/DREIIP\\_Partel.pdf](https://encpe.apambiente.pt/sites/default/files/documentos/DREIIP_Partel.pdf)

[Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[ 6 ] F. de la Fuente Sánchez, Manual de boas práticas de eficiência energética. BCSD Portugal, Coimbra.

[https://www.academia.edu/19702895/Manual\\_de\\_boas\\_pr%C3%A1ticas\\_de\\_efici%C3%Aancia\\_energ%C3%A9tica](https://www.academia.edu/19702895/Manual_de_boas_pr%C3%A1ticas_de_efici%C3%Aancia_energ%C3%A9tica) [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[ 7 ] Documento de referência Eficiência Energética na Iluminação Pública, <http://www.lighting-living-lab.pt>. [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[ 8 ] Teixeira Armínio, grandezas usadas em Luminotecnia, Porto, Feup,2002

[https://www.google.com/search?q=Teixeira+Arm%C3%ADnio%2C+grandezas+usadas+em+Luminotecnia%2C+Porto%2C+Feup%2C2002&oq=Teixeira+Arm%C3%ADnio%2C+grandezas+usadas+em+Luminotecnia%2C+Porto%2C+Feup%2C2002&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDQ0MThqMGo5qAIAAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Teixeira+Arm%C3%ADnio%2C+grandezas+usadas+em+Luminotecnia%2C+Porto%2C+Feup%2C2002&oq=Teixeira+Arm%C3%ADnio%2C+grandezas+usadas+em+Luminotecnia%2C+Porto%2C+Feup%2C2002&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDQ0MThqMGo5qAIAAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8) [Acedido em 12 de Setembro de 2024]

[ 9 ] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lumin%C3%A2ncia> [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[ 10 ] Vázquez, José Ramírez., Luminotecnia. Barcelona: CEAC,

<https://www.abebooks.com/LUMINOT%C3%89CNIA-Barcelona-1977-Jos%C3%A9-Ram%C3%ADrez-V%C3%A1zquez/30342102550/bd> [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[11] EDP-Distribuição, Manual da Iluminação Pública

<https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf>

[https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o\\_Manual\\_Ligacoes\\_Rede\\_2018\\_9%C2%AA\\_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-02/EDPDistribui%C3%A7%C3%A3o_Manual_Ligacoes_Rede_2018_9%C2%AA_edi%C3%A7%C3%A3o.pdf) [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[12] Light design e planos diretores de iluminação pública: A requalificação da cidade por meio da luz artificial, <https://www.lightdesignpt.com/> [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[13]- CONCEPÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE NOVA GERAÇÃO DE CANDEEIROS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA-Emmanuel Loureiro Garrido

<https://www.google.com/search?q=CONCEP%C3%87%C3%83O+E+CERTIFICA%C3%87%C3%83O+DE+NOVA+GERA%C3%87%C3%83O+DE+CANDEEIROS+DE+ILUMINA%C3%87%C3%83O+P%C3%9ABLICA-Emmanuel+Loureiro+Garrido&oq=CONCEP%C3%87%C3%83O+E+CERTIFICA%C3%87%C3%83O++DE+NOVA+GERA%C3%87%C3%83O+DE+CANDEEIROS+DE+ILUMINA%C3%87>

[7%C3%83O+P%C3%9ABLICA-Emmanuel+Loureiro+Garrido&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDQxNzdgMGo5qAlAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.areac.pt/pt/destaques-riafresh/item/155-dreeip-documento-de-referencia-para-a-eficiencia-energetica-na-iluminacao-publica) [Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[14] D. De Referência, “Documento de Referência DREEIP - Projeto de Iluminação Pública,” 2018

<https://www.areac.pt/pt/destaques-riafresh/item/155-dreeip-documento-de-referencia-para-a-eficiencia-energetica-na-iluminacao-publica> [Acedido em 10 de Setembro de 2024]

[15] Sílvia, Catarina., Estudo da Eficiência Luminosa e energética do sistema de iluminação Pública da Cidade do Porto, Porto: FEUP, 2007

<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12295>[[Acedido em 13 de Setembro de 2024]

[16] Ribeiro, Vítor. Uniformidade e Classes Iluminação. Porto: FEUP, 2012 [Acedido em 10 de Setembro de 2024]

<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12295> [Acedido em 9 de Setembro de 2024]

[17] <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf> Manual de Iluminação Publica [Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[18] <https://www.schreder.com/en> [Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[19] DRE-C11-040-Guia Técnico de Terras [https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2022-10/DRE-C11-040%20Ed5\\_0.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2022-10/DRE-C11-040%20Ed5_0.pdf) [Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[20] DMA-C33-200- Balastros eletrónicos com aplicação na iluminação pública para lâmpadas

