

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Maria João Pereira Queirós

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre no Mestrado em
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

8 de dezembro de 2013

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

Candidato: Maria João Pereira Queirós, N° 1060850 (1060850@isep.ipp.pt)

Orientação Científica: Eng.º Filipe Miguel Tavares de Azevedo (fta@isep.ipp.pt)

Empresa: EDP Distribuição – Energia, S.A.

Supervisão: Eng.º Domingos Pereira Carvalho (domingos.pereiracarvalho@edp.pt)

Mestrado em Engenharia Energias Sustentáveis
Departamento de Engenharia Mecânica



8 de dezembro de 2013

Resumo

O presente trabalho aborda a temática da eficiência energética em sistemas de iluminação pública. A principal motivação prende-se com o peso significativo que a parcela energética destes sistemas ocupa na economia mundial.

O uso eficiente de energia é uma crescente preocupação devido à diminuição de recursos, às consequências climáticas cada vez mais marcadas e ao elevado custo da energia, representando ainda um papel fundamental ao nível económico e de competitividade.

A Iluminação Pública (IP) representa um peso importante nas despesas correntes dos municípios. É assim importante encontrar uma solução que permita manter níveis de segurança e conforto necessários às populações e que proporcione uma redução substancial do peso da IP nas despesas municipais. Neste sentido, este trabalho propõe-se estudar esta problemática, apresentando uma sistematização de soluções eficientes, quer a nível de lâmpadas e luminárias como também ao nível de tecnologias que auxiliem e complementem a eficiência de uma instalação de iluminação pública.

A dissertação está dividida em duas partes. A primeira parte sistematiza os consumos verificados em Portugal, a vários níveis (consumo de energia elétrica, evolução do consumo energético de iluminação pública, etc.) abordando as políticas de eficiência energética, e são descritos alguns procedimentos que possibilitam a poupança energética na iluminação pública, aliada a instalações eficientes. A segunda parte da dissertação contempla o estudo de um caso prático cujo objetivo é propor soluções técnicas que permitam melhorar a eficiência energética na iluminação pública de Esposende, face à situação atual do concelho. Serão propostas várias soluções, tais como luminárias LED, balastros electrónicos reguláveis, lâmpadas de menor consumo e até mesmo o uso da telegestão.

Palavras-Chave

Eficiência energética, iluminação pública, lâmpadas, luminárias

Abstract

This work analyses energy efficiency in systems of public illumination. The main motivation is related to the significant percentage that these energy systems occupies in the global economy.

Efficient use of energy is a growing concern due to shrinking resources, where consequences of climate changing is increasing as well as energy cost, which still represents a key role in economic level.

Public illumination (PI) represents an important weight on government expenditure's. Not only it's important to look for a solution to keep safety levels and comfort to populations, but also providing a substantial reduction on expenditures. This way, it proposes to study and analyzing this problem, presenting a systematic efficient solutions, both in terms of lamps and fixtures as well as technological level, to support and, complement installation's efficiency of public illumination.

The dissertation is divided in two parts. First part sets out energy consumption recorded in Portugal, on different levels (electricity consumption and evolution of energy consumption on public illumination), addressing energy efficiency policies as well as some procedures which are described and enables energy savings in lighting, when combined with efficient facilities. The second part includes a case of study whose aim is to present technical solutions in order to improve energy efficiency in Esposende public illumination, considering its current situation. It presents several solutions such as LED lamps, dimmable electronic ballasts, bulbs with lower consumption and use of remote management (telemanagement).

Keywords

Energy efficiency, public lighting, bulbs, luminaire

Agradecimentos

Em jeito de agradecimento, gostaria de deixar aqui umas palavras a todos aqueles que me ajudaram e apoiaram a atingir esta importante meta na minha vida.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao ISEP pela cedência de espaços e de todos os materiais necessários para efetuar um bom estudo e um bom trabalho.

Ao meu orientador, Engenheiro Filipe Azevedo, o meu obrigado pelas suas observações e ajuda prestada na orientação do trabalho.

Agradeço ao orientador Engenheiro Domingos Carvalho da EDP Distribuição, pelo acolhimento e apoio na empresa.

Gostaria também de agradecer a toda a equipa da EDP Distribuição, Área Operacional de Braga, que se mostraram sempre disponíveis para ajudar e pelos dados fornecidos para o planeamento do trabalho

Por último queria deixar um muito obrigado à minha família. Aos meus pais que me apoiaram sempre no meu estudo e me proporcionaram sempre as melhores condições para o meu estudo.

A todos os meus amigos e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

Índice

RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
NOMENCLATURA	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÃO E OBJECTIVOS DO TRABALHO	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	3
2. GRUPO EDP	5
2.1. HISTORIAL DA EMPRESA	5
2.2. A EDP DISTRIBUIÇÃO	7
3. CONCEITOS GERAIS DA REDE ELÉCTRICA	11
3.1. OS AGENTES DO SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL	11
3.2. SUBESTAÇÕES	13
3.3. POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO	15
3.4. REDE DE BAIXA TENSÃO - ILUMINAÇÃO PÚBLICA (IP)	17
4. CONSUMO ENERGÉTICO DE IP EM PORTUGAL	21
4.1. CONSUMOS DE ELETRICIDADE	21
4.2. CONSUMOS DE ENERGIA NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	22
4.3. SITUAÇÃO ATUAL DA IP	23
5. POLÍTICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	27
5.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	27
5.2. ESTRATÉGIA NACIONAL PARA A ENERGIA	29
5.3. ESTRATÉGIA PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – PNAEE 2016	30
5.4. ESTRATÉGIA PARA AS ENERGIAS RENOVÁVEIS – PNAER 2020	33
5.5. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO ESTADO	33
6. ESTADO DA ARTE DOS SISTEMAS DE IP	37
6.1. EVOLUÇÃO DA IP EM PORTUGAL E NO MUNDO	37
6.2. GRANDEZAS E CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	39
6.3. CARACTERÍSTICAS DAS LUMINÁRIAS	40

6.4.	CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS	45
6.5.	CARACTERÍSTICAS DOS BALASTROS	60
7.	SISTEMAS DE CONTROLO E GESTÃO DE ENERGIA	63
7.1.	TIPOS DE SISTEMAS	63
8.	APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO DE ESTUDO	71
8.1.	CARACTERIZAÇÃO DO CONCELHO DE ESPOSENDE	71
8.2.	SITUAÇÃO ENERGÉTICA DE ESPOSENDE	72
8.3.	ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM ESPOSENDE	73
8.4.	HORAS DE FUNCIONAMENTO DA IP	75
8.5.	NÚMERO DE LÂMPADAS EM SERVIÇO	77
8.6.	CONSUMOS EM IP E FATURA ENERGÉTICA	78
9.	APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIAS	81
9.1.	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	81
9.2.	DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA ATUAL	85
9.3.	ALTERNATIVA PROPOSTA 1 – LED E <i>DRIVER</i> REGULADOR	90
9.4.	ALTERNATIVA PROPOSTA 2 – BALASTRO ELETRÓNICO REGULÁVEL	103
9.5.	ALTERNATIVA PROPOSTA 3 – LÂMPADAS VSAP 70W	107
9.6.	ALTERNATIVA PROPOSTA 4 – TELEGESTÃO	109
10.	CONCLUSÕES	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

Índice de Figuras

Figura 1 – Primeiro logótipo EDP.....	5
Figura 2 – Logótipo da EDP – Eletricidade de Portugal, S.A.....	6
Figura 3 – Logótipo EDP – Energias de Portugal.....	6
Figura 4 – Diversos logótipos da EDP.....	7
Figura 5 – Agentes do Sistema Elétrico Nacional.....	13
Figura 6 – Exemplo de uma Subestação a céu aberto.....	14
Figura 7 – Exemplo de um quadro BT de um PT Aéreo.....	16
Figura 8 – Exemplo de um quadro BT de um PT cabine alta.....	16
Figura 9 – Ligação através de linha aérea da rede de IP.....	17
Figura 10 – Exemplos de cabo torçada usados na IP.....	18
Figura 11 – Ligação através de linha subterrânea da rede de IP.....	18
Figura 12 – Gastos de eletricidade na Administração Pública em 2005.....	22
Figura 13 – Diagrama típico de custos, após 25 anos de vida útil de uma rede de IP.....	24
Figura 14 – Programas do PNAEE 2008.....	30
Figura 15 – Impacto previsto das medidas de eficiência energética do PNAEE a 2016.....	31
Figura 16 – Resultados do Plano Nacional Acção Eficiência Energética no Estado.....	32
Figura 17 – Resumo das poupanças totais alcançadas com o PNAEE 2008.....	33
Figura 18 – Poupanças alcançadas com o programa “Eficiência Energética no Estado”.....	34
Figura 19 – Exemplo de uma luminária LED e luminária com lâmpada VSAP.....	41
Figura 20 – Exemplo de uma luminária.....	42
Figura 21 – Luminária com difusor em vidro auto-limpável.....	43
Figura 22 – Luminária com grelhas limitadoras.....	43
Figura 23 – Exemplo de uma luminária globo ineficiente e eficiente.....	44
Figura 24 – Luminária alimentada por energias renováveis.....	44
Figura 25 – Tipos de temperatura de cor.....	46
Figura 26 – Lâmpada incandescente.....	47
Figura 27 – Lâmpada de mercúrio.....	48
Figura 28 – Lâmpada fluorescente.....	49
Figura 29 – Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.....	49
Figura 30 – Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão.....	50
Figura 31 – Lâmpada de iodetos metálicos.....	50
Figura 32 – Lâmpada de indução.....	51
Figura 33 – Princípio de funcionamento do LED.....	51
Figura 34 – Lâmpada LED.....	52

Figura 35 – <i>Binning</i> dos LEDs.....	52
Figura 36 – Evolução de todo o tipo de lâmpada.....	59
Figura 37 – Sensor crepuscular.....	64
Figura 38 – Relógio Astronómico.....	65
Figura 39 – Reactância de duplo nível.....	66
Figura 40 – Exemplo de sensor de movimento.....	66
Figura 41 – Exemplo de funcionamento de um regulador de fluxo.....	67
Figura 42 – Regulador de Fluxo.....	68
Figura 43 – Sistema de gestão da iluminação pública Dial4Light.....	69
Figura 44 – Localização de Esposende.....	72
Figura 45 – Consumo de energia elétrica total e por tipo de consumo.....	72
Figura 46 – Consumo de energia na iluminação pública.....	73
Figura 47 – Foco desligado.....	73
Figura 48 – Plataforma de georreferenciação GeoAct.....	83
Figura 49 – Zona de Outeirinho em Esposende.....	84
Figura 50 – Quadro Geral Baixa Tensão do PT12.....	84
Figura 51 – Constituição do circuito IP.....	85
Figura 52 – Esquema representativo da IP do PT 12.....	85
Figura 53 – Luminárias do PT 12.....	86
Figura 54 – Relógio Astronómico.....	88
Figura 55 – Zona de estudo e respectivas ruas.....	91
Figura 56 – Requisitos de iluminância hemisférica exigidos pela classe A.....	93
Figura 57 – Requisitos de luminância da superfície da estrada.....	93
Figura 58 – Luminária <i>Mini Iridium LED BGS 451 ECO43-2S/740 MSO</i>	95
Figura 59 – Grau de Luminância.....	96
Figura 60 – Resultado luminotécnico da Rua 1 e 2.....	97
Figura 61 – Resultado luminotécnico da Rua 3 e 4.....	98
Figura 62 – Funcionamento do Lumistep.....	100
Figura 63 – Programação do Lumistep.....	100
Figura 64 – Condutividade térmica de materiais a 27°C.....	54
Figura 65 – Modelo de dissipador de calor agregado às placas de LED.....	56
Figura 66 – Estrutura de uma placa LED.....	57
Figura 67 – Distribuição de temperatura no chip LED.....	58
Figura 68 – Balastro eletrónico regulável Altron/Bipall.....	104
Figura 69 – Ciclo de funcionamento do balastro electrónico Bipall.....	105
Figura 70 – Programação do Bipall.....	105
Figura 71 – Resultados luminotécnicos da Rua 1 e 2.....	108
Figura 72 – Resultados luminotécnicos da Rua 3 e 4.....	108
Figura 73 – Telegestão por PLC.....	110

Figura 74 – Telegestão por RF (<i>Wireless</i>)	111
Figura 75 – Sistema de Telegestão ponto a ponto <i>Starsense</i>	111
Figura 76 – Controladores de luminária exterior	112
Figura 77 – Controlador de segmento	113
Figura 78 – Comparação entre tecnologias	120

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Comparação de tecnologias.....	59
Tabela 2 – Horas de funcionamento da IP de Esposende.....	75
Tabela 3 – Horário de programação do relógio astronómico em Esposende	76
Tabela 4 – Número de horas em que a IP está ligada por mês	76
Tabela 5 – Número de lâmpadas em serviço.....	77
Tabela 6 – Custo de energia na IP	78
Tabela 7 – Dados do Levantamento da IP de Esposende.....	87
Tabela 8 – Corrente e Tensão do PT 12	87
Tabela 9 – Consumo de energia na IP do PT 12	88
Tabela 10 – Média do consumo por mês.....	89
Tabela 11 – Consumo com a IP ligada e com 38% desligada.....	89
Tabela 12 – Caracterização das ruas	91
Tabela 13 – Características dos passeios da Rua 1 e 2.....	92
Tabela 14 – Resumo das características de cada rua e luminária.....	98
Tabela 15 – Comparação da tecnologia actual com a proposta.....	98
Tabela 16 – Comparação de tecnologias.....	119

