



Eficiência Energética na Iluminação Pública

João Miguel Leite Magalhães

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

22 de novembro de 2014

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projecto/Estágio do 2º ano do Mestrado
em Energias Sustentáveis

Candidato: João Miguel Leite Magalhães, N° 1060832, 1060832@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Eng.º Luís Filipe Caeiro Castanheira, lcc@isep.ipp.pt

Empresa: EDP Distribuição - Energia, S. A.

Supervisão: Eng. Paulo Alexandre Moutinho Torrão, pauloalexandre.torrao@edp.pt

Mestrado em Engenharia Energias Sustentáveis

Departamento de Engenharia Mecânica



22 de novembro de 2014

Resumo

A utilização pouco eficiente da energia representa um elevado encargo para qualquer país, seja do ponto de vista económico, social ou ambiental. Em Portugal a iluminação pública tem um importante peso nas despesas correntes dos municípios.

Deste modo, torna-se imperativo agir de modo a aumentar a sustentabilidade energética e diminuir os gastos com a iluminação pública. Os municípios precisam de encontrar soluções que permitam reduzir os consumos, mantendo níveis de segurança e conforto necessários às populações. Neste sentido, este trabalho propõe-se estudar esta problemática, apresentando soluções, de modo a obter-se uma maior eficiência energética desta para as instalações e, consequentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas.

Palavras-Chave

Eficiência Energética, Iluminação Pública.

Abstract

The inefficient use of energy represents a significant cost for any country, either economically, socially or environmentally. Street lighting in Portugal has an important weight on operating costs of the municipalities.

Thus, it is imperative to increase energy sustainability and reduce spending on public lighting. Municipalities need to find solutions to reduce fuel consumption while maintaining the levels of safety and comfort required by their populations. The main objective of this paper is to study this problem, providing solutions in a specific case study, in order to achieve greater energy efficiency in municipal facilities and consequently leading to a decrease in CO2 emissions while they operate.

Keywords

Energy Efficiency, Public Lighting.

Índice

RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
NOMENCLATURA	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2. ESTADO DA ARTE - ILUMINAÇÃO PÚBLICA E REVISÃO DE CONCEITOS	5
2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	5
2.2. CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	6
2.2.1. <i>Fluxo Luminoso</i>	7
2.2.2. <i>Intensidade Luminosa</i>	8
2.2.3. <i>Iluminância</i>	9
2.2.4. <i>Luminância</i>	9
2.2.5. <i>Visão</i>	11
2.3. COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	13
2.3.1. <i>Luminárias</i>	13
2.3.2. <i>Características das Lâmpadas</i>	14
2.3.3. <i>Tipos de lâmpadas</i>	17
2.3.4. <i>Balastros</i>	23
3. SISTEMAS DE CONTROLO E GESTÃO DE ENERGIA	25
3.1. INTRODUÇÃO	25
3.2. SENSORES / CÉLULAS FOTOELÉTRICAS	26
3.3. RELÓGIO ASTRONÓMICO	27
3.4. REGULADORES DE FLUXO A INSTALAR À CABECEIRA DO SISTEMA DE IP	28
3.4.1. <i>Exemplos de Reguladores de Fluxo</i>	31
3.5. SISTEMAS DE TELEGESTÃO	34
3.5.1. <i>Exemplos de Sistemas de Telegestão</i>	36
3.6. CONCLUSÃO	39

4.	TECNOLOGIA LED PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	41
4.1.	INTRODUÇÃO	41
4.2.	CONSTITUIÇÃO DA LUMINÁRIA LED	42
4.3.	CARACTERÍSTICAS	45
4.4.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	47
5.	PROJETO DE IP COM O NOVO DOCUMENTO DE REFERÊNCIA.....	49
5.1.	OBJETIVOS DO DOCUMENTO DE REFERENCIA “EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA”.....	49
5.2.	CRITÉRIOS A CONSIDERAR EM PROJETOS DE IP	51
5.2.1.	<i>Otimização</i>	52
5.2.2.	<i>Encandeamento Incomodativo (G)</i>	53
5.2.3.	<i>Encandeamento perturbador (TI)</i>	53
5.2.4.	<i>Fator de Manutenção</i>	53
5.2.5.	<i>Rácio Envolvente (SR – Surround Ratio)</i>	56
5.3.	NÍVEIS, UNIFORMIDADES E CLASSES ILUMINAÇÃO	57
5.3.1.	<i>Nível de Iluminação</i>	57
5.3.2.	<i>Uniformidade da Iluminação</i>	57
5.3.3.	<i>Classes de Iluminação</i>	58
5.4.	GESTÃO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE IP	61
5.4.1.	<i>LLMF (Fator de Manutenção do Fluxo Luminoso)</i>	61
5.4.2.	<i>LSF (Fator de Sobrevivência da Lâmpada)</i>	61
5.4.3.	<i>LMF (Fator de Manutenção da Luminária)</i>	62
5.4.4.	<i>Fator de Manutenção</i>	62
6.	APRESENTAÇÃO DE CASOS DE ESTUDO E AVALIAÇÃO ECONÓMICA.....	65
6.1.	INTRODUÇÃO	65
6.1.1.	<i>Substituição de luminárias de baixa eficiência por LED's</i>	65
6.1.2.	<i>Instalação de armários de regulação de fluxo luminoso (RFL);</i>	67
6.1.3.	<i>Instalação de balastros multinível;</i>	69
6.2.	VALORES UTILIZADOS PARA CÁLCULO DOS CUSTOS ENERGÉTICOS.....	70
6.2.1.	<i>Tarifa de energia para a IP</i>	70
6.2.2.	<i>Cálculos</i>	70
6.2.3.	<i>Preços dos equipamentos propostos para eficiência energética</i>	70
6.3.	CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA IP DO CONCELHO EM ESTUDO	71
6.3.1.	<i>Identificação e Contabilização de consumos e custos da IP</i>	71
6.3.2.	<i>Tecnologias atualmente instaladas nos equipamentos em estudo</i>	74
6.3.3.	<i>Horas de funcionamento da IP</i>	76
6.4.	CARATERIZAÇÃO E ESTUDO DE ZONA URBANA.....	77
6.4.1.	<i>Levantamento dos elementos da Av. Sá Carneiro – Refojos</i>	78
6.4.2.	<i>Cálculo das Classes da via do caso de estudo</i>	79
6.4.3.	<i>Cenário 1 - Alteração da IP na Av. Sá Carneiro – Refojos, para Iluminação LED</i>	82
6.4.4.	<i>Cenário 2 - Alteração dos Balastros ferromagnéticos para Balastros Eletrónicos</i>	86

6.4.5.	<i>Cálculo do custo total de propriedade TCO</i>	87
6.5.	CARATERIZAÇÃO E ESTUDO DE ZONA RURAL	88
6.5.1.	<i>Levantamentos dos elementos da Aldeia de Travassô</i>	88
6.5.2.	<i>Cenário 1 – Alteração na IP da Aldeia de Travassô para Iluminação LED</i>	89
6.5.3.	<i>Cálculo do custo total de propriedade TCO – LED Cree XSP1 vs VSAP</i>	90
6.5.4.	<i>Cenário 2 – Alteração dos Balastros ferromagnéticos para Balastros Eletrônicos</i>	91
6.5.5.	<i>Cálculo do custo total de propriedade TCO</i>	91
6.6.	ESTUDO DE COLOCAÇÃO DE REGULAÇÃO DE FLUXO LUMINOSO	92
6.6.1.	<i>Levantamentos de dados dos PT's que representam 25% do consumo</i>	92
7.	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	99
	ANEXO A	103
	ANEXO B	105
	ANEXO C	107

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquematização dos conceitos associados à Radiometria e à Fotometria[7]	7
Figura 2- Fluxo luminoso[7]	7
Figura 3- Intensidade Luminosa; Ângulo sólido; Fluxo luminoso[8]	8
Figura 4- Iluminância sobre uma superfície [9]	9
Figura 5 - Luminância numa superfície [9].....	10
Figura 6 - Área aparente de uma superfície.	10
Figura 7 - Cálculo da luminância num ponto, para um observador [9].....	11
Figura 8 - Acuidade Visual [9].....	12
Figura 9- Curva de sensibilidade do olho [9].....	12
Figura 10 - Ilustração dos raios de saída de fluxo luminoso [9].....	14
Figura 11 - Tempo de vida médio e útil de uma lâmpada[9]	16
Figura 12 - Esquema de funcionamento de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [10]. .	18
Figura 13 - Detalhes de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [10].....	20
Figura 14 – Diagrama do fluxo de energia e perdas da lâmpada de Vapor de Sódio [8].....	20
Figura 15 - Estrutura de um LED em circuito impresso (esquerda) e perfil do LED (direita)[10]. .	21
Figura 16 - Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [10].	22
Figura 17 – Esquema exemplificativo do funcionamento de um Balastro eletrónico.....	24
Figura 18 – Tipos de controlo do sistema de iluminação pública	25
Figura 19 - Formas de utilização das células fotoelétricas.....	26
Figura 20 - Exemplo de Relógio Astronómico	28
Figura 21 - Vantagens dos reguladores de fluxo.....	31
Figura 22 - Sistema Compacto®	32
Figura 23 - Sistema Servitec®	34
Figura 24 – Exemplo do horário de funcionamento de um Regulador de Fluxo	34
Figura 25 - Sistema de comunicações – MASTER.....	36
Figura 26 - TCU – Unidade de Controlo e Comando	38
Figura 27 - Arquitetura do sistema SIGE (Schröder)	39
Figura 28 - Estrutura da luminária	43
Figura 29 - Iluminação LED	44
Figura 30 - Funcionamento de um LED.....	46
Figura 31 - Geometria ótica da iluminação LED	48
Figura 32 - Classificação energética das instalações de iluminação pública [9].....	51
Figura 33 - Variáveis que interferem na taxa de sobrevivência	54
Figura 34 -Variáveis envolvidas na perda de intensidade luminosa devido à sujidade	55

Figura 35 - Faixas longitudinais para calcular o rácio envolvente	57
Figura 36 - Exemplos de locais com iluminação uniforme	58
Figura 37 - Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF)	61
Figura 38 - Fator de sobrevivência da lâmpada (LSF)	61
Figura 39 - Fator de Manutenção da Luminária	62
Figura 40 - Fator de manutenção de uma instalação	63
Figura 41 - Esquema de PT com RFL	68
Figura 42 - Características do Balastro de duplo nível ECOSAVER – AURA	69
Figura 43 - Autocolante utilizado na sinalização de focos desligados	72
Figura 44 - Gráfico da Evolução da Tarifa de Iluminação Pública	73
Figura 45 - Gráfico da Quantidade de lâmpadas por tecnologia	74
Figura 46 - Gráfico da evolução do nº de pontos de luz no Município	75
Figura 47 - Gráfico da Média de horas de funcionamento diário da IP - 2013	77
Figura 48 - Mapa da Av. Sá Carneiro com pontos de iluminação pública identificados	78
Figura 49 – Luminária CREE XSP1 e gráfico de curvas <i>isolux</i>	82
Figura 50 - Dados da Avenida Sá Carneiro com <i>software</i> DIALux	82
Figura 51 - Características da Luminária no <i>software</i> DIALux	83
Figura 52 - Linhas Isográficas da Luminância	83
Figura 53 - Resultados obtidos para a proposta	83
Figura 54 - Resultados luminotécnicos no <i>software</i> DIALux	84
Figura 55 - Gráfico comparativo entre os balastros ferromagnético e eletrónico	86
Figura 56 – Mapa do Lugar de Travassô com pontos de iluminação pública identificados	88

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Aparência das várias temperaturas de cor em Iluminação Pública [9].....	15
Tabela 2 - Exemplos de índices de restituição de cor [7].....	16
Tabela 3 – Características da lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão [10]	20
Tabela 4 - Poupança energética conseguida com a regulação de fluxo por tipo de lâmpada.....	30
Tabela 5 - Sistemas de regulação de fluxo	39
Tabela 6 - Índice de eficiência energética das instalações de iluminação pública [9]	51
Tabela 7 - Encandeamento Incomodativo	53
Tabela 8 - Encandeamento Perturbador	53
Tabela 9 - LLMF para vários tipos de lâmpadas.....	54
Tabela 10 - LSF para vários tipos de lâmpadas.....	55
Tabela 11 - Valores de LMF	56
Tabela 12 - Classes de iluminação distribuídas pelas três categorias de estradas para Portugal	59
Tabela 13 - Classes de iluminação	59
Tabela 14 - Número de horas de funcionamento de uma rede de Iluminação Pública [11].....	62
Tabela 15 - Fórmula do Fator de Manutenção	63
Tabela 16 - Características das luminárias LED	66
Tabela 17 – Tarifa de energia para a IP em vigor em 2014	70
Tabela 18 - Consumos de energia elétrica da IP em 2010, 2011, 2012 e 2013.....	71
Tabela 19 - Fatura energética sem IP do município em estudo em 2010, 2011, 2012 e 2013	71
Tabela 20 - Faturação da IP em 2010, 2011, 2012 e 2013	71
Tabela 21 - Percentagem de custo associada à IP (%)	71
Tabela 22 - Programação dos Relógios Astronómicos (2013).....	76
Tabela 23 - Perfil da Via	78
Tabela 24 - Características da Luminária.....	79
Tabela 25 - Características da Lâmpada.....	79
Tabela 26 – Cálculo do Classe M.....	80
Tabela 27 - Caracterização da luminância	81
Tabela 28 - Valores de Iluminância Hemisférica - Classe A	81
Tabela 29 - Comparação da tecnologia atual com a solução proposta.....	84
Tabela 30 - Custo de propriedade TCO – LED Cree XSP1 vs VSAP	85
Tabela 31 - Custo da alteração do Balastro ferromagnético para balastro multinível Proposto	86
Tabela 32 - Custo de propriedade TCO – Balastos Ferromagnético vs Eletrónico Ecosaver.....	87
Tabela 33 - Quadro comparativo das soluções propostas	87
Tabela 34 – Perfil da Via.....	88
Tabela 35 – Características da luminária e rede IP	89
Tabela 36 – Caraterísticas da Lâmpada.....	89

Tabela 37 – Consumo e Custo com Iluminação existente.....	89
Tabela 38 – Custo e Consumo com solução proposta.....	90
Tabela 39 – Custo de propriedade TCO para solução LED proposta	90
Tabela 40 – Consumo e Custo com solução de balastro eletrônico proposta	91
Tabela 41 – Custo de propriedade TCO para solução de balastro eletrônico proposta.....	91
Tabela 42 – Comparação entre soluções propostas para a Aldeia de Travassô	92
Tabela 43 - Custo energético atual (sem RFL).....	93
Tabela 44 - Custos com aquisição de 15 RFL.....	94
Tabela 45 - Cálculo de TCO sem custos de manutenção	94

Nomenclatura

Caracteres Romanos

<i>A</i>	–	Área
<i>Cd</i>	–	Candela
<i>L</i>	–	Espessura
<i>F</i>	–	Fluxo luminoso
<i>E</i>	–	Iluminância
<i>Emed</i>	–	Iluminância média
<i>Emin</i>	–	Iluminância mínima
<i>I</i>	–	Intensidade luminosa
<i>Lm</i>	–	<i>Lúmen</i>
<i>L</i>	–	Luminância
<i>Lux</i>	–	<i>Lux</i>
<i>m2</i>	–	Metro quadrado
<i>E</i>	–	Rendimento Luminoso
<i>Qcond</i>	–	Taxa condução de calor
<i>T</i>	–	Temperatura
<i>K</i>	–	Temperatura da cor
<i>U0</i>	–	Uniformidade geral

Abreviaturas e símbolos

CO ₂	–	Dióxido de Carbono
DLOR	–	<i>Downward Light Output Ratio</i>
ENE	–	Estratégia Nacional para a Energia
ENEC	–	<i>European Norm Electrical Certification</i>
FM	–	Fator de Manutenção Global
GPRS	–	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	–	<i>Global Position System</i>
GSM	–	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IP	–	Iluminação Pública
IVA	–	Imposto sobre o Valor Acrescentado
IRC	–	Índice de Restituição de Cores
LLMF	–	<i>Lamp Lumen Maintenance Fator</i>
LOR	–	<i>Light Output Ratio</i>
LSF	–	<i>Lamp Survival Fator</i>
PLC	–	<i>Power Line Carrier</i>
PNAEE	–	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
QREN	–	<i>Quadro Referência Estratégica Nacional</i>
RFL	–	Regulador de Fluxo Luminoso
SSL	–	<i>Solid State Lighting</i>
T	–	Temperatura de Cor
ULOR	–	<i>Upward Light Output Ratio</i>
VM	–	Vapor de Mercúrio
VSAP	–	Vapor de Sódio de Alta Pressão
W	–	<i>Watt</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A União Europeia tem vindo a enfrentar desafios precedentes resultantes do aumento da dependência das importações de energia, da escassez de recursos energéticos e da necessidade de limitar as alterações climáticas e de superar a crise económica.

A eficiência energética constitui um instrumento precioso para vencer estes desafios, uma vez que aumenta a segurança do aprovisionamento energético, reduz o consumo de energia primária e diminui as importações da mesma, ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito de estufa de forma eficaz em termos de custos, contribuindo assim para atenuar as alterações climáticas[1].

Em Portugal a Iluminação Pública (IP) é responsável por 3% do consumo energético. No entanto, tem-se verificado nos últimos anos uma tendência de aumento da rede de IP (cerca de 4 a 5% por ano), o que implica um conjunto de medidas direcionadas ao aumento da eficiência energética no parque de IP[2].

Como exemplo de intervenções em projetos de IP, a instalação de Reguladores de Fluxo Luminoso (RFL), a substituição de luminárias e balastros ineficientes ou obsoletos, a substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por fontes de luz mais eficientes, a instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da IP e a substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões por tecnologia LED[2].

1.2. Motivação e objetivos do trabalho

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio, aprovou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) – Portugal Eficiência 2015, que engloba um conjunto alargado de programas e medidas consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar e suplantar os objetivos fixados no âmbito da referida diretiva europeia. O PNAEE estabelece como meta a alcançar até 2015 a implementação de medidas de melhoria da eficiência energética equivalentes a 10% do consumo final de energia[3].

Ainda nesta linha de orientação e mais recentemente, o Decreto-Lei n.º 319/2009 de 3 de Novembro, transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Este diploma cumpre o estabelecido na Diretiva ao nível da obrigação dos Estados membros definir em metas de poupança de energia de 9% até 2016 a alcançar mediante implementação de um plano de ação de melhoria da eficiência energética, tendo sido definida uma meta mais ambiciosa no PNAEE (10%).

Em 15 de Abril de 2010, o Governo publicou a Resolução de Conselho de Ministros n.º 29/2010, que define a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020), onde nomeadamente no seu terceiro eixo de desenvolvimento estipula a consolidação do objetivo de redução de 20% do consumo de energia final em 2020, através da aposta em “...medidas comportamentais e fiscais, assim como em projetos inovadores, designadamente os veículos elétricos e as redes inteligentes, a produção descentralizada de base renovável e a otimização dos modelos de iluminação pública e de gestão energética dos edifícios públicos, residenciais e de serviços”[4].

Este trabalho visa a temática da eficiência energética na IP, pretendendo-se estudar as soluções existentes em mercado e elaborar um estudo de eficiência energética para uma rua do Concelho escolhido para caso de estudo.

A iluminação pública está diretamente ligada à segurança da via pública, sendo uma das características em destaque nas zonas urbanas, permitindo o reconhecimento dos espaços públicos. Está igualmente relacionada com a prevenção de criminalidade e, quando aplicada à iluminação de monumentos, permite o seu embelezamento e destaque noturno.

Um dos objetivos mais relevantes da iluminação pública é, sem dúvida, a orientação do trajeto a percorrer, quando o campo de aplicação é a iluminação rodoviária.

O âmbito desta dissertação centra-se no estudo de soluções que proporcionem um ponto de equilíbrio entre os níveis de iluminação necessários e o máximo de economia, agregado à fomentação de uma iluminação eficiente.

A necessidade de aumentar a sustentabilidade energética e ambiental na iluminação pública, foi a motivação para a elaboração de um trabalho de estudo das tecnologias existentes que pudessem reduzir os consumos de energia e conseqüentemente minimizar o impacto no ambiente.

1.3. Organização da dissertação

Este trabalho encontra-se subdividido em sete capítulos, o presente diz respeito à introdução do trabalho, no qual evidencia a relevância da temática em estudo, bem como os principais objetivos previamente delineados.

O segundo capítulo reporta ao enquadramento teórico, no qual são destacados os principais conceitos luminotécnicos.

No terceiro capítulo por sua vez, é referente aos sistemas de controlo e gestão de energia existentes, diz respeito aos componentes de iluminação.

O quarto capítulo, aborda a tecnologia LED para a iluminação pública, referindo as principais características.

No quinto capítulo são focados os objetivos do Documento de Referência “Eficiência Energética na Iluminação Pública”, e os critérios a considerar em projetos de iluminação pública, para além de alguns conceitos com eles relacionados.

O capítulo sexto, é feita uma caracterização do caso de estudo, assim como apresentadas soluções de eficiência energética a aplicar e os respetivos benefícios económicos e ambientais.

No sétimo e último capítulo, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e ainda sugestões para estudos futuros.

2. Estado da Arte - Iluminação Pública e revisão de conceitos

2.1. Eficiência Energética na Iluminação Pública

Eficiência energética é uma atividade que procura melhorar o uso das fontes de energia. A utilização racional de energia, às vezes chamada simplesmente de eficiência energética, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização [5].

A eficiência energética na iluminação pública ganhou um forte impulso e importância logo que anunciado que o IVA sobre a faturação de energia elétrica iria de 6% para 23%, para além de outros compromissos dos municípios, como o de cumprimento ao ‘Pacto de Autarcas’, em que se assumiu a redução de consumos energéticos com implicações nas emissões de CO₂.

Sendo a iluminação pública uma rubrica com grande peso na faturação de energia dos municípios, no caso dos mais pequenos chega a ser na ordem dos 50%, de imediato se começou a estudar medidas a aplicar de modo obter poupanças de pelo menos, em valor igual ao implicado pelo aumento do IVA, mas mantendo em funcionamento a iluminação essencial com níveis de segurança, qualidade e eficiência. Desta forma, as primeiras medidas aplicadas foram as desligações ou interrupções horárias, por exemplo em períodos de menor atividade, e a desligação de pontos de luz de forma alternada, ou em locais em que a mesma não se verificasse imprescindível.

Para que uma instalação de iluminação pública seja considerada eficiente e apresente um consumo reduzido de energia elétrica devem ser avaliados os seguintes parâmetros: a eficiência luminosa das lâmpadas e a regulação do fluxo luminoso. A utilização de lâmpadas

eficientes com elevado rendimento luminoso como se verifica nas lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão e nas luminárias LED, que permitem reduzir o consumo de energia elétrica. Estas lâmpadas apresentam uma restituição de cor adequada para iluminação pública das vias urbanas ou de zonas pedonais.

Além das lâmpadas, o tipo de luminária utilizada e especialmente a sua distribuição de luz, apresentam uma influência considerável no consumo de energia de uma instalação. Assim a seleção adequada de luminárias de boa qualidade e com elevada eficiência no que se refere à relação entre o fluxo gerado pela lâmpada e o fluxo emitido pela armadura conduzem a uma minimização dos consumos energéticos.

Outra tecnologia que está na ordem do dia, é a regulação de fluxo luminoso, que permite adaptar o nível de iluminação de acordo com as necessidades de um dado espaço, tendo sempre em consideração a manutenção de um nível de iluminação uniforme. O princípio de funcionamento dos reguladores de fluxo consiste no controlo da tensão de alimentação do circuito de iluminação de modo a obter-se o nível de iluminação desejado com redução da potência absorvida, permitindo deste modo reduzir o consumo de energia elétrica, sem prejuízo da qualidade e segurança do local a iluminar. A nova geração de redutores de fluxo utiliza inversores para alterar tanto a tensão como a frequência da corrente elétrica, otimizando as condições de regulação do fluxo. Estes dispositivos permitem a estabilização da tensão de alimentação elétrica, protegendo as lâmpadas contra alterações bruscas da tensão, interrupções da alimentação e sobretensões. Isto leva a um incremento do tempo de vida útil das lâmpadas e a menores necessidades de manutenção e dos custos associados da infraestrutura.

O desenvolvimento de um plano periódico de medição e monitorização dos consumos de energia com vista à melhoria das instalações e a concretização de um plano de manutenção preventiva, constituem boas-práticas que deverão ser executadas pelos municípios [6].

2.2. Conceitos Luminotécnicos

No nosso dia-a-dia é importante usufruirmos de uma boa iluminação, por isso devemos procurar obter os melhores resultados tendo em conta as tarefas a realizar. Assim, torna-se importante avaliar uma instalação de iluminação, a nível de qualidade, a nível de adequação ao local e a nível de eficiência energética.

A Radiometria e a Fotometria desenvolveram uma série de métodos e processos de medida das grandezas luminosas. Enquanto a Radiometria se preocupa com toda a radiação do espectro eletromagnético emitida por uma fonte, a Fotometria apenas se debruça sobre a radiação visível (comumente designada luz). A cada grandeza radiométrica está associada uma grandeza fotométrica, sendo que a Figura 1 evidencia este paralelismo [7].

Neste capítulo são tratados alguns dos conceitos luminotécnicos, dado que são as grandezas

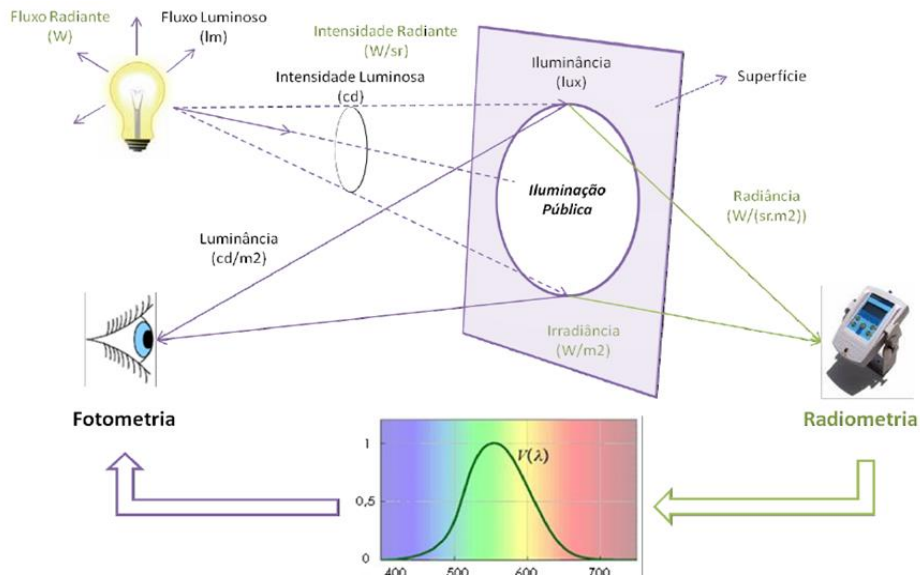


Figura 1 - Esquemática dos conceitos associados à Radiometria e à Fotometria[7]

luminotécnicas que vão estabelecer parâmetros de qualidade comparativos de uma dada instalação para um determinado local.