[https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/normative\\_docs/DRE-C71-001.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/normative_docs/DRE-C71-001.pdf)[Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[21] DRE-C71-500 – Guia técnico da Iluminação Pública <https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf>[Acedido em 15 de Setembro de 2024]

- [22] DMA-C33-850). Cabos utilizados para redes subterrâneas com tensão igual ou inferior a 30KV [https://www.e-redes.pt/sites/edd/files/normative\\_docs/DMA-C33-850N.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/edd/files/normative_docs/DMA-C33-850N.pdf)[Acedido em 10 de Setembro de 2024]
- [23] DMA-C71-590 Quadro elétrico de alimentação; <https://www.e-redes.pt/pt-pt/>[Acedido em 9 de Setembro de 2024]
- [24] DMA-C71-110 - Postes de madeira para BT [https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/normative\\_docs/DMA-C71-110.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/normative_docs/DMA-C71-110.pdf) [Acedido em 13 de Setembro de 2024]
- [25] DMA-C71-111 ( guia técnico de I.P) Luminárias de iluminação pública: tecnologia LED;  
[https://www.e-redes.pt/sites/edd/files/normative\\_docs/DMA-C71-111.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/edd/files/normative_docs/DMA-C71-111.pdf) [Acedido em 7 de Setembro de 2024]
- [26] DMA-C71-540 - Braços de aço tubulares de IP; [https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/normative\\_docs/DMA-C71-540.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/normative_docs/DMA-C71-540.pdf) [Acedido em 6 de Setembro de 2024]
- [27] DMA-C71-512 Comando e regulação do fluxo luminoso de luminárias com tecnologia Led utilizando um sistema de microcortes [https://www.e-redes.pt/sites/edd/files/normative\\_docs/DMA-C71-111.pdf](https://www.e-redes.pt/sites/edd/files/normative_docs/DMA-C71-111.pdf)[Acedido em 6 de Setembro de 2024] [Acedido em 6 de Setembro de 2024]
- [28] DTT-C71- 311 – Relógios astronómicos <https://www.e-redes.pt/pt-pt/relogios-astronomicos>,  
[https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/regiaoosul/seminariodeipdaedpdistribuiacao\\_oepartilha.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/regiaoosul/seminariodeipdaedpdistribuiacao_oepartilha.pdf) [Acedido em 6 de Setembro de 2024]
- [29] Ribeiro ,Vitor.Uniformidade e classes de Iluminação.Porto: Feup,2012.<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72456/1/000151174.pdf> [Acedido em 6 de Setembro de 2024]
- [30] <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=122251>, [Acedido em 6 de Setembro de 2024] <https://www.inovacaotecnologica.com.br/>
- [31] BULLOUGH, J.D. Lighting answers: LED lighting Systems. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Vol. 7, Issue 3, 2003. [31] BULLOUGH, J.D. Lighting answers: LED lighting Systems. [Acedido em 6 de Setembro de 2024]

<https://publicationslist.org/bulloj>

[https://www.google.com/search?q=BULLOUGH%2C+J.D.+Lighting+answers&og=BULLOUGH%2C+J.D.+Lighting+answers&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIGCAEQRRg70gEINDQ1NGowajSoAgCwAgE&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=BULLOUGH%2C+J.D.+Lighting+answers&og=BULLOUGH%2C+J.D.+Lighting+answers&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIGCAEQRRg70gEINDQ1NGowajSoAgCwAgE&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

[32] R. Stevenson, "The LED's Dark Secret - Solid-state lighting won't supplant the lightbulb until it can overcome the mysterious malady known as "droop", " IEEE Spectrum, 2009

[https://www.academia.edu/1544671/11\\_13\\_20\\_LED\\_Light\\_a\\_futuristic\\_Technology\\_for\\_African\\_Rural\\_Electrification](https://www.academia.edu/1544671/11_13_20_LED_Light_a_futuristic_Technology_for_African_Rural_Electrification)

[https://scholar.google.co.uk/citations?user=nuWRn\\_8AAAAJ&hl=en](https://scholar.google.co.uk/citations?user=nuWRn_8AAAAJ&hl=en) [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[33] Schröder. (2016a). SCHRÖDER LED LIGHTING SOLUTIONS ARE THE SAFEST ON THE MARKET. Retrieved January 20, 2018, from <https://www.schreder.com/en-au/news/schreder-led-lighting-73-solutions-are-the-safest-on-the-market>