Nomenclatura

Caracteres Romanos

- F* – Fluxo luminoso (lm)
- I* – Intensidade luminosa (cd)
- E* – Iluminância (lm/m²)
- E_{med}* – Iluminância média (lm/m²)
- E_{min}* – Iluminância mínima (lm/m²)
- L* – Luminância (cd/m²)
- K* – Temperatura da cor (Kelvin)
- U₀* – Uniformidade geral
- Q_{cond}* – Taxa condução de calor (W)
- A* – Área (m)
- L* – Espessura (m)
- T* – Temperatura (Kelvin)
- Q_{conv}* – Taxa convecção de calor (W)
- h* – Coeficiente transferência de calor por convecção (W/m².K)
- Q_{rad}* – Taxa radiação de calor (W)

Caracteres Gregos

η – Rendimento luminoso (lm/W)

κ – Condutividade térmica (W/m.K)

ε – Emissividade

σ – Constante Stefan-Boltzmann

Abreviaturas

PNAEE – Plano Nacional Acção Eficiência Energética

IP – Iluminação Pública

RND – Rede Nacional Distribuição

MAT – Muito Alta Tensão

AT – Alta Tensão

MT – Média Tensão

BT – Baixa Tensão

SE – Subestação

PT – Posto Transformação

SEN – Serviço Eléctrico Nacional

ERSE – Entidade Reguladora Serviços Energéticos

DGEG – Direcção Geral Energia e Geologia

ENE	–	Estratégia Nacional Energia
PNAER	–	Plano Nacional Acção Energia Renovável
ESE	–	Empresa Serviços Energéticos
QREN	–	Quadro Referência Estratégica Nacional
IP	–	Índice Protecção
IRC	–	Índice Reprodução Cores
CFL	–	<i>Compact Fluorescent Lamps</i>
LED	–	<i>Light Emitting Diode</i>
SIG	–	Sistemas Informação Geográfica
GPS	–	<i>Global Position System</i>
VSAP	–	Vapor Sódio Alta Pressão
QGBT	–	Quadro Geral Baixa Tensão
PIP	–	Ponto Iluminação Pública
PCI	–	Placa Circuito Interno
PLC	–	<i>Power Line Carrier</i>
RF	–	<i>Radio Frequency</i>

1. Introdução

A iluminação pública constitui um importante factor económico na sociedade atual, uma vez que é responsável por uma fatia considerável nos gastos energéticos mundiais. A factura relativa à iluminação pública pode ultrapassar 50% do total do orçamento dos municípios. O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética define, entre outras áreas, um conjunto de medidas de eficiência energética na área do Estado, que incluem a “Iluminação Pública Eficiente”. De acordo com o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), em Portugal a Iluminação Pública 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.

1.1. Motivação e objetivos do trabalho

As necessidades de iluminação têm vindo a aumentar de uma forma vertiginosa, muito devido ao acentuado aumento demográfico no planeta nas últimas décadas. Um dos problemas desta evolução tem sido a procura incessante por energia. No virar deste século a população mundial deparou-se com problemas de vertente ecológica e de escassez de recursos. Desde então tem-se vindo a procurar formas de minimizar o impacto no ambiente, bem como aperfeiçoar e minorar os gastos energéticos.

Atualmente, a eficiência energética é uma das grandes preocupações da sociedade moderna, por isso nos dias de hoje estamos a assistir à introdução de novas tecnologias, nas mais diversas áreas, que visam atingir esse objetivo. É neste panorama que se insere a

temática da iluminação pública, uma vez que desde sempre constituiu uma das mais importantes formas de segurança em ambiente noturno e é responsável por um elevado consumo elétrico total.

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, atuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar plenamente do espaço público no período noturno. Além de estar diretamente ligada à segurança no tráfego, esse tipo de iluminação também embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, facilita a hierarquia viária, orienta percursos e permite melhor aproveitamento das áreas de lazer. Dessa forma, a melhoria da qualidade dos sistemas de iluminação pública favorece o turismo, o comércio e o lazer noturno, contribuindo para o desenvolvimento social e económico da população. A iluminação pública constitui uma parcela não desprezável do consumo de energia elétrica dos serviços públicos e, como tal a sua eficiência deve ser alvo de cuidados idênticos aos que são devotados a qualquer outro serviço.

Nos últimos anos tem-se assistido ao progresso de tecnologias que permitem aumentar, significativamente, a eficiência da iluminação pública. As soluções em desenvolvimento são muito promissoras em termos de eficiência. Para que haja uma utilização racional de energia é necessário utilizarmos menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético. Em termos gerais, a iluminação pública deve corresponder às características mínimas recomendadas pelas normas, as quais pretendem garantir um mínimo de eficiência luminotécnica aos sistemas de iluminação pública. Estes sistemas podem também permitir economias diretas nos consumos de energia e/ou levar a um aumento da vida útil das lâmpadas, permitindo a redução dos custos de manutenção das instalações de IP. O principal obstáculo destas implementações continua a ser o seu custo, embora nos últimos anos já tenham surgido várias soluções com preços competitivos.

O que muitos municípios optaram por fazer de forma a reduzir substancialmente o consumo de energia na IP foi desligar grande parte da iluminação pública. Contudo, a medida tem vindo a desagradar a maioria dos cidadãos, por questões de segurança.

Neste sentido, a presente dissertação visa estudar as soluções e tecnologias existentes que podem ser aplicadas para que seja possível alcançar valores de consumo satisfatórios.

1.2. Organização do relatório

No presente capítulo pretende-se fazer uma breve introdução à temática da eficiência energética na Iluminação Pública (IP) e os objectivos que se pretendem atingir.

No segundo capítulo fala-se um pouco sobre o Grupo EDP, o historial da empresa e os principais serviços da EDP Distribuição.

O terceiro capítulo aborda os conceitos gerais da rede eléctrica, desde a geração, passando pelo transporte e distribuição, até à comercialização.

No quarto capítulo é efetuada uma caracterização do consumo energético em iluminação de vias em Portugal, para se estudar o ponto de situação e o modo como esses consumos têm vindo a evoluir.

No capítulo quinto é feita uma introdução aos programas para a sustentabilidade energética atualmente existentes e é feita uma síntese do conceito de eficiência energética, abordando o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e os objectivos que Portugal se propõe atingir.

O capítulo sexto apresenta uma abordagem às soluções de lâmpadas e luminárias existentes para aplicação na iluminação pública, sendo feita uma descrição pormenorizada de cada tipo de lâmpada e efetuada uma comparação entre as diferentes soluções, no sentido de aferir-se relativamente às opções mais vantajosas em termos económicos e de eficiência energética. Relativamente às luminárias, são descritas as diferentes partes que as constituem e é feita uma análise das características que as mesmas devem apresentar para que, em conjunto com um certo tipo de lâmpada, seja possível obter-se uma optimização da sua utilização.

No sétimo capítulo direcciona-se o estudo para o estado da arte dos vários tipos de sistemas de gestão de energia que permitem uma redução do consumo e consequentemente uma possível redução da factura.

O capítulo oitavo apresenta o caso de estudo, ou seja, faz-se uma descrição detalhada da situação atual do concelho de Esposende, fazendo referência aos números de focos em serviço, consumos e factura energética.

No nono capítulo pretende-se propor diversas melhorias na IP de uma determinada zona de Esposende, reduzindo os consumos com recurso a vários tipos de controlo de iluminação pública para tornar as instalações mais sustentáveis e energeticamente mais eficientes. Será efectuado um estudo prático que engloba a substituição de uma solução atualmente existente por outra que apresente iguais ou melhores características luminotécnicas e permita obter valores consideráveis de poupança energética e de emissões de CO₂. Obviamente que também terá de se ter em conta o *payback* da proposta de modo a determinar se o projeto é viável.

Finalmente, no décimo capítulo é feita a discussão de todos os resultados obtidos. Conclui-se acerca da viabilidade do sistema e propõe-se a realização de trabalho futuro.

2. Grupo EDP

2.1. Historial da Empresa

A EDP – Eletricidade de Portugal, foi constituída no verão de 1976 e resultou da fusão e nacionalização de treze empresas do sector elétrico português. A primeira marca EDP nasceu em 1978, com a denominação de EDP - Eletricidade de Portugal/Empresa Pública, sendo a sua identidade visual associado ao “E”, referente ao negócio da Eletricidade. Tratava-se de uma marca, pura e dura, de negócio.



Figura 1 – Primeiro logótipo EDP

O seu carácter público fez com que o seu primeiro principal objetivo tenha sido o possibilitar o acesso à eletricidade ao maior número de portugueses possível. Como tal, durante a década de 80, concentrou-se em alargar a sua rede de distribuição, mesmo aos locais menos acessíveis, o que permitiu uma maior fixação das pessoas nestas povoações e ao mesmo tempo criar atrativos para que as empresas aí se estabelecessem. É já na década

de 90 que o Governo decide alterar o estatuto jurídico da EDP, que deixa de ser uma entidade pública para se tornar numa Sociedade Anónima. A mudança visual acontece em 1993 e a ruptura foi total face à antiga marca. Associado ao conceito de mudança e dinamismo, o símbolo estilizado da corrente representava as três áreas de atividade da empresa: produção, transporte e distribuição de energia. Apesar do dinamismo, para a altura, a verdade é que a marca não chegou aos clientes, e a empresa era percebida como “cara”, “abusiva” e “distante”.



Figura 2 – Logótipo da EDP – Eletricidade de Portugal, S.A.

Foi em 1994, que efetivamente foi constituído o grupo EDP, que deu origem a um conjunto de empresas participadas direta ou indiretamente pela EDP.

Mais tarde, em 1997, já depois de reestruturado e constituído o Grupo EDP, dá-se início ao primeiro de cinco processos de privatização da empresa. No final de todo o processo, o Estado Português apenas reteve 30% do capital, ficando os restantes 70% em mãos privadas.

Para reverter a imagem de empresa pouco orientada para o cliente e que não comunicava com eficácia os produtos e serviços disponíveis, o Grupo desenvolveu, em 2003, o conceito central do que seria a nova marca: Proximidade! Em 2004, dá-se o grande *rebranding* e reposicionamento da EDP. A nova identidade materializou um sorriso próximo e simples, de forma a transmitir uma EDP mais transparente, que ambiciona uma maior proximidade com os seus *stakeholders*. O encarnado simboliza a Paixão, Diferenciação, Emoção e Calor. Os valores da marca estavam bem patentes: conforto, simplicidade e responsabilidade social.



Figura 3 – Logótipo EDP – Energias de Portugal

A internacionalização foi o passo que se seguiu na caminhada deste gigante português. O mercado Brasileiro, tanto pela proximidade cultural como pela sua dimensão, tornou-se imensamente atrativo e o negócio estendeu-se portanto à geração, distribuição e comercialização de energia elétrica através da EDP – Energias do Brasil. Seguiu-se o mercado Espanhol e é no setor do gás que se consegue assumir como maior operador, tanto em Portugal como em Espanha. A EDP é hoje história do nosso “pequeno” Portugal, não só por ser a maior empresa industrial mas também por todo o seu serviço prestado. Os seus 14.500 colaboradores fazem da EDP uma empresa com altos níveis de competitividade e eficiência, tornando-a a melhor produtora de serviços energéticos, nomeadamente eletricidade e gás, da Península Ibérica. No mundo atual, as energias renováveis surgem como aposta prioritária para combater algumas dependências que se têm criado durante as últimas décadas. É neste contexto que a EDP tem vindo a investir em energias limpas, com uma grande força na energia eólica.

Em 2011 a marca EDP entrou numa nova fase da sua história. Na essência, pretendem apresentar-se como uma empresa humana, sustentável e inovadora. Estas são características intemporais e universais, independentemente das inovações de produto ou das mudanças competitivas. Como empresa dinâmica na vanguarda da área energética, a EDP tem agora uma marca que representa essa agilidade. Foi criado um sistema moderno, flexível e adaptável que dá à marca o ritmo das transformações que ocorrem dentro do próprio Grupo. [1]



Figura 4 – Diversos logótipos da EDP

2.2. A EDP Distribuição

A EDP distribuição exerce a atividade de operador de rede de distribuição, em Portugal continental, sendo titular da concessão para a exploração da Rede Nacional de Distribuição (RND) de energia elétrica em Média Tensão (MT) e Alta Tensão (AT) e de concessões municipais de distribuição de energia elétrica em Baixa Tensão (BT).

Tem como missão, garantir a expansão e a fiabilidade da rede - Ligar clientes e produtores à rede de distribuição; planejar, desenvolver, operar e manter a rede; Garantir o abastecimento de eletricidade - Abastecer os clientes dos comercializadores, cumprindo os objetivos regulatórios de qualidade e de tempos de interrupção de energia; Fornecer serviços aos comercializadores - Garantir os serviços, tais como, mudança de comercializador (*switching*), cortes, alterações de potência, leituras, etc.

A atividade de distribuição de energia eléctrica engloba: ligações à rede eléctrica, assistência técnica à rede e a clientes, apoio na escolha de soluções energéticas eficientes e leitura de contadores. A rede eléctrica é gerida com elevados padrões de qualidade técnica que incluem, entre outros, o número e o tempo máximo de duração das interrupções de fornecimento.

Tem concessões reguladas em Baixa Tensão (BT) concedidas por 278 Municípios por um período de 20 anos e concessão em Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT) concedidas pelo Estado até 2043.

As suas principais responsabilidades são planejar, construir, operar e manter a Rede Nacional de Distribuição de Eletricidade, o cumprimento do Regulamento de Qualidade de Serviço e outros requisitos regulatórios, e fornecer Serviços aos Comercializadores.