Essas grandezas têm grande importância, pois quando são utilizados aparelhos de iluminação, sejam eles lâmpadas, luminárias, balastros, ou outros aparelhos, é importante usar os mais eficientes possíveis.

2.2.1. Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso consiste na quantidade de luz emitida em todas as direções, por uma fonte luminosa na unidade de tempo (segundo). A unidade de fluxo é o lúmen (lm).

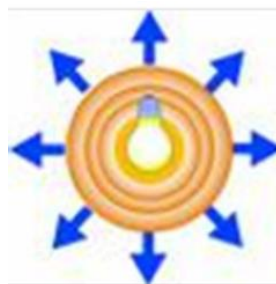


Figura 2- Fluxo luminoso[7]

$$Q = \Phi \times t$$

Em que Q representa a quantidade de luz emitida (lm.s); Φ o fluxo luminoso (lm), e t o intervalo de tempo (s) [7].

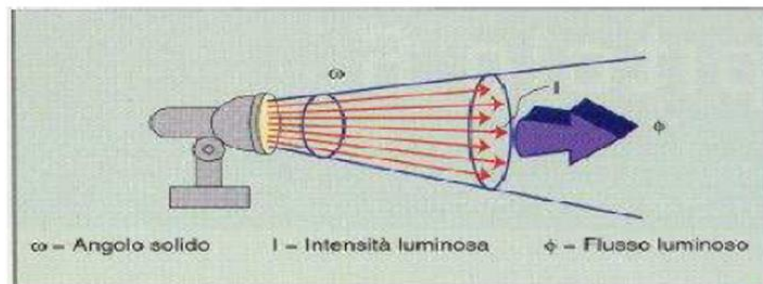
2.2.2. Intensidade Luminosa

A intensidade luminosa de uma fonte de luz é igual ao fluxo emitido numa direção por unidade de ângulo sólido (ω) nessa direção. A unidade de medida é a candela (cd).

$$I = \Phi / \omega$$

Em que:

- I é a intensidade luminosa;
- Φ é o fluxo luminoso,
- ω é o ângulo sólido.



- Figura 3- Intensidade Luminosa; Ângulo sólido; Fluxo luminoso[8]

Na figura anterior pode verificar-se a emissão de fluxo luminoso resultante da lâmpada, com respetivo ângulo sólido e intensidade luminosa [8].

2.2.3. Iluminância

A iluminância segundo a norma EN 12665, é o quociente entre, fluxo luminoso (Φ) incidente num elemento da superfície e a área (S), ou seja, é a quantidade de luz que atinge uma unidade de área de uma superfície durante um segundo. Esta grandeza é medida em lux (lx)

$$E = \Phi / S$$

- E é a iluminância (lux);
- Φ é o fluxo luminoso (lm);
- S é a área de superfície iluminada (m^2).

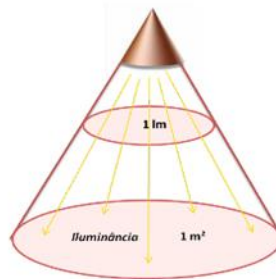


Figura 4- Iluminância sobre uma superfície [9]

Existem quatro medidas de iluminância possíveis, horizontal, vertical, semicilíndrica, hemisférica. [7][9].

2.2.4. Luminância

A luminância (L) é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido (ω).

Tem como unidade SI a candela por metro quadrado (cd/m^2), igualmente conhecida por nit (nt).

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 (θ), ou seja:

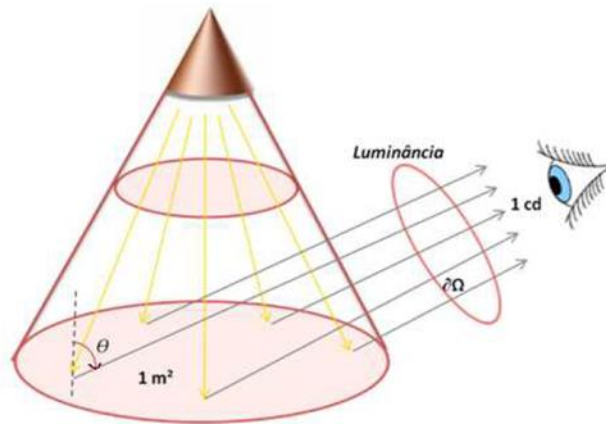


Figura 5 - Luminância numa superfície [9]

$$L = \frac{1}{A \cos(\theta)} (cd/m^2)$$

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.

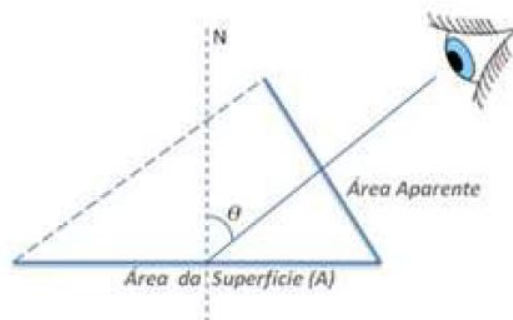


Figura 6 - Área aparente de uma superfície.

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

$$L = \frac{I \times r \times \Phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2}$$

Legenda:

I – Intensidade luminosa (cd) normalizada por kl.

r – Coeficiente de luminância reduzida para um vetor de luz incidente

Φ – Fluxo luminoso inicial de cada luminária (kl).

MF – Produto do LLMF com o LMF

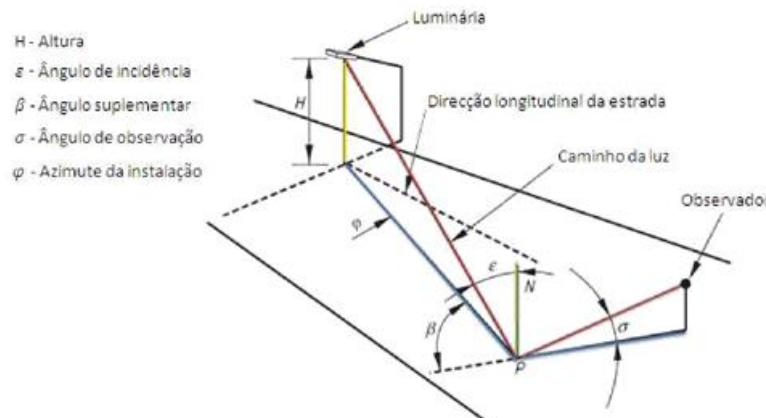


Figura 7 - Cálculo da luminância num ponto, para um observador [9]

2.2.5. Visão

2.2.5.1. 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 (θ). Assim, a capacidade do olho em distinguir dois pontos está associada a um certo valor de ângulo visual.

Quantitativamente pode afirmar-se que a acuidade visual é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor [9].

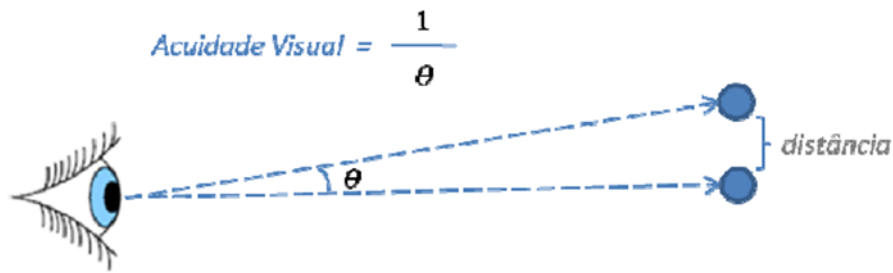


Figura 8 - Acuidade Visual [9].

2.2.5.2. Curva de Sensibilidade do Olho

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).

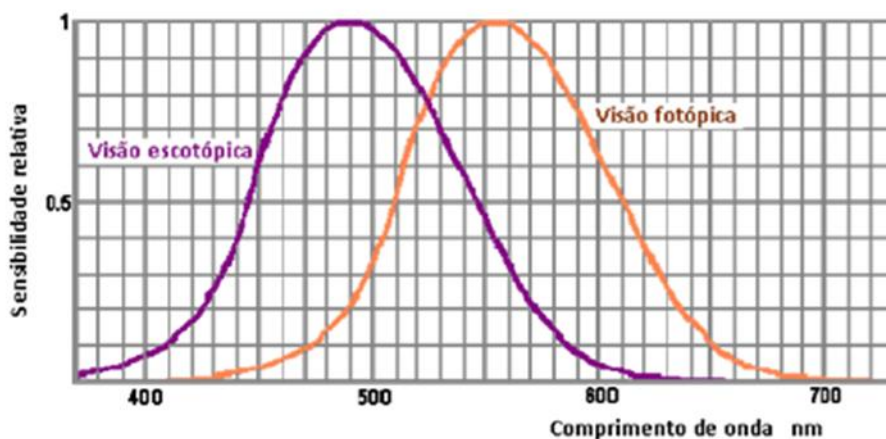


Figura 9- Curva de sensibilidade do olho [9].

A visão fotópica consiste na sensibilidade do olho em condições de intensidade luminosa que permitam a distinção das cores, que na generalidade corresponde à visão diurna, sendo

que no olho humano a visão fotópica faz-se principalmente pela ativação dos cones que se encontram na retina. Já relativamente à visão escotópica, pode entender-se como a visão produzida pelo olho em condições de baixa luminosidade, no entanto no olho humano os cones não funcionam em condições de baixa luminosidade, ou seja noturna, o que determina que a visão escotópica seja produzida exclusivamente pelos bastonetes, o que impossibilita a perceção das cores. No caso da visão mesópica, podemos dizer que é a designação dada à combinação da visão fotópica e da visão escotópica, que ocorre em situações de luminosidade baixa, mas não tão baixa que elimine de todo a componente fotópica da visão. O deslocamento do máximo de sensibilidade da visão em ser sensível às cores, para o máximo de sensibilidade à luz, com a diminuição da luz recebida pelo olho, designa-se como Efeito de *Purkinje* [9].

2.3. Componentes da Iluminação Pública

2.3.1. Luminárias

2.3.1.1. 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 (ϕ) 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 dessas mesmas fontes de luz, quando operadas fora da luminária com o mesmo equipamento auxiliar e condições práticas.

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

Para a realização de um projeto de IP eficiente convém conhecer-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. [9].

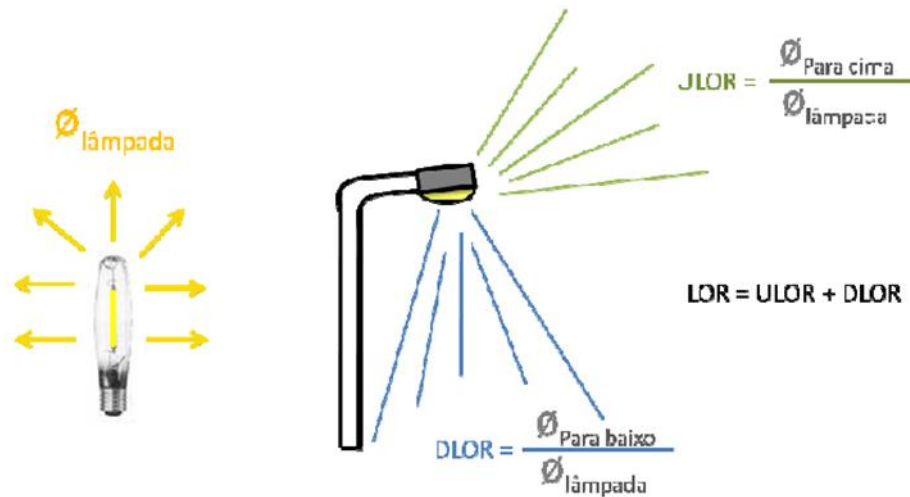


Figura 10 - Ilustração dos rácios de saída de fluxo luminoso [9]

2.3.2. Características das Lâmpadas

2.3.2.1. Rendimento luminoso (ϵ)

O rendimento de uma fonte de luz é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela mesma e a unidade de potência elétrica consumida para o obter. A unidade é lm/W.

$$\epsilon = \frac{\Phi}{P} (lm/W)$$

Nota: Para uma fonte de luz que transforma, sem perdas, toda a potência elétrica consumida em luz num comprimento de onda 555 nm, terá o maior rendimento possível no valor 683 lm/W [9].

2.3.2.2. Temperatura de Cor (K)

A temperatura de cor é uma característica da luz visível, determinada pela comparação da sua saturação cromática com a de um corpo negro radiante ideal. Ou seja, é a temperatura a que um corpo negro irradiaria a mesma cor da fonte luminosa (usualmente medida em Kelvin – K), e que quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz.

O conceito de luz quente ou fria relaciona-se com a tonalidade de cor que a fonte de luz apresenta ao ambiente.



As fontes luminosas podem variar entre 2.000 K até mais de 10.000 K. Do ponto de vista técnico a tonalidade da luz que irradia uma fonte de luz conhece-se pela sua temperatura de cor.

Na iluminação de espaços públicos podemos considerar três gamas de temperaturas de cor:

- Quente ($T < 3300\text{K}$);
- Intermédia ($3300\text{K} < T < 5000\text{K}$);
- Fria ($T > 5000\text{K}$)

Na tabela da página seguinte encontram-se alguns exemplos da temperatura de cor e respectivas aparências.

Tabela 1 - Aparência das várias temperaturas de cor em Iluminação Pública [9]

Temperatura (K)	Aparência	
$T < 3300$	Quente (branco alaranjado)	
$3300 < T < 5000$	Intermédio (branco)	
$T > 5000$	Fria (branco azulado)	

2.3.2.3. Índice de Restituição de Cor (IRC)

É a capacidade de reprodução cromática do objeto iluminado por uma fonte de luz, sendo por isso um valor indicativo da capacidade da fonte de luz para reproduzir cores, em comparação com a reprodução obtida por uma fonte de luz padrão, tomada como referência, sendo que a fonte de luz que se toma como referência é a luz solar [9].

O IRC indica a capacidade que uma fonte luminosa possui em restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada. Este índice varia entre 0 (nenhuma fidelidade) e 100 (máxima fidelidade). Quanto maior o IRC, melhor o equilíbrio entre as cores. Quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão, menor será o seu IRC.

Tabela 2 - Exemplos de índices de restituição de cor [7]

Qualidade desejada	IRC	Aplicações
Apreciação o mais exacta possível das cores.	≥ 90	• Laboratórios • Salas de impressão
Restituição de cor aceitável.	≥ 70	• Escritórios • Escolas • Lojas
Restituição de cor não suficiente.	$60 < IRC < 70$	• Oficinas mecânicas
Sem qualquer exigência de restituição de cor.	≤ 60	• Armazéns • Estradas secundárias

2.3.2.4. Tempo de vida útil

O tempo de vida útil disponibilizado pelos fornecedores é uma das características das fontes luminosas mais relevantes, uma vez que influencia os custos de funcionamento efetuado, quer ao nível dos custos de manutenção quer do número de lâmpadas a serem adquiridas durante um determinado período.

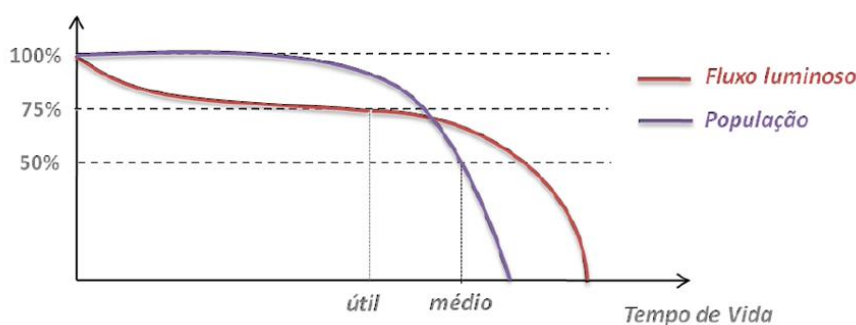


Figura 11 - Tempo de vida médio e útil de uma lâmpada[9]

O tempo de vida útil é definido em horas e representa o tempo no qual o fluxo luminoso inicial das lâmpadas testadas foi reduzido em cerca de 25 a 30%. O tempo de vida normalmente indicado pelo fabricante é o tempo de vida médio. Este, indica o número de horas após as quais, 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso. A duração da vida média varia entre as 1000 horas, nas lâmpadas incandescentes, até cerca de 100 000 horas no caso dos LEDs mais avançados, valor este estimado e atribuído com base nos testes efetuados em laboratórios certificados [9].

2.3.2.5. Poluição Luminosa

Pode ser definida como sendo qualquer efeito adverso causado ao meio ambiente pela luz artificial excessiva, ou mal direcionada, nomeadamente quando a luz artificial é emitida horizontalmente e pelo hemisfério superior.

Nota: Dependendo do conceito inicial do projeto, uma possível solução é o uso de fontes de luz direcionadas, que sejam emitidas somente pelo hemisfério sul (para baixo da horizontal), de tal forma que a própria fonte de luz não seja visível pelos lados. Uma luminária eficiente deve iluminar o chão até um pouco além da metade de sua distância ao próximo poste. Assim, ao dirigir a luz apenas para onde ela é necessária, é requerida menos iluminação. Outra vantagem desse tipo de luminária é que a nossa visão da área iluminada se torna muito mais nítida quando não recebemos luz vinda diretamente das lâmpadas sobre os olhos [9].

2.3.3. Tipos de lâmpadas

A lâmpada é o componente cuja funcionalidade visa a produção de uma radiação eletromagnética no espectro visível. São vários os tipos de lâmpadas que podem ser utilizadas como fontes luminosas num sistema de iluminação pública. Estas diferenciam-se mediante as suas características técnicas e económicas e dos seus parâmetros de desempenho, nomeadamente: Índice de Restituição de Cor (IRC); Temperatura de Cor (kelvin); Fluxo Luminoso (Φ); Eficiência Luminosa (lm/W); Gama de Potência (W); Tempo de Vida (h); Custo (€); Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF - *Lamp Survival Fator*); Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (LLMF - *Lamp Lumen Maintenance Fator*); [10].

Podemos classificar as lâmpadas em:

- **Tecnologias Antigas:**
 - Incandescentes
 - Vapor de Mercúrio

- **Tecnologias do Presente:**
 - Fluorescentes
 - Vapor de Sódio
 - Iodetos Metálicos
- **Tecnologias Emergentes:**
 - LEDs
 - Indução
- **Tecnologias do Futuro**
 - Plasma
 - OLEDs COLEDs
 - Lâmpadas incandescentes mais eficientes
 - Lâmpadas de nanofibras

2.3.3.1. Tecnologias do presente - Vapor de Sódio (de Alta Pressão)

Esta lâmpada foi idealizada por investigadores dos principais fabricantes de lâmpadas do mundo tendo em vista obter rendimentos elevados. O maior obstáculo para o fabrico deste tipo de lâmpadas foi a confeção do tubo de descarga, para que suportasse a agressividade do sódio a altas temperaturas e pressões. Este obstáculo foi transposto com o desenvolvimento de um tipo especial de cerâmica translúcida de alumina (óxido de alumínio). A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão é então uma lâmpada de descarga de alta intensidade, caracterizada por eficiência e durabilidade elevadas.

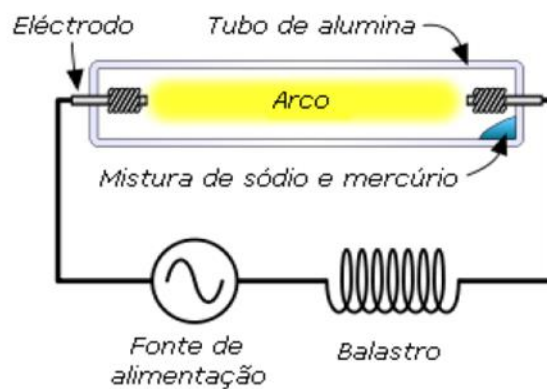


Figura 12 - Esquema de funcionamento de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão [10].

A Figura anterior ilustra o seu funcionamento. Uma fonte de alimentação e um balastro (eletromagnético ou elétrico) em série irão fornecer uma corrente apropriada à lâmpada. No seu interior uma mistura de sódio e mercúrio é vaporizada provocando um arco entre os eletrodos, no tubo de alumina, permitindo a condução. Quanto maior for a potência da lâmpada, maior será a temperatura no seu interior e quanto maior for a temperatura, maior será a pressão do vapor e menor a resistência elétrica da lâmpada.

A tensão de arco existente na lâmpada aumenta entre 1 a 2 (V) por cada 1000 horas de funcionamento, devido à diminuição da pressão dos gases que compõem a mistura dentro do tubo de descarga, resultante da gradual impregnação de sódio nas paredes do tubo. Este incremento é bastante relevante, uma vez que, aumentos de cerca de 10% no valor da tensão de arco implicam aumentos entre 20 a 25 % da potência. As lâmpadas já na segunda metade do seu tempo de vida podem ter dificuldade em arrancar com tensões reduzidas. Este tipo de lâmpadas difere da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão pelo facto de ter um espectro muito mais rico, podendo ser nalguns casos até mais rico que o espectro da lâmpada de vapor de mercúrio. Isto ocorre, uma vez que, sob altas temperaturas e pressões, as linhas monocromáticas do espectro do sódio começam a sobrepor-se produzindo, através de interferências construtivas e destrutivas, outras linhas espectrais que normalmente seriam imperceptíveis. A eficiência luminosa típica de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão é menor que a da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão (cerca de 50 lm/W). Tem, no entanto, a segunda maior eficiência luminosa de todas as fontes de luz artificiais. As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão estão disponíveis, assim como as lâmpadas de iodetos metálicos, numa enorme gama de formatos, desde a forma elipsoidal, à forma refletora parabólica, sendo extremamente úteis em diversas aplicações, nomeadamente na iluminação pública.

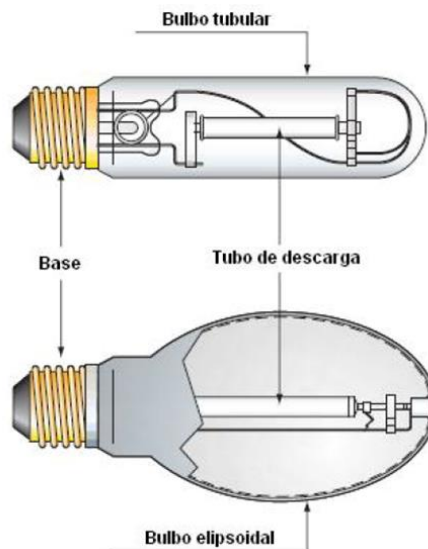


Figura 13 - Detalhes de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [10]

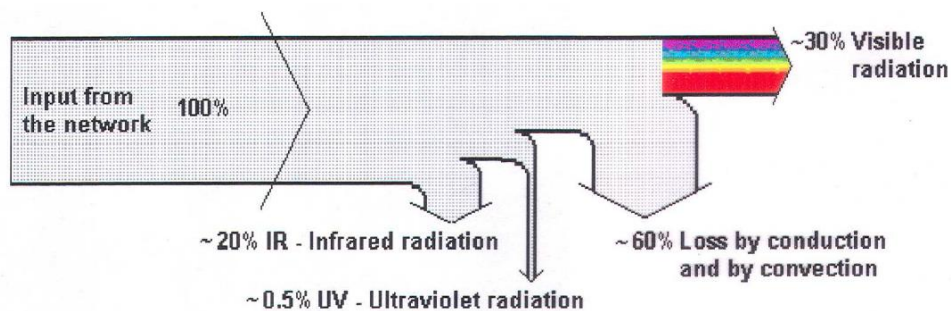


Figura 14 – Diagrama do fluxo de energia e perdas da lâmpada de Vapor de Sódio [8]

Tabela 3 – Características da lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão [10]

Potência	50 – 1 000 (W)
Temperatura de Cor	2 000 – 3 300 (K)
IRC	20 – 40
Eficiência	70 – 140 (lm/W)
Tempo de Vida Útil	16 000 – 32 000 horas

Anteriormente era muito comum o uso da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão por ser uma fonte de luz artificial de maior rendimento, chegando a apresentar uma eficiência luminosa superior a 180 lumens/Watt. No entanto, tinha a desvantagem de possuir um espectro praticamente monocromático na região do amarelo, o que fazia com que se caracterizasse por ter o pior índice de restituição de cor de todas as fontes luminosas. Adicionalmente, tinha dos tempos de vida útil mais baixos [10].

2.3.3.2. Tecnologias Emergentes - LEDs

O diodo emissor de luz (LED – *Light emitting diode*) transforma a energia elétrica em luz num cristal de semicondutor. Tal transformação é diferente da encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução), pois nos LEDs a transformação de energia elétrica em luz é efetuada dentro da matéria sólida, daí que também seja denominada de iluminação em estado sólido (SSL – *Solid State Lighting*). Com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico e aparecimento de novos materiais, os LEDs têm vindo a ser produzidos com custos cada vez menores, proporcionando uma gama cada vez maior de aplicações, como sinalização e iluminação de ambientes em geral. Já entraram no mercado de iluminação de interiores para substituir as lâmpadas incandescentes e de descarga, estando agora a dar os primeiros passos em aplicações no domínio da iluminação pública. Pelas suas características, os LEDs têm adquirido uma grande preferência por parte dos arquitetos e *lighting designers*, que assim passaram a dispor de um novo recurso capaz de proporcionar conceções de iluminação mais eficientes, funcionais e artísticas.

O LED (Figura 15) é constituído por um diodo de semicondutor chamado chip, que é encapsulado em material plástico, cerâmico ou resina. Esta cápsula poderá ter formas e tamanhos variados, consoante os quais são estabelecidas as características óticas do LED. Geralmente um segundo controlador ótico (lente ou difusor) é introduzido na cápsula. Desta forma, o rendimento ótico do sistema será definido quer pela forma e tamanho do LED, quer pela configuração da lente e da sua distância ao chip.