<https://library.schreder.com/view/293517286/4-5/>

<https://www.schreder.com/en/products> [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[34] <https://www.urbicult.pt/65--electromagneticos?srsltid=AfmBOoovsGyJ5MrIIYWshwu4C7D9UwNA55aR0kZi0Mml7C SV-3Wd4d82> [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[35] Schroeder, 2016b- Schroeder, P. (2016b). Structure and Gravity (The Universe Is Otherwise Part 2b). In D. De Hilster, R. De Hilster, & N. Percival (Eds.), Proceedings of the CNPS (2016) (pp. 183-192). The John Chappell Natural Philosophy Society

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2411898> [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[36] Owlet IOT, 2018 <https://za.schreder.com> [Acedido em 17 de Setembro de 2024]

[https://www.google.com/search?q=wlet+IOT%2C+2018+https%3A%2F%2Fza.schreder.com&og=wlet+IOT%2C+2018+https%3A%2F%2Fza.schreder.com&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIJCAEQIRgK GKAB0gEINDUyMGowajimoAgCwAgE&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=wlet+IOT%2C+2018+https%3A%2F%2Fza.schreder.com&og=wlet+IOT%2C+2018+https%3A%2F%2Fza.schreder.com&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIJCAEQIRgK GKAB0gEINDUyMGowajimoAgCwAgE&sourceid=chrome&ie=UTF-8) [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[37] Schröder, 2013), <https://pt.schreder.com/pt>

[38] [https://www.google.com/search?q=Sensor+crespescular&og=Sensor+crespescular&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIJCAEQABgNGIAEMgkIAhAAGA0YgAQyCQgDEAA YDRiABDIJCAQQABgNGIAEMgkIBRAAGA0YgAQyCQgGEAA YDRiABDIJCAcQABgNGIAEMgkICBAAGA0YgAQyCQgJEAAYDRiABNIBCTEyMjczajBqOagCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Sensor+crespescular&og=Sensor+crespescular&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIJCAEQABgNGIAEMgkIAhAAGA0YgAQyCQgDEAA YDRiABDIJCAQQABgNGIAEMgkIBRAAGA0YgAQyCQgGEAA YDRiABDIJCAcQABgNGIAEMgkICBAAGA0YgAQyCQgJEAAYDRiABNIBCTEyMjczajBqOagCALACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

<https://www.e-redes.pt/sites/eredes/files/2019-04/Manual%20Iluminacao%20Publica.pdf> [Acedido em 17 de Setembro de 2024]

[39] N. N. Yimin Gu, Tianming Dong, Huiying Wu, "Spectral and Luminous Efficiency Change of High-power LEDs Under Different Dimming

[https://www.google.com/search?q=N.+N.+Yimin+Gu%2C+Tianming+Dong%2C+Huiying+Wu%2C+%22Spectral+and+Luminous+Efficiency+Change+of+High-power+LEDs+Under+Different+Dimming&og=N.+N.+Yimin+Gu%2C+Tianming+Dong%2C+Huiying+Wu%2C+%22Spectral+and+Luminous+Efficiency+Change+of+High-power+LEDs+Under+Different+Dimming&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDI4MjQjQmGo5qAlAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=N.+N.+Yimin+Gu%2C+Tianming+Dong%2C+Huiying+Wu%2C+%22Spectral+and+Luminous+Efficiency+Change+of+High-power+LEDs+Under+Different+Dimming&og=N.+N.+Yimin+Gu%2C+Tianming+Dong%2C+Huiying+Wu%2C+%22Spectral+and+Luminous+Efficiency+Change+of+High-power+LEDs+Under+Different+Dimming&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDI4MjQjQmGo5qAlAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

[https://www.google.com/search?sca\\_esv=7f9ec469fe45c2d7&q=Varia%C3%A7%C3%B5es+das+Esta%C3%A7%C3%B5es+do+ano+Hemisferio+norte&udm=2&fbs=AEQNm0A](https://www.google.com/search?sca_esv=7f9ec469fe45c2d7&q=Varia%C3%A7%C3%B5es+das+Esta%C3%A7%C3%B5es+do+ano+Hemisferio+norte&udm=2&fbs=AEQNm0A)

[Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[40]- <https://www.afeisa.es/es/productos/interruptor-horario-astronomico-programable-urbiastro-2000?id=5>

LITES, "Annex I - "Description of Work"; Grant agreement for: PILOT TYPE B," ICT for energy efficiency and sustainability in urban areas, 2008.