A EDP Distribuição aposta numa melhoria contínua da Qualidade de Serviço, assegurando abastecimento de todos os clientes de acordo com os padrões de segurança e de abastecimento regulamentares, reforçando o investimento no vetor Qualidade de Serviço com o objectivo de acelerar a redução de assimetrias da QST, melhorando os níveis de perdas atingindo um patamar conducente com as orientações da Entidade Reguladora e priorizando investimento que potenciem redução de custos operacionais.

A EDP Distribuição intervém na Rede sem efetuar interrupções no fornecimento de energia eléctrica aos clientes, executando trabalhos em tensão (14.000 intervenções em TET-MT), utilizando geradores (50.000 horas de utilização), usando Subestações (SE) e Postos de Transformação (PT) móveis.

De referir ainda que a empresa fornece energia a mais de 6 milhões de clientes, através de uma rede com mais de 220 mil km. [2]

2.3. Iluminação Pública – EDP Distribuição

A EDP Distribuição é o Operador de Iluminação Pública e tem como responsabilidades ser concessionária da atividade IP, a manutenção e instalação dos equipamentos, especificação e qualificação de equipamentos, apoio às autarquias na análise de soluções de IP e criação de condições para melhoria da eficiência na IP. A EDP Distribuição é então responsável por assegurar o bom funcionamento, a segurança da rede de distribuição e por garantir a contagem de consumo IP e respetiva faturação, reunindo assim as competências necessárias para apoiar os Municípios na sua transição para as novas soluções tecnológicas de eficiência energética.

Relativamente ao apoio às autarquias para maior eficiência, redução da fatura e melhoria da qualidade de serviço, apresentam as seguintes medidas:

- Promoção da eficiência energética: instalação de relógios astronómicos, reprogramação de relógios astronómicos existentes, apoio a projetos piloto de tecnologia LED e telecontagem de até 5 PT por município;
- Redução da fatura de IP: desmontagem de lâmpadas ou desligação de luminárias, por indicação dos municípios, montagem de reguladores de fluxo luminoso (pelo Município ou pela EDP D através do PPEC), substituição de lâmpadas por outras de menor potência (incluindo balastro e ignitor), desligação permanente de circuitos ou desligação parcial através de relógio e atraso na desligação/ligação com recurso a relógio;
- Melhoria da qualidade de serviço: criação de linha dedicada à IP, reforço da manutenção de células fotoelétricas, otimização das leituras, melhoria do processo de inspeção de rede de IP, introdução de telecontagem em novos PT e em PT com maior consumo, qualificação de luminárias LED e respetivos fornecedores e qualificação de armaduras, balastros e lâmpadas e respetivos fornecedores.

Com o objectivo de testar a implementação das novas Tecnologias IP estão a ser realizados diversos projectos Piloto, tais como InovCity, projecto de Coimbra, projeto do Porto. Estes projetos permitem testar os impactos da tecnologia na rede de distribuição e na operação de manutenção, testar a aplicação da tecnologia LED em diferentes contextos, validar no terreno os pressupostos teóricos e os resultados obtidos em laboratório, realização de testes

ao sistema de gestão dinâmico e inteligência artificial associado a luminárias com tecnologia LED, monitorização das características luminotécnicas da tecnologia LED, validar estudos técnico-económicos e testar a solução regulador de fluxo, com telegestão e monitorização.

A EDP participou ainda no desenvolvimento do Documento de Referência da IP de forma a permitir uma implementação adequada das tecnologias de Eficiência Energética.

3. Conceitos Gerais da Rede Eléctrica

3.1. Os agentes do sistema eléctrico nacional

Por considerações de ordem económica e de segurança, temos desde a produção até à utilização da energia eléctrica, diferentes níveis de tensão, realizados por diferentes instalações transformadoras. Entre essas instalações, encontram-se os Postos de Transformação (PT), que se situam na proximidade imediata da utilização de energia, e têm como objetivo baixar a tensão para um nível compatível com a alimentação direta dos receptores de energia eléctrica. O Sistema Eléctrico de Energia está organizado em cinco atividades distintas: a produção, transporte, distribuição, comercialização e consumo, que garantem o funcionamento do sistema, transportando a energia desde os locais de produção até aos locais de consumo. [3]

Produção: A produção de eletricidade está sujeita a licenciamento e é desenvolvida num contexto de concorrência. A produção de eletricidade divide-se em dois regimes: regime ordinário e regime especial. O regime especial corresponde à produção de eletricidade a

partir de fontes endógenas e renováveis (excepto grandes centrais hidroelétricas). O regime ordinário abrange todas as outras fontes, incluindo as grandes centrais hidroelétricas.

Transporte: A atividade de transporte de eletricidade é desenvolvida através da rede nacional de transporte, ao abrigo de uma concessão exclusiva atribuída pelo Estado Português. Atualmente, a concessão exclusiva da transmissão de eletricidade está concedida à Rede Elétrica Nacional (REN). No âmbito da concessão, a REN é responsável pelo planeamento, implementação e operação da rede nacional de transporte, da infraestrutura associada e de todas as interconexões e outras facilidades necessárias à operação da rede nacional de transporte. A concessão também prevê que a REN coordene as infraestruturas do SEN para garantir a operação integrada e eficiente do sistema e a continuidade e segurança do abastecimento de eletricidade.

Distribuição: A distribuição de eletricidade tem por base a rede nacional de distribuição, que consiste na rede de média e alta tensão, e ainda as redes de distribuição de baixa tensão. A rede nacional de distribuição é operada através de uma concessão exclusiva atribuída pelo Estado Português. Esta concessão exclusiva do direito de operar a rede nacional de distribuição está atribuída à subsidiária do grupo EDP, a EDP Distribuição. As redes de distribuição de baixa tensão continuam a ser operadas ao abrigo de acordos de concessão firmados mediante concurso público lançado pelos municípios.

Comercialização: A comercialização de eletricidade está aberta à concorrência, sujeita apenas a um regime de licenciamento. Os comercializadores podem comprar e vender eletricidade livremente. Neste sentido, têm o direito de aceder às redes de transporte e distribuição mediante o pagamento de tarifas de acesso fixadas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), uma entidade pública independente. Em condições de Mercado, os consumidores são livres de escolher o seu fornecedor, sem qualquer encargo adicional com a mudança de comercializador. Uma nova entidade, cuja atividade será regulada pela ERSE, deverá ser criada para supervisionar as operações logísticas facilitadoras da mudança de fornecedor por parte dos consumidores. A Nova Lei Base de Eletricidade enumera certas obrigações de serviço público para os comercializadores, com vista a assegurar a qualidade e continuidade do fornecimento, bem como a proteção do consumidor no que respeita a preços, tarifas de acesso e acesso a informação em termos simples e compreensíveis.

A EDP Comercial é o comercializador de eletricidade do grupo EDP autorizado a operar no mercado liberalizado.

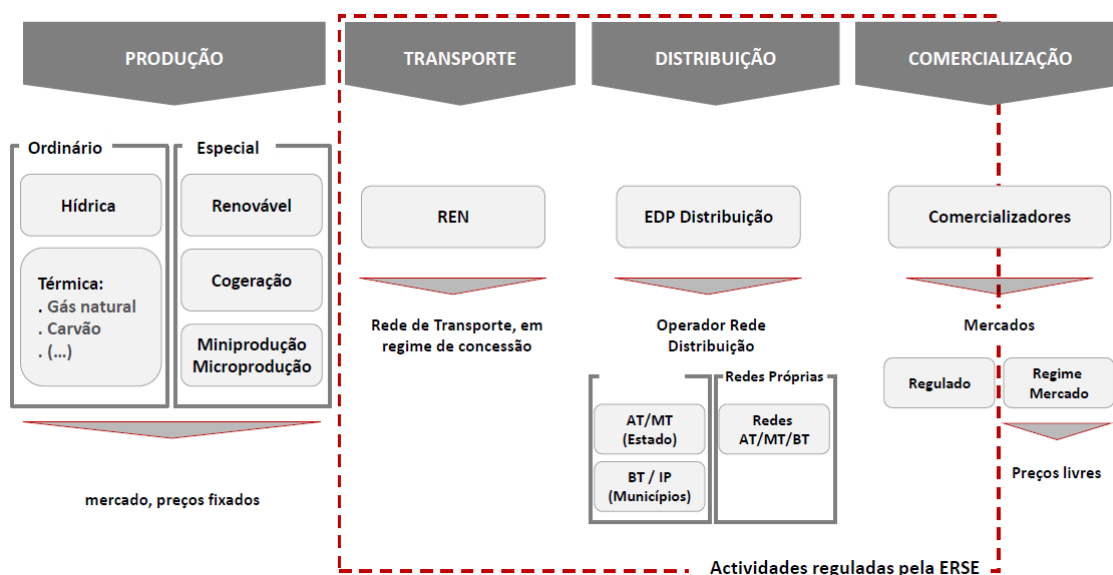


Figura 5 – Agentes do Sistema Elétrico Nacional

3.2. Subestações

Uma subestação é uma instalação elétrica de alta ou média tensão onde se encontram localizados transformadores que elevam ou diminuem a tensão da rede de transporte ou de distribuição, e também os órgãos de proteção, corte e comando das linhas que dela saem para as várias zonas de consumo industrial e doméstico do País.

A rede de distribuição primária trabalha à tensão de 60kV, chegando às subestações para ser transformada nas tensões gerais de distribuição – 30kV e 15kV, consoante a zona geográfica.

Quanto ao tipo de instalação, as subestações podem ser: a céu aberto sujeita à intempérie e utilizadas para sistemas de MAT; Interior com equipamentos protegidos das condições atmosféricas; Blindadas que são usadas em centros urbanos, sistemas de AT e MT e redução de espaço pela eficiência do isolamento e Móveis para atendimentos de emergência, eventos, paragens para manutenção preventiva e/ou programada, fornecimento de energia durante a fase de planeamento ou construção de instalações, aumento de carga das instalações já existentes e cargas sazonais ou temporárias.



Figura 6 – Exemplo de uma Subestação a céu aberto

Uma subestação é constituída por:

Transformador de Potência (TP): equipamento mais dispendioso de uma Subestação. Assegura a transformação da Alta Tensão (60 kV) para a Média Tensão (30, 15 ou 10 kV, consoante a zona de implantação da Subestação). Além do mais dispendioso é também o equipamento mais volumoso da Subestação;

Transformador de Tensão (TT): transforma a tensão real numa tensão medida, proporcional à real mas muito mais reduzida. O TT dá a imagem da tensão que, naquele momento, existe no enrolamento primário e esse valor pode ser constantemente monitorizado pelas unidades de proteção;

Transformador de Intensidade (TI): transforma a corrente que circula no enrolamento primário numa corrente induzida no enrolamento secundário, proporcional ao primário mas muito mais reduzida;

Seccionador: é o equipamento de corte visível mas que não possui poder de corte em carga;

Descarregador de Sobretensão (DST): atua como proteção em relação às sobretensões. No surgimento de uma sobretensão elevada (por exemplo, devido a descargas atmosféricas diretas nas Linhas de Alta Tensão), o equipamento vai “descarregar a corrente” para o circuito de terra. O terminal superior está ligado ao circuito de potência e a base está ligada à terra, através de uma barra de cobre;

Disjuntor: protege os circuitos contra sobreintensidades (curto-circuitos ou sobrecargas);

Isoladores: afastam eletricamente qualquer parte em tensão (barramento AT, Linhas, etc.) das estruturas que os suportam. A EDP utiliza isoladores de porcelana, pois destaca-se principalmente pela sua alta capacidade de isolamento elétrico e resistência mecânica;

Aparelhagem do Parque exterior: constituída por baterias de condensadores, reatância de neutro e transformador dos serviços auxiliares;

Edifício de comando: constituído por unidades de proteção, contagens, posto de comando local, comunicações, serviços auxiliares de tensão contínua, retificador, baterias de tensão contínua e quadros de média tensão

3.3. Postos de Transformação

Existem diversos tipos de postos de transformação:

- PT Aéreo: que normalmente é utilizado nas zonas rurais, geralmente apoiado em postes de cimento e estabelecido ao ar livre (exteriores), contém simplificações de modo a reduzir o seu custo e tempo de execução, mas sem que isso implique redução de condições de segurança e facilidade de exploração, é inserido na rede, ligando-o à extremidade de uma derivação. O PT aéreo pode ser do Tipo AS com potências até 100 kVA (25, 50 ou 100kVA), ligação do transformador à linha de M.T. através de um seccionador, a ligação efetua-se na extremidade de uma derivação, quadro de BT com dimensões reduzidas; e pode ser do Tipo AI com ligação do transformador à linha de M.T. feita através de um interruptor-seccionador, para potências até 250 kVA (160 e 250 kVA), quadro de BT de maiores dimensões e o transformador está assente numa base metálica;

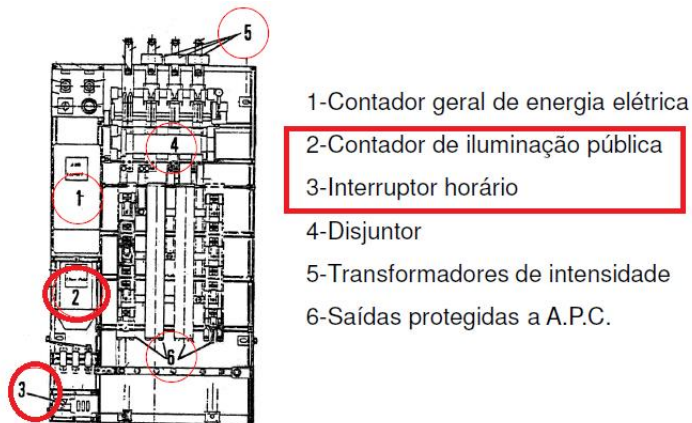


Figura 7 – Exemplo de um quadro BT de um PT Aéreo

- PT Cabine Alta: normalmente utilizados em zonas rurais (linhas aéreas), são designados por interiores porque se encontram estabelecidos dentro de uma construção que constitui uma proteção contra a intempérie. Podem ser do tipo CA1 – potências até 250 kVA ou CA2 – potências de 400 e 630 kVA;