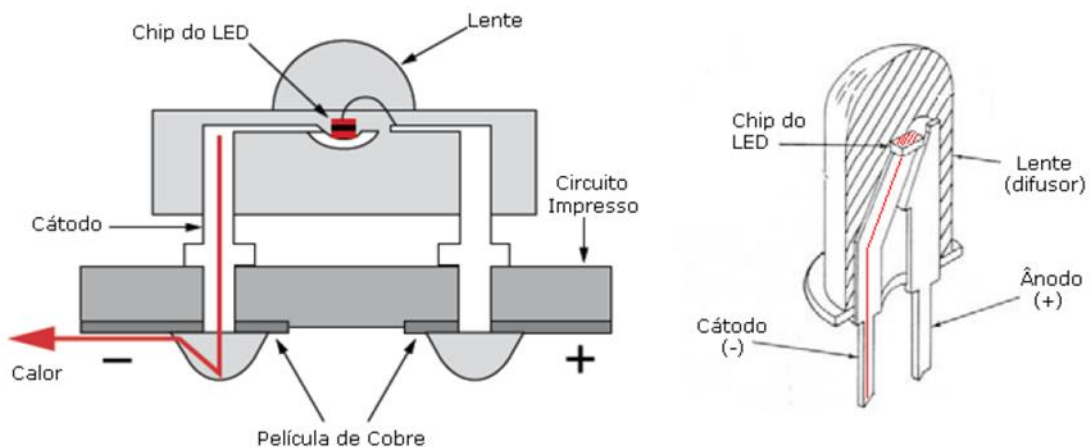


Figura 15 - Estrutura de um LED em circuito impresso (esquerda) e perfil do LED (direita)[10].

O funcionamento de uma lâmpada de LEDs só é possível através de uma fonte de alimentação especial, o driver, que irá converter a tensão alternada da rede em tensão contínua. Dependendo da sua polarização, o LED irá permitir, ou não, a passagem de corrente elétrica gerando, ou não, luz.

Os elétrons movem-se da região N, através da junção PN do díodo semiconductor, até atingirem a região P, onde se recombinam com cargas positivas (lacunas) e vice-versa. Quando duas cargas se recombinam, são libertados fótons cuja energia é igual à largura da banda proibida, que corresponde à energia necessária para que o elétron efetue a transição da banda de valência (quando o semiconductor tem características de isolante) para a banda de condução.

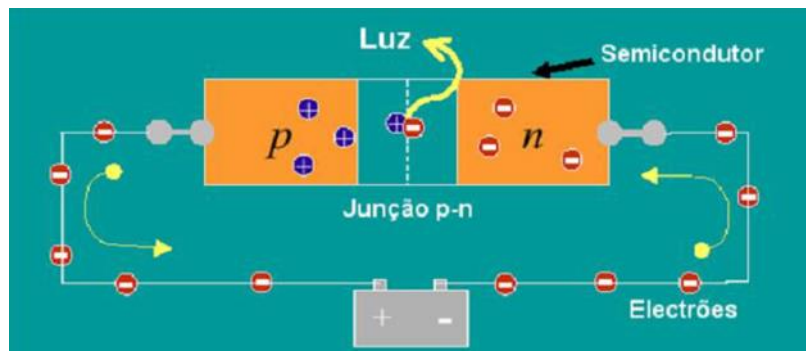


Figura 16 - Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [10].

Este fenómeno acontece em qualquer díodo. No entanto, só é visível se o díodo for composto de um material específico. Por exemplo, num díodo de silício, a baixa frequência do fóton libertado é invisível ao olho humano (está na região do infravermelho). Ao invés das lâmpadas incandescentes, os LEDs mais simples emitem uma luz monocromática, sendo que a cor da luz irá depender do:

- Material utilizado na sua composição.
- Largura de banda proibida do semiconductor.

De modo a termos um díodo emissor de luz visível, é necessário escolher materiais que possuam uma largura de banda proibida maior que a do silício. Esse valor irá determinar o comprimento de onda do fóton e, desta forma, a cor da luz emitida [10].

2.3.4. Balastros

Os balastros eletromagnéticos ou simplesmente magnéticos são constituídos, principalmente, por um grande número de espiras de cobre sobre um núcleo ferromagnético laminado. As perdas de Joule que ocorrem no cobre e as perdas de histerese no núcleo ferromagnético proporcionam uma redução entre 5% a 25% da potência de entrada da lâmpada. Este valor irá depender das dimensões e construção dos circuitos elétrico e magnético do balastro. Podem ser considerados três tipos de balastros magnéticos: Balastros de perdas elevadas, Balastros convencionais e Balastros de perdas reduzidas. Os balastros eletromagnéticos mais comuns que podem ser encontrados são o Balastro indutivo, o Balastro autotransformador e o Balastro autorregulador.

Os balastros eletrônicos, são utilizados em substituição dos balastros magnéticos para a alimentação das lâmpadas fluorescentes (incluindo aqui as lâmpadas fluorescentes compactas) e algumas outras lâmpadas de descarga. Asseguram igualmente a função de arrancador e não necessitam de condensador de compensação. O princípio de funcionamento consiste em alimentar o arco da lâmpada por um dispositivo eletrônico que gera uma tensão alternada de forma retangular. Distinguem-se os dispositivos de baixa frequência ou híbridos, cuja frequência está compreendida entre 50 e 500 Hz e os dispositivos de alta frequência cuja frequência está compreendida entre 20 e 60 kHz. A alimentação do arco por uma tensão de alta frequência permite eliminar totalmente o fenômeno de cintilação e o efeito estroboscópico. Este é totalmente silencioso, sendo que no decurso do período de pré-aquecimento da lâmpada de descarga este balastro fornece à lâmpada uma tensão crescente, impondo uma corrente quase constante. Em regime permanente, ele regula a tensão aplicada à lâmpada independentemente das flutuações da tensão da rede. Sendo o arco alimentado nas condições ótimas de tensão resulta uma economia de energia de 5 a 10% e um aumento da duração de vida da lâmpada. Por outro lado o rendimento de um balastro eletrônico pode ultrapassar os 93%, enquanto que o rendimento médio de um balastro magnético anda à volta dos 85%. O fator de potência é elevado ($> 0,95$). O balastro eletrônico permite igualmente assegurar a função de variação do fluxo luminoso. A variação da frequência permite com efeito fazer variar a amplitude da corrente no arco e portanto a intensidade luminosa [10].

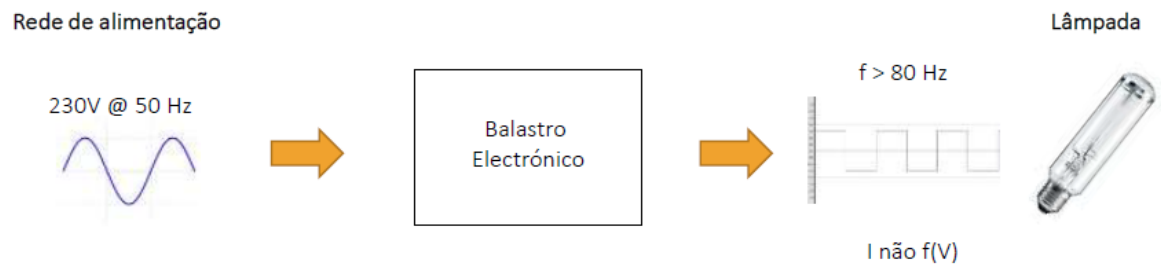


Figura 17 – Esquema exemplificativo do funcionamento de um Balastro eletrônico

3. Sistemas de Controlo e Gestão de Energia

3.1. Introdução

Os sistemas de controlo regulam o funcionamento dos sistemas de iluminação em função de um sinal externo, através de dispositivos específicos. São sistemas automáticos que facilitam a economia no consumo energético sem colocar em causa a segurança, através da otimização do sistema de iluminação pública.

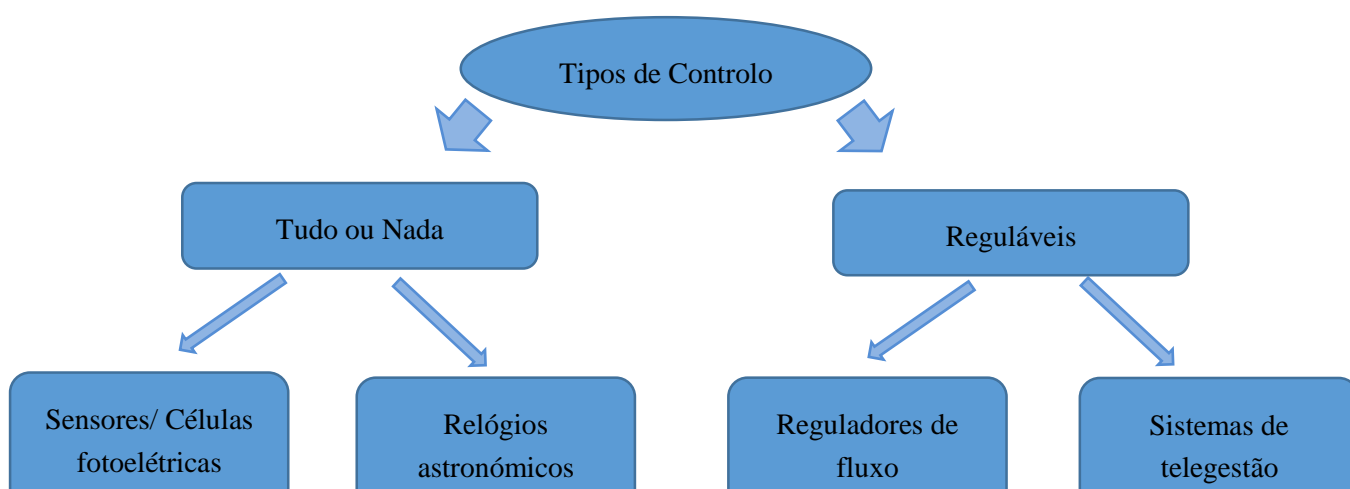


Figura 18 – Tipos de controlo do sistema de iluminação pública

Existem sistemas de supervisão e controlo da rede de iluminação pública que apenas se restringem ao controlo, monitorização local ou transporte de dados, bem como sistemas que facilitam o controlo e supervisão remota da rede. O controlo e supervisão do sistema de iluminação pública podem ser de controlo, de monitorização ou que integrem o controlo e monitorização com *software* de gestão. A abordagem destes sistemas pode ser individual ou centralizada. No primeiro caso, o controlo e monitorização é feito de forma independente para cada ponto de iluminação, enquanto que, no segundo caso, vários pontos de iluminação são controlados no armário central do sistema de iluminação.

3.2. Sensores / Células Fotoelétricas

O horário de ativação das luzes que integram o sistema de iluminação pública não deve ser feito utilizando temporizadores com horários pré-definidos já que, o horário do nascer do sol varia de dia para dia e em dias de nevoeiro ou chuva intensa pode escurecer mais cedo, sendo necessário ativar o sistema em função da escuridão do ambiente para garantir a segurança da população. Desta forma, o método mais eficaz, para controlar a ativação das luzes, é recorrer a sensores de luz ambiente.

Estes sensores utilizam células fotoelétricas que reagem às alterações da luminosidade do ambiente que as rodeia. Assim, a iluminação é ligada ou desligada em função da informação recolhida por estas células, facilitando a gestão eficiente do sistema de iluminação pública.

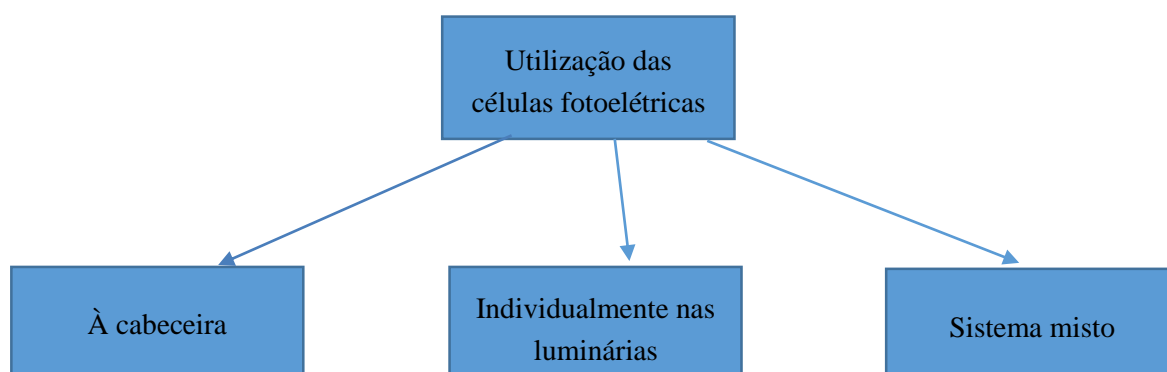


Figura 19 - Formas de utilização das células fotoelétricas.

A forma de utilização das células fotoelétricas é variável, sendo que cada uma das opções disponíveis apresenta vantagens e desvantagens. Quando se opta pela colocação à cabeceira, esta célula envia informações a um determinado número de luminárias, no entanto, se uma rua possui vários circuitos de iluminação, com diferentes células fotoelétricas colocadas à cabeceira de cada um deles, pode não haver sincronização no momento de ligar e desligar os circuitos. Este problema de sincronização, também pode ocorrer quando se opta por colocar as células fotoelétricas, individualmente, em cada luminária. Por fim, a solução escolhida poderá ser colocar células fotoelétricas à cabeceira e também em cada luminária. Neste caso, o sistema utilizado à cabeceira regula o ato de ligar e desligar, enquanto que as individuais regulam o fluxo de cada luminária. Porém, este controlo individual, por luminária, apenas é eficiente se o sistema for acrescido de sistemas avançados de telegestão [10].

3.3. Relógio Astronómico

O relógio astronómico é um programador eletrónico-digital, que através de um comando ON/OFF permite controlar automaticamente as ligações e os cortes da iluminação pública, tendo em conta, o pôr e o nascer do sol. Desta forma, o relógio astronómico vai funcionar, em termos de horário, conforme a variação do ciclo solar. Assim, só onde o sensor crepuscular não se encontra na localização mais correta, é que o consumo energético é menor, se bem que, com as opções atuais do mercado, já é possível otimizar a eficiência energética. A função deste relógio passa, também, por impedir que ocorram problemas em locais controlados por diferentes células, ou seja, previnem arranques não sincronizados.

No sistema interruptor horário antigo, a iluminação pública era ligada e desligada sempre à mesma hora, excetuando casos em que se procedesse a um ajustamento manual do respetivo relógio. Porém, o relógio astronómico, adapta o seu horário de funcionamento às estações do ano e o comando ON/OFF é ajustado à localização geográfica onde opera.

Em suma, o relógio astronómico permite:

- 1) Calcular diariamente as ações ligar/desligar, conforme a latitude e longitude (em graus e minutos) da respetiva localização geográfica;
- 2) Ser utilizado em qualquer região geográfica do mundo, procedendo apenas à programação prévia;
- 3) Alterar, de forma automática, o horário de inverno e verão;
- 4) Utilizar outra programação, que não a astronómica;
- 5) Incluir uma programação diferente, sejam interrupções horárias, sejam para dias feriados, no ciclo de funcionamento astronómico [10].

O relógio astronómico pode funcionar isoladamente como controlador de rede de iluminação pública, ou então, pode ser auxiliar dos reguladores de fluxo ou dos sistemas de telegestão, transmitindo o sinal de ligação ou corte das lâmpadas no sistema.



Figura 20 - Exemplo de Relógio Astronómico

Assim, o relógio astronómico é um dispositivo programável, cuja função pode ser ligar ou desligar a instalação, tendo como orientação o nascer do sol. Para ligar ou desligar o relógio astronómico da iluminação, o relé possui duas posições: aberto ou fechado. Desta forma, o relé ficará na posição “aberto”, em caso de avaria no sistema [11].

3.4. Reguladores de Fluxo a Instalar à Cabeceira do Sistema de IP

Os sistemas de regulação de fluxo luminoso têm como função regular a intensidade da iluminação durante os períodos de menor atividade, por exemplo, estes sistemas facilitam que haja uma menor luminância durante períodos noturnos de menor tráfego, sem, no entanto, reduzir a extensão dos dispositivos luminosos [10].

Considera-se fluxo luminoso a quantidade de luz emitida por unidade temporal, neste caso, a unidade de medida é lúmen (lm) [8].

Um regulador de fluxo pode ter várias utilizações, ou seja:

- a) Estar incorporado num sistema de telegestão (recebe diretrizes do Sistema Central de Gestão);
- b) Dar início ao seu ciclo a partir de um sinal recebido através de um sensor de luminosidade;
- c) Iniciar através de um relógio astronómico (a tensão vai sendo aumentada até o valor definido).

Os reguladores de fluxo são utilizados para alterar a intensidade da luz, porém, esta não é a sua única funcionalidade. Assim, cabe aos reguladores de fluxo estabilizar a tensão, de forma a garantir a longevidade da lâmpada, proporcionar consumos energéticos mais baixos, entre 5 a 7% e, regular a tensão que ultrapassa o respetivo valor nominal [7].

Há vários sistemas de regulação de fluxo luminoso, de instalar à “cabeceira”, nas redes de iluminação pública:

- a) Eletrónicos (recorrem a eletrónica de potência
- b) Com utilização de Autotransformadores, em que a comutação é feita através de:
 - i. Circuitos eletromecânicos, nomeadamente relés ou contadores, acionados de modo eletrónico.
 - ii. Circuitos estáticos eletrónicos, nomeadamente Triacs, IGBTs, Alternistor e tirístores, regulados através do sistema eletrónico de controlo.
 - iii. Autotransformadores motorizados que controlam a tensão idónea a injetar no secundário do autotransformador principal (booster), para garantir a tensão necessária para diminuir ou aumentar à tensão do primário, ou seja, à tensão de saída. Esta diminuição na tensão é possível através de injeção de determinada tensão em inversão de fase.

Em suma, as principais características que determinam o funcionamento dos reguladores de fluxo são:

- a) a qualidade da tensão de distribuição não é degradada, pelo menos significativamente;
- b) os harmónicos só acontecem durante a transição dos patamares, sobretudo no circuito do secundário do autotransformador de potência, já que este causa um isolamento entre os circuitos primário e secundário.
- c) durante a ativação dos patamares podem ocorrer perturbações audíveis;
- d) dependendo do regulador, a potência de perdas pode variar entre 55 (W) e 170 (W).

A utilização de reguladores de fluxo aumenta a longevidade de grande parte das lâmpadas, diminuindo, por sua vez, a redução de fluxo luminoso que pode ocorrer no tempo de vida da lâmpada. Para conseguir alcançar estes objetivos tem que se assegurar um acompanhamento adequado dos parâmetros do regulador de fluxo, para que a tensão nas lâmpadas seja a menor possível.

Embora quase todos os tipos de lâmpadas, utilizadas na iluminação pública, possam ser reguladas, a poupança conseguida varia em função do respetivo tipo.

Sendo a regulação do fluxo luminoso provocada pelo abaixamento da tensão do circuito IP, torna-se necessário garantir que a tensão aplicada a para cada tipo de lâmpada não é inferior aos valores do seguinte.

Tabela 4 - Poupança energética conseguida com a regulação de fluxo por tipo de lâmpada.

Tipo	Tensão mínima	Poupança
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 equipamento de controlo	190 (V)	35 – 45%
CFLs	190 (V)	30 – 35%
Iodetos metálicos	183 (V)	40%

Assim, através dos reguladores de fluxo, não é necessário desligar pontos de luz para obter uma poupança energética entre 25 a 50%. Para além de se evitar zonas de sombra, a regulação de fluxo também contribui para minorar a poluição luminosa.

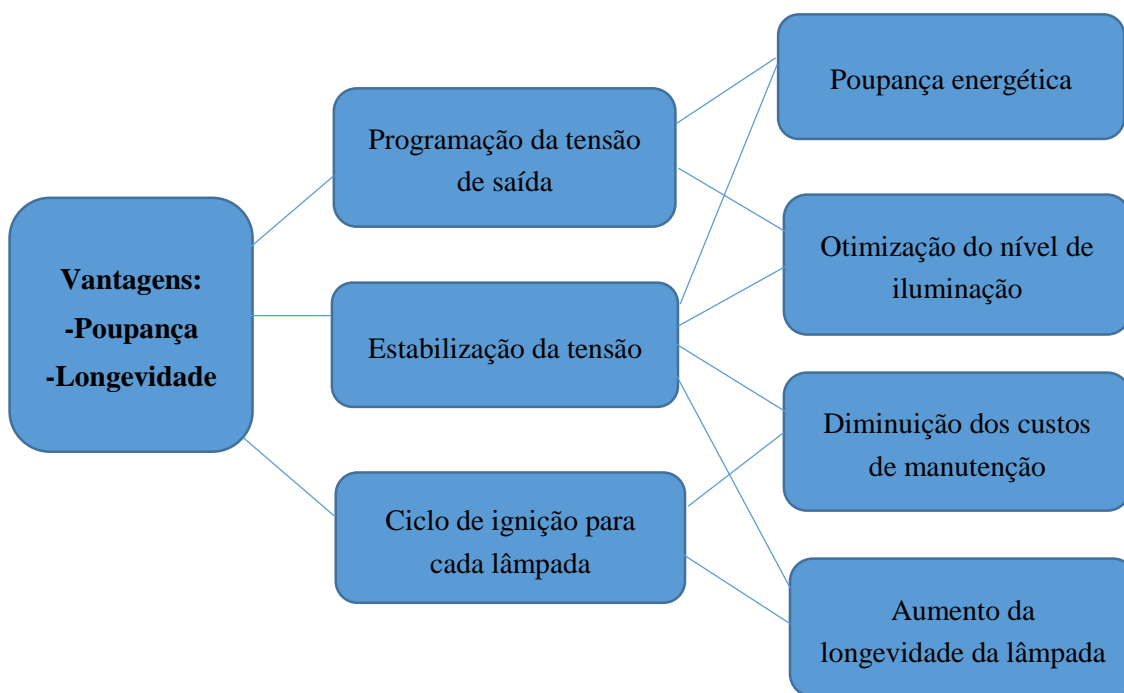


Figura 21 - Vantagens dos reguladores de fluxo.

Os sistemas de regulação de fluxo não trazem grandes vantagens económicas para redes com menos de 50 luminárias. Por outro lado, estes sistemas operam reduzindo a tensão e existem redes com vários tipos de lâmpadas, bem como lâmpadas com tempo de vida diferente, assim, os resultados de regulação para cada uma delas será também variável. Também se deve ter em consideração que quando a regulação da tensão é aplicada à cabeceira, o potencial vai ser diferente nos diferentes pontos da linha. Logo, apenas as lâmpadas com tensão mínima adequada aos respetivos terminais se vão manter ligadas e, em caso de avaria, algumas lâmpadas podem não conseguir atingir um valor de tensão de ignição que garanta o seu reacendimento.

Outro fator a ter em conta é o facto de os reguladores de fluxo necessitarem de manutenção, logo apesar da poupança na longevidade das lâmpadas, essas despesas de manutenção para que os equipamentos permaneçam ativos tem que ser contabilizada.

3.4.1. Exemplos de Reguladores de Fluxo

1) Compacto®

O sistema Compacto® foi criado por uma empresa francesa denominada *Augier SAS*. Este sistema facilita a variação e regulação de tensão num conjunto de lâmpadas.

A técnica utilizada por este sistema é de injeção de tensão em oposição de fase para, assim, conseguir variações de tensão na saída do equipamento. Desta forma, é possível que este equipamento alimente várias lâmpadas de forma controlada, podendo a potência ser reduzida, o que reduz também o fluxo luminoso, permitindo assim baixar o consumo de energia.

A regulação energética deste sistema tem como base ciclos pré-programados de iluminação, nos quais são contempladas as diferenças entre dias de semana e fins-de-semana, bem como as estações do ano.

Este equipamento permite reduzir os gastos de energia entre 30% a 45%, aumentando, simultaneamente a durabilidade das lâmpadas. Existem várias versões: de 3 a 24 kVA (monofásico) e de 9 a 72 kVA (trifásico).

A versão monofásica do equipamento tem as seguintes especificidades:

- a) Funciona com os vários tipos de lâmpadas disponíveis no mercado;
 - b) Tem uma eficiência de 98,5%;
 - c) A alimentação é de $230V \pm 10\%$ (45Hz a 65Hz);
 - d) Usa uma potência de 0 a 24 KVA, sendo a variação desta entre 0 e 100%;
 - e) Possui uma proteção térmica e de curto-circuito;
 - f) O By-pass é automático e;
 - g) Faculta a indicação do estado (ON, Fault e Modo de economia) em indicadores LED
- [21]



Figura 22 - Sistema Compacto®

2) **Servitec® - RF16TLCB**

O estabilizador de Tensão e Regulador de Fluxo RF16TLCB foi desenvolvido pela Servitec e é uma solução que permite uma correta otimização da energia lumínica na iluminação pública. Através de controlo remoto, permite a visualização de todos os parâmetros relacionados com o funcionamento da máquina, e ainda dispõe de um sistema de supervisão que envia mensagens SMS com alarmes para o telemóvel pré configurado e para o email.

A tecnologia deste equipamento utiliza a comutação por contactores baseada num sistema binário de 4 bits e com uma resolução de 16 posições diferentes de tensão podendo assim ser possível a regulação entre 205 e 246V.

Esta gama possível de regulação permite garantir resultados muito positivos, tanto em termos de poupança como de duração das luminárias.

Esta solução tem ainda a vantagem de estar equipada com um microcontrolador por fase (módulo independente) e um módulo de telegestão que controla o sistema interativo de comunicações das três fases com o centro de controlo, permitindo assim uma intervenção fácil em caso de avaria ou ampliação da instalação, pois apenas seria necessário substituir um módulo por outro, destacando que a mesma envolvente suporta potências entre 8 e 80 kVA, evitando deste modo fazer obras em caso de ampliação da potência do regulador.

O equipamento dispõe de 4 sistemas diferentes para conseguir a poupança, todos eles equipados com limitação de nível máximo de poupança comum. Será necessário fixar previamente esse valor nas instalações em que, pela distância ou pela idade das luminárias, uma diminuição excessiva da tensão faça com que não se comporte de igual maneira no início e no final do sistema.

Este sistema de poupança é composto por nove níveis e a duração em cada nível varia segundo o sistema de poupança que se utilizar.