[https://ec.europa.eu/information\\_society/activities/ict\\_psp/documents/05\\_ictpsp\\_%20Infoday.pdf](https://ec.europa.eu/information_society/activities/ict_psp/documents/05_ictpsp_%20Infoday.pdf) [Acedido em 17 de Setembro de 2024]

[41] Erse-Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - <http://www.erse.pt>

[Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[42] Human Tracking using ceiling Pyroelectric Infrared Sensors IEEEExplore.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/5410239>

[https://www.researchgate.net/publication/224113130\\_Human\\_Tracking\\_Using\\_Ceiling\\_Pyroelectric\\_Infrared\\_Sensors](https://www.researchgate.net/publication/224113130_Human_Tracking_Using_Ceiling_Pyroelectric_Infrared_Sensors) [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[43] Yousuf & El-shafei, 2008 –

<https://scholar.cu.edu.eg/?q=alyelshafei/publications&sort=author&order=desc>

[Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[45] Saravanan, Das, & Iyer, 2017-

<https://scholar.google.co.in/citations?user=w7LvG3cAAAAJ&hl=en>

[https://scholar.google.co.in/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=w7LvG3cAAAAJ&citation\\_for\\_view=w7LvG3cAAAAJ:fQNAKQ3IYiAC](https://scholar.google.co.in/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=w7LvG3cAAAAJ&citation_for_view=w7LvG3cAAAAJ:fQNAKQ3IYiAC) [Acedido em 15 de Setembro de 2024]

[46] Reverberi, <https://www.leroymerlin.pt/search?q=luminarias+exteriores>

[Acedido em 19 de Setembro de 2024]

[47] [https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/553/2020/07/93630-field\\_submission\\_abstract\\_file2.pdf](https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/553/2020/07/93630-field_submission_abstract_file2.pdf)

<https://www.copadata.com/pt/produtos/zenon-software-platform/visualizacao-controle/o-que-e-o-scada/> [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[48] <https://www.dicasled.pt/sistema-dali-de-iluminacao>

[Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[49] Sinopoli, 2010- <https://www.ebay.com/itm/335481456751>

[Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[50] Philips CityTouch, 2018- [https://www.philips-hue.com/content/B2B\\_LI/th\\_TH/systems/connected-lighting/city-touch/lighting-asset-management.html](https://www.philips-hue.com/content/B2B_LI/th_TH/systems/connected-lighting/city-touch/lighting-asset-management.html) [Acedido em 18 de Setembro de 2024]

[51] [https://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Portugal/Case-Study/CSLI20170731\\_001-UPD-pt\\_PT-CS\\_ESE\\_Peniche\\_Portugal\\_pt.pdf](https://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Portugal/Case-Study/CSLI20170731_001-UPD-pt_PT-CS_ESE_Peniche_Portugal_pt.pdf)


[https://www.google.com/search?q=%5D+https%3A%2F%2Fwww.lighting.philips.pt%2Fprof%2Fluminarias-de-exterior-&oq=%5D+++https%3A%2F%2Fwww.lighting.philips.pt%2Fprof%2Fluminarias-de-exterior-&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDMxMTdqMGo5qAIAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=%5D+https%3A%2F%2Fwww.lighting.philips.pt%2Fprof%2Fluminarias-de-exterior-&oq=%5D+++https%3A%2F%2Fwww.lighting.philips.pt%2Fprof%2Fluminarias-de-exterior-&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDMxMTdqMGo5qAIAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8) [Acedido em 18 de Setembro de 2024]



## ANEXOS



Luminária LED 60W Eternity PHILIPS Xitanium Iluminação Pública 60 w

 Potência 60 W	 Tensão 220-240V AC	 Luminosidade 8400 lm
 Tipo de regulação 1-10 V	 Fator de Potência 0.95	 Proteção IP IP66
 Funciona com bateria Não	 Dimensões 99 mm x 220 mm x 591 mm	 Largura 220 mm
 Altura 99 mm	 Proteção IK IK08	 Eficiência Luminosa 140 lm/W



Luminária LED PHILIPS CoreLine Malaga 30W

⚡ Potência 30 W	⚡ Tensão 220-240V AC	💡 Luminosidade 3055 lm
⊖ Fator de Potência 0.98	🛡️ Proteção IP IP65	📏 Dimensões 197 mm x 78 mm x 335 mm
↔️ Largura 78 mm	↕️ Altura 197 mm	☀️ Proteção IK IK08
🍃 Eficiência Luminosa 105 lm/W	🔩 Material PC, Alumínio	📈 Índice de Reprodução Cromática (CRI) 70



VSAP Shréder (150W)

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

---

### DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

Adão Manuel Pais da Silva



ISEP, Porto, 9 de Outubro de 2024