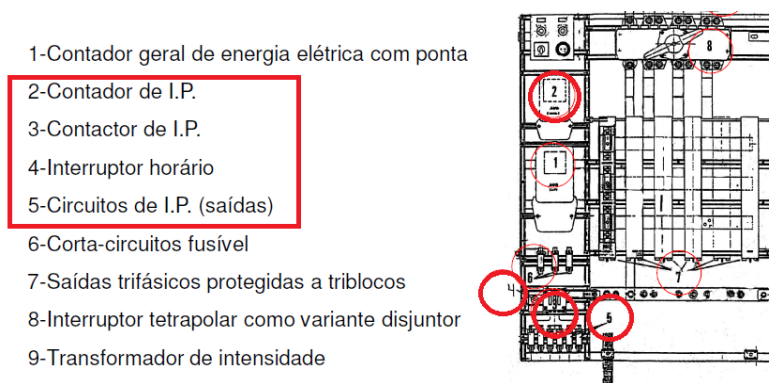


Figura 8 – Exemplo de um quadro BT de um PT cabine alta

- PT Cabine Baixa alvenaria: Com a introdução, pelos fabricantes de aparelhagem elétrica, de equipamentos compactos, reduziu-se bastante a área necessária à sua implantação; o facto de ser de construção integralmente feita no local, torna o controlo de qualidade do produto final praticamente impossível; possibilidade de infiltrações de água, com conseqüente deterioração do edifício e conseqüentes paragens de serviço;
- PT Cabine Baixa pré-fabricados compactos: são postos de construção pré-fabricada em betão, de montagem por peças, ou pré-montado e equipado em fábrica, não exigindo praticamente nenhum trabalho complementar de construção civil no local,

somente a escavação de um fosso para assentamento. Permitem efetuar qualquer esquema eléctrico de M.T. adaptando-se perfeitamente a diferentes utilizações dadas a estes postos, tanto na distribuição pública como privada.

3.4. Rede de baixa tensão - Iluminação Pública (IP)

Uma rede de Iluminação Pública é basicamente uma rede especializada de distribuição de energia eléctrica. As redes de iluminação pública têm como características gerais uma tensão de serviço de 400/230 V (trifásico) ou 230 V (monofásico); frequência de 50 Hz e distribuição aérea ou subterrânea. Em regra, as luminárias das redes de IP utilizam uma tensão de serviço de 230 V monofásica.

O operador da IP é a EDP Distribuição, cujas responsabilidades são a concessão da atividade IP, manutenção e instalação, especificação e qualificação de equipamentos, apoio às autarquias na análise de soluções de IP e criação de condições para melhoria da eficiência na IP.

A ligação de uma rede de iluminação pública a construir poderá ser feita a partir da rede de IP existente ou através de um Posto de Transformação de Distribuição.

A ligação da rede IP à rede de distribuição pode ser feita por linha aérea e com cabos específicos como ilustra a figura seguinte. [4]

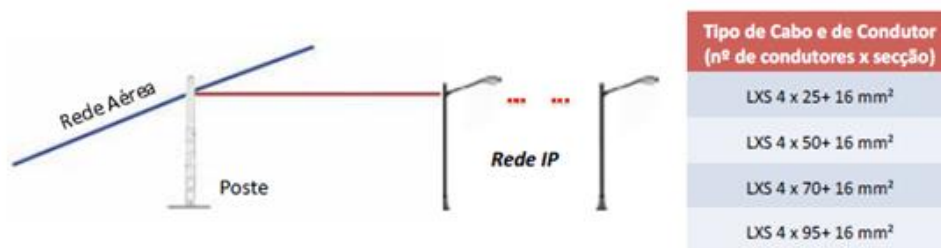


Figura 9 – Ligação através de linha aérea da rede de IP

As redes aéreas utilizam cabos onde coexistem rede de distribuição de BT e rede de IP. Por exemplo, o cabo aéreo LXS 4x50+16mm² tem cinco condutores: três condutores de 50 mm² são utilizados pela rede de BT, o condutor de 16 mm² é utilizado pela rede de IP, e um condutor de 50 mm² é utilizado como neutro e é comum às duas redes. Assim, no caso de rede aérea, a distribuição da IP é monofásica.

As redes de distribuição aérea de baixa tensão, que eram constituídas em condutores nus de cobre, alumínio ou liga de alumínio, apoiadas em isoladores, foram praticamente substituídas por redes aéreas isoladas, constituídas por condutores isolados agrupados em feixe (torçadas). Os cabos torçada aplicam-se, principalmente, nas redes rurais de distribuição pública. As torçadas são designadas pelas letras LXS ou XS, consoante se trate de condutores com almas em alumínio ou em cobre, o tipo de isolante e o tipo de aplicação. [5]

Normalmente os cabos torçada têm apenas uma fase de IP, mas como se pode ver na tabela seguinte, os fabricantes também produzem cabos torçada com duas fases para a IP, distribuindo a rede pelas duas fases.

Nº Condutores Secção (mm ²)	Ø		Peso Kg / Km
	Exterior (mm)		
2 x 16	13,0		132
4 x 16	17,0		264
4 x 25	20,4		440
4 x 35	23,2		575
4 x 50	28,3		780
4 x 70	34,0		1110
4 x 95	38,6		1340
5 x 16	19,2		320
4 x 25 + 16	21,0		510
4 x 50 + 16	29,5		850
4 x 35 + 16	26,0		645
4 x 70 + 16	34,7		1180
4 x 95 + 16	39,1		1410
4 x 25 + 2 x 16	22,5		580
4 x 35 + 2 x 16	26,7		715
4 x 50 + 2 x 16	29,5		920
4 x 70 + 2 x 16	34,7		1250
4 x 95 + 2 x 16	39,6		1480

Figura 10 – Exemplos de cabo torçada usados na IP

A ligação da rede IP à rede de distribuição também pode ser feita por linha subterrânea e com cabos específicos como mostra a figura seguinte.

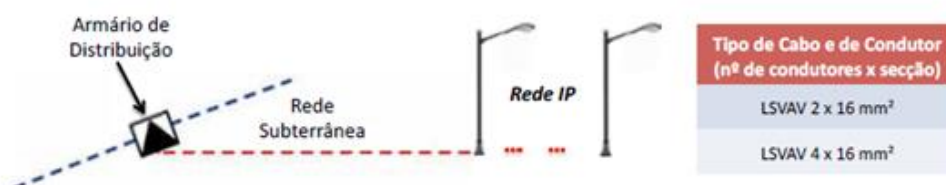


Figura 11 – Ligação através de linha subterrânea da rede de IP

As redes subterrâneas de IP utilizam cabos trifásicos independentes da rede de BT. Os cabos LSVAV em alumínio são os mais usados para transporte e distribuição de energia, e são próprios para canalização enterrada.

A ligação e ampliação da rede de IP, manutenção ou substituição de focos luminosos estão previstas nos termos do protocolo anexo aos contratos de concessão de distribuição de energia elétrica em baixa tensão entre as Câmaras Municipais e a EDP Distribuição.

O tipo de materiais a utilizar na IP, distribuição de encargos de estabelecimento e responsabilidades de exploração e de manutenção são definidos no referido protocolo.

Nos loteamentos e urbanizações, o estabelecimento de rede de IP, a cargo dos respetivos promotores, é objeto de análise e parecer prévio da Câmara Municipal e EDP Distribuição, sendo que depois de construídas as infraestruturas passam a fazer parte integrante da rede pública de iluminação, cuja responsabilidade de exploração é da EDP Distribuição.

No caso de condomínios fechados, a responsabilidade pelo licenciamento, execução, exploração e manutenção da iluminação exterior ficam a cargo do promotor ou proprietários.

A iluminação de fachadas de edifícios, monumentos ou obras de arte não é considerada ligação à rede de IP mas sim uma instalação cuja ligação obedecerá aos princípios definidos para as ligações BT/MT.

4. Consumo Energético de IP em Portugal

4.1. Consumos de eletricidade

Segundo dados oficiais da Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), o valor total do consumo de eletricidade tem vindo a subir de modo contínuo desde 1994, com ligeiro declínio pontual em 2007 (face a decréscimos em alguns Sectores de Atividade). O consumo de energia elétrica está estreitamente relacionado com o aumento de qualidade de vida das populações. Neste aumento de consumo estão espelhados o maior poder de compra e a maior disponibilidade de bens de consumo, como eletrodomésticos ou equipamentos audiovisuais. Esta subida tem tido, em valor total, um crescimento praticamente constante, como indicado no gráfico seguinte [6]:

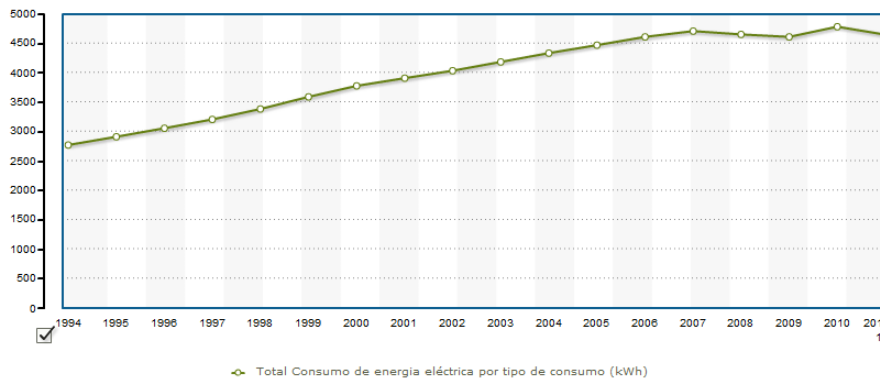


Gráfico 1 – Consumo de eletricidade em Portugal

Em 2007 verifica-se uma diminuição do consumo total de energia nos quais se destacam os seguintes fatores: o surgimento de uma crise financeira e consequente contração económica que leva a um esforço de redução de gastos, aliando-se também uma crescente consciencialização para a disponibilidade de equipamentos com melhores níveis de eficiência, permitindo manter os níveis de conforto mas obtendo uma redução do consumo com consequências positivas ambiental e financeiramente. O aumento do preço da energia será também um fator essencial na medida em que para manter os custos associados ao consumo de energia passou a ser necessária uma diminuição do seu consumo.

4.2. Consumos de energia na Administração Pública

Relativamente à administração pública, e não tendo sido possível encontrar dados mais recentes, verifica-se que o consumo de Eletricidade, referente a 2005, foi o seguinte [7]:

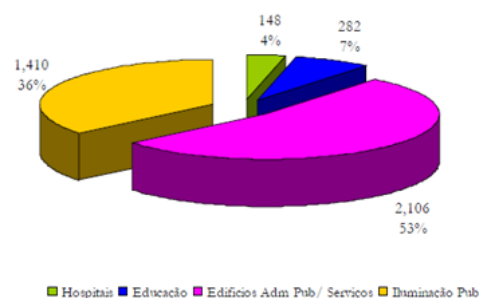


Figura 12 – Gastos de eletricidade na Administração Pública em 2005

No entanto, os dados são bastantes desatualizados (2005), e atualmente poderão registar-se valores muito diferentes.

Da análise do tratamento da informação verificou-se um consumo em Iluminação Pública (36%) bastante elevado quando comparado com o consumo de energia em Edifícios do Estado (53%).

A gestão da iluminação pública é da responsabilidade das Câmaras Municipais no que respeita a níveis e horários de iluminação e ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço, e compete à EDP Distribuição manter a manutenção das instalações de iluminação pública (Contrato Concessão). Os valores de consumo per Capita, para os Edifícios do Estado e Iluminação Pública, apresentaram a seguinte evolução no período de 2004-2008 [8]:

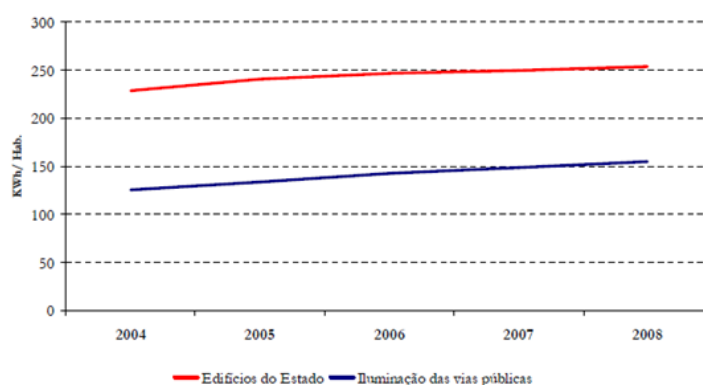


Gráfico 2 – Rácio do consumo de energia na administração pública per capita

Verificou-se que o indicador de Consumo Total de Eletricidade na Administração Pública per capita apresenta uma evolução de crescimento na ordem dos 4 kWh/ano para os Edifícios do Estado e dos 5 kWh/ano para a Iluminação Pública no período 2004-08.

O consumo de eletricidade da Administração Pública per capita em 2008 foi 409 kWh, com uma distribuição de 155 kWh em Iluminação Pública e 254 kWh em Edifícios do Estado. Este consumo correspondeu a um crescimento de 8% relativamente aos valores totais de 2005, sendo que a componente de Iluminação foi a que apresentou maior crescimento com cerca de 10%.

4.3. Situação atual da IP

Constatando-se que o setor da iluminação constitui um dos setores com peso significativo no consumo de energia elétrica, sobretudo nos países desenvolvidos, com o objectivo de

otimizar a eficiência energética, é necessário fazer o diagnóstico da situação no que se refere aos consumos energéticos dos sistemas de iluminação de vias.