Os níveis são: 5% (215V), 10% (210V), 15% (205V), 20% (200V), 25% (195V), 30% (190V), 35% (185V), 40% (180V), 45% (175V). [22]



Figura 23 - Sistema Servitec®

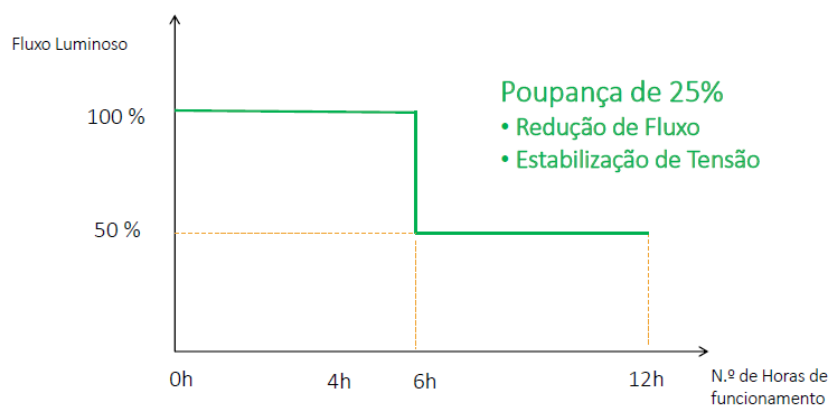


Figura 24 – Exemplo do horário de funcionamento de um Regulador de Fluxo

3.5. Sistemas de Telegestão

Os sistemas de telegestão são dispositivos utilizados para a gestão, controlo e monitorização das redes de iluminação pública. São sistemas de telecomunicações destinados à gestão remota e individual, que facilitam uma variação precisa e seletiva da intensidade da luz.

Atualmente, devido ao panorama económico, torna-se cada vez mais pertinente reduzir os custos da iluminação pública. Neste sentido, os sistemas de telegestão têm-se imposto, cada vez mais, como a solução para reduzir o fluxo de iluminação e, desta forma, todos os gastos associados.

A utilização de sistemas integrados de telegestão tem várias vantagens, entre as quais:

- a) Presença de uma camada aplicacional simples;
- b) Presença de uma camada aplicacional normalizada;
- c) O facto de o cliente não ter conhecimento do nível de complexidade de gestão dos sistemas integrados;
- d) Permite um controlo centralizado do sistema telegerido;
- e) Facilita a integração de sistemas que exigem gestão diferenciada, desde que obedçam ao mesmo padrão tecnológico;
- f) Permite a integração de sistemas que utilizem diferentes tecnologias de comunicação com os pontos luminosos;
- g) Está apto para traçar uma rede inteligente capaz de reagir a estímulos vindos do espaço envolvente;
- h) Possui uma base de dados central que permite analisar a informação recebida dos diversos sistemas;
- i) Em caso de avaria, o funcionamento dos sistemas de telegestão não incapacita os sistemas de recorrerem aos procedimentos mínimos programados;
- j) Faculta um conhecimento vasto e profundo sobre o sistema de iluminação instalado [18].

Em suma, uma vez que os gastos com a iluminação pública constituem uma importante percentagem do consumo de energia e de emissão de dióxido de carbono, na grande maioria dos municípios nacionais, torna-se urgente controlar e reduzir o consumo energético público. Assim, para além da escolha de luminárias energeticamente mais eficientes e de equipamentos de regulação de fluxo, o recurso aos sistemas de telegestão tem sido uma boa opção. Estes facilitam a gestão remota da iluminação pública, possibilitando que o fluxo de energia seja menor quando não há necessidade de gastos maiores.

3.5.1. Exemplos de Sistemas de Telegestão

3.5.1.1. Sistema de comunicação MASTER

Este sistema de comunicação está ligado ao regulador de fluxo, ao DPR (proteção magneto térmica e diferencial rearmável) ou a um contador de energia. Faculta a recolha de dados, a comunicação de avarias através de *sms* ou via email e a listagem mensal das leituras do contador.



Figura 25 - Sistema de comunicações – MASTER

Este módulo de telegestão tem como principais características:

- Possibilidade de efetuar comunicações por GSM/GPRS, por rádio, por fibra ótica ou por ligação direta, com um cabo serie standard, a um PC, ou por GSM/GPRS com um pocket PC;
- Possui 32 entradas digitais;
- Possui relógio astronómico programável desde o centro de controlo;
- Tem 3 saídas auxiliares programáveis.

O objetivo central deste módulo é apurar o estado dos dispositivos em tempo real, ou seja, efetuar a leitura de dados de cada momento, bem como dos dados armazenados durante a noite, e também proceder aos avisos de anomalias via *sms* para vários números de telemóveis e para um endereço de email.

O tipo de informação enviada acerca do estado dos dispositivos é referente aos seguintes parâmetros:

- Não há resposta na fase;
- By-pass total na fase;
- By-pass remoto na fase;
- Tensão baixa na fase;
- Excesso de temperatura na fase;
- Excesso de carga na fase;
- Falta de carga na fase;
- Sobretensão na fase;
- By-pass total externo na fase [25].

3.5.1.2. Sistema OWLET

Este é um sistema global de telegestão da iluminação pública, produzido pela *Schröder* [13]. O seu funcionamento assenta na tecnologia *Wireless (ZigBee)*, o que facilita a implementação, de redes de iluminação pública, em diferentes ambientes e topologias. A tecnologia *ZigBee* está disponível em duas formas: *ZigBee* e *ZigBee PRO*. A primeira destina-se a redes de pequena escala e com centenas de dispositivos. Por sua vez, a segunda facultava a comunicação entre milhares de dispositivos, permitindo a gestão dos mesmos[15].

As características principais destas duas formas são:

- 1) Operar na frequência 2.4 GHz (no continente americano: 915 GHz e no europeu: 868 GHz)
- 2) Recorrer a 16 canais para incrementar a rapidez da comunicação;
- 3) Ter um baixo consumo de energia;
- 4) Permitir a descoberta automática dos nós da rede, requerendo a validação dos nós para os incorporar na rede;
- 5) Possuir definição de topologia em estrela na *Personal Area Network (PAN)*;
- 6) Ter vários mecanismos de transmissão;
- 7) Possuir mecanismos de segurança que recorrem a chaves de segurança;
- 8) Recorrer ao AES-128 para encriptar a comunicação

Desta forma, a tecnologia *ZigBee* poderá ser comparada às redes *Wi-Fi* e *Bluetooth* [15][23].

3.5.1.3. Sistema SIGE Schröder

Este sistema, também produzido pela *Schröder*, permite a gestão da iluminação pública, e segundo a marca, pode gerar economia direta nos consumos de energia na ordem dos 50% a 60%, dependendo da solução escolhida e do tipo de gestão a realizar, bem como um aumento da vida útil das lâmpadas na ordem dos 35 a 50% e uma substancial redução dos custos de Manutenção dos equipamentos.

O tipo de comunicação nesta solução é o PLC (*powerline Carrier*), e caracteriza-se pela utilização dos próprios cabos de distribuição de energia para realizar todo o processo de envio e receção de informações entre candeeiros e respetiva unidade central de gestão.

Basicamente, em cada candeeiro existe um módulo de comando (TMX) que fará a gestão do Balastro Eletrónico Regulável e a montante da instalação é instalado uma Unidade de Gestão e Comando (TCU).



Figura 26 - TCU – Unidade de Controllo e Comando

Esta é a unidade central de gestão de todo o sistema SIGE, instalada à cabeça da instalação, e fisicamente ligadas aos circuitos de saída do armário de IP e as funções principais são a: Monitorização, Telecomando, Redução de Fluxo, Gestão da instalação remota.

Na imagem seguinte é possível visualizar a arquitetura desta solução, que contempla com principais vantagens a poupança direta com a instalação do balastro eletrónico na ordem dos 10 a 15%, o aumento da vida útil das lâmpadas entre 30 a 50%, possibilidade de regulação do fluxo vários níveis (normalmente a 100%, 75%, 50% e 0%), desligar as lâmpadas defeituosas ou em fim de vida, com envio de alerta, permite o controlo individual ou global das luminárias e a manutenção e estabilização dos níveis de iluminação, e a regulação fixa da tensão fornecida às lâmpadas, independentemente da fornecida pela rede, entre 190 e 265V [24].

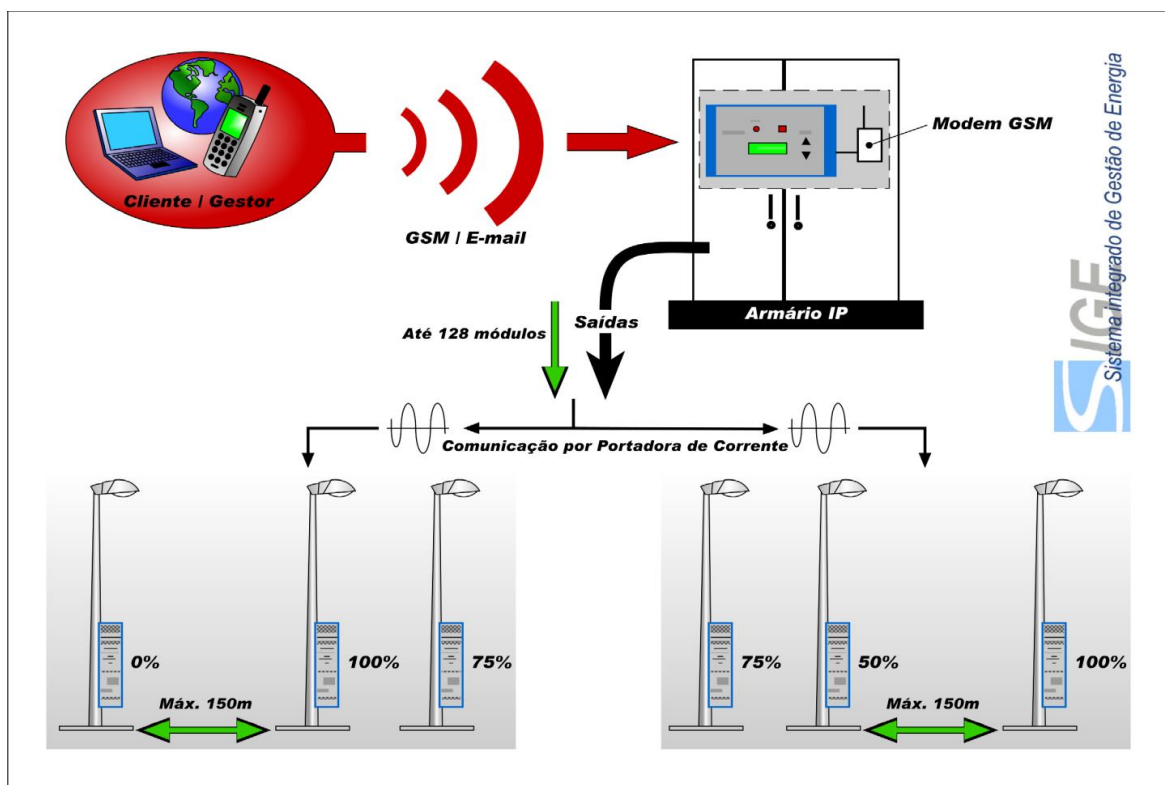


Figura 27 - Arquitetura do sistema SIGE (Schröder)

3.6. Conclusão

Os sistemas de telegestão da iluminação pública ainda necessitam de ser aperfeiçoados em vários aspetos, em particular no que se refere às competências de integrar e unificar. A Tabela 5 que se segue, sintetiza e apresenta as tecnologias disponíveis no mercado.

Tabela 5 - Sistemas de regulação de fluxo

Tecnologia	Potência nominal (kVA)	Rendimento (%)	Vida útil (horas)	Poupança máxima (%)	Poupança Média (%)	Varição Fluxo φ (lm)
Regulador de fluxo sem transformador, e sistema de comutação estático (Triacs IGBT's)	7,5 - 45	96-98	60.000	40,00%	37,00%	Variável
Regulador de fluxo com transformador, e sistema de comutação estático (Triacs IGBT's)	7,5 - 120	> 97	60.000	40,00%	37,00%	Variável
Regulador de fluxo com transformador, e sistema de comutação eletromecânico (contactores)	8 - 80	98,8	80.000	45,00%	37,00%	Variável

Os reguladores de fluxo a utilizar nos circuitos de iluminação pública têm que obedecer a determinadas normas. Assim, os reguladores de fluxo que integram luminárias com lâmpadas de descarga de alta pressão de vapor de sódio e de iodetos metálicos, inseridas na iluminação pública em redes aéreas ou subterrâneas regem-se pelas seguintes normas [25].

4. Tecnologia LED para Iluminação Pública

4.1. Introdução

A maioria das lâmpadas utilizadas na iluminação pública são lâmpadas de descarga em gases, já que são consideradas mais eficientes relativamente às lâmpadas de halogéneo e mesmo aos LED [17].

A iluminação LED tem vindo a assumir cada vez mais relevância.

O LED (*Light Emitting Diode*) é um díodo semiconductor (P-N) que irradia radiação ótica, ou seja, que converte a eletricidade diretamente em luz [20]. A luz é emitida a partir da construção física, do material usado e da corrente de excitação. No espetro, a luz dos LEDs encontra-se nas zonas dos ultravioletas, do visível ou do infravermelho [14].

Por luminária, entende-se um mecanismo que distribui, filtra ou transforma a luz fornecida por uma ou várias lâmpadas. Este conceito compreende as várias peças utilizadas para apoiar, fixar e proteger as lâmpadas, bem como auxiliares de circuito e respetivos meios para os ligar à fonte. No entanto, este conceito não abrange as luzes.

Na rede de iluminação pública, as luminárias têm que obedecer a determinados requisitos:

- a) Serem seguras elétrica e mecanicamente;
- b) Garantirem a segurança fotobiológica;
- c) Não ultrapassarem o permitido em termos de poluição harmónica, respeitando a norma EN 61000-3-2;
- d) Cumprirem as condições de características fotométricas, conforme a norma EN 13201-2 e anexo I da portaria 454/2001 de 5 de Maio;
- e) Ter características construtivas que tenham o intuito de assegurar o correto funcionamento das luminárias, bem como a sua longevidade, respeitando as especificações do fabricante.

As especificações apresentadas visam: assegurar um sistema capaz de se desenvolver a par com a evolução tecnológica, sobretudo no que diz respeito à eficiência dos LEDs e dos controladores de alimentação; garantir que um sistema modular possa ter diferentes fabricantes para cada um dos módulos, em particular nos controladores de alimentação, no corpo da luminária, na matriz de LEDs e no sistema de comunicações e controlo e; proporcionar um leque de soluções predefinidas que possam ser utilizadas nos diferentes ambientes luminotécnicos [14].

4.2. Constituição da Luminária LED

Na constituição das luminárias existe um grupo de elementos principais:

- a) corpo principal;
- b) fonte de luz;
- c) controlador de alimentação;
- d) ligadores;
- e) equipamento de controlo e;
- f) sensores.

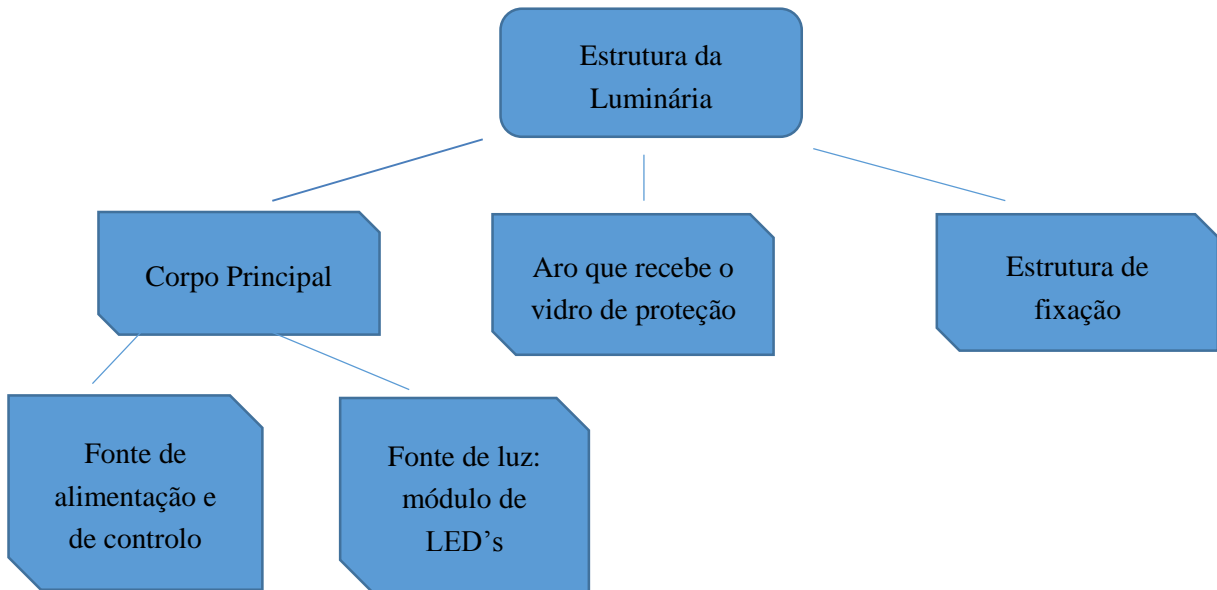


Figura 28 - Estrutura da luminária

No corpo da luminária e no aro, é necessário que o material utilizado possua uma boa condutividade térmica, isto é, no mínimo deverá ter 109 W/mK.

O vidro utilizado no aro deve obedecer às seguintes condições:

- ser neutro de forma que a transmissão luminosa seja no mínimo 90% entre os comprimentos de onda de 380 nm a 780 nm (conforme a norma EN 410);
- ser temperado;
- ter 4 mm de espessura, de forma que a resistência mecânica seja de 25 Mpa de tensão de tração na horizontal e 50 Mpa de tensão de tração vertical (conforme norma EN 12150) [6].

A pintura do corpo da luminária deve ser realizada através do método eletrostático, sendo que a cor mais adequada é a RAL 7035. A tinta, de poliéster, deve ter pelo menos 60 µm de espessura. Este processo de pintura deverá obedecer a quatro etapas:

- 1) Desengorduramento e fosfatação;
- 2) 1ª e 2ª lavagens;
- 3) Polimerização pintura eletrostática: primário;
- 4) Polimerização pintura eletrostática: poliéster para exterior [6].

Para que os condutores de alimentação não oscilem e para garantir a união entre os ligadores de alimentação e os terminais de entrada da luminária, esta deve estar munida com um dispositivo para evitar a tração [14].



Figura 29 - Iluminação LED

4.3. Características

O recurso à tecnologia LED para a iluminação pública tem sido cada vez mais recorrente devido às suas características, entre as quais se destacam:

- a) O incremento tecnológico no fabrico;
- b) A melhoria na qualidade;
- c) O preço mais baixo;
- d) A longevidade dos LED's;
- e) A redução no gasto energético;
- f) A oportunidade de seleccionar a temperatura de cor da luz emitida;
- g) Os baixos requisitos na manutenção e;
- h) As amplas capacidades de *design* [16].

As condições adequadas de funcionamento das luminárias incluem:

- 1) Temperatura do local de instalação entre -10 °C e 40 °C;
- 2) Radiações solares não superiores a 1000 W/m² ;
- 3) Altitude não superior a 2000 m;
- 4) Velocidade do vento não superior a 42 m/s

Entre as características principais do LED utilizado na iluminação pública, destacam-se:

- a) Tipo SMD, de forma a assegurar robustez mecânica;
- b) Produção de luz branca através da conversão do fósforo;
- c) Material insensível às radiações UV;
- d) Lente primária (caso de justifique) em silicone;
- e) Corpo em silicone;
- f) Índice de restituição de cor maior que 80;
- g) Temperatura de cor 5400 K (salvo seja descrita alguma exceção);
- h) Eficiência luminosa não inferior a 100 lm/W;
- i) Funcionamento normal com uma corrente contínua estabilizada de 350 mA [25].

Os LED têm um fluxo direcional que permite direccionar a luz de forma precisa para a zona que se pretende iluminar.

A tecnologia LED não é muito apropriada para grandes potências, já que as lâmpadas não são adaptativas e para conseguir aumentar a potência é necessário aumentar também o número de lâmpadas, o que interfere na poupança desejada [16].

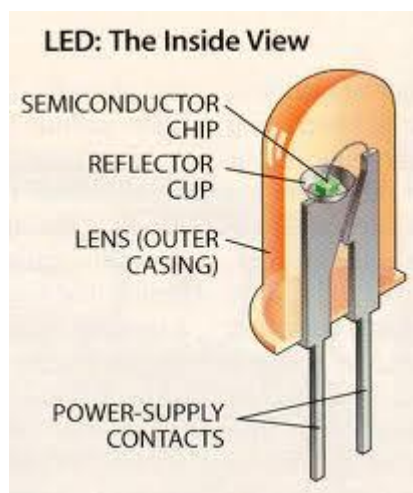


Figura 30 - Funcionamento de um LED

Com a tecnologia LED consegue-se uma melhor qualidade de iluminação devido, sobretudo, ao índice de restituição cromática (IRC) e ao variado leque de temperaturas de cor. A obtenção de um alto nível de IRC faculta uma perceção mais real das cores dos objetos, e desta forma, uma iluminação com mais qualidade o que por sua vez, permite uma maior segurança. Por sua vez, o facto de existirem várias temperaturas de cor, permite ajustar as mesmas ao ambiente a que se destinam, e assim conseguir um maior conforto em termos visuais e uma melhor qualidade de iluminação. As cores mais frias, que correspondem a temperaturas de cor mais elevadas, adequam-se à iluminação rodoviária, enquanto que, as cores mais quentes, que correspondem a temperaturas de cor mais baixas, se adequam melhor à iluminação de centros históricos [19].

Em suma, a tecnologia LED tem aspetos positivos e aspetos negativos. São consideradas mais-valias desta tecnologia:

- a) A redução no consumo energético;
- b) O brilho: incremento no índice de restituição de cor; atrai menos insetos e não envelhece tão rapidamente;
- c) A flexibilidade na temperatura e na cor;
- d) O facto de no arranque alcançar rapidamente o brilho pretendido;
- e) A sua robustez, que a torna capaz de resistir às vibrações [26].

Os aspetos mais negativos desta tecnologia são:

- a) O preço elevado;
- b) A diminuta oferta;
- c) O estado de maturação tecnológico, ou seja, desconhece-se a resistência face às intempéries; a distribuição da luz e a uniformidade do brilho ainda não estão no seu melhor estado e; o desconhecimento face aos reais custos de manutenção [26].

4.4. Eficiência Energética

Cada vez é mais aceite a premissa de que para obter uma boa iluminação, não é necessário produzir muita iluminação, ou seja, esta tecnologia aposta na qualidade de iluminação em detrimento da potência.

Por eficiência energética entende-se a melhor forma possível de consumo de energia, ou seja, a melhor forma de evitar o desperdício de energia, desde a transformação até à utilização da mesma. Para conseguir alcançar a eficiência energética desejada é necessário implementar estratégias e medidas adequadas.

A eficiência energética é uma necessidade dos tempos atuais, não só por motivos económicos mas também por motivos ambientais.

A otimização de um sistema de iluminação pode ser conseguida recorrendo a vários métodos:

- a) Desligar a iluminação nos períodos de menor movimento, recorrendo a sensores e relógios astronómicos;
- b) Utilizar a luz natural sempre que seja uma opção viável;
- c) Utilizar lâmpadas com maior eficiência luminosa;
- d) Utilizar equipamentos de elevada eficiência, tais como balastros eletrónicos [13]

Na tecnologia LED, uma elevada eficiência energética obedece a certos critérios:

- 1) Geometria ótica adequada;
- 2) Espectro luminoso otimizado;
- 3) Elevado desempenho no tempo de vida útil [19].

Os LED apenas irradiam luz num dos seus hemisférios e são dispositivos pequenos, estes dois fatores permitem que a iluminação produzida seja direcionada para o local que se pretende iluminar, o que otimiza a sua utilização. Desta forma, o consumo energético é mais reduzido. O fator de utilização da tecnologia LED é 85 a 90% superior ao das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [15].



Figura 31 - Geometria ótica da iluminação LED

Em suma, devido a um fator de utilização elevado, a utilização da tecnologia LED na iluminação pública, melhora a segurança rodoviária e diminui a poluição luminosa.

Relativamente à visão, a iluminação pública situa-nos na região de visão mesópica. A tecnologia LED tem uma resposta espectral sintonizada com a sensibilidade do olho humano na região mesópica. Esta característica da tecnologia LED é sem dúvida uma vantagem, já que incrementa o desempenho.

Um fator com elevado impacto no consumo energético é a depreciação dos sistemas de iluminação ao longo do tempo. A tecnologia LED apresenta níveis de depreciação, do fluxo luminoso, entre 1 a 2%, enquanto que a tecnologia de vapor de sódio de alta pressão apresenta depreciações na ordem dos 20 a 30%. Assim, a tecnologia LED é mais estável durante o seu tempo de utilização, o que se reflete em poupança económica [19].

5. Projeto de IP com o novo Documento de Referência

5.1. Objetivos do Documento de Referência “Eficiência Energética na Iluminação Pública”

O documento de referência pretende orientar a realização de um projeto de iluminação pública, sugerindo vários parâmetros técnicos, de forma a assegurar uma maior eficiência energética e, desta forma, diminuir a produção de CO₂.

Assim, os principais objetivos do Documento de Referência, elaborado pelo Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, são:

- a) Colocar à disposição dos municípios uma ferramenta que os conduza para soluções de sustentabilidade, em termos de eficiência energética na iluminação. Estas soluções estão pensadas para diferentes tipos de fontes e de tecnologias;
- b) Tornar o projeto mais rico e dinâmico;
- c) Ser referência, quer para instalações novas, quer para requalificações;
- d) Ser referência para elaboração de projetos, nomeadamente projetos no âmbito do QREN;
- e) Confluência com o PNAEE, com as normas internacionais e com a Portaria 454;
- f) Produzir uma classificação das vias conforme os critérios do método simplificado da CIE 115/2010, assente na norma EN 13201;
- g) Adequar os níveis de iluminação às classificações das vias a que se destinam;
- h) Através de tabelas de referência, tornar o fator de manutenção global (FM) disciplinado e uniformizado;
- i) Quanto aos equipamentos, ou estes cumprem as especificações da EN 13032 e as especificações técnicas dos municípios ou concessionários das redes, ou então têm que possuir certificado ENEC;
- j) Limitar o fluxo luminoso para a zona superior, para, desta forma, minorar a poluição luminosa e a luz intrusiva;

k) Criação de um índice de eficiência energética:

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

Em que:

- S: área total que resulta do produto do valor da interdistância entre pontos de luz e a largura total da via e passeios (nos perímetros urbanos, de fachada a fachada);
- E: Iluminância
- P: potência total das luminárias e auxiliares

l) Classificar uma instalação de iluminação pública sob o prisma energético.

5.2. Critérios a considerar em projetos de IP








Classificação Energética das Instalações de Iluminação Pública	
Mais Eficiente	
	
	
	
	
	
	
	
Menos Eficiente	
Instalação:	
Localidade/Rua:	
Horário de funcionamento:	
Consumo de energia anual (kWh/ano):	
Emissões de CO ₂ anual (KgCO ₂ /ano):	
Índice de eficiência energética (ϵ):	
Nível de iluminação média em serviço E_m (lux):	
Uniformidade (%):	
Temperatura de Cor (K):	
Opção por visão mesópica:	
Programação da RFL:	

Figura 32 - Classificação energética das instalações de iluminação pública [9].

Tabela 6 - Índice de eficiência energética das instalações de iluminação pública [9]

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	$\epsilon \leq 15$

A iluminação pública é uma forma de assegurar conforto, segurança e atratividade à zona onde se insere, incrementando a perceção ambiental e causando, desta forma, impacto no comportamento das pessoas.

Assim, os objetivos dos sistemas de iluminação pública são:

- a) Providenciar informação visual para que a circulação, dos peões e dos condutores, nos espaços de lazer, nas estradas e nas ruas, aconteça de forma fácil e segura;
- b) Incrementar a segurança na via pública, minorando a possibilidade de ocorrência de atividades ilícitas;
- c) Facilitar a visão noturna;
- d) Fazer com que zonas comerciais, jardins e centros históricos, se tornem locais agradáveis e aprazíveis;
- e) Fomentar ambientes simbólicos e psicológicos;
- f) Tornar-se integrante na interação social;
- g) Ser uma forma de linguagem visual;
- h) Integrar a paisagem urbana noturna [19].

5.2.1. Otimização

Nos novos projetos de redes de iluminação pública deve ter-se em conta a possibilidade de reduzir a potência ou o número de fontes luminosas. Desta forma, deve recorrer-se à otimização:

- a) do espaçamento;
- b) dos esforços mecânicos;
- c) das características das fontes luminosas e;
- d) da altura dos postes de iluminação [20].

Aumentar a altura dos postes também é útil para prevenir o vandalismo, o que leva a uma poupança relativamente à manutenção dos mesmos. Os postes de iluminação pública podem atingir mais de 50 anos de durabilidade, e são regulados nas séries da norma EN 40 [12].

Os métodos de projeto para os sistemas de iluminação pública de todos os tipos de estradas é regulado pela norma CIE 132-1999. Esta norma faculta também formas para determinar variáveis que devem ser consideradas num projeto otimizado de iluminação pública, tais como: iluminância; luminância; brilho encandeante e tratamento dos dados fotométricos da luminária. Esta otimização permite, com um menor número de postes e luminárias, manter ou melhorar a visibilidade noturna, baixando os custos.

5.2.2. Encandeamento Incomodativo (G)

Por encandeamento incomodativo entende-se a perda da capacidade de ver objetos, e consequentemente a fadiga ocular.

Tabela 7 - Encandeamento Incomodativo

$G = IEL + VRI$
G: índice de deslumbramento incomodativo
IEL: índice específico da luminária
VRI: valor real da instalação

5.2.3. Encandeamento perturbador (TI)

O encandeamento perturbador (TI), também denominado incremento limiar, corresponde à diminuição da capacidade visual e da sensibilidade a contrastes, produzindo-se um aumento de contraste. Os reflexos da deficiência de equipamentos de iluminação podem provocar clarões luminosos, fazendo com que o utilizador perca as capacidades visuais.

Tabela 8 - Encandeamento Perturbador

$TI = (65 L_v) / (LM)^{0.8}$
L _v : luminância de velo total em cd/m ²
L _m : luminância média da via rodoviária em cd/m ²

5.2.4. Fator de Manutenção

5.2.4.1. Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada

A taxa precisa do fator de manutenção da luminosidade da lâmpada depende quer do tipo de fonte de luz, quer do balastro, já que o fluxo luminoso vai diminuindo com o decorrer natural do tempo. Esta redução pode ser minorada efetuando substituições das fontes de luz mais frequentemente.

Tabela 9 - LLMF para vários tipos de lâmpadas

Lâmpada	Tempo de operação (1000 horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de sódio de alta pressão	0.98	0.97	0.94	0.91	0.9
Halogenetos Metálicos	0.82	0.78	0.76	0.74	0.73
Vapor de Mercúrio	0.87	0.83	0.8	0.78	0.76
Vapor de sódio de baixa pressão	0.98	0.96	0.93	0.9	0.87
Fluorescente tubular	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91
CFL	0.91	0.88	0.86	0.85	0.84

Na tecnologia LED, para 65000 horas o LLMF é de 0.7, enquanto que para 12000 horas é 0.95.

5.2.4.2. Fator de Sobrevivência da Lâmpada (LSF)

O fator de sobrevivência da lâmpada ou fonte de luz (LSF) traduz-se na probabilidade que as fontes de luz têm de se manterem funcionais num dado período de tempo [12].

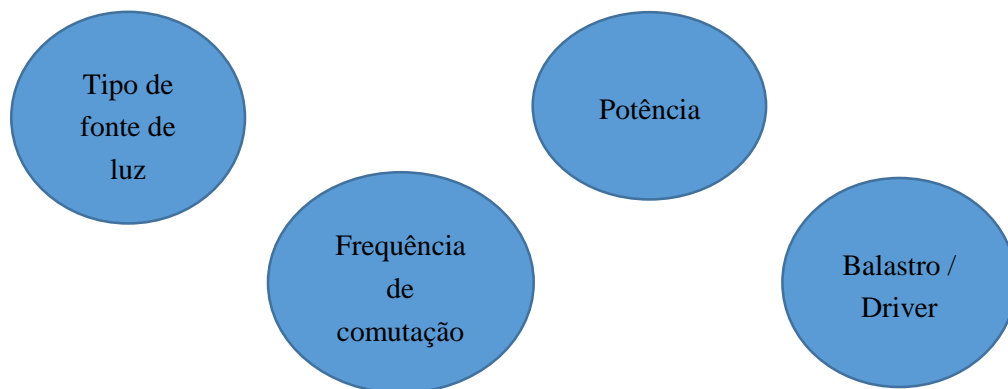


Figura 33 - Variáveis que interferem na taxa de sobrevivência

Tabela 10 - LSF para vários tipos de lâmpadas

Lâmpada	Tempo de operação (1000 horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de sódio de alta pressão	0.98	0.96	0.94	0.92	0.89
Halogenetos Metálicos	0.98	0.97	0.94	0.92	0.88
Vapor de Mercúrio	0.93	0.91	0.87	0.82	0.76
Vapor de sódio de baixa pressão	0.92	0.86	0.8	0.76	0.62
Fluorescente tubular	0.99	0.99	0.99	0.98	0.96
CFL	0.98	0.94	0.9	0.78	0.5

Relativamente à tecnologia LED, o LSF é de 0.95 para 12000 horas.

5.2.4.3. Fator de Manutenção da Luminária (LMF)

A luminária colocada num determinado sistema de iluminação deve ser escolhida tendo em atenção o tipo e a quantidade de sujidade existente no ar. A sujidade pode variar muito de zona para zona, quer no tipo, por exemplo o pó de uma pedreira e os detritos dos insetos numa zona rural, quer na quantidade, isto é, existe mais sujidade num centro urbano do que numa zona rural [12].

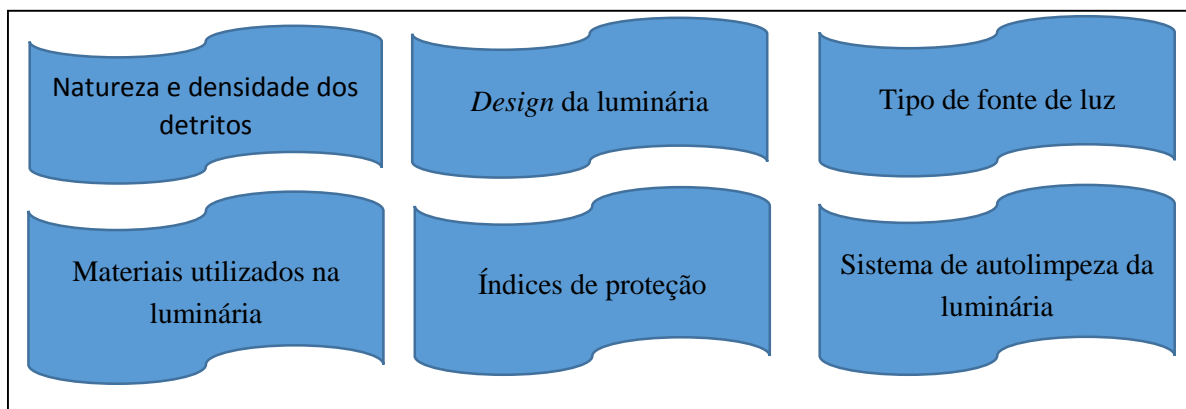


Figura 34 -Variáveis envolvidas na perda de intensidade luminosa devido à sujidade

Tabela 11 - Valores de LMF

IP da luminária	Poluição	Tempo de exposição (anos)				
		1	1.5	2	2.5	3
IP 2X	Alta	0.53	0.48	0.45	0.43	0.42
	Média	0.62	0.58	0.56	0.54	0.53
	Baixa	0.82	0.8	0.79	0.78	0.78
IP 5X	Alta	0.89	0.87	0.84	0.8	0.76
	Média	0.9	0.88	0.86	0.84	0.82
	Baixa	0.92	0.91	0.9	0.89	0.88
IP 6X	Alta	0.91	0.9	0.88	0.85	0.83
	Média	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87
	Baixa	0.93	0.92	0.91	0.9	0.9

Existem vários tipos de poluição no meio ambiente:

1) Alta:

- Fumo produzido por atividades relativamente próximas
- Envolve as luminárias

2) Média:

- Quantidades moderadas de fumo e poeiras produzidas nas redondezas
- O nível de partículas no meio não é superior a $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$

3) Baixa:

- O nível de contaminação ambiente é baixo
- Sem fumo ou poeiras produzidas nas redondezas
- Acontece em zonas residenciais ou rurais, com pouco tráfego
- O nível de partículas no meio não é superior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$

5.2.5. Rácio Envolvente (SR – *Surround Ratio*)

A iluminação pública deve assegurar que a iluminação nas ruas e estradas é adequada para que os utilizadores possam identificar e, assim, evitar possíveis obstáculos.

Os objetos altos, ou os que se encontram nas laterais das faixas de rodagem só podem ser devidamente vistos se a iluminação, na zona envolvente da estrada, for adequada. Só neste caso é que o condutor consegue apurar a situação de forma a fazer os ajustamentos necessários na trajetória e na velocidade [9].

Assim, o rácio envolvente (SR – *surround ratio*) serve para garantir que o fluxo luminoso direcionado para a periferia da via é adequado para a visualização dos objetos que lá possam existir. Um dos objetivos do rácio envolvente é melhorar a segurança dos peões nos passeios.

O rácio envolvente é a iluminância média horizontal das duas faixas longitudinais exteriores aos limites laterais de uma faixa de rodagem, dividida pela iluminância média horizontal de duas faixas longitudinais da mesma via [12].



Figura 35 - Faixas longitudinais para calcular o rácio envolvente

5.3. Níveis, Uniformidades e Classes Iluminação

5.3.1. Nível de Iluminação

O nível de iluminação necessário varia conforme os utilizadores da zona em questão. Por exemplo, com o aumento da idade, aumenta também a necessidade de níveis de iluminação mais elevados para o reconhecimento facial. Desta forma, o nível de iluminação do sistema de iluminação pública deve ser o mais adaptado possível aos utilizadores da zona onde o sistema vai ser instalado [12].

5.3.2. Uniformidade da Iluminação

A uniformidade da iluminação é conseguida através de uma distribuição equilibrada da luz nas superfícies horizontal e vertical nas diferentes zonas. Assim, para conseguir uma

iluminação de qualidade é necessário iluminar uma zona ou um objeto a partir de vários ângulos [12].

Para que os utilizadores de uma via, ou zona, se sintam em segurança é necessário que possam reconhecer feições e traços característicos numa distância entre 10 a 15m [14].



Figura 36 - Exemplos de locais com iluminação uniforme

A uniformidade de iluminação tem um grande impacto na segurança e na sensação de segurança das pessoas. Esta questão da segurança tem-se tornado cada vez mais relevante, pelo que o método de desligar as luzes alternadamente para poupar no consumo energético não deve ser utilizado, já que não permite uma uniformização da iluminação adequada.

Um estudo do *UK Home Office*, realizado no Reino Unido, sugere que uma boa uniformização da iluminação, um nível de iluminação adequado e um índice de restituição de cor apropriado, podem baixar a criminalidade em 20% [12].

5.3.3. Classes de Iluminação

Uma classe de iluminação refere-se a um leque de requisitos fotométricos que vão de encontro às necessidades de visibilidade dos utilizadores dos diferentes tipos de estradas, ruas e espaços públicos.

Em Portugal, as classes de iluminação que devem ser consideradas num projeto de iluminação pública resumem-se a três categorias de estradas, onde se enquadram as classes de iluminação da norma EN 13201-2 [9].

Tabela 12 - Classes de iluminação distribuídas pelas três categorias de estradas para Portugal

Categorias	Descrição	Classes
R (rápido)	Tráfego motorizado de grande velocidade, isto é, estradas nacionais e rurais de ligação entre populações. Só requer luminância (cd/m^2)	ME1 a ME5
M (misto)	Tráfego motorizado de baixa a média velocidade, ciclistas e peões. Só requer luminância (cd/m^2)	ME2 a ME5
L (lento)	Tráfego lento, isto é, zonas residências e áreas pedonais, tais como jardins. Só requer iluminância (lux).	CE0 a CE5 S1 a S6 ES1 a ES0 EV1 a EV6 A1 a A5

Existem critérios na escolha das classes de iluminação. Estes critérios dependem do tipo de via onde se pretende instalar o sistema de iluminação.

Tabela 13 - Classes de iluminação

Classe de iluminação	Destina-se a
M	Tráfego motorizado
C	Áreas de conflito
P	Áreas pedonais ou com pouco tráfego

São consideradas áreas de conflito as zonas onde as vias de circulação se cruzam ou confluem em áreas pedonais ou de ciclistas. Os cruzamentos e as rotundas são exemplos de áreas de conflito. Desta forma, a iluminação destas áreas deve ter em especial consideração o posicionamento dos passeios, a sinalização das estradas e a presença de peões, utilizadores e possíveis obstáculos, já que, a probabilidade de colisão entre os utilizadores da via é significativamente acrescida nestas áreas.

Para cada uma das classes devem ser considerados vários parâmetros:

1) Classe M

- a) Velocidade: alta ou moderada;
- b) Geometria das vias:
 - i) Separação das vias: sim ou não;
 - ii) Densidade de saídas/entradas na via: alta ou moderada.
- c) Natureza do tráfego: apenas motorizado ou misto com muita percentagem de não-motorizado;
- d) Influências ambientais;
- e) Orientação visual, controlo do tráfego: fraca, boa ou muito boa.

2) Classe C:

- a) Velocidade: alta, moderada ou baixa;
- b) Volume de tráfego: só motorizado, misto ou misto com muita percentagem de não motorizado;
- c) Composição do tráfego: só motorizado, misto ou misto com muita percentagem de não motorizado;
- d) Separação das vias: sim ou não;
- e) Luminância circundante: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa;
- f) Orientação visual/ Controlo de tráfego: pobre, bom ou muito bom.

3) Classe P:

- a) Velocidade de marcha: baixa ou muito baixa;
- b) Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, baixo ou muito baixo;
- c) Composição do tráfego:
 - i) Peões, ciclistas e tráfego motorizado;
 - ii) Peões e tráfego motorizado;
 - iii) Só peões e ciclistas;
 - iv) Só peões;
 - v) Só ciclistas.
- d) Estacionamento de veículos: existente ou não;
- e) Reconhecimento facial: essencial ou não;
- f) Luminância: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa. [16]

5.4. Gestão do Processo de Manutenção de IP

5.4.1. LLMF (Fator de Manutenção do Fluxo Luminoso)

O fator de manutenção do fluxo luminoso (LLMF – *Lamp Luminance Maintenance Factor*) é encontrado calculando o rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num determinado momento da sua vida útil ($\Phi(t)$) e o fluxo luminoso inicial (Φ_0). [EN 12665: 2002].

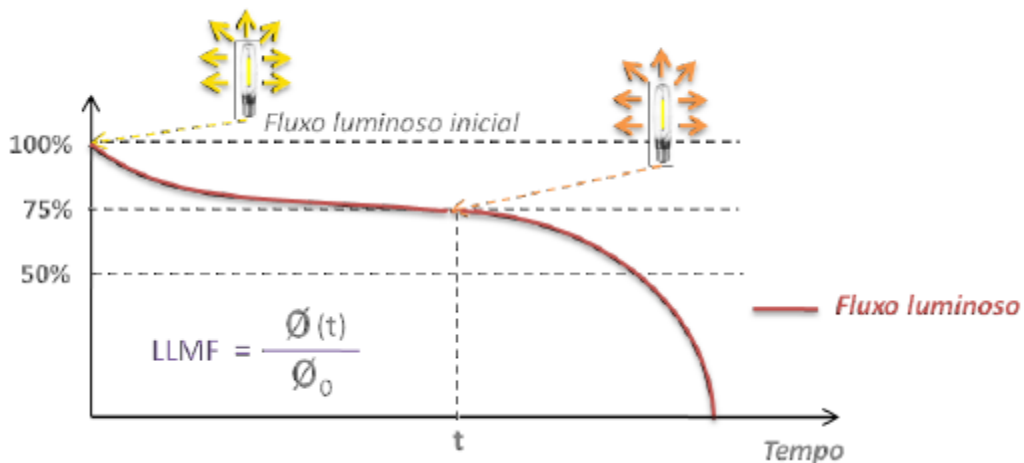


Figura 37 - Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (LLMF)

5.4.2. LSF (Fator de Sobrevivência da Lâmpada)

O fator de sobrevivência da lâmpada (LSF – *Lamp Survival Factor*) depende do número de horas de funcionamento da mesma e é calculado pela fração do número total de lâmpadas que se encontram em funcionamento num determinado momento e em determinadas condições.

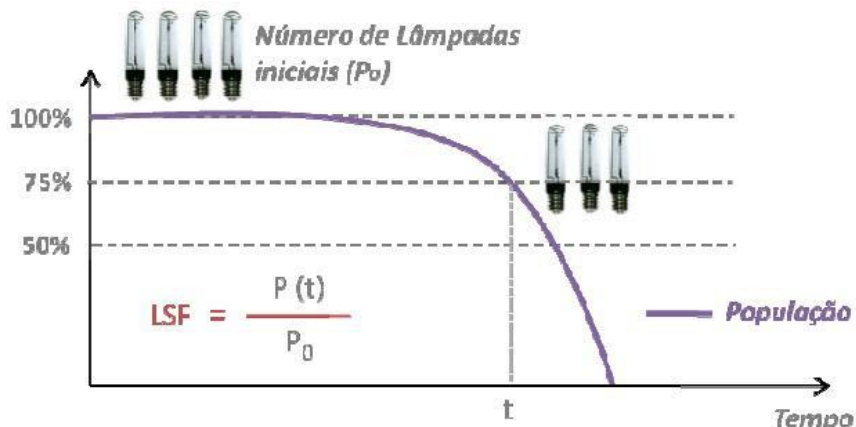


Figura 38 - Fator de sobrevivência da lâmpada (LSF)

Tabela 14 - Número de horas de funcionamento de uma rede de Iluminação Pública [11]

Regime de Funcionamento	Horas por ano
Contínuo	8760
Durante toda a noite	4380
Crepúsculo até às 24h	2600
Crepúsculo até às 22h (5 noites semanais)	1300
4 horas por semana	208

5.4.3. LMF (Fator de Manutenção da Luminária)

O fator de manutenção da luminária (LMF – *Luminaire Maintenance Factor*) é dado calculando o rácio do LOR de uma luminária num determinado momento (LOR (t)), e o LOR da respetiva luminária no início de vida (LOR₀).

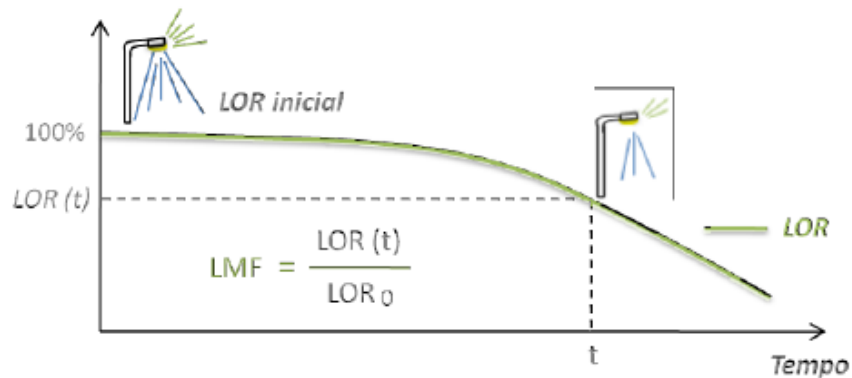


Figura 39 - Fator de Manutenção da Luminária

5.4.4. Fator de Manutenção

O fator de manutenção de uma instalação tem uma ação direta na potência da fonte de luz que vai ser instalada e também no número de luminâncias requeridas para conseguir obter os valores de luminância desejados. Este fator obedece a dois fatores de depreciação:

- 1) Relativo às luminárias;
- 2) Relativo ao fluxo luminoso produzido pelas lâmpadas.

Tabela 15 - Fórmula do Fator de Manutenção

MF = LLMF × LSF × LMF
MF – Fator de manutenção
LLMF – Fator de manutenção do fluxo luminoso
LSF – Fator de sobrevivência da lâmpada
LMF – Fator de manutenção da luminária

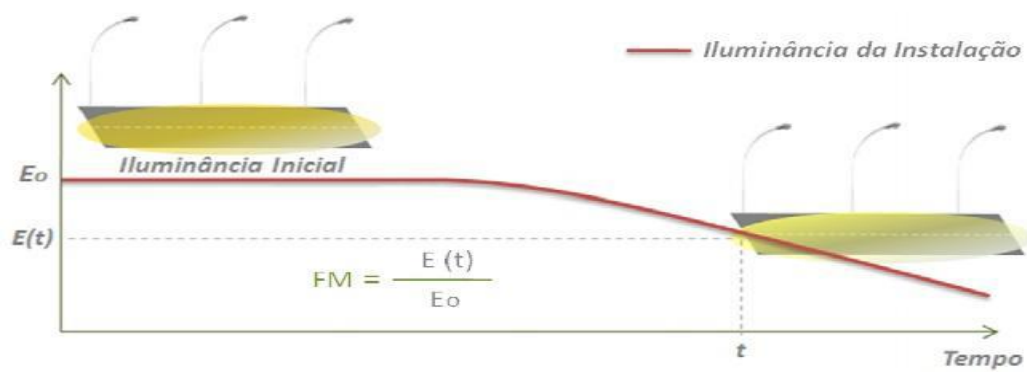


Figura 40 - Fator de manutenção de uma instalação

O fator de manutenção é, desta forma, o grau de conservação de uma instalação.

6. Apresentação de Casos de estudo e Avaliação Económica

6.1. Introdução

O presente trabalho tem como objetivo, identificar e contabilizar o consumo energético em iluminação pública (IP), avaliação dos sistemas de controlo, comando e monitorização da IP existente e o estudo de sistemas de eficiência energética que permitam a redução dos consumos de energia.

Iniciou-se o estudo tendo por base a caracterização da iluminação pública, ao nível de consumos e custos de energia elétrica para IP em 2011, 2012, 2013 e 2014 relacionando estes com os custos de energia elétrica do Município em estudo.

No trabalho de campo foram avaliadas as instalações, ou seja, identificou-se a tecnologia dos equipamentos instalados que são passíveis de alteração ou correção de forma a melhorar a eficiência energética da IP e consequentemente a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂).

De forma a alcançar os resultados, é proposto dotar as instalações de equipamentos, de iluminação ou de controlo que permitam a redução dos consumos de energia.

Tendo em consideração os equipamentos existentes nas instalações de IP do município serão apresentadas as soluções tendo em consideração a sua eficácia económica e energética:

6.1.1. Substituição de luminárias de baixa eficiência por LED's

Dado o desenvolvimento e evolução nos últimos anos, o mercado dispõe já de luminárias LED, específicas para a iluminação pública, com várias potências e com rendimentos e períodos de vida útil muito atrativos, conforme se constata pela tabela da página seguinte

elaborada com base na recolha das características de várias luminárias existentes no mercado, para aplicar neste caso de estudo.

Tabela 16 - Características das luminárias LED

Luminária (Marca – Modelo)	Potência nominal (W)	Potência consumida (W)	Fluxo Φ (lm)	Rendimento (lm/W)	Vida útil (horas)
PHILIPS - IRIDIUM GRN19	14	14,4	1.828	>90%	>50.000
SONERES – AMÁLIA	16	19	2.000	>90%	>50.000
SCHRÉDER - NEOS 16	16	19	2.000	>90%	>50.000
SCHRÉDER - NEOS 24	24	28	3.000	>90%	>50.000
PHILIPS – CLEARWAY LED	29	29	3.074	>90%	50.000
PHILIPS - IRIDIUM GRN40	31	31,8	3.657	>90%	100.000
PHILIPS – SELENIUM LED	44	44	4.742	>90%	60.000
SCHRÉDER – VALENTINO 48	48	54	6.000	>90%	>50.000
SONEREES - ROADLED 60	50	55	4.770	>90%	>60.000
CREE XSP IP66 Series - 52	52	52	5.340	>90%	>100.000
SONEREES - ROADLED 90	74	82	7.039	>90%	>60.000
SYSTION LED 28	79	85	7.981	>90%	50.000
CREE XSP IP66 Series - 102	102	102	10.680	>90%	>100.000
PHILIPS – MILEWIDE L. LED	138	138	18.500	>90%	100.000

A tecnologia LED aplicada à iluminação pública e comparativamente às tecnologias existentes, ou seja, luminárias equipadas com lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de vapor de mercúrio e ambas com balastros ferromagnéticos, destaca-se pelo seu baixo consumo, podendo chegar a uma redução de até 75%, proporcionando um elevado rendimento e tempo de vida útil muito superior, e ainda a minimização do impacto ambiental com a redução de emissões de CO₂.