Estimativas feitas apontam para mais de 4 milhões de pontos de luz associados à iluminação pública em Portugal, com um consumo energético global a rondar os 1,55 TWh em 2009, ou seja, cerca de 3% do consumo do País, com uma média de crescimento de 4,3 % desde 2005. Em particular, é atualmente estimado que a iluminação pública seja responsável por cerca de 40% do custo de eletricidade típico de uma autarquia. Desta forma, existem Municípios a apagar alguns setores da IP, provocando uma redução imediata da “potência instalada”. A implementação desta medida está a cargo da EDP Distribuição e prevê-se a desligação de 300 unidades/mês por município. Em cada foco luminoso a EDP colocará um dístico com o seguinte texto “Foco desligado ao abrigo do programa de poupança energética promovido pela Câmara Municipal”. [7]

Relativamente aos custos associados a um sistema de iluminação, durante a sua vida útil, podem ser divididos em custos iniciais de investimento e custos operacionais (manutenção e energia). Ao analisar o diagrama da Figura 13, fica bastante claro onde se deve atuar para reduzir os custos associados à iluminação, ou seja, é imperativo encontrar sistemas que possibilitem reduzir o consumo de energia elétrica (sistemas mais eficientes) garantindo no mínimo a mesma segurança e conforto, e há que tentar reduzir, com sistemas inteligentes, os custos associados à manutenção e operação das redes de IP [8].

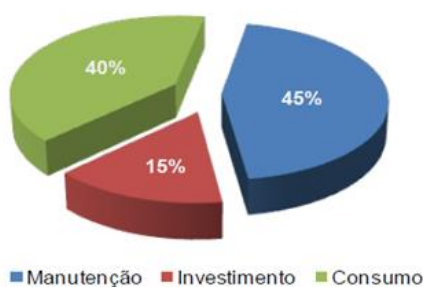


Figura 13 – Diagrama típico de custos, após 25 anos de vida útil de uma rede de IP

Como se pode verificar pelo gráfico seguinte, o crescimento da iluminação pública tem acompanhado os outros níveis de tensão, com um crescimento médio anual próximo do restante consumo (4 a 5%) [8].

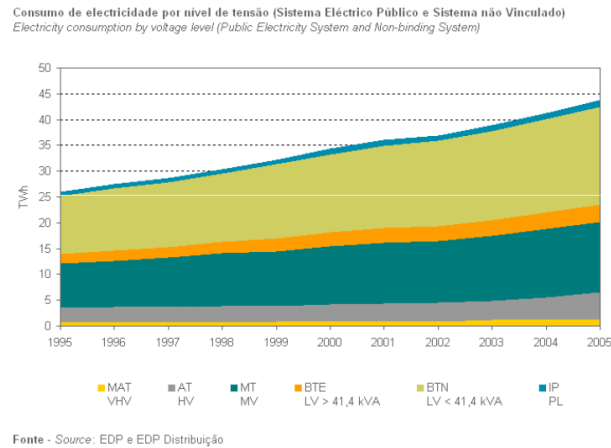


Gráfico 3 – Consumo de eletricidade por nível de tensão

O gráfico seguinte apresenta a evolução da tarifa associada à iluminação pública, de 2007 a 2012, visto não ter sido possível encontrar os preços respeitantes a anos anteriores. Os aspetos tidos em conta pela ERSE na fixação de tarifas num determinado ano para o seguinte são as estimativas de consumo e a hidraulicidade; relativamente a este último, se o ano for seco, há que tomar em consideração o preço dos combustíveis, uma vez que torna-se impreterível a entrada em funcionamento de centrais térmicas, naturalmente mais caras que as hídricas [8].

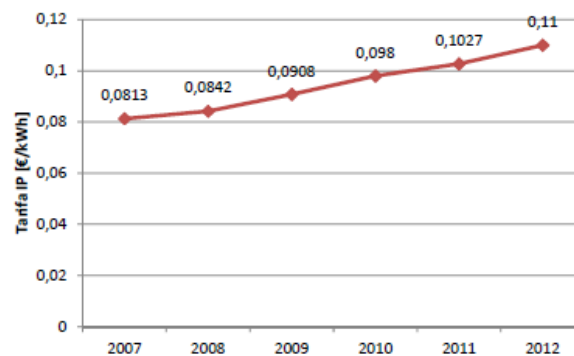


Gráfico 4 – Evolução da tarifa de IP em Portugal

5. Políticas de Eficiência Energética

5.1. Eficiência Energética

Os grandes problemas sociais e ambientais com que a sociedade se depara, têm como principal causa a enorme pressão existente sobre os recursos naturais. O contexto energético, e as preocupantes previsões, exigem uma resposta por parte de todos os responsáveis de forma a garantir um desenvolvimento global sustentável não comprometendo gerações futuras. Este objetivo só será alcançado se entre outras medidas forem implementadas em larga escala ações de utilização racional de energia e de eficiência energética.

O desafio de promover um desenvolvimento sustentável constitui uma ambição coletiva e implica conjugar desenvolvimento económico com a promoção de estabilidade social, sem comprometer o ambiente em que vivemos. A solução para esta complexa equação passa por inovar a diferentes níveis, assumindo tecnologias e práticas mais eco-eficientes.

A energia desempenha um papel fundamental em todas as atividades, nomeadamente nas atividades económicas, e no seu desenvolvimento. De uma forma particular, a energia elétrica é o motor de toda a evolução e desenvolvimento que o mundo atualmente vive. Na

realidade, ela está presente desde a mais pequena instalação elétrica doméstica até à mais complexa instalação industrial, passando por qualquer sala de investigação científica.

O paradigma do desenvolvimento, baseado no consumo massivo de energia elétrica, mudou na altura em que o Homem concluiu que esse modelo de desenvolvimento não sustentável compromete a sobrevivência da vida, tal como a conhecemos atualmente, no nosso planeta. A insustentabilidade desse modelo prende-se com a escassez dos recursos energéticos habitualmente utilizados e com o impacto que o seu consumo tem sobre o ambiente. Por esta razão se valorizou a produção energética baseada nas denominadas fontes verdes e renováveis. Apesar do bom contributo que estas fontes possam dar para a sustentabilidade do desenvolvimento, atualmente, é impensável acreditar que, a curto prazo, toda a energia elétrica necessária ao desenvolvimento das sociedades humanas possa ser produzida a partir das fontes verdes e renováveis. Assim, o paradigma do desenvolvimento passou a ser: produzir mais consumindo menos energia. Assiste-se, por isso, nos países mais desenvolvidos a um esforço de redução dos consumos, ou seja, a um investimento na eficiência energética.

Eficiência energética e meio ambiente são dois aspectos que estão totalmente associados, ou seja, podemos preservar o nosso habitat através de medidas de preservação e combate aos desperdícios de energia, reduzindo os impactos ambientais advindos da oferta de energia. Uma gestão energética tem como objectivo principal o uso racional dos recursos naturais, adotando o princípio do desenvolvimento sustentável. [9]

É importante distinguir a diferença de eficiência energética e racionalização de energia, o segundo termo significa reduzir o serviço energético, enquanto o primeiro termo é uma redução da energia para um mesmo serviço. Melhorar a eficiência energética faz diminuir o consumo de energia primária necessária para produzir um determinado serviço de energia, independente em que ponto da cadeia ocorreu a redução de energia. As vantagens da eficiência energética são por exemplo a geração de emprego, o aumento da produtividade e competitividade nas empresas, o impacto positivo na economia e macroeconomia, diminui emissões e impacto no meio ambiente, aumenta a consciência contra o desperdício, melhoria em processos e equipamentos e diminui a ponta do sistema para as concessionárias.

Algumas barreiras para a eficiência energética são os preços de equipamento mais eficientes que tendem a ser maiores, muitas empresas querem o retorno em curto prazo dos seus investimentos em eficiência energética (de 6 a 8 meses), o que às vezes isso não acontece.

5.2. Estratégia Nacional para a Energia

A Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) foi aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril de 2010, que substitui a anterior Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro. Neste novo documento, o Governo definiu as grandes linhas estratégicas para o sector da energia, com o objetivo de manter Portugal na fronteira tecnológica das energias alternativas, potenciando a produção e exportação de soluções com elevado valor acrescentado, que permitam diminuir a dependência energética do exterior e reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. Esta Estratégia assenta sobre cinco eixos principais, onde se desenvolvem e detalham os principais objectivos preconizados:

- Reduzir a dependência energética do País face ao exterior para 74% em 2020, atingindo o objectivo de 31% da energia final, contribuindo para os objetivos comunitários;
- Garantir o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo que em 2020, 60% da eletricidade produzida tenha origem em fontes renováveis;
- Criar riqueza e consolidar um *cluster* energético no setor das energias renováveis e da eficiência energética, criando mais 121.000 postos de trabalho e proporcionando exportações equivalentes a 400 M€;
- Promover o desenvolvimento sustentável criando condições para reduzir adicionalmente, no horizonte de 2020, 20 milhões de toneladas de emissões de CO₂, garantindo de forma clara o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu e criando condições para a recolha de benefícios diretos e indiretos no mercado de emissões que serão reinvestidos na promoção das energias renováveis e da eficiência energética;
- Criar, até 2012, um fundo de equilíbrio tarifário, que contribua para minimizar as variações das tarifas de eletricidade, beneficiando os consumidores e criando um

quadro de sustentabilidade económica que suporte o crescimento a longo prazo da utilização das energias renováveis.

5.3. Estratégia para a eficiência energética – PNAEE 2016

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 aprovou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), documento que engloba um conjunto alargado de programas e medidas consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar e suplantar os objectivos fixados no âmbito da 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. O PNAEE vem trazer uma maior ambição e coerência às políticas de eficiência energética, abrangendo todos os sectores e agregando as várias medidas entretanto aprovadas e um conjunto alargado de novas medidas em 12 programas específicos. O PNAEE de 2008 estabeleceu como meta uma redução de consumo de energia final em 10% até 2015. Para a atingir, foram definidas 50 medidas, organizadas em 12 programas, com o objetivo de reduzir o consumo energético nas áreas de Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado e Comportamentos. [10]

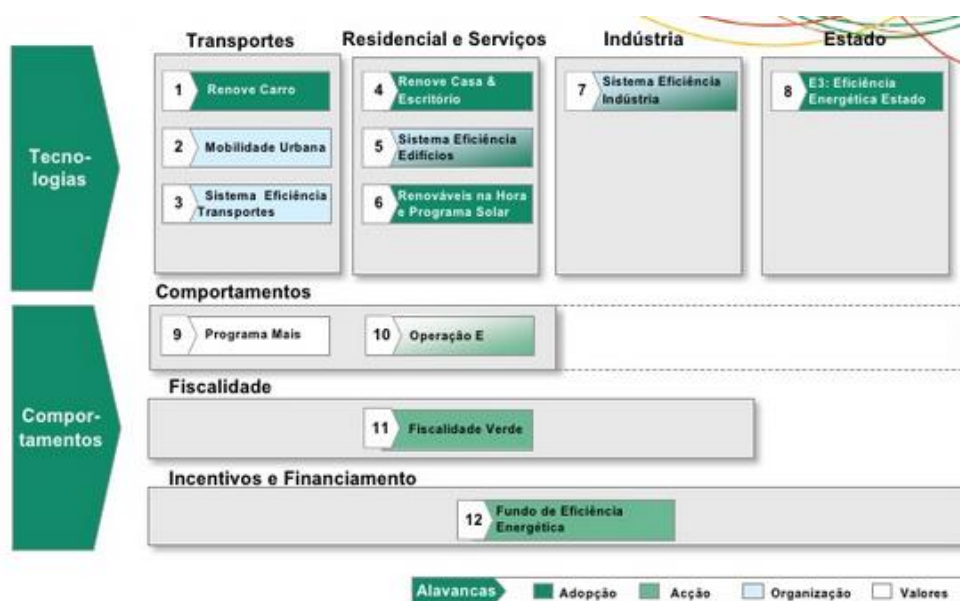


Figura 14 – Programas do PNAEE 2008

Entretanto foi aprovado em Conselho de Ministros o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (Estratégia para a Eficiência Energética -

PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020).

Os principais objectivos do PNAEE 2016 são aumentar a eficiência energética da economia e em particular no sector Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e a competitividade das empresas; cumprir todos os compromissos assumidos por Portugal de forma economicamente mais racional; reforçar a monitorização e acompanhamento das diversas medidas; reavaliar medidas com investimentos elevados e fusão de atuais medidas; lançar novas medidas a partir das existentes abrangendo novos setores de atividade (ex.: Agricultura); aumento da eficiência energética no setor Estado, consubstanciado pelo programa Eco.AP.

A estimativa da poupança induzida pelo PNAEE até 2016 é de 1501 ktep, correspondente a uma redução do consumo energético de aproximadamente 8,2% relativamente à média do consumo verificada no período entre 2001 e 2005, o que se aproxima da meta indicativa definida pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016. [10]

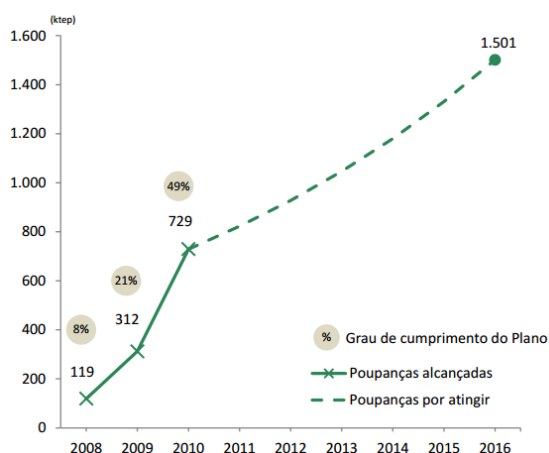


Figura 15 – Impacto previsto das medidas de eficiência energética do PNAEE a 2016

O estabelecimento do horizonte temporal de 2020 para efeitos de acompanhamento e monitorização do impacto estimado no consumo de energia primária permite perspetivar antecipadamente o cumprimento das novas metas assumidas pela UE, de redução de 20% dos consumos de energia primária até 2020, bem como o objetivo geral assumido pelo Governo de redução no consumo de energia primária de 25% e o objetivo específico para a Administração Pública de redução de 30%.

Pretende-se que o PNAEE 2016 seja executado mediante a implementação de medidas regulatórias (entre outros, imposição de penalizações sobre equipamentos ineficientes, requisitos mínimos de classe de desempenho energético, obrigatoriedade de etiquetagem energética, obrigatoriedade de realização de auditorias energéticas), mecanismos de diferenciação fiscal e apoios financeiros provenientes de fundos que disponibilizem verbas para programas de eficiência energética.

Tendo por base as áreas, programas e medidas do PNAEE de 2008, o PNAEE 2016 passa a abranger seis áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura.

Relativamente à área do Estado, esta é agrupada num programa designado por Eficiência Energética no Estado, com um conjunto de medidas dirigidas à certificação energética dos edifícios do Estado, aos Planos de Ação de Eficiência Energética, designadamente no âmbito do Programa de Eficiência Energética na Administração Pública - ECO.AP, frotas de transporte do Estado e à Iluminação Pública (IP).

Na figura seguinte contabilizam-se as economias de energia associadas à implementação das medidas do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) no Estado no ano de 2010, fazendo-se referência à secção de iluminação pública. [10]

Plano Nacional Acção Eficiência Energética										
Programas e Medidas		Metas		2009		2010		Total acumulado desde 2008		2015 (% de execução)
Programa	Código da medida	Indicadores	Referência	Impactos (tep)	Indicador	Impactos (tep)	Indicador	Impactos (tep)	Indicador	Impactos (tep)
Eficiência Energética no Estado	E8M1	Percentagem de edifícios com melhoria da classificação energética		1.482	0,5%	3.307	1,7%	4.789	2,2%	29%
	E8M2	Nº de instalações em piscinas		136	25	880	121	1.016	146	17%
	E8M3	Nº de instalações em edifícios desportivos								
	E8M4	Nº de sistemas instalados Potência instalada (MW)		24,6	57 0,23	113	257 1,040	162,5	389 1,501	10%
	E8M5	Nº de hospitais com cogeração		--	--	0	--	0	--	--
	E8M6	Redução do consumo		--	--	165	1%	165	1%	9%
	E8M7	% do parque de equipamentos com melhoria da eficiência		--	--	--	--	--	--	--
	E8M8	Nº de pontos de iluminação intervencionados		--	--	118	12.192	118	12.192	2%
	E8M9	Nº de globos substituídos		--	--	229	14193	229	14193	28%
	E8M10	Nº de novas instalações		--	--	--	--	--	--	--
	E8M11	Nº Lâmpadas de mercúrio instaladas	300.000	1.954	120.000	734	--	2.688	--	83%
	E8M12	Nº total de pontos de iluminação		--	--	102	2.059	102	2.059	2%
	E8M13	Nº de semáforos com leds	100	371	6.185	444	7.405	815	13.500	54%
Total				3.947		6.092		10.064		

Figura 16 – Resultados do Plano Nacional Acção Eficiência Energética no Estado

5.4. Estratégia para as energias renováveis – PNAER 2020

As linhas de ação do PNAER 2020 centram-se no cumprimento da meta de 10% no eixo dos Transportes e na identificação das tecnologias que devem ter prioridade de entrada no sistema, caso seja necessária potência adicional para a produção de energia elétrica proveniente de FER. Logo, atento o cenário de consumo revisto, e face ao PNAEE 2016, várias medidas que constam do PNAER de 2010 são objeto de revisão, nomeadamente, aquelas que se relacionam com os incentivos à instalação de potência adicional FER, sobretudo em tecnologias ainda pouco competitivas. O PNAER 2020 vem assim adequar os mecanismos de promoção da utilização de FER aos instrumentos disponíveis, numa lógica de estrita necessidade de cumprimento das metas.

5.5. Eficiência energética no estado

Numa análise que resume as poupanças totais alcançadas pelo PNAEE entre 2008 e 2010, pode constatar-se que, no conjunto das cinco áreas de atuação do plano (Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado e Comportamentos) já foi alcançada uma execução da meta de 49 por cento, relativamente a 2016. A meta que ficou mais longe do cumprimento terá sido a eficiência energética no Estado, cujas medidas permitiram apenas uma execução de nove por cento relativamente à meta de 106.380 tep em 2016. [11]

Área	Energia poupada (tep)	Meta 2016 (tep)	Execução em relação à meta de 2016
Transportes	252.959	1.501.305	49%
Residencial e Serviços	267.008		
Indústria	177.895		
Estado	9.902		
Comportamentos	21.313		
Total PNAEE	729.077		

Figura 17 – Resumo das poupanças totais alcançadas com o PNAEE 2008

A área do Estado no PNAEE abrange o programa Eficiência Energética no Estado. Nesta área foram contabilizadas reduções de consumo energético de cerca de 9.902 tep, entre 2008 e 2010, o que permitiu atingir, em termos acumulados, 9% do objectivo previsto. A execução verificada neste Programa foi obtida essencialmente através do desempenho

positivo das medidas – Certificação Energética dos Edifícios do Estado, e das medidas relativas às Iluminação Pública Eficiente, em particular, as medidas de Instalação de reguladores de fluxo, *Phase-out* de lâmpadas de vapor de mercúrio e Sistemas de controlo de tráfego (tecnologia LED nos semáforos). [11]

Programa	Código de Medida	Energia poupada (tp)	Meta 2016 (tp)	Execução em relação à meta de 2016
		Final	Final	
Eficiência Energética no Estado	ESM1 - Certificação Energética dos Edifícios do Estado e ECO.AP	4.769	106.380	9%
	ESM2 E ESM3 - Planos de Ação de Eficiência Energética na Administração Pública - ECO.AP	1.016		
	ESM6 - Transportes mais eficientes no Estado	165		
	ESM8 A ESM13 - Iluminação Pública Eficiente	3.952		

Figura 18 – Poupanças alcançadas com o programa “Eficiência Energética no Estado”

A Resolução de Conselho de Ministro n.º 2/2011 de 12 de Janeiro de 2011, lança o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública – ECO.AP. O lançamento deste programa tem como principal objectivo que os serviços e organismos da Administração Pública consigam atingir um nível de eficiência energética na ordem dos 20%, face aos atuais valores. No âmbito do ECO.AP, e entre outras medidas, torna-se necessária a definição de um gestor local de energia, responsável pela dinamização e verificação das medidas para a melhoria da eficiência energética. Ainda no que diz especial respeito à gestão municipal, este diploma prevê a promoção de um programa de aumento da eficiência energética na iluminação pública, em articulação com o QREN. Através da contratação de empresas de serviços energéticos (ESE) espera-se potenciar a gestão racional dos serviços energéticos, esperando-se a redução da fatura energética nos serviços e organismos públicos, a redução da emissão de gases com efeitos de estufa. Com a implementação do ECO.AP prevê-se também a implementação do barómetro da eficiência energética destinado a divulgar os consumos energéticos de todos os edifícios e serviços, seleção em cada Ministério. [10]

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 direccionadas ao aumento da eficiência energética no parque de IP. Como exemplo de intervenções em projetos de IP, a instalação de reguladores do fluxo luminoso, 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. Tal como no Programa ECO.AP, também para os projetos de IP é fundamental o recurso às ESE, para através de concursos públicos celebrar contratos de gestão de eficiência energética. Adicionalmente, pretende-se agregar e integrar toda a informação de IP dispersa pelas diferentes entidades públicas ou privadas, numa base de dados única, que deverá no futuro orientar a definição de políticas públicas na área de eficiência energética na IP.

6. Estado da Arte dos Sistemas de IP

6.1. Evolução da IP em Portugal e no Mundo

A iluminação pública remonta à época da Grécia Antiga, com tochas; e do Império Romano onde lanternas eram utilizadas à frente das residências com a finalidade de proteção. Para acender a iluminação os romanos tinham os “*Laternarius*”, escravos responsáveis por acender as lanternas todas as noites. O processo manual de acender a iluminação à frente das casas continuou desde a Idade Antiga até a Idade Moderna no século XVIII. [12]

A primeira cidade do mundo a ter iluminação pública com base na eletricidade foi Birmingham no Reino Unido, nos anos 30 do século XVIII. As primeiras experiências de iluminação com eletricidade em Paris foram em 1844 com a iluminação do obelisco de Luxor na Praça da Concórdia.

Na maior parte dos países europeus, e na sequência da 2.^a Guerra Mundial, a produção e distribuição de energia ficou a cargo de grandes empresas nacionais, pois havia a perspectiva que só nestas condições seria possível atingir os grandes objetivos económicos e

sociais da reconstrução. A iluminação pública mais que um meio económico para fazer lucros, passa a ser um bem social que deveria ser colocado ao serviço de toda a sociedade.

Até aos anos 60 o desenvolvimento da iluminação pública fez-se sem planificação, não respondeu a qualquer estratégia definida previamente. O objetivo era iluminar os espaços públicos, ruas, avenidas ou praças, e o património construído de modo a que as pessoas pudessem ver e ser vistas, revelando os objetos, as formas ou os percursos, criando um sentimento de segurança e de conforto, permitindo uma apropriação noturna da cidade. As intervenções limitavam-se à escolha das luminárias e do tipo de lâmpadas. Como a oferta era pouco variada a iluminação tendia a uniformizar a paisagem noturna, não respeitava a diversidade dos sítios, nem o espírito dos lugares. [12]

Os primeiros estudos que podem ser considerados formas de planeamento da iluminação pública surgiram com o plano diretor de ordenamento e urbanismo da Ile-de-France (1964-65). Nos estudos prévios que planearam esta mudança da estrutura urbana ficou definido que havia necessidade de hierarquizar, diferenciar, estabelecer tipologias de iluminação em função das características do uso das vias de comunicação. Estabelece-se, assim, pela primeira vez uma diferenciação no tipo de iluminação conforme as vias se destinavam a peões ou a automóveis. A luz passava a ser um instrumento que poderia ser utilizado no planeamento territorial.

Em Portugal, entre os finais do século XIX e os inícios de XX várias cidades aderiram à eletricidade como forma de iluminação. Em alguns casos por iniciativa das câmaras municipais, noutros por iniciativa particular. Nas cidades em que nas décadas anteriores se optara pelo gás para a iluminação pública, os prazos prolongados das concessões que tinham sido atribuídas a empresas privadas atrasaram a introdução da eletricidade na iluminação pública. Este facto não impediu, contudo, que nalgumas cidades tivessem surgido iniciativas para produzir e distribuir eletricidade para os particulares. Foi, por exemplo, o caso do Porto, onde em 1888 se constituiu com esse objectivo a Companhia Luz Elétrica. Em Portugal a iluminação pública surge em 1780, em Lisboa, e utilizava o azeite como combustível. Em 1848 foram introduzidas as primeiras luminárias a gás. Em 1878 surgiram as primeiras experiências com a eletricidade, que só passa a ser utilizada sistematicamente em 1929. Em termos regionais os contrastes foram muito acentuados até à 2ª metade do século XX. A introdução da eletricidade na iluminação pública da cidade do Porto ocorreu apenas em 1924 e nas outras cidades o processo foi ainda mais tardio. Em

muitas áreas rurais a eletricidade só chegou após o 25 de Abril de 1974. A taxa de 95% de cobertura da população residente com a distribuição de eletricidade só foi atingida nos anos 80. Ainda hoje continua a haver população rural sem acesso a este serviço, uma vez que devido ao isolamento o custo da instalação da rede pública é muito elevado e ninguém o quer ou pode suportar. [12]

A iluminação pública não chegou a todos os sítios ao mesmo tempo, nem com a mesma qualidade. Nas cidades as ruas tidas como as mais importantes foram iluminadas, mas as áreas habitadas pelas pessoas com menos recursos continuaram na escuridão por muito mais tempo. O contraste veio tornar estas áreas ainda mais repulsivas, mais perigosas, mais inquietantes e menos confortáveis.

6.2. Grandezas e Conceitos Luminotécnicos

Um sistema de iluminação deve ser adequado à tarefa a realizar, uma vez que é um fator essencial para o desempenho humano, além de contribuir para o bem-estar físico e psicológico. Estes sistemas devem ser projetados tendo em conta alguns parâmetros que definem uma iluminação de qualidade e adequada à atividade a realizar.

Fluxo luminoso: é a quantidade total de energia luminosa, emitida por segundo por uma fonte de luz. É designado pela letra F e é expressa em lumens. O valor do fluxo luminoso permite saber a quantidade de luz emitida pela fonte num intervalo de tempo.

Intensidade luminosa: é a concentração de luz numa dada direção específica, irradiada por segundo. É designado pela letra I. A unidade é a candela (cd). A intensidade luminosa pode ser definida como o fluxo luminoso numa dada direção, irradiada por unidade de ângulo.

Iluminância: é a densidade de fluxo incidente numa dada superfície. É designado pela letra E e a unidade é o lux (lx).

Um lux é igual a um lúmen por metro quadrado (lm/m^2). A iluminância é independente da direção de onde o fluxo luminoso atinge a superfície. A iluminância é um dos fatores mais importantes a ter em conta no dimensionamento de uma instalação de iluminação, pois deve ser adequada ao local. A iluminância de uma superfície não depende do tipo e estado da superfície (material, textura, rugosidade, cor mais clara ou mais escura, estado seco ou molhado) pois é determinada somente pelo fluxo luminoso incidente e pela área da superfície. Se substituirmos a superfície da estrada por outra mais clara ou escura, de

material diferente ou um piso seco passar a molhado a iluminância é a mesma, pois o fluxo incidente não se alterou. Há dois tipos de iluminância:

- Iluminância média (E_{med}): média aritmética de todos os pontos de iluminância calculados sobre a superfície da via. A unidade é Lux.
- Iluminância mínima (E_{min}): é o valor mínimo de iluminância calculado sobre a superfície da via. A unidade é Lux.

Luminância: corresponde ao fluxo luminoso emitido por unidade de área de uma superfície numa direção específica. Esta mede a luz tal como é percebida pelo olho humano. A percepção de todas as superfícies e objetos que estão no nosso campo de visão deve-se à sua luminância. As superfícies, com diferentes propriedades de reflexão terão a mesma iluminância, mas luminância diferente. O principal critério requerido pela norma para aplicações rodoviárias de iluminação é a luminância da superfície da estrada. O bom conhecimento das características da reflexão da luz nos pavimentos rodoviários é, portanto, de grande importância para alcançar um *design* de iluminação precisa. A unidade de luminância é o cd/m². Se a superfície é substituída por outra de material diferente, mais clara ou mais escura ou se o piso passar de seco a molhado os valores da luminâncias alteram-se. [13]

6.3. Características das luminárias

A luminária é um aparelho que distribui, filtra ou transforma a luz emitida por uma ou mais fontes luminosas, incluindo todas as peças necessárias para o apoio, fixação e proteção das fontes luminosas e também, quando necessários, os circuitos auxiliares, bem como as peças que permitem a ligação à fonte de alimentação, mas não incluindo as fontes luminosas (lâmpadas) propriamente ditas.

Uma das principais características das armaduras a ter em conta pelos projetistas no momento do projeto luminotécnico é o índice de proteção da armadura, que deve ser adequado ao local onde esta será montada. O índice de proteção de uma armadura indica a forma como está protegida contra os agentes externos, tais como a humidade, a água e a poeira. Segundo o sistema IP, o índice de proteção, previsto na EN 60529, define a proteção da caixa do equipamento e é definido pelas siglas IP seguido de dois algarismos, onde o primeiro define a dimensão máxima do corpo que pode penetrar na caixa – proteção contra contactos diretos e entrada de corpos externos; o segundo algarismo, por sua vez,

define o comportamento em relação a líquidos – proteção contra a penetração de líquidos. Uma letra opcional pode completar os dois valores de IP, e indica a capacidade do invólucro em proteger as pessoas contra o acesso a partes perigosas.



Figura 19 – Exemplo de uma luminária LED e luminária com lâmpada VSAP

Os componentes constituintes de uma luminária são:

- Suporte das lâmpadas: mesmo quando a luminária é sujeita a vibrações, este componente deve assegurar que o posicionamento da lâmpada permaneça inalterável e destina-se também a garantir o contacto elétrico adequado com a aparelhagem auxiliar;
- Corpo da luminária: tem como função proporcionar o suporte mecânico a todos os componentes. Deve apresentar uma boa resistência mecânica a choques e vibrações no sentido de garantir as condições de fixação e normal funcionamento das lâmpadas e aparelhagem auxiliar.
- Órgão de fixação da luminária: tem como função fixar a luminária ao poste, podendo ou não ser parte integrante da própria luminária, assegurando a não existência de oscilações após o seu correto posicionamento;
- Refletor: dispositivo que serve para modificar a repartição espacial do fluxo luminoso de uma fonte luminosa utilizando essencialmente o fenómeno de reflexão. No que diz respeito ao índice de reflexão é óbvio que quanto mais clara for a cor de um corpo, melhor este corpo consegue refletir. Desta forma um refletor “lacado” a branco terá uma reflexão superior a qualquer outro tipo de material (ex: alumínio), no entanto o “lacado” tem o contra do envelhecimento, ou seja, com o tempo e com o pó a cor deixa de ser branca (amarelecimento), enquanto o mesmo tipo de difusor em alumínio, independentemente do ambiente ao qual está sujeito, consegue manter as suas características iniciais durante mais tempo, sendo, por isso, do ponto de vista do longo prazo, a opção por um refletor em alumínio a mais acertada. No que respeita à rugosidade, existem vários tipos de qualidades de alumínio – alumínio com uma pureza

de 99,8%, até ao alumínio com 99,99% de pureza – este último é o que apresenta a superfície mais plana, conseguindo assim refletir com maior intensidade, pois o fluxo não se dispersa;

- Refratores: são tipicamente constituídos por vidro ou materiais plásticos e destinam-se a alterar a distribuição do fluxo luminoso, mediante refração. Os materiais que os constituem devem proporcionar resistência a choques mecânicos, bem como às agressões provocadas pelas diferentes condições climáticas, permitindo a conservação de uma boa aparência com o decorrer do tempo.
- Difusores: este componente evita que a luz seja enviada diretamente da lâmpada para os objetos ou pessoas. Assim, o seu propósito é diminuir a luminância das lâmpadas, no sentido de proporcionar um melhor conforto visual e são normalmente construídos em vidro ou plástico.
- Dispositivos de regulação: em alguns casos, de modo a proporcionar maior versatilidade de utilização, existem dispositivos de regulação que permitem a adaptação das características da distribuição luminosa da luminária à superfície a iluminar ou então a diferentes tipos de lâmpadas.

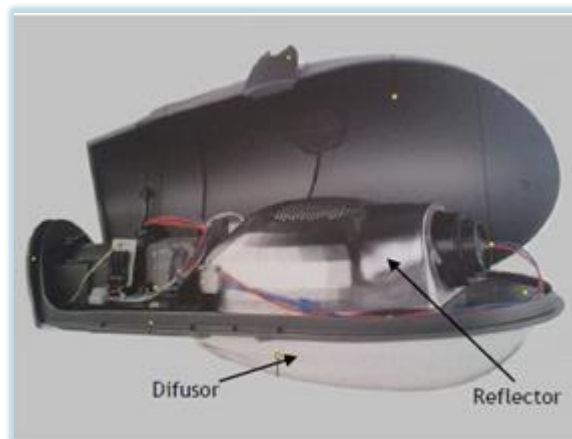


Figura 20 – Exemplo de uma luminária

Com as novas gerações de luminárias, já disponíveis no mercado, é possível tornar os sistemas de iluminação pública cada vez mais eficientes e aplicados racionalmente. Existe, atualmente, uma gama de produtos versáteis que dispõem de tecnologia e *design* que acentuam de forma atrativa o meio envolvente e proporcionam a iluminação do futuro, em

ligação com as normas em vigor, facilidade de manutenção e duração. Com o uso de luminárias eficientes consegue-se também diminuir em muito a dispersão de fluxo luminoso, minimizando ao máximo a poluição luminosa.

Existem luminárias de difusor em vidro, em que o vidro beneficia de um tratamento auto-limpável reduzindo a sujidade exterior. O tratamento auto-limpável torna hidrófila a superfície do vidro, o que significa que a chuva se espalha sob a forma de uma película de água em vez de gotas de água, eliminando assim os resíduos que foram decompostos pelos raios UV da luz do dia. [14]



Figura 21 – Luminária com difusor em vidro auto-limpável

Outra gama de luminárias, ideais para zonas residenciais, mostra-se na figura seguinte. São um tipo de luminárias que podem ser equipadas com grelhas limitadoras dos fenómenos de luz invasora, dirigida para as habitações, respeitando deste modo os moradores. A sua integração dentro da óptica evita qualquer encandeamento.



Figura 22 – Luminária com grelhas limitadoras

Também as luminárias em forma de esfera, que constituem um grande clássico da iluminação decorativa na nossa paisagem urbana, desprovidas do mínimo sistema ótico, difundindo a luz em todas as direções, encontram, na última geração de luminárias, sistemas equipados com uma óptica de qualidade mais respeitadora do ambiente.

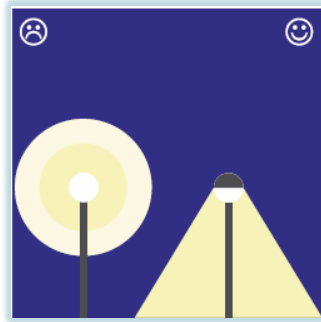


Figura 23 – Exemplo de uma luminária globo ineficiente e eficiente

Nos últimos tempos surgiram tecnologias que estão a revolucionar os sistemas de iluminação pública do mundo – Luminárias alimentadas por energias renováveis. Estes sistemas possuem fontes alternativas alimentadas pela conversão da luz solar em eletricidade, através de painéis fotovoltaicos ou pela conversão das massas de vento em eletricidade, através de um cata-vento acoplado a um gerador. Esta opção é bastante vantajosa para locais remotos ou de difícil acesso, pois apresentam um custo de produção inferior ao da eletricidade. Este tipo de tecnologia evita os elevados investimentos necessários para a construção de novas redes de transmissão.



Figura 24 – Luminária alimentada por energias renováveis

Quanto ao tipo de equipamento, este pode ser:

- Qualificado: equipamento que corresponde às especificações da EDP, tornando-se candidato a equipamento corrente.
 - Corrente: melhor compromisso técnico-económico dentro dos modelos qualificados pela EDP, conforme contrato de concessão;

- Não Corrente: material de uso frequente do Município que foi considerado como de fornecimento EDP no contrato de concessão;
- Equipamento Não Qualificado: equipamento com características especiais ou padrões de qualidade diferentes dos aprovacionados pela EDP, de utilização pontual no município.

O objetivo da qualificação é o apoio a projetos piloto de iniciativa dos municípios, segurança elétrica e mecânica, integração com a rede de iluminação pública existente e garantir as características construtivas que visem o bom funcionamento ou a sua durabilidade.

6.4. Características das lâmpadas

Os tipos de lâmpadas usados atualmente são numerosos e podem ser usados para diversos tipos de aplicação. No entanto cada tipo de lâmpadas possui características diferentes que devem ser tidas em conta para a sua escolha. As principais características luminotécnicas de uma lâmpada são [17]:

- Rendimento luminoso ou eficiência luminosa (lm/W): é o quociente entre o fluxo luminoso absorvido pela lâmpada e a potência elétrica absorvida pela lâmpada [5]. A unidade de medida é o lúmen por Watt (lm/W). Uma lâmpada proporciona uma maior eficiência luminosa quando a energia consumida para gerar um determinado fluxo luminoso é menor do que da outra;
- Temperatura de cor (K): em termos visuais é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação da tonalidade de cor das diversas lâmpadas. Com efeito, definiu-se o conceito de Temperatura de Cor (Kelvin) para classificar a luz. Elevadas temperaturas de cor (T) correspondem a cores frias, logo, quanto mais elevada for, mais fria será a cor;

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

Figura 25 – Tipos de temperatura de cor

- Índice de Reprodução de cor (IRC): mede o quanto a luz artificial se aproxima da natural. Quanto maior o IRC, melhor, sendo este um fator preponderante para a comparação de fontes de luz com a mesma temperatura de cor, ou para a escolha da lâmpada. É uma escala de 0 a 100, onde 100 corresponde a uma reprodução de cores semelhante à da luz natural (considerada a reprodução perfeita) para as cores testadas. 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;
- Duração de vida média: a duração de vida média de uma lâmpada é o número de horas após o qual 50% de um lote significativo de lâmpadas deixa de emitir fluxo luminoso. Este valor é indicado pelo fabricante e é um valor aproximado que pode ser afetado por diversos fatores, tais como o número de vezes que se liga e desliga, a tensão de funcionamento, a temperatura ambiente e a presença de vibrações

Muito embora haja vários fatores que podem condicionar a opção por determinado tipo de lâmpada, um dos mais importantes é, sem dúvida, a sua eficiência luminosa.

Atualmente, e no que respeita a lâmpadas para utilização na iluminação pública, existem diversos modelos e diferentes tecnologias disponíveis. Pode-se classificar as lâmpadas em [15]:

- Tecnologias antigas:

- Incandescentes: as lâmpadas incandescentes têm sido a principal fonte de iluminação doméstica desde o seu aparecimento no século XIX. Os primeiros passos para a invenção da lâmpada incandescente foram dados em 1801 pelo britânico Humphry Davy, ao fazer passar a corrente elétrica por um fio de platina. Em 1879, Thomas Alva Edison foi o primeiro a comercializar uma lâmpada incandescente com um filamento de carbono. No início do século XX, a empresa húngara Tungsgram introduziu o filamento de tungstênio, que tem sido usado, desde então, nas lâmpadas incandescentes. Nas lâmpadas incandescentes uma corrente elétrica passa através de um filamento fino, aquecendo-o a uma temperatura à qual este passa a emitir luz. O invólucro exterior de vidro deste género de lâmpadas mantém o vácuo ou um gás inerte dentro de si de forma a prevenir a oxidação do filamento quente. Estas lâmpadas utilizam o efeito de Joule para produzir o aquecimento dos filamentos. Praticamente já não são utilizadas em iluminação pública devido ao seu baixo rendimento. O tipo de funcionamento destas lâmpadas faz com que apenas uma pequena parcela da energia consumida seja convertida em luz visível, sendo a restante, cerca de 90-95%, perdida sob forma de calor. O seu rendimento é baixo quando comparado com outros tipos de lâmpadas mais eficientes. Uma das principais características deste tipo de lâmpadas é a excelente reprodução de cores, tendo como principal vantagem o seu baixo custo. No entanto, trata-se de uma solução energeticamente desaconselhável, quando comparada com todas as outras fontes luminosas existentes;



Figura 26 – Lâmpada incandescente

- Vapor de mercúrio: a lâmpada de vapor de mercúrio é uma lâmpada que tem como princípio de funcionamento a descarga entre dois elétrodos imersos numa atmosfera de argón, com uma pequena quantidade de mercúrio. Este tipo de lâmpadas foi desenvolvido por volta de 1930, e teve grande sucesso graças ao seu desempenho representar, na altura, um melhoramento substancial em relação à tecnologia

incandescente. Dada a sua baixa impedância após o arranque, para que a lâmpada de vapor de mercúrio possa funcionar com segurança deve operar com um balastro, para limitar a corrente a valores aceitáveis para o seu funcionamento. Este tipo de lâmpada era considerado na década de 80, uma das mais importantes em iluminação pública. No entanto, com o aparecimento da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão, a sua utilização tem-se tornado cada vez menos comum. Assim acontece por dois motivos principais, a sua eficiência luminosa é muito baixa, raramente consegue atingir os 50 lúmens/watt e quantidade de mercúrio existente é bastante prejudicial para o meio ambiente;



Figura 27 – Lâmpada de mercúrio

- Tecnologias do presente:
 - Fluorescentes: as lâmpadas fluorescentes surgiram na década de 80 e foram projetadas para substituir as incandescentes nos diversos setores e aplicações. As lâmpadas fluorescentes são as chamadas lâmpadas económicas. De facto, hoje em dia é recorrente o uso do termo lâmpadas económicas para designar as lâmpadas de baixo consumo energético, devido à potência das lâmpadas fluorescentes ser bem mais reduzida para produzir uma iluminação de qualidade. São uma boa escolha quando se quer uma elevada eficiência, baixo custo e um valor baixo de lúmens à saída, sendo por isso aplicadas em locais onde níveis modestos de luminosidade são aceitáveis. Daqui se compreende que a taxa de utilização deste tipo de lâmpadas no mercado da iluminação pública é baixa, sendo quase exclusivamente utilizadas nos globos dos parques e jardins ou em zonas para efeitos decorativos. Apesar de terem um custo inicial superior ao das lâmpadas de incandescência, proporcionam poupanças importantes devido ao seu maior rendimento (consomem apenas 20% da energia) e à sua elevada duração. As lâmpadas fluorescentes podem ser integrais ou modulares, caso integrem ou não o balastro, respectivamente;



Figura 28 – Lâmpada fluorescente

- Vapor de sódio de alta pressão: este tipo de lâmpadas é constituído essencialmente por dois eléctrodos inseridos num tubo de descarga de óxido de alumínio. Dentro do tubo de descarga existe sódio, mercúrio e também xénon, em menor quantidade, para facilitar o arranque. O tubo de descarga é normalmente inserido dentro de uma ampola de vidro em vácuo, que forma o invólucro exterior da lâmpada. É uma lâmpada de descarga de alta intensidade, caracterizada por eficiência e durabilidade elevadas. 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 eléctrica da lâmpada. Possibilita a transformação de 30% de energia em radiação visível, estando os restantes 70% repartidos por perdas e radiação UV. 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;



Figura 29 – Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

- Vapor de sódio de baixa pressão: foi desenvolvida por volta de 1930, e com a sua implementação nas redes de IP conseguiu-se obter um melhor rendimento das instalações. A lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão é a fonte de luz artificial de maior rendimento, chegando a apresentar uma eficiência luminosa superior a 180 lúmens/Watt. No entanto, tem a desvantagem de possuir um

espectro praticamente monocromático na região do amarelo, o que faz com que se caracterize por ter o pior índice de restituição de cor de todas as fontes luminosas. Adicionalmente tem dos tempos de vida útil mais baixos;



Figura 30 – Lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão

- Iodetos metálicos: após a popularização da lâmpada a vapor de mercúrio, foram realizados vários aperfeiçoamentos da tecnologia. Um bom exemplo deste facto é a lâmpada de vapor de mercúrio com iodetos metálicos, ou simplesmente, lâmpada de iodetos metálicos. Esta é extremamente semelhante à lâmpada de vapor de mercúrio, à exceção das seguintes características: presença de iodetos metálicos e desempenho muito superior em termos do IRC. Comparadas com as lâmpadas de sódio de alta pressão, oferecem as mesmas vantagens, mas têm características diferentes. Têm uma maior gama de potências e uma cor mais branca e fria. São usadas quando se necessita de uma boa eficiência e uma boa restituição de cores. Contudo a aparência de cor é afetada pela idade e têm menor vida útil e rendimento;



Figura 31 – Lâmpada de iodetos metálicos

- Indução: o princípio de funcionamento delas é a excitação do mercúrio e dos gases nobres que ficam no interior. Essa excitação faz-se por causa de um campo magnético oscilante de altíssima frequência. A lâmpada de indução não é nada mais do que uma lâmpada fluorescente sem elétrodos internos, sendo apenas constituída de uma ampola de mercúrio e bobinas internas que excitam o mercúrio. As

lâmpadas de indução têm uma boa eficiência energética e um índice de restituição de cores relativamente elevado. A grande vantagem é sem dúvida a duração destas lâmpadas, pois é muito elevada. Assim, poder-se-á utilizar este tipo de fonte luminosa, em locais onde a manutenção frequente seja indesejável, por ser mais cara e perigosa (por exemplo em postes de iluminação de difícil acesso ou junto a linhas de AT e MAT). Adicionalmente, o seu fluxo luminoso é muito pouco dependente da temperatura. Tem a desvantagem de, atualmente, ainda não ser possível efetuar o *dimming* desta lâmpada e apenas funcionar com balastros eletrónicos especiais de muito alta frequência;

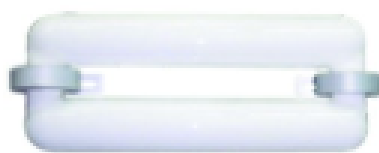


Figura 32 – Lâmpada de indução

- LED (*Light Emitting Diode* ou Díodo Emissor de Luz): um LED é um semicondutor (díodo) que emite luz ao ser atravessado por corrente elétrica. O díodo atravessado pela corrente elétrica, tal como todos os díodos, é unidireccional, ou seja, só é produzida luz se a corrente contínua atravessar o díodo na direção “certa”, ou seja, do ânodo (pólo positivo) para o cátodo (pólo negativo).

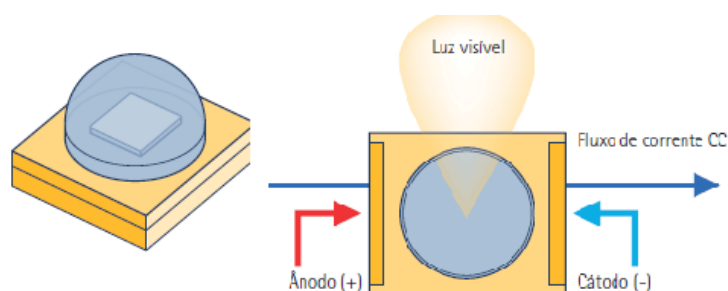


Figura 33 – Princípio de funcionamento do LED

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 fotão libertado é invisível ao olho humano (está na região do infravermelho). 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.



Figura 34 – Lâmpada LED

A eficiência dos LEDs tem aumentado consideravelmente durante os últimos anos, graças aos avanços tecnológicos. Com uma escolha adequada dos componentes poderemos obter LEDs com a mesma tonalidade de luz de uma lâmpada fluorescente ou uma lâmpada de halogéneo. Os LEDs, devido ao seu fluxo direcionado, conseguem atingir poupanças de energia entre 50 a 70% quando comparados com as lâmpadas convencionais de mercúrio e vapor de sódio. Adicionalmente, não requerem um tempo de espera para atingir o nível de fluxo luminoso máximo. Durante a produção, os LED do mesmo lote ou série apresentam diversas propriedades, como por exemplo, no que diz respeito à intensidade e à cor. A utilização de um misto de LED na mesma luminária conduziria, portanto, inevitavelmente, a vários níveis de intensidade luminosa e varias cores de luz, razão pela qual se pratica o *binning*. Este é a organização dos LED com critérios específicos como o *Binning* de cor (organização de acordo com coordenadas de cor), *Binning* de fluxo (organização de acordo com o fluxo luminoso) e *Binning de tensão* (organização de acordo com a tensão directa). Ao escolher um *Bin* de cor específico, garante-se a qualidade constante da luz. Os LED no mesmo *Bin* têm a mesma aparência.

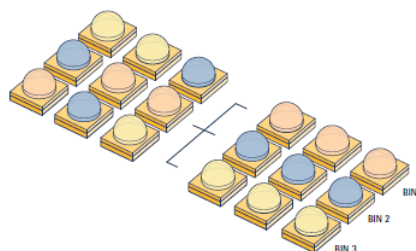


Figura 35 – *Binning* dos LEDs

No entanto o LED tem a grande desvantagem de ser bastante sensível à temperatura de funcionamento. Para melhorar este aspeto, são aplicadas algumas soluções, mas antes, será feita uma breve abordagem à transferência de calor.

A transferência de calor está relacionada com a troca de energia térmica e de calor entre sistemas físicos, e pode ser classificada em três mecanismos: a condução, convecção e radiação. [20]

- **Condução:** é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as vizinhas menos energéticas como resultado da interação entre elas. A condução é a forma mais importante da transferência de calor dentro de um sólido ou entre objetos sólidos em contato térmico. A taxa de condução de calor através de um meio depende da geometria deste, da sua espessura, do tipo de material e da diferença de temperatura a que o meio está submetido. Quanto menor o isolamento, maior será a perda de calor. A equação da condução é a seguinte:

Equação 1

$$Q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R} (W)$$

Equação 2

$$R = \frac{L}{K \times A}$$

A taxa de condução de calor através de uma superfície é proporcional à diferença de temperaturas (T_1-T_2) através da camada e à área (A) de transferência de calor, mas inversamente proporcional à espessura da camada (L). A constante de proporcionalidade k é a condutividade térmica do material, que é a medida da capacidade do material de conduzir calor. Um alto valor de condutividade indica que o material é bom condutor de calor ou um isolante.

Materiais	Cond. Térmica (J/s.m.K)
Prata	426
Cobre	398
Alumínio	237
Tungstênio	178
Ferro	80,3
Vidro	0,72 a 0,86
Água	0,61
Tijolo	0,4 a 0,8
Madeira (Pinho)	0,11 a 0,14
Fibra de vidro	0,046
Espuma de poliestireno	0,033
Air	0,026
Espuma de poliuretano	0,020

Figura 36 – Condutividade térmica de materiais a 27°C

- Convecção: modo de transferência de calor entre uma superfície sólida e uma líquida ou um gás adjacente que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e movimento de um fluido. A convecção pode ser forçada se o fluido é forçado a fluir sobre a superfície por meios externos (ventilador, bomba ou vento) ou pode ser natural se o movimento do fluido é causado por forças de flutuação que são induzidas por diferenças de densidade devidas à variação da temperatura no fluido. Observa-se que a taxa de transferência de calor por convecção é proporcional à diferença de temperatura:

Equação 3

$$Q_{conv} = h \times A \times (T_s - T_{\infty})$$

Onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A é a área da superfície, T_s é a temperatura da superfície e T_{∞} é a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície.

- Radiação: é a forma de radiação emitida pelos corpos devido à sua temperatura.

Equação 4

$$Q_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_s - T_{arr})$$

Onde ε é a emissividade da superfície, ou seja, é a medida de quanto uma superfície se aproxima do comportamento de corpo negro (representa a quantidade máxima de

radiação que pode ser emitida por uma superfície numa determinada temperatura), σ é a constante de Stefan-Boltzmann, A é a área da superfície, T_s é a temperatura da superfície e T_{arr} é a temperatura da superfície ao redor

Segundo os conceitos básicos de transferência de calor, a taxa de transferência de calor a partir de uma superfície com lamelas a uma determinada temperatura T_s para o meio envolvente a T_∞ é dada pela transferência de calor por convecção. Há duas formas de aumentar a taxa de transferência de calor: aumentando o coeficiente de transferência de calor por convecção (h) ou aumentar a área da superfície. Aumentar h pode exigir a instalação de uma bomba ou ventilador, mas esta abordagem pode ser prática ou não. Além disso, pode não ser suficiente. Uma alternativa seria aumentar a superfície, anexando superfícies estendidas, designadas por lamelas, feitas de materiais altamente condutores, como o alumínio. A condutividade térmica (k) do material da lamela deve ser a mais elevada possível. Assim, não é por acaso que lamelas são feitas de metais, como cobre, alumínio e ferro sendo os mais comuns. Talvez as lamelas mais amplamente usadas sejam feitas de alumínio devido ao seu baixo custo e peso e à sua resistência à corrosão. A temperatura diminui exponencialmente ao longo da lamela e atinge a temperatura ambiente para algum comprimento. A parte da lamela além deste ponto não contribui para a transferência de calor, uma vez que está à temperatura do ambiente. Então, projetar uma lamela extra comprida está fora de questão, uma vez que resulta em desperdício de material, excesso de peso, aumento do tamanho e aumento dos custos com nenhum benefício em troca. Portanto será necessário determinar o comprimento ótimo da lamela.

Todas as fontes de luz convertem a energia elétrica em luz e calor em várias proporções. As lâmpadas incandescentes emitem principalmente na região infravermelho com apenas aproximadamente 8% da luz emitida. As lâmpadas fluorescentes emitem maior parte de luz (21%) mas também emitem ultravioleta e calor. A luz emitida pelo LED é fria, gerando pouco infravermelho, logo o calor dissipado não