Para este caso de estudo aplicou-se a luminária CREE XSP1 de 52 W, de iluminação viária IP66, modelo com corpo em liga de alumínio injetado de elevada resistência à corrosão,

pintura com sistema *Colorfast deltaguard* com 18 etapas de pintura e 10 anos de garantia. Esta luminária, está equipada com 1 modulo de leds com consumo de sistema de 52W, com fluxo de 5340lm com temperatura de cor 4000K e um LMF de 83% a 100.000H de funcionamento.

6.1.2. Instalação de armários de regulação de fluxo luminoso (RFL)

Os armários de regulação de fluxo, aplicados à iluminação pública, permitem a redução do fluxo luminoso das lâmpadas, e uma consequente redução dos consumos energia na iluminação pública na ordem de 30%, em períodos pré definidos pelo utilizador.

A redução da potência absorvida nos sistemas de IP, é conseguido a partir da redução do nível de tensão de alimentação aos circuitos de iluminação. Esta diminuição vai diminuir a intensidade luminosa das lâmpadas e consequentemente ter-se-á uma economia no consumo de energia.

A economia será proporcional ao valor da redução da tensão, quanto maior do valor da redução de tensão maior será a economia obtida.

O potencial de economia destes equipamentos encontra-se diretamente relacionado com o tipo de lâmpada e queda de tensão da instalação de iluminação pública. Sendo a regulação do fluxo luminoso provocada pelo abaixamento da tensão do circuito IP, torna-se necessário garantir que a tensão aplicada, a cada tipo de lâmpada não seja inferior aos valores da tensão mínima de funcionamento por tipo de lâmpada, por exemplo no caso das lâmpadas de Vapor de sódio de alta pressão a tensão mínima é de 183 V, o que significa que a tensão nas pontas (fim da linha IP) no escalão máximo do RFL não pode ser abaixo desse valor.

O RFL deverá ser ligado a partir do(s) condutor(és) de iluminação pública, devendo este(s) ser(em) interrompido(s) no seu seio, estabelecendo-se a partir dessa interrupção a ligação para o RFL, conforme se pode visualizar na figura seguinte.

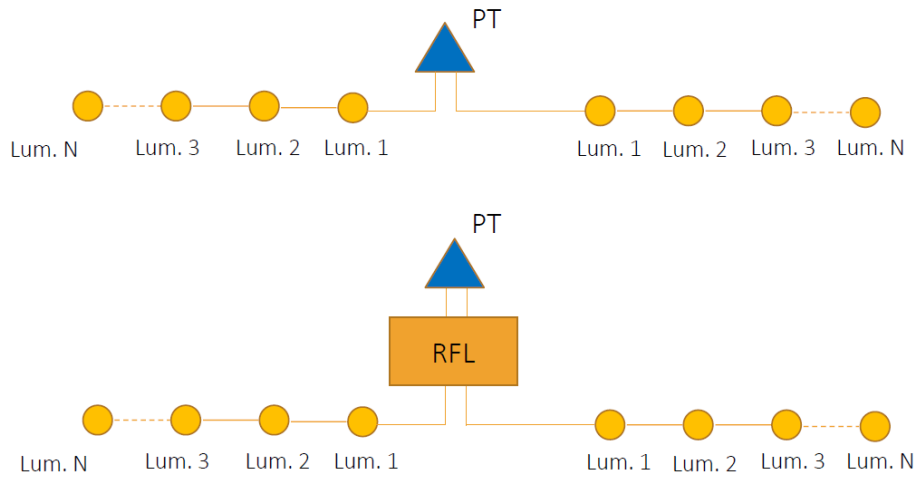


Figura 41 - Esquema de PT com RFL

O RLF podem ser programados para vários níveis de iluminação (por exemplo 30%, 50%, 75% e 100%), adequando assim a iluminação para as várias utilizações da via e para diversos períodos horários consoante o seu tráfego.

A possibilidade de se reduzir o fluxo durante determinados períodos noturnos garante economias no consumo de energia elétrica, conservando-se sempre um nível de segurança para os cidadãos.

No universo de PT's da zona de intervenção, optou-se pela seleção de 15 Postos de Transformação (PT's), que representam 25 % do consumo de energia global em iluminação pública do Município em estudo.

A fundamentação para a escolha destes circuitos no universo existente na zona de intervenção, teve como base os seguintes critérios:

- ✓ Circuitos com maior Potência instalada.
- ✓ Circuitos com baixas Quedas de tensão.
- ✓ Circuitos onde predominem as lâmpadas de Vapor de sódio.

Outros fatores que pesaram na escolha, embora ultrapassáveis:

- ✓ Circuitos com lâmpadas recentes.
- ✓ Difusores em bom estado.
- ✓ Equilíbrio entre fases.
- ✓ Existência de um local para montagem do equipamento no exterior.




- ✓ Circuitos onde se aceite uma redução de fluxo significativa em horas de menor movimento.

6.1.3. Instalação de balastros multinível

Os balastros eletrónicos reguláveis poderão ser em algumas das situações em estudo para redução de consumos dos pontos de iluminação pública a melhor solução, dado que o custo de investimento inicial é relativamente baixo quando comparado com tecnologias como a de RFL e LED.

Esta tecnologia tem uma elevada eficiência, perdas reduzidas, factor de potência elevado ($>0,98$), para além do incremento do tempo de vida útil das lâmpadas e da imunidade às variações de tensão de rede.

Para este caso de estudo, o balastro escolhido foi o balastro ECOSAVER da AURA, que permite poupanças na ordem dos 20% sem necessidade de alteração das lâmpadas e com um investimento mais acessível.

Referência- Reference			EC4-50	EC4-70 	EC4-100 	EC4-150 	EC4-250D
Lâmpada Lamp	HPS	W	50	70	100	150	250
Tensão de referência Design voltage		Vac	230				
Limite de Tensões Voltage range		Vac	190 - 253				
Frequência de rede Mains frequency		Hz	50 - 60				
Intensidade nominal Nominal current		@ 230 V A	0,25	0,31	0,44	0,66	1,10
Potência em rede Mains power	Potência nominal Nominal power	W	55 ± 2	70 ± 2	100 ± 2	150 ± 2	250 ± 2
	Potência reduzida Reduced power	W	40 ± 2	52 ± 2	60 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	90 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	150 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$
Tensão de Acendimento Ignition voltage		Up kV	2,3		3,5		
Factor de potência Power factor		λ	0,96		0,97	0,98	
Freq. funcionamento Operating frequency (1)	Potencia nominal Nominal power	kHz	5 5			5 0	70
	Potencia reduzida Reduced power	kHz	70			6 0	90
Temperatura máx. permitida Rated max. temperature		tc °C	75		80		
Limites de temperatura Temperatura range		ta °C	-20 ... +55		-20 ... +60	-20 ... +55	
Comprimento máx. cabos de lâmpada Max. length lamp wires		m	2 - 5				
Índice de Protecção IP IP protection			IP 20 (Balasto para incorporar / Built-in ballast)				
Dimensões Dimensions			Fig. 2		Fig. 3		Fig. 4

Modelos com linha de comando (EC4-...D) disponíveis sob pedido / Types with control line (EC4-...D) are available upon request.
(1) Frequência de funcionamento aproximada; depende da lâmpada / Approximate operating frequency; it depends on the lamp.

Figura 42 - Características do Balastro de duplo nível ECOSAVER – AURA

6.2. Valores utilizados para cálculo dos custos energéticos

Para o cálculo do custo energético da instalação consideraram-se as seguintes premissas:

6.2.1. Tarifa de energia para a IP

Tabela 17 – Tarifa de energia para a IP em vigor em 2014

Período	Valor (€)
Horas de Vazio	0,0896
Horas de Ponta	0,3030
Horas de Cheias	0,1619

- Tarifa média ponderada através da percentagem aplicada pela EDP por período horário, aos contratos com contador de leitura simples (66,7% - Vazio, 6,1% - Ponta, 27,2% - Cheias): 0,1504 €/kWh (inclui IVA).

6.2.2. Cálculos

- Potência = Potência da lâmpada + Balastro ferromagnético
- Energia = Potência × Tempo de funcionamento da IP × Quantidade
- Taxa de conversão de 0,47 Ton CO₂/MWh – Portaria 63/2008
- Tempo de funcionamento da IP: 4581 horas

6.2.3. Preços dos equipamentos propostos para eficiência energética nos casos de estudo, recolhidos através de consulta ao mercado

- Preço da Luminária Cree XSP1 (Aura Light): 319,96 € (IVA incluído)
- Preço do Balastro ECOSAVER (Aura Light): 61,5 € (IVA incluído)

Para cálculo do retorno dos investimentos, utilizou-se o método de cálculo segundo o "*total cost of ownership*" *TCO* (custo total de propriedade). Através deste método podemos determinar o ano a partir do qual a alteração a propor passa a ter retorno financeiro. O *TCO* do ano 0 é igual ao investimento inicial, sendo que todos os anos são somados ao custo do ano anterior, o custo de exploração do ano corrente.

A Potência total da lâmpada mais do balastro ferromagnético é variável consoante o valor da tensão de alimentação que vai variando ao longo do período de funcionamento da IP e varia também ao longo do circuito, devido às quedas de tensão. Depois de vários contactos aos fabricantes e vários fornecedores de balastros ferromagnéticos, considerou-se um valor médio de consumo do balastro de 20 % do valor da potência da lâmpada.

6.3. Caracterização energética da IP do Concelho em estudo

6.3.1. Identificação e Contabilização de consumos e custos da IP

Neste ponto apresentam-se os consumos energéticos da IP do município em estudo, correspondentes aos anos 2010, 2011, 2012 e 2013.

Tabela 18 - Consumos de energia elétrica da IP em 2010, 2011, 2012 e 2013

	2010	2011	2012	2013
Consumo energético [kWh/ano]	2.861.484	3.135.348	2.391.282	2.270.535
Consumo Energético [tep/ano]	615,22	674,10	514,13	488,16
Emissões de CO2 associadas [tCO2/ano]	1.344,90	1.473,61	1.123,90	1.067,15

Tabela 19 - Fatura energética sem IP do município em estudo em 2010, 2011, 2012 e 2013

	2010	2011	2012	2013
Fatura energética do município (€)	291.122,26 €	280.114,12 €	267.452,46 €	289.750,07 €

Tabela 20 - Faturação da IP em 2010, 2011, 2012 e 2013

	2010	2011	2012	2013
Fatura energética em IP do Município (€)	297.728,46 €	353.943,36 €	360.883,03 €	332.143,82 €

Tabela 21 - Percentagem de custo associada à IP (%)

	2010	2011	2012	2013
Percentagem de custo associada à IP (%)	50,56%	55,82%	57,43%	53,41%

Como facilmente se constata pela análise aos dados anteriores a Iluminação pública tem um importante peso na fatura energética anual, superior a 50 % dos encargos do município com consumos de eletricidade.

Assim, o encargo existente com os consumos de eletricidade na iluminação pública demonstra o carácter de importância que os sistemas de eficiência energética para a IP podem ter para o município em estudo.

É assim necessária uma gestão cuidada do sistema de iluminação pública municipal, dado que qualquer aumento, seja da tarifa, seja de qualquer outro imposto, terá sempre um grande impacto nas contas do município. Exemplo desta situação foi o aumento em Novembro de 2011 do IVA de 6 para 23 por cento sobre a fatura de eletricidade, o que acelerou a necessidade de tomar medidas que pudessem fazer face num curto prazo, ao aumento que se estimava de cerca de 65.000 euros até pela ampliação de pontos de luz e de postos de transformação no município, com conseqüente aumento dos consumos.

Deste modo, o município em colaboração com a EDP Distribuição definiu um programa de poupança energética que consistiu na desligação de candeeiros de iluminação pública.

A entidade distribuidora, e de forma a proteger-se dos problemas que se vieram a confirmar, no que diz respeito ao elevado aumento do número de chamadas para as linhas das avarias da iluminação pública, de lâmpadas fundidas que se confirmavam depois na grande maioria que eram candeeiros desligados, identificou cada ponto de luz desligado com um autocolante “foco desligado ao abrigo do programa de poupança energética promovido pela câmara municipal”.



Figura 43 - Autocolante utilizado na sinalização de focos desligados

Outra contrariedade que se verificou para o município, foi a extinção da tarifa especial para a iluminação pública, designada por tarifa BIP, em 31 de Dezembro de 2012.

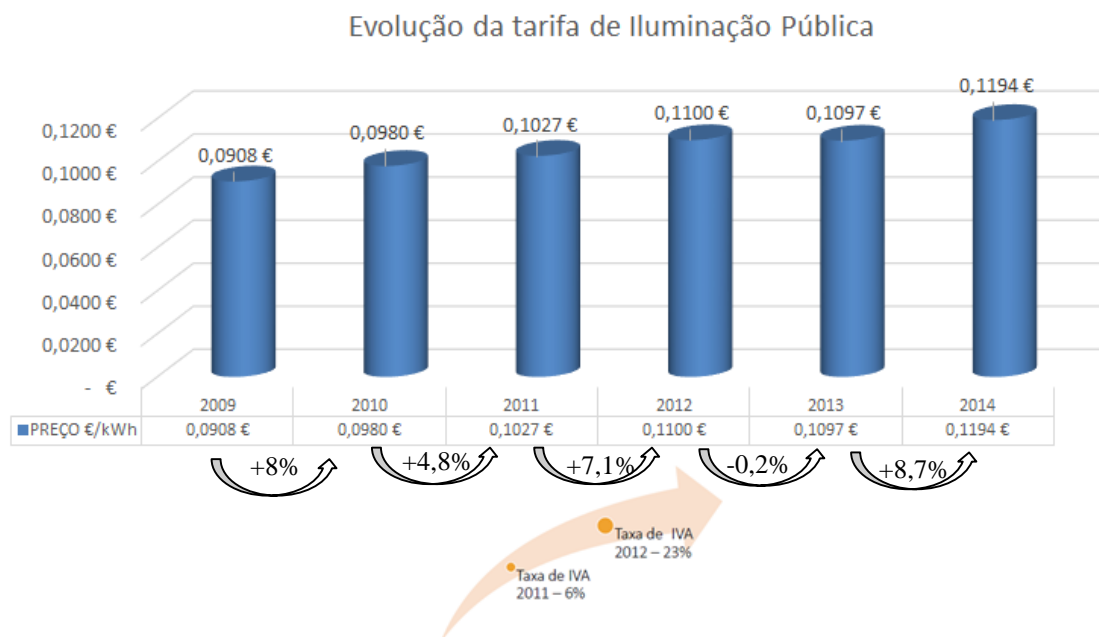


Figura 44 - Gráfico da Evolução da Tarifa de Iluminação Pública

Desde 1 de Janeiro de 2013 que a tarifa dos municípios passou para tri-horária, ou seja, passou a diferenciar o preço da energia por kWh de acordo com três períodos horários: horas de vazio, horas cheias e horas de ponta, assim como passaram a pagar também a taxa de potência contratada, a qual era isenta na tarifa BIP.

Uma vez que esta situação coincidiu com o término do mercado regulado para a energia, tendo entrado em vigor em 1 de Janeiro de 2013 o mercado liberalizado, onde a Entidade Reguladora para os serviços Energéticos (ERSE) definiu um aumento de 2,8 por cento como facto de agravamento para todos os consumidores de energia que não migrassem para o mercado liberalizado, ou seja que se mantivessem no comercializador de último recurso, a edp serviço universal.

Esse aumento verificou-se na faturação de iluminação pública do município, dado que o seu comercializador de energia se manteve o mesmo, a edp serviço universal.

Comparando os encargos com o consumo da IP dos últimos 6 anos percebe-se constata-se um aumento de 48 % e que reflete os constantes aumentos anuais da tarifa e também o aumento de 6% para 23% da taxa do IVA aplicada às faturas de eletricidade.

Este ano, 2014 verificou-se um aumento de 8,8 por cento na tarifa de iluminação pública, sendo que se prevê em 2015 um novo aumento de 3,5 por cento. Todos estes aumentos que em muito interferem nas contas dos municípios acabam por obrigar os municípios a tomar medidas já, por forma a poderem fazer frente aos aumentos com racionalização de consumos de energia elétrica na IP.

O município em estudo tem um total de 170 Postos de transformação com iluminação pública, sendo que todos dispõem de contador de energia elétrica, sendo da responsabilidade da entidade de Distribuição de energia elétrica a sua manutenção e leitura.

6.3.2. Tecnologias atualmente instaladas nos equipamentos em estudo

Através dos dados disponibilizados pela EDP Distribuição, elaborou-se um estudo visível nos gráficos seguintes, nomeadamente à tecnologia existente e quantidades respetivas no sistema de iluminação pública do caso de estudo, assim como da evolução entre os anos de 2007 e 2013 do número total de lâmpadas.

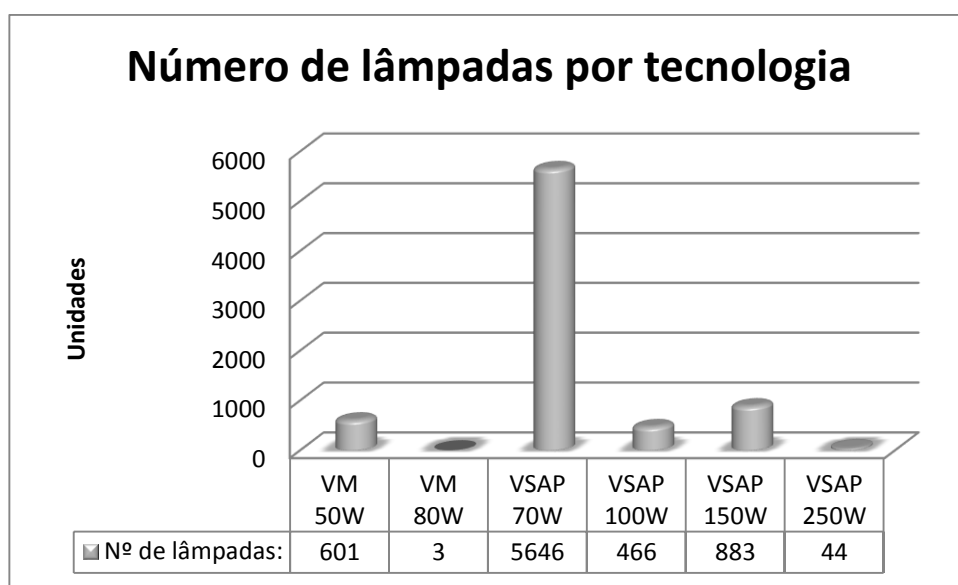


Figura 45 - Gráfico da Quantidade de lâmpadas por tecnologia

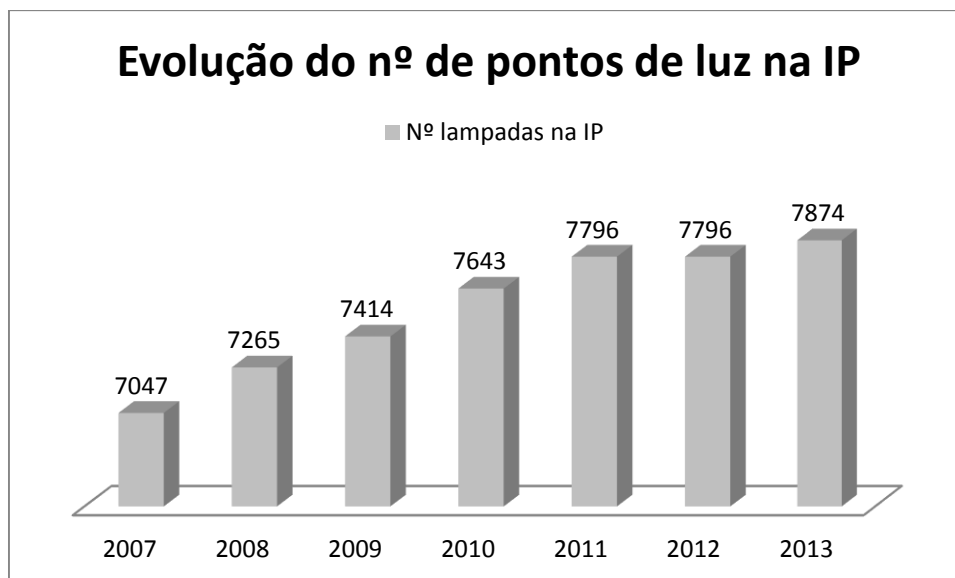


Figura 46 - Gráfico da evolução do nº de pontos de luz no Município

Através da análise gráfica anterior constata-se que as tecnologias predominantes no concelho de Cabeceiras de Basto são luminárias equipadas com lâmpadas de vapor de sódio, existindo ainda luminárias equipadas com lâmpadas de vapor de sódio.

Verifica-se um aumento ano após ano do número de pontos de luz pública no município, entre um e três pontos percentuais.

Os sistemas de controlo e comando existentes, são relógios astronómicos. Não existem sistemas de monitorização adicionais aos contadores de energia elétrica da entidade de Distribuição.

6.3.3. Horas de funcionamento da IP

A tabela seguinte apresenta o horário de ligação e desligação da iluminação pública no concelho de Cabeceiras de Basto, em 2013.

Tabela 22 - Programação dos Relógios Astronómicos (2013)

Tempo de desligar a IP antes do Nascer do Sol										00:30		Tempo de ligar a IP depois do Ocaso do Sol										00:30					
Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez					
Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP	Desliga IP	Liga IP				
1	07:27	17:44	07:12	18:18	06:36	18:52	06:45	20:27	06:00	20:59	05:32	21:28	05:34	21:37	05:58	21:17	06:29	20:33	06:59	19:43	06:33	17:57	07:07	17:34	1		
2	07:26	17:45	07:12	18:20	06:34	18:54	06:43	20:28	05:58	21:00	05:32	21:28	05:34	21:37	05:59	21:15	06:30	20:31	07:00	19:42	06:34	17:56	07:09	17:34	2		
3	07:26	17:46	07:10	18:21	06:32	18:55	06:41	20:31	05:57	21:01	05:31	21:29	05:35	21:37	06:00	21:14	06:31	20:30	07:01	19:40	06:35	17:55	07:09	17:34	3		
4	07:26	17:47	07:09	18:22	06:30	18:56	06:40	20:30	05:56	21:02	05:31	21:30	05:36	21:36	06:01	21:13	06:32	20:28	07:02	19:38	06:36	17:54	07:10	17:34	4		
5	07:26	17:48	07:08	18:23	06:29	18:58	06:38	20:31	05:54	21:03	05:30	21:31	05:36	21:36	06:02	21:12	06:33	20:27	07:03	19:37	06:37	17:53	07:11	17:34	5		
6	07:26	17:49	07:07	18:25	06:27	18:59	06:37	20:33	05:53	21:04	05:30	21:31	05:37	21:36	06:03	21:11	06:34	20:25	07:04	19:35	06:39	17:52	07:12	17:34	6		
7	07:25	17:50	07:06	18:26	06:25	19:00	06:35	20:34	05:52	21:05	05:29	21:32	05:37	21:36	06:04	21:09	06:35	20:23	07:05	19:34	06:40	17:51	07:13	17:34	7		
8	07:25	17:51	07:04	18:27	06:24	19:01	06:34	20:35	05:51	21:06	05:29	21:33	05:38	21:35	06:05	21:08	06:36	20:22	07:06	19:32	06:41	17:50	07:13	17:34	8		
9	07:25	17:52	07:03	18:28	06:22	19:02	06:32	20:36	05:50	21:07	05:29	21:34	05:38	21:35	06:06	21:07	06:37	20:20	07:07	19:30	06:42	17:49	07:14	17:34	9		
10	07:25	17:53	07:02	18:30	06:20	19:03	06:30	20:37	05:49	21:08	05:29	21:34	05:39	21:35	06:07	21:06	06:38	20:18	07:08	19:29	06:43	17:48	07:15	17:35	10		
11	07:25	17:54	07:01	18:31	06:19	19:04	06:29	20:38	05:48	21:09	05:29	21:34	05:40	21:35	06:08	21:05	06:39	20:17	07:09	19:27	06:45	17:47	07:16	17:35	11		
12	07:24	17:55	07:00	18:32	06:17	19:05	06:27	20:39	05:47	21:10	05:29	21:34	05:40	21:34	06:09	21:04	06:40	20:15	07:10	19:25	06:46	17:46	07:17	17:35	12		
13	07:24	17:56	06:58	18:33	06:16	19:07	06:26	20:40	05:46	21:11	05:29	21:35	05:41	21:33	06:10	21:02	06:41	20:14	07:11	19:24	06:47	17:45	07:17	17:35	13		
14	07:24	17:57	06:57	18:35	06:14	19:08	06:24	20:41	05:45	21:12	05:29	21:35	05:42	21:32	06:11	21:01	06:42	20:12	07:12	19:22	06:48	17:44	07:18	17:35	14		
15	07:24	17:58	06:56	18:36	06:12	19:09	06:22	20:42	05:44	21:12	05:29	21:35	05:43	21:32	06:12	20:59	06:43	20:10	07:14	19:21	06:49	17:43	07:19	17:35	15		
16	07:24	17:59	06:55	18:37	06:11	19:10	06:21	20:43	05:43	21:13	05:29	21:36	05:44	21:31	06:13	20:58	06:44	20:09	07:15	19:19	06:51	17:42	07:20	17:35	16		
17	07:24	18:00	06:54	18:38	06:09	19:11	06:19	20:44	05:42	21:14	05:30	21:36	05:45	21:30	06:14	20:56	06:45	20:08	07:16	19:18	06:52	17:41	07:21	17:35	17		
18	07:23	18:01	06:53	18:40	06:07	19:12	06:18	20:45	05:41	21:15	05:30	21:36	05:46	21:29	06:15	20:55	06:46	20:06	07:17	19:16	06:53	17:41	07:22	17:36	18		
19	07:22	18:02	06:51	18:41	06:06	19:13	06:16	20:46	05:40	21:16	05:30	21:37	05:47	21:29	06:16	20:53	06:47	20:04	07:18	19:15	06:54	17:40	07:22	17:36	19		
20	07:21	18:03	06:50	18:42	06:04	19:14	06:15	20:47	05:39	21:17	05:30	21:37	05:47	21:28	06:17	20:52	06:48	20:02	07:19	19:13	06:55	17:40	07:22	17:37	20		
21	07:21	18:05	06:48	18:43	06:03	19:16	06:13	20:48	05:38	21:18	05:30	21:37	05:48	21:27	06:18	20:50	06:49	20:00	07:20	19:12	06:56	17:39	07:22	17:37	21		
22	07:20	18:06	06:47	18:44	06:01	19:17	06:12	20:50	05:37	21:20	05:30	21:38	05:49	21:26	06:19	20:49	06:50	19:58	07:21	19:10	06:57	17:39	07:23	17:38	22		
23	07:19	18:07	06:45	18:45	05:59	19:18	06:10	20:51	05:36	21:21	05:30	21:38	05:50	21:26	06:20	20:47	06:51	19:57	07:23	19:09	06:58	17:38	07:23	17:39	23		
24	07:18	18:08	06:44	18:46	05:58	19:19	06:09	20:52	05:36	21:22	05:30	21:38	05:51	21:25	06:21	20:46	06:52	19:55	07:24	19:08	07:00	17:38	07:23	17:39	24		
25	07:18	18:10	06:42	18:47	06:56	20:20	06:08	20:53	05:35	21:22	05:31	21:39	05:52	21:24	06:22	20:44	06:53	19:53	07:25	19:06	07:01	17:37	07:24	17:40	25		
26	07:17	18:11	06:41	18:49	06:54	20:21	06:06	20:54	05:35	21:23	05:31	21:38	05:53	21:23	06:23	20:43	06:54	19:52	07:26	19:05	07:02	17:37	07:24	17:41	26		
27	07:16	18:12	06:39	18:50	06:53	20:22	06:05	20:55	05:34	21:24	05:32	21:38	05:54	21:23	06:24	20:41	06:55	19:50	07:27	19:03	07:03	17:36	07:24	17:41	27		
28	07:15	18:13	06:38	18:51	06:51	20:23	06:04	20:56	05:34	21:25	05:32	21:38	05:54	21:21	06:25	20:40	06:56	19:48	06:28	18:02	07:04	17:36	07:25	17:42	28		
29	07:15	18:15			06:50	20:24	06:02	20:57	05:33	21:25	05:33	21:38	05:55	21:20	06:26	20:38	06:57	19:47	06:29	18:00	07:05	17:35	07:25	17:42	29		
30	07:14	18:16			06:48	20:25	06:01	20:58	05:33	21:26	05:33	21:37	05:56	21:19	06:27	20:36	06:58	19:45	06:30	17:59	07:06	17:35	07:25	17:43	30		
31	07:13	18:17			06:46	20:26			05:32	21:27			05:57	21:18	06:28	20:35			06:32	17:58			07:26	17:44	31		
Nasc		Ocaso		Nasc		Ocaso		Nasc		Ocaso		Nasc		Ocaso		Nasc		Ocaso		Nasc		Ocaso		Nasc		Ocaso	
Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez					
Nota A vermelho estão os dias com horário de verão																											

Pela análise ao gráfico anterior pode-se concluir que durante o ano de 2013 a média de horas em que a iluminação pública esteve ligada por dia foi de 10 horas e 48 minutos.

Está também retratado o desigual ocaso e nascimento do sol ao longo do ano, sendo que o mês de Dezembro foi o mês com maior funcionamento da IP, e o dia 21 de Dezembro, data do solstício de Inverno o dia com mais tempo de funcionamento da IP.

Em contraponto, o mês com menor horas de funcionamento da IP foi Junho, e o dia 21 de Junho, correspondente ao solstício de Verão, o dia com menos horas em que a IP esteve ligada.

Relativamente ao relógio astronómico, no caso em estudo, o mesmo foi sendo instalado progressivamente entre meados e finais de 2012.

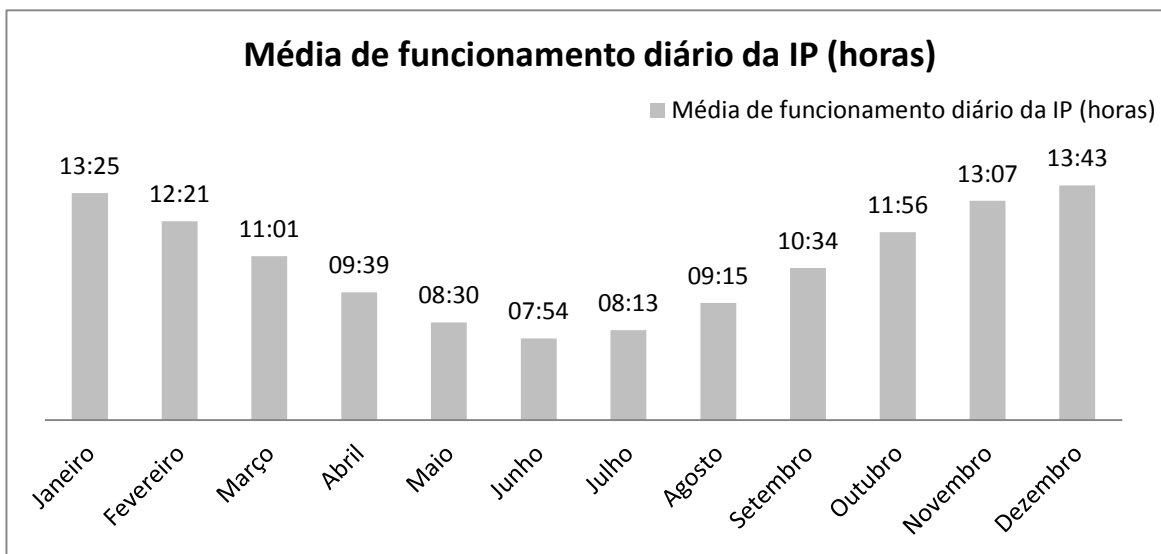


Figura 47 - Gráfico da Média de horas de funcionamento diário da IP - 2013

Esta alteração no sistema de controlo permitir uma gestão mais eficiente e racional da energia consumida pelo sistema de iluminação pública, principalmente no período de inverno onde a presença mais assídua de nevoeiros ativava a ligação da IP em períodos diurnos, pelo que com o relógio astronómico esse desperdício é eliminado.

6.4. Caraterização e Estudo de zona Urbana

O local em estudo é uma das principais avenidas do Concelho de Cabeceiras de Basto, neste caso na freguesia de Refojos, e o motivo da seleção deste local é o facto de se tratar de uma das vias com maior tráfego do concelho.

Numa primeira análise é estudada a substituição das luminárias com lâmpadas de VSAP por luminárias LED, tendo para tal utilizado o *software* DIALux, que permite efetuar uma simulação da distribuição de luz no ambiente, produzindo cenários realistas e valores de iluminância, para comparar com os valores mínimos de iluminância pelo Documento de Referência para a Iluminação Pública.

Para o estudo luminotécnico do local foi necessário recolher vários elementos relativos ao perfil da via e material existente de modo a que fosse possível calcular os parâmetros luminotécnicos.

6.4.1. Levantamento dos elementos da Av. Sá Carneiro – Refojos



Figura 48 - Mapa da Av. Sá Carneiro com pontos de iluminação pública identificados

Tabela 23 - Perfil da Via

Comprimento	350 metros
Disposição Central Dupla	
Passeio 1	2 metros
Pista de Rodagem 1	4,5 metros
Faixa Central 1	1 metro
Pista de Rodagem 2	4,5 metros
Passeio 2	2 metros

Tabela 24 - Características da Luminária


Empresa	Schröder	
Luminária	Sintra 1	
Altura da Luminária em relação à via	10 metros	
Nº de Colunas de Iluminação Pública	13	
Nº de Luminárias	26	
Distância entre luminárias	25 metros	
Índice de Proteção	IP 65	

Tabela 25 - Características da Lâmpada

Tipo de lâmpada	Potência
VSAP	150 W

Como se pode visualizar nas tabelas anteriores, as luminárias estão espaçadas em 25 metros entre elas, e dispostas centralmente com braço duplo no canteiro existente entre as pistas de rodagem.

6.4.2. Cálculo das Classes da via do caso de estudo

O primeiro passo foi a definição da classe ME, CE ou S da via em estudo, e neste caso de estudo, de acordo com a norma EN13201, foi o índice da classe ME, que corresponde a tráfego misto, ou seja, tráfego motorizado e baixa média velocidade, bem como a existência de ciclistas e pedestres nessas áreas. Na tabela da página seguinte está indicada a seleção para cada opção e parâmetro da Classe.

Tabela 26 – Cálculo do Classe M

Parâmetro	Opções	Factor Peso	Seleção
Velocidade	Muito Alta	1	
	Alta	0,5	
	Moderada ou Reduzida	0	0
Volume de tráfego	Muito Elevado	1	
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito Baixo	-1	-1
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	
	Misturado	1	1
	Apenas Motorizado	0	
Separação de Faixas	Não	1	
	Sim	0	0
Densidade de cruzamentos	Alta	1	
	Moderada	0	0
Veículos Estacionados	Presente	0,5	0,5
	Não presente	0	
Luminância ambiente	Alta	1	1
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Controlo do Trânsito	Fraco	0,5	0,5
	Moderado ou Bom	0	
Soma:			2
			ME4a

Somando os valores relativos à classificação anterior definida, e aplicando a fórmula $I_{ME} = 6 - \text{classificação total}$, então $I_{ME} = 6 - 2 = 4$, ou seja caracterização esta via como sendo de classe ME4.

Dentro das classes ME3 e ME4 faz-se uma ligeira distinção, ao nível da uniformidade longitudinal (UI), através da associação de uma letra minúscula ao índice definido, sendo que neste caso de estudo, segundo o significado de cada uma delas, se aplica a letra a.

Deste modo a classificação obtida é ME4a.

Na tabela na página seguinte, disponível no Documento de Referência para a Iluminação Pública, estão definidos os níveis de luminância para a classe ME4a.

Tabela 27 - Caracterização da luminância

Classe de Via	Luminância da superfície da estrada			Aumento Limiar
	Lm (cd/m ²)	U ₀	U1	TI (%)
ME4a	0,75	0,4	0,6	15

Relativamente à classificação dos passeios, aplica-se a classe A, sendo que neste caso de estudo, os parâmetros de iluminação utilizados vão ser a iluminância hemisférica (E_{med}) e a sua uniformidade geral (U₀), sendo que para que o projeto cumpra com os requisitos mínimos, definiu-se que os passeios pertencem à classe A3, ou seja, a iluminância hemisférica deve ser superior a 2 lux e a uniformidade geral superior a 0,15, como se pode ver na tabela seguinte.

Tabela 28 - Valores de Iluminância Hemisférica - Classe A

Classe	Iluminância Hemisférica	
	E _{avg} (lux)	U ₀
A1	5	0,15
A2	3	0,15
A3	2	0,15
A4	1,5	0,15
A5	1	0,15

Depois de definidas as classes para a via e passeio, elaborou-se o cálculo na ferramenta informática DIALux.

6.4.3. Cenário 1 - Alteração da IP na Av. Sá Carneiro – Refojos, para Iluminação LED

Tal como já indicado na introdução deste capítulo, para este caso de estudo aplicou-se a luminária CREE XSP1, homologada pela EDP, com potência de 52 W, com fluxo de 5340lm, temperatura de cor 4000K e um LMF de 83% a 100.000 horas de funcionamento. Na figura seguinte representa-se a luminária escolhida e o respetivo gráfico de curvas.

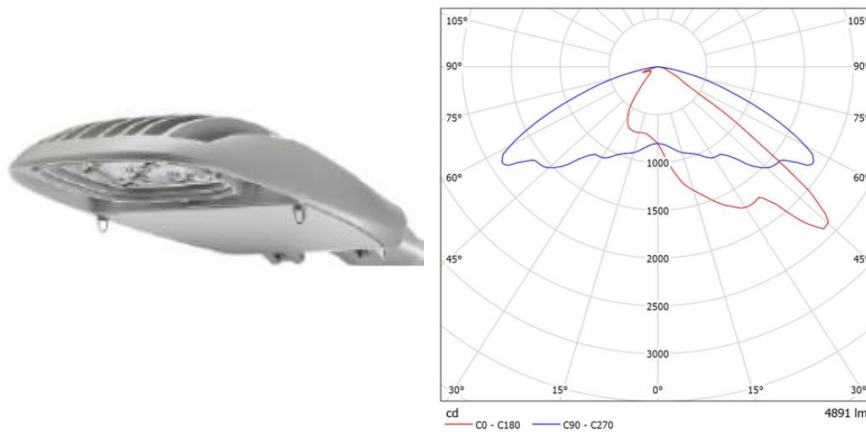


Figura 49 – Luminária CREE XSP1 e gráfico de curvas *isolux*

Perfil da rua

Passeio 1	(Largura: 2.000 m)
Pista de rodagem 2	(Largura: 4.500 m, Quantidade das faixas de rodagem: 2, Pavimento: R3, q0: 0.070)
Faixa central 1	(Largura: 1.000 m, Altura: 0.000 m)
Pista de rodagem 1	(Largura: 4.500 m, Quantidade das faixas de rodagem: 2, Pavimento: R3, q0: 0.070)
Passeio 2	(Largura: 2.000 m)

Factor de manutenção: 0.90

Distribuições de luminárias

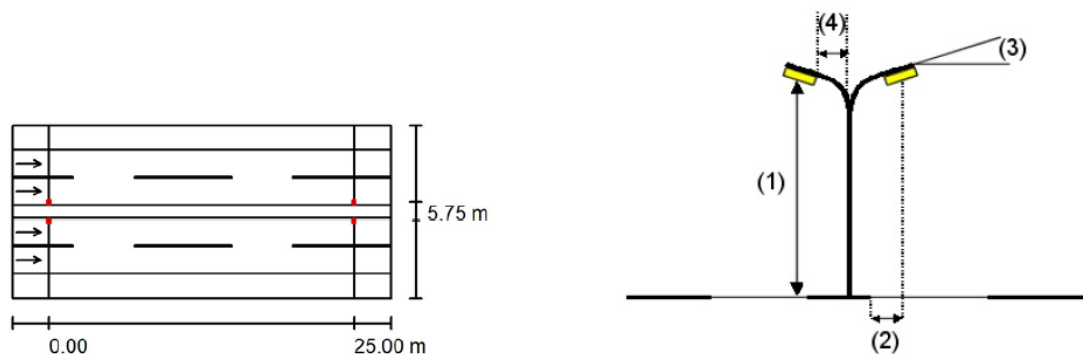


Figura 50 - Dados da Avenida Sá Carneiro com *software* DIALux

Luminária:	CREE, INC. XSPAx2GA-U or BXSPAx2GA-U SINGLE LED MODULE TYPE II 4000K XSP1		
Corrente luminosa (Luminária):	4891 lm	Valor máximo da potência luminosa	
Corrente luminosa (Lâmpadas):	4891 lm	a 70°:	473 cd/klm
Potência luminosa:	50.8 W	a 80°:	56 cd/klm
Distribuição:	na faixa central	a 90°:	0.00 cd/klm
Distância entre postes:	25.000 m	Em todas as direcções que, em uma luminária correctamente instalada, formam o ângulo dado com as verticais inferiores.	
Altura de montagem (1):	10.000 m	Sem potência luminosa acima de 95°.	
Altura do ponto de luz:	10.000 m	A distribuição cumpre a classe de potência luminosa G4.	
Pendor (2):	0.250 m	A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.6.	
Inclinação do braço extensor (3):	0.0 °		
Comprimento do braço extensor (4):	0.750 m		

Figura 51 - Características da Luminária no software DIALux

De seguida apresentam-se os resultados luminotécnicos da avenida em estudo.

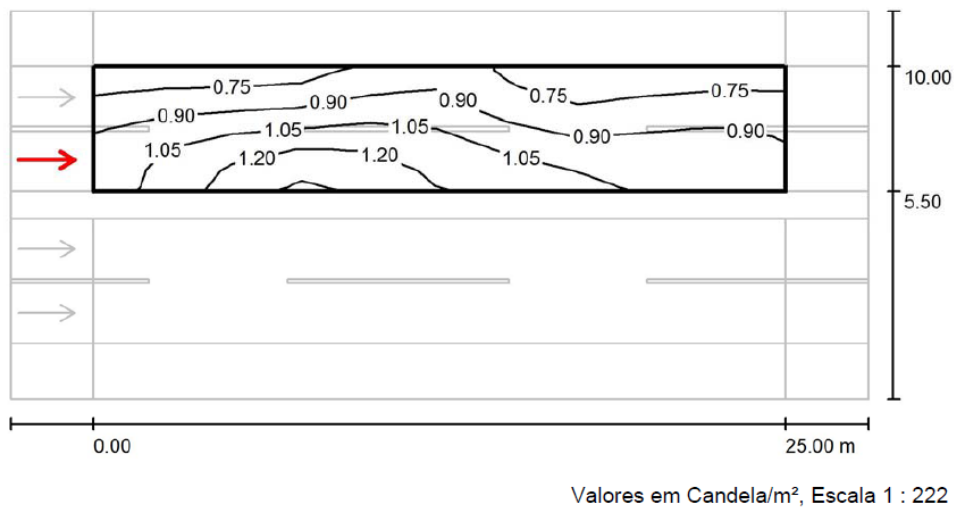
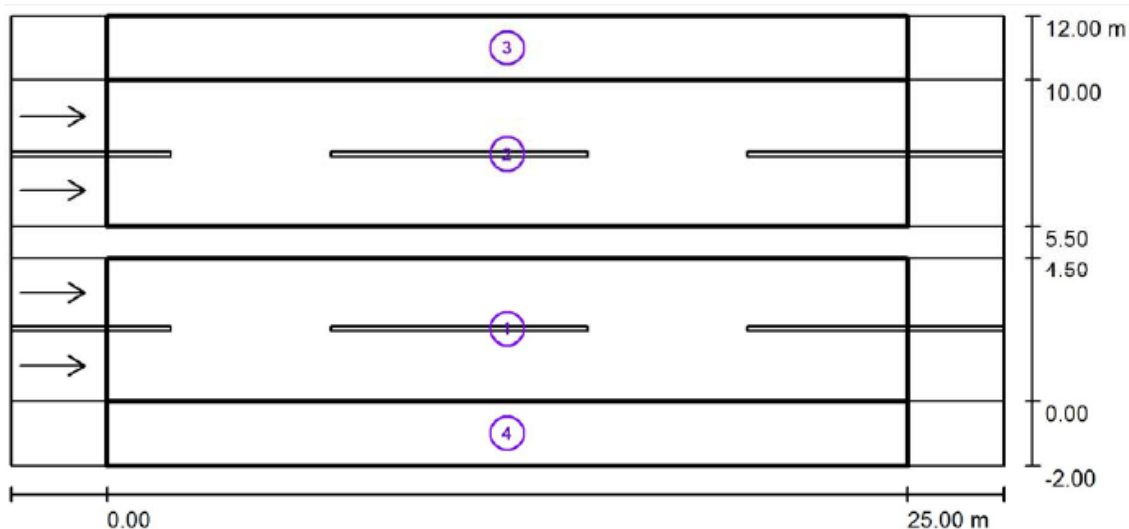


Figura 52 - Linhas Isográficas da Luminância

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]
Valores reais segundo o cálculo:	0.95	0.66	0.73	4

Figura 53 - Resultados obtidos para a proposta



Factor de manutenção: 0.90

Escala 1:222

Lista de campo de avaliação

1 Campo de avaliação Pista de rodagem 1

Comprimento: 25.000 m, Largura: 4.500 m

Grelha: 10 x 6 Pontos

Elementos de rua correspondentes: Pista de rodagem 1.

Pavimento: R3, q0: 0.070

Classe de iluminação seleccionada: ME4a

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reais segundo o cálculo:	0.95	0.65	0.73	4	0.93
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 54 - Resultados luminotécnicos no software DIALux

Tabela 29 - Comparação da tecnologia atual com a solução proposta

Tecnologia	Quantidade	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia anual consumida (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
VSAP	26	150	180	21439,1	3224,6	10,1
LED	26	52	52	6193,5	931,6	2,9
Diferença:				15245,6	2293,1	7,2

✓ Custo da instalação de iluminação LED Proposta

Através dos dados recolhidos da avenida em estudo, e utilizando as premissas do ponto 6.2 determinou-se a energia anual consumida assim como as emissões de CO2 equivalentes por

ano, quer para a tecnologia atualmente instalada quer para a solução proposta, como é possível visualizar na tabela seguinte.

Constata-se uma redução muito significativa da fatura energética, além de se evitar emissões anuais de 7,2 toneladas de CO2.

✓ Cálculo do custo total de propriedade TCO

Através do método de cálculo segundo o "*total cost of ownership*" TCO (custo total de propriedade) determinou-se o custo da solução proposta, fazendo a comparação com os encargos com a solução existente, embora sem considerar os custos de manutenção das luminárias existentes. O TCO do ano 0 é igual ao investimento inicial e todos os anos são somados ao custo do ano anterior, o custo de exploração do ano corrente.

Tabela 30 - Custo de propriedade TCO – LED Cree XSP1 vs VSAP

	Solução existente	Solução proposta
TCO0	0 €	8.319 €
TCO1	3.224,61 €	9.250,51 €
TCO2	6.449,22 €	10.182,07 €
TCO3	9.673,83 €	11.113,62 €
TCO4	12.898,44 €	12.045,17 €
TCO5	16.123,06 €	12.976,73 €
TCO6	19.347,67 €	13.908,28 €
TCO7	22.572,28 €	14.839,84 €
TCO8	25.796,89 €	15.771,39 €
TCO9	29.021,50 €	16.702,95 €
TCO10	32.246,11 €	17.634,50 €

Considerando somente os custos energéticos, a Solução proposta ao fim de cerca de 4 anos atinge um custo total de propriedade igual ao da solução existente, sendo daí para a frente lucro.

Considerando que a Luminária CREE tem uma garantia de fábrica de 10 anos e vida útil espectável superior a 100.000h, ou seja aproximadamente 22 anos, podemos dizer com segurança que é largamente vantajosa.

Ao fim do período de garantia de 10 anos a solução CREE é mais barata que a solução existente em 14.612 euros.

6.4.4. Cenário 2 - Alteração dos Balastros ferromagnéticos para Balastros Eletrônicos de Duplo Nível

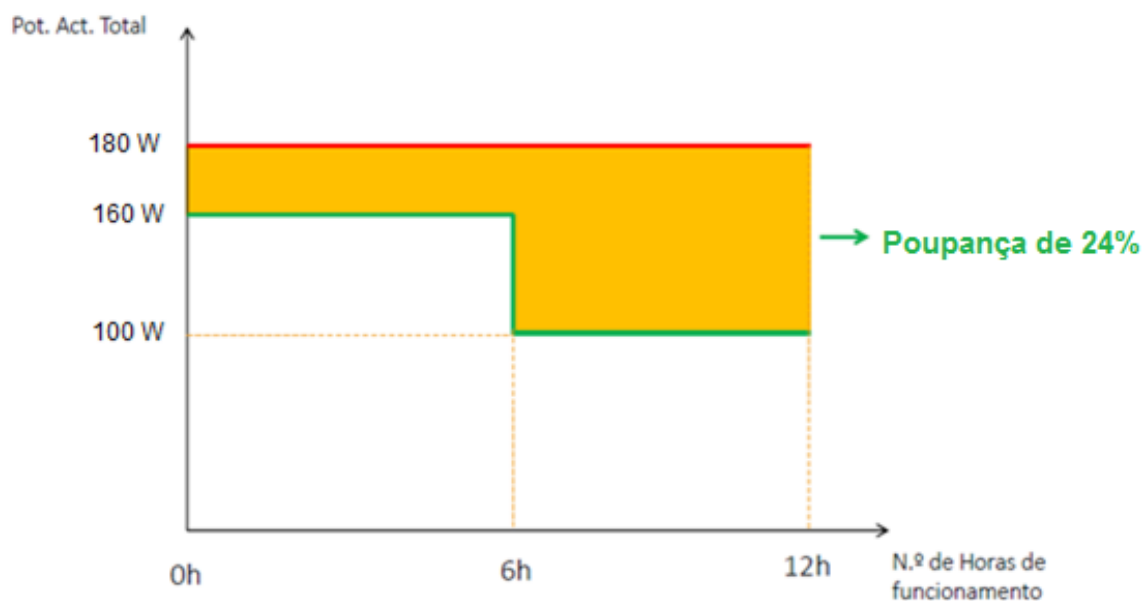


Figura 55 - Gráfico comparativo entre os balastros ferromagnético e eletrônico

Conforme se pode visualizar na Figura 55 este sistema pode atingir até 30 % de poupança no consumo de energia com a iluminação pública.

Conforme indicado no início do capítulo, da análise de balastros eletrônicos no mercado, escolheu-se o Ecosaver da Aura, tendo obtido os seguintes resultados.

Tabela 31 - Custo da alteração do Balastro ferromagnético para balastro multinível Proposto

Quantidade	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia com Balastro multinível (kWh)	Redução (%)	Custo (€)	TonCO2eq
26	150	160	16198,4	24 %	2996,7	7,6

6.4.5. Cálculo do custo total de propriedade TCO

Tabela 32 - Custo de propriedade TCO – Balastros Ferromagnético vs Eletrónico Ecosaver

	Solução existente	Solução proposta
TCO0	0 €	1.599 €
TCO1	3.224,61 €	4.595,70 €
TCO2	6.449,22 €	7.592,40 €
TCO3	9.673,83 €	10.589,10 €
TCO4	12.898,44 €	13.585,80 €
TCO5	16.123,06 €	16.582,50 €
TCO6	19.347,67 €	19.579,20 €
TCO7	22.572,28 €	22.575,90 €
TCO8	25.796,89 €	25.572,60 €
TCO9	29.021,50 €	28.569,30 €
TCO10	32.246,11 €	31.566,00 €

Considerando somente os custos energéticos, a Solução proposta ao fim de 7 anos atinge um custo total de propriedade igual ao da solução existente, sendo daí para a frente lucro.

Ao fim do período de 10 anos a solução do Balastro Eletrónico Ecosaver é mais barata que a solução existente em 680 euros, pelo que concluímos que este investimento é pouco atrativo. Esta análise pode facilmente perceber-se pela tabela seguinte.

Tabela 33 - Quadro comparativo das soluções propostas

	Consumo anual (kWh)	TonCO2 eq	Redução de consumo e emissões CO2	Encargo com consumo de energia	Investimento	Payback (anos)	Retorno em 10 anos
Solução existente VSAP	21.439	10,1	-	3.224,61 €	-	-	-
LED	6.194	2,9	71%	931,55 €	8.318,96 €	3,6	14.612 €
Balastro Ecosaver	16.198	7,6	24%	2.996,74 €	1.599,00 €	7,0	680 €

Através dos dados recolhidos da avenida em estudo, e utilizando as premissas do ponto 6.2 determinou-se a energia anual consumida assim como as emissões de CO2 equivalentes por ano, quer para a tecnologia atualmente instalada quer para a solução proposta.

6.5. Caraterização e Estudo de zona Rural

6.5.1. Levantamentos dos elementos da Aldeia de Travassô

O local em estudo é um lugar da freguesia de Abadim, concelho de Cabeceiras de Basto, e o motivo da seleção deste local é o facto de se tratar de um lugar com um total de 13 Luminárias, para que este caso de estudo possa ser aplicado neste município como projeto piloto nesta tecnologia, servindo assim com exemplo real no município e ponto de partida para a possível aplicação desta tecnologia noutros pontos do concelho.

O lugar dispõe de uma única “rua”, sem passeios, com disposição das luminárias não é uniforme, ou seja, estão colocadas ora de um lado da rua ora do outro lado, sem qualquer critério assente em estudos luminotécnicos.

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



Figura 56 – Mapa do Lugar de Travassô com pontos de iluminação pública identificados

Tabela 34 – Perfil da Via

Comprimento	585 metros
-------------	------------

Tabela 35 – Características da luminária e rede IP


Empresa	Soneres	
Luminária	Ródio	
Altura da Luminária em relação à via	6 metros	
Nº de Postes de Baixa Tensão	15	
Nº de Luminárias	13	
Distância entre luminárias	35 metros	
Índice de Proteção	IP 65	

Tabela 36 – Características da Lâmpada

Tipo de lâmpada	Potência
VSAP	70 W

6.5.2. Cenário 1 – Alteração na IP da Aldeia de Travassô para Iluminação LED

✓ Custo da iluminação VSAP existente

Tabela 37 – Consumo e Custo com Iluminação existente

Quantidade	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia anual consumida (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
13	70	85	5.062,0	761,40	2,4

Através dos dados recolhidos da avenida em estudo, e utilizando as premissas do ponto 6.2 determinou-se a energia anual consumida assim como as emissões de CO2 equivalentes por ano, quer para a tecnologia atualmente instalada quer para a solução proposta.

✓ Custo com a alteração para Iluminação LED

Na tabela seguinte são indicadas as premissas consideradas para cálculo dos consumos e custos com energia na solução proposta e os dados obtidos para consumos e custos da tecnologia existente e da tecnologia proposta.

✓ **Custo da com iluminação da solução proposta:**

Tabela 38 – Custo e Consumo com solução proposta

Quantidade	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia anual consumida (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
13	36,4	36,4	2.167,7	326,04	1,0

6.5.3. Cálculo do custo total de propriedade TCO – LED Cree XSP1 vs VSAP

Tabela 39 – Custo de propriedade TCO para solução LED proposta

	Solução existente	Solução proposta
TCO0	0 €	4.159 €
TCO1	761,37 €	4.485,52 €
TCO2	1.522,73 €	4.811,57 €
TCO3	2.284,10 €	5.137,61 €
TCO4	3.045,47 €	5.463,65 €
TCO5	3.806,83 €	5.789,70 €
TCO6	4.568,20 €	6.115,74 €
TCO7	5.329,57 €	6.441,79 €
TCO8	6.090,93 €	6.767,83 €
TCO9	6.852,30 €	7.093,87 €
TCO10	7.613,67 €	7.419,92 €

Pela análise do estudo económico para esta solução, constata-se que o retorno financeiro é mau pois as potências em causa são 70W e como tal as poupanças financeiras são baixas, não considerando também os custos com manutenção. De qualquer maneira os números apresentados que comparam a substituição da Luminária Ródio 70W ferromagnético pela luminária XSP1 com seletor de potência configurado para a posição E (consome 36,4W) dá um retorno do investimento em aproximadamente 10 anos, o que considera pouco atrativo.

6.5.4. Cenário 2 – Alteração dos Balastos ferromagnéticos para Balastos Eletrónicos de Duplo Nível

✓ **Custo da com iluminação da solução proposta:**

Tabela 40 – Consumo e Custo com solução de balastro eletrónico proposta

Quantidade	Lâmpada (W)	Potência (W)	Energia anual consumida (kWh)	Custo (€)	TonCO2eq
13	70	63	3.751,8	564,31	1,8

6.5.5. Cálculo do custo total de propriedade TCO

Tabela 41 – Custo de propriedade TCO para solução de balastro eletrónico proposta

	Solução existente	Solução proposta
TCO0	0 €	800 €
TCO1	761,37 €	1.363,81 €
TCO2	1.522,73 €	1.928,11 €
TCO3	2.284,10 €	2.492,42 €
TCO4	3.045,47 €	3.056,73 €
TCO5	3.806,83 €	3.621,03 €
TCO6	4.568,20 €	4.185,34 €
TCO7	5.329,57 €	4.749,65 €
TCO8	6.090,93 €	5.313,96 €
TCO9	6.852,30 €	5.878,26 €
TCO10	7.613,67 €	6.442,57 €

Da análise dos dados obtidos, constata-se que a solução do Balastro eletrónico Ecosaver consegue um retorno do investimento em 5 anos graças ao seu baixo valor de investimento (50€ + IVA), no entanto, devido às ao facto da luminária instalada, modelo Ródio da Soneres, ser em plástico, eventualmente poderá não garantir as condições de funcionamento do Balastro. Num período de 10 anos o retorno deste investimento será de 1.171 euros.

Na tabela seguinte é feito um resumo comparativo de ambos os cenários propostos para a iluminação da Aldeia de Travassô.

Tabela 42 – Comparação entre soluções propostas para a Aldeia de Travassô

	Consumo anual (kWh)	TonCO2 eq	Redução de consumo e emissões CO2	Encargo com consumo de energia	Investimento	Payback (anos)	Retorno em 10 anos
Solução existente VSAP	5.062	2,4	-	761,40 €	-	-	-
LED	2.168	1,0	57%	326,04 €	4.159 €	9,6	194 €
Balastro Ecosaver	3.752	1,8	26%	564,31 €	800 €	4,1	1.171 €

Considerando somente os custos energéticos, a solução proposta para alteração da tecnologia existente, VSAP, para LED é um investimento pouco atrativo, na ordem dos 10 anos.

Já no que diz respeito à solução proposta de alteração do balastro existente, ferromagnético por um eletrónico e de duplo nível programável, tem um retorno interessante, de pouco mais de 4 anos, sendo daí para a frente lucro.

Ao fim do período de 10 anos a solução do Balastro Eletrónico Ecosaver é mais barata que a solução existente em 1.171 euros.

6.6. Estudo de colocação de Regulação de Fluxo Luminoso nos PT's que representam 25 % do consumo de energia global em iluminação pública do município.

6.6.1. Levantamentos de dados dos Postos de Transformação que representam 25% do consumo de energia em IP- Metodologia

Deslocação ao local, com acompanhamento da EDP Distribuição, por forma serem efetuadas todas as leituras das grandezas elétricas necessárias, análise da rede de iluminação pública associada e análise das condições de instalação do Regulador de Fluxo Luminoso no exterior do PT. Com os valores das correntes obtivemos a potência total absorvida (kW) atualmente em cada PT, nos circuitos de IP associados.

A seleção do equipamento (RFL) com o respetivo Calibre (kVA), foi feita com base nas especificações de fabricantes de reguladores, bem como a possibilidade de futuras ampliações do circuito IP e a otimização dos circuitos efetuando um equilíbrio de fases.

O valor do investimento indicado, teve em conta um valor médio atual de mercado de um regulador de fluxo (para a potência selecionada), o respetivo armário exterior, a instalação eletromecânica, os trabalhos de construção civil, o sistema de telegestão e o quadro elétrico a instalar no interior do PT, para possibilitar a colocação em by-pass e em isolamento do RFL, bem como o ensaio com tensão mínima ao circuito de IP diretamente do interior do PT e a proteção do cabo de ligação ao RFL.

A poupança prevista indicada é aproximadamente de 30% com flutuações previsíveis, de acordo, com a estabilização da tensão nominal no período de arranque.

O consumo estimado para o ano de 2014 (sem aplicação de RFL), foi considerado tendo em conta a potência total absorvida e uma utilização média da iluminação pública 4.581 horas de utilização anual.

Efetuada o produto obtemos então a energia consumida (kWh) / Ano. Utilizando a tarifa em vigor de IP de 0,1223 (mais IVA), obtemos os custos estimados para cada PT.

Tabela 43 - Custo energético atual (sem RFL)

Designação PT	TOTAL POTÊNCIA	Consumo anual Energia (kWh)	Custo (€)	emissões TCO2
ABADIM- ABADIM	7.812	35.787	5.382,62 €	16,8
ARCO BAULHE- MIRANTE	8.340	38.206	5.746,42 €	18,0
ARCO BAULHE- CERCA NOVA	13.776	63.108	9.491,93 €	29,7
REFOJOS- PONTE DE PE	11.388	52.168	7.846,55 €	24,5
REFOJOS -CAMPO SECO	6.984	31.994	4.812,11 €	15,0
REFOJOS- CACHADA	11.892	54.477	8.193,82 €	25,6
REFOJOS -CERCA DOS FRADES	12.444	57.006	8.574,16 €	26,8
REFOJOS- SOBREIRA	11.004	50.409	7.581,97 €	23,7
RIO DOURO- CAMBEZES	9.156	41.944	6.308,66 €	19,7
SÃO NICOLAU- CUMIEIRA	10.356	47.441	7.135,49 €	22,3
VILA NUNE- CASA NOVA	8.484	38.865	5.845,64 €	18,3
PAINZELA- BAIRRO ALTO	13.248	60.689	9.128,13 €	28,5
Refojos - Acácias	10.776	49.365	7.424,87 €	23,2
Refojos - Quinta do Mosteiro	29.460	134.956	20.298,51 €	63,4
REFOJOS-QUINTA DA PORTELA	14.160	64.867	9.756,52 €	30,5
TOTAL:	179.280	821.282	123.527,4 €	386,0

Nos anexo A, B e C, pode visualizar-se os dados recolhidos nos PT's visitados, responsáveis por 25 % do consumo da IP do município.

Tabela 44 - Custos com aquisição de 15 RFL

PROPOSTA DE INSTALAÇÃO DE RFL EM 15 PT's	
Nº de RFL propostos	15
Custo RFL	162.965,85 €
Consumo anual das luminárias com RFL	631.755,1
TonCO2eq	296,9
Horas de funcionamento anuais da iluminação	4581
Preço do kW de energia	0,1504 €
Custo energético anual da solução Existente	123.527,41 €
Custo energético anual da solução Proposta	95.021,08 €

Tabela 45 - Cálculo de TCO sem custos de manutenção

	Solução existente	Solução proposta
TCO0	0 €	162.965,85 €
TCO1	123.527,41 €	257.986,93 €
TCO2	247.054,82 €	353.008,02 €
TCO3	370.582,23 €	448.029,10 €
TCO4	494.109,64 €	543.050,18 €
TCO5	617.637,04 €	638.071,27 €
TCO6	741.164,45 €	733.092,35 €
TCO7	864.691,86 €	828.113,44 €
TCO8	988.219,27 €	923.134,52 €
TCO9	1.111.746,68 €	1.018.155,60 €
TCO10	1.235.274,09 €	1.113.176,69 €

Considerando somente os custos energéticos, a Solução proposta ao fim de 6 anos atinge um custo total de propriedade igual ao da solução existente, sendo daí para a frente lucro.

Ao fim do período de 10 anos a solução do RFL é mais barata que a solução existente em 122.097 euros.

7. Conclusões

É notório que cada vez mais, a gestão eficiente de energia é uma preocupação da sociedade moderna. Deste modo, é importante uma contínua investigação de tecnologias mais eficientes e sustentáveis.

Ao longo deste trabalho, foram analisadas várias formas promoção de eficiência energética na iluminação pública, tendo-se constatado que existe uma grande potencial redução de consumos energéticos com a instalação de equipamentos energeticamente mais eficientes, que para além de consumirem menos energia, pela diminuição da potência instalada, permitem melhores condições de visibilidade, como é o caso das luminárias LED que permitem reduzir o consumo de energia, aumentando o índice de restituição de cor, ou seja aumentam a capacidade de reconhecimento de pessoas ou objetos a quem circula nas vias.

Do levantamento feito na IP do caso de estudo, constatou-se que por exemplo no caso de luminárias de iluminação pública, grande parte do parque de IP têm baixo rendimento luminoso, devido às características construtivas e dos seus materiais, por exemplo difusores plásticos, que em pouco tempo ficam escuros e com bastante sujidade, o que influencia as condições luminotécnicas dos espaços que iluminam.

As tecnologias que dispomos em mercado, começam a ter preços mais acessíveis do que à alguns anos, e podendo ainda aproveitar candidaturas a fundos comunitários, afiguram-se como investimentos muito interessantes, sempre dependendo do caso em concreto onde se pretenda aumentar a eficiência energética dos equipamentos.

Do estudo elaborado, percebe-se que a iluminação LED se coloca como a tecnologia no presente mais interessante, uma vez que permite poupanças que podem chegar aos 75%, enquanto na instalação de reguladores de fluxo luminoso as reduções são na ordem dos 30%, e no caso da alteração para balastros eletrónicos multinível, as poupanças rondam os 30%.

O investimento inicial é que é bastante diferente para qualquer uma das tecnologias atrás descritas, e no caso da iluminação LED é bastante elevado, mas acaba por ter retornos muito mais interessantes, além de tecnicamente ser uma melhor solução. A solução de RFL para o

município em estudo, apenas se afiguraria como interessante para parte dos PT's, uma vez que PT's com circuitos muito longos, acabam por ter quedas de tensão elevadas, e que acabam por não ligar os pontos de IP nas pontas dos circuitos, por não dispor da tensão mínima de funcionamento da lâmpada instalada, quando se aplicarem as reduções de tensão para redução do fluxo luminoso. No entanto não deixa de ser a solução mais interessante do ponto de vista do investimento inicial para todo o parque IP do município, pois no caso dos RFL, e não considerando as limitações atrás referidas, seriam necessários 170 unidades para cobrir todo o concelho, enquanto que para iluminação LED ou para a alteração para balastos eletrónicos seriam necessários 7.814 unidades.

Os consumos energéticos considerados para o caso de estudo, assim como as correntes por fase nos circuitos de IP, contemplam as desligações dos candeeiros de IP efetuadas em 2011, pelo que, caso este estudo fosse com os consumos da iluminação pública instalada toda ao serviço, e ainda com a consideração de custos de manutenção, os retornos do investimento e as poupanças seriam mais interessantes.

Fazendo um breve resumo do caso de estudo urbano, na solução LED para a avenida em estudo permitirá uma poupança em 10 anos de 14.612 euros, face ao atual sistema instalado, assim como no caso do Balastro Eletrónico, não se afigurar de interessante investimento, pelo facto de tem um retorno de 7 anos e apenas ter ganhos de 680 euros num período de 10 anos.

Quanto ao caso de estudo rural, a solução LED é segundo a avaliação económica uma investimento nada atrativo, pelo facto de apenas permitir a recuperação do investimento 10 anos depois. Relativamente à outra solução proposta para este local rural, que consistia na alteração do balastro ferromagnético para eletrónico de duplo nível, já é bem mais interessante dado ter um retorno de 5 anos, sendo o lucro ao final de 10 anos de aproximadamente 1.171 euros.

Constata-se assim, tem de ser sempre analisada qualquer solução instalação de equipamentos de eficiência energética, caso a caso, para avaliar qual o sistema mais interessante para o caso em concreto.

Relativamente à regulação de fluxo é um sistema interessante, mas terá que ser sempre também estudado com base no caso concreto do PT onde se pretenda a sua instalação, sendo fatores muito importantes a idade da instalação IP assim como se têm redes IP muito

extensas, uma vez que com as quedas de tensão em fim de linha, aplicar sem uma análise rigorosa um RFL, poderá fazer com que nas reduções de tensão programadas possa desligar completamente os ramais de IP em fim de linha.

Em suma, a iluminação LED afigura-se como a melhor e mais eficiente solução, implicando investimentos mais elevados, sendo no entanto as poupanças sempre mais elevadas, o que analisando a médio/longo prazo tem retornos muito interessantes. Além das poupanças nos consumos um fator muito importante é o facto das luminárias LED ter períodos de vida superiores a 13 anos, sendo por exemplo no caso da luminária escolhida para os casos de estudo, superior a 22 anos, o que permite grandes poupanças em custos fixos com manutenção das luminárias.

A principal característica dos sistemas de IP é, acima de tudo promover a sua segurança, potenciar locais e trazer uma boa qualidade de vida a quem a utiliza, fazendo da luz um instrumento de orientação e de mobilidade, individualizando percursos urbanos e ambientes específicos.

Como sugestões para trabalhos futuros, no município em estudo sugere-se, projetar o aproveitamento de produção de energia renovável para alimentação da IP principalmente nas aldeias mais isoladas assim como, a criação de uma plataforma Web de consulta dos pontos de iluminação pública do concelho e respetivos consumos e emissões CO2 associadas.

Referências Documentais

- [1] Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012, ponto 1; <http://www.elecpor.pt/> , [Online]
- [2] Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, pagina 2056, <http://www.promar.gov.pt/>, [Online]
- [3] Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio, <http://www.promar.gov.pt/>, [Online]
- [4] Enquadramento Legislativo do PPEC, ERSE, <http://www.erse.pt/> [Online]
- [5] Wikipédia – Eficiencia Energetica, <http://pt.wikipedia.org> [Online]
- [6] ADENE, Enerbulding - A utilização racional de energia em edifícios públicos, <http://www2.adene.pt> [Online] , Portugal
- [7] EDP – Distribuição, Manual de Iluminação Pública – volume 1, Julho de 2010
- [8] Teixeira, Armínio.- Grandezas Usadas Em Luminotecnia, Porto, Feup, 2003
- [9] Documento de referencia Eficiência Energética na Iluminação Pública, <http://www.lighting-living-lab.pt> [Online]
- [10] EDP – Distribuição, Manual de Iluminação Pública – volume 2, Julho de 2010
- [11] EDP – Distribuição. Aparelhos de Iluminação Elétrica e Acessórios: luminárias de iluminação pública, tecnologia LED. 2010
- [12] EDP – Distribuição, Manual da Iluminação Pública – volume 3, Julho de 2010
- [13] Jesus, Christophe., Otimização energética em Unidade Industrial: o caso da Cerutil. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu. 2012
- [14] *Nyserda. How-to Guide to Effective Energy-Efficient Street Lighting for Municipal Planners and Engineers*, 2002.
- [15] Organization, Z., *ZigBee Specification*. ZigBee Standars Organization. 2008
- [16] Santos, Cristiana., Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética. Porto, Feup. 2011
- [17] Schréder Portugal. Dossier - A iluminação sustentável. <http://www.schreder.com/> [online]
- [18] Seca, Nuno., *Sistemas de Informação aplicados a Sistemas de Iluminação Pública*. Porto: Universidade Portucalense. 2013
- [19] Tecnologia LED, Energiaviva., <http://www.energiaviva.pt/dossier-iluminacaoled.php>, [online]
- [20] *Sustainable Public Lighting Toolbox*. www.iclei.org [Online].
- [21] Compacto, 2010, <http://www.augier.com/en/our-products/dimmers-regulators/compacto.html> [online]

- [22] Servitec - RF16TLCB,
http://www.servi-tec.com/archivos/Manual_Reductor_Mecanico.pdf [online]
- [23] OWLET, Sistema Digital Wireless para Telegestão na IP
- [24] SIGE, Sistema Digital de Telegestão por PLC (Portadora de Corrente) na IP
- [25] EDP – Distribuição. Aparelhos de Iluminação Elétrica e Acessórios: reguladores de fluxo luminoso para aplicação em circuitos de iluminação pública. 2011
- [26] Amorim, António., Novas Tecnologias na Iluminação Pública. Workshop Eficiência Energética na Iluminação, 2009

ANEXOS

ANEXO A

Código da instalação	FREGUESIA	Designação PT	TOTAL POTÊNCIA	Consumo anual Energia (kWh)	Custo (€)	Emissões TCO2
0304D2000100	ABADIM	ABADIM- ABADIM	7.812	35.787	5.382,62 €	16,8
0304D2000600	ARCO DE BAULHE	ARCO BAULHE- MIRANTE	8.340	38.206	5.746,42 €	18,0
0304D2000700	ARCO DE BAULHE	ARCO BAULHE- CERCA NOVA	13.776	63.108	9.491,93 €	29,7
0304D2004000	REFOJOS DE BASTO	REFOJOS- PONTE DE PE	11.388	52.168	7.846,55 €	24,5
0304D2004600	REFOJOS DE BASTO	REFOJOS -CAMPO SECO	6.984	31.994	4.812,11 €	15,0
0304D2004700	REFOJOS DE BASTO	REFOJOS- CACHADA	11.892	54.477	8.193,82 €	25,6
0304D2004900	REFOJOS DE BASTO	REFOJOS -CERCA DOS FRADES	12.444	57.006	8.574,16 €	26,8
0304D2005000	REFOJOS DE BASTO	REFOJOS- SOBREIRA	11.004	50.409	7.581,97 €	23,7
0304D2005700	RIO DOURO	RIO DOURO- CAMBEZES	9.156	41.944	6.308,66 €	19,7
0304D2006900	S. NICOLAU	SÃO NICOLAU- CUMIEIRA	10.356	47.441	7.135,49 €	22,3
0304D2007400	VILA NUNE	VILA NUNE- CASA NOVA	8.484	38.865	5.845,64 €	18,3
0304D2007800	PAINZELA	PAINZELA- BAIRRO ALTO	13.248	60.689	9.128,13 €	28,5
0304D2010100	REFOJOS DE BASTO	Refojos - Acácias	10.776	49.365	7.424,87 €	23,2
0304D2011100	REFOJOS DE BASTO	Refojos - Quinta do Mosteiro	29.460	134.956	20.298,51 €	63,4
0304D2012200	REFOJOS DE BASTO	REFOJOS-QUINTA DA PORTELA	14.160	64.867	9.756,52 €	30,5
TOTAL:			179.280	821.282	123.527,4 €	386,0

ANEXO B

PT	Designação	N Lat	W Long	Tipo de Comando IP	Correntes Totais por Fase no Q.G. IP			Tensões por Fase no Q.G. IP			Tensões na coluna mais afastada			Queda de tensão por fase			nº Circuitos	nº focos IP
					FASE	FASE	FASE	FASE	FASE	FASE	FASE	FASE	FASE	FASE	FASE			
					R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T		
PT0057	RIO DOURO – CAMBEZES	41,54469	-7,94882	RH	25	20	0	227	227	226	202	203	205	25	24	21	2	109
PT0069	SÃO NICOLAU – CUMIEIRA	41,54463	-8,01839	RH	47	20	0	242	242	245	204	205	206	38	37	39	2	119
PT0046	REFOJOS - CAMPO SECO	41,51367	-7,98799	RH	30	20	0	229	230	230	207	209	209	22	21	21	2	57
PT0040	REFOJOS - PONTE PÉ	41,51969	-7,98374	RH	36	30	0	228	228	226	204	206	208	24	22	18	2	133
PT0047	REFOJOS - CACHADA	41,52433	-7,99529	RH	35	24	0	242	242	244	204	206	208	38	36	36	2	81
PT0006	ARCO DE BAULHE - MIRANTE	41,48637	-7,96336	RH	38	41	0	243	243	241	209	208	209	34	35	32	2	65
PT0007	ARCO DE BAULHE - CERCA NOVA	41,48141	-7,95113	RH	24	23	28	245	248	248	205	206	207	40	42	41	3	148
PT0074	VILA NUNE - CASAS NOVAS	41,46382	-7,95214	RH	20	35	8	256	257	256	212	210	214	44	47	42	3	101
PT0001	ABADIM- ARNADO	41,53684	-7,99139	RH	17	19	3	239	241	241	214	214	215	25	27	26	3	98
PT0050	REFOJOS - SOBREIRA	41,50803	-7,98267	RH	45	50	0	240	239	239	200	200	204	40	39	35	2	107
PT0078	PAINZELA - BAIRRO ALTO	41,51422	-8,00405	RH	52	30	0	236	236	238	201	203	204	35	33	34	2	153
PT0049	REFOJOS - CERCA DOS FRADES	41,51608	-7,99289	RH	31	37	0	231	231	229	210	209	211	21	22	18	2	88
PT0101	REFOJOS - ACÁCIAS	41,51258	-7,99510	RH	40	25	0	231	231	230	209	211	212	22	20	18	2	67
PT0111	REFOJOS - QUINTA DO MOSTEIRO	41,51262	-7,98896	RH	35	24	31	229	229	228	202	204	202	27	25	26	3	201
PT0122	REFOJOS - QUINTA DA PORTELA	41,51552	-7,98263	RH	26	24	0	233	233	234	209	209	210	24	24	24	2	76

* RH - Relógio astronómico

ANEXO C

PT	Designação	N Lat	W Long	DIMENSIONAMENTO DO REGULADOR
				Potência Mínima RFL (kVAr)
PT0057	RIO DOURO - CAMBEZES	41,54469	-7,94882	2x10
PT0069	SÃO NICOLAU - CUMIEIRA	41,54463	-8,01839	25,0
PT0046	REFOJOS - CAMPO SECO	41,51367	-7,98799	2x10
PT0040	REFOJOS - PONTE PÉ	41,51969	-7,98374	25,0
PT0047	REFOJOS - CACHADA	41,52433	-7,99529	25,0
PT0006	ARCO DE BAULHE - MIRANTE	41,48637	-7,96336	30,0
PT0007	ARCO DE BAULHE - CERCA NOVA	41,48141	-7,95113	25,0
PT0074	VILA NUNE - CASAS NOVAS	41,46382	-7,95214	25,0
PT0001	ABADIM- ARNADO	41,53684	-7,99139	2x10
PT0050	REFOJOS - SOBREIRA	41,50803	-7,98267	40,0
PT0078	PAINZELA - BAIRRO ALTO	41,51422	-8,00405	30,0
PT0049	REFOJOS - CERCA DOS FRADES	41,51608	-7,99289	25,0
PT0101	REFOJOS - ACÁCIAS	41,51258	-7,99510	30,0
PT0111	REFOJOS - QUINTA DO MOSTEIRO	41,51262	-7,98896	30,0
PT0122	REFOJOS - QUINTA DA PORTELA	41,51552	-7,98263	25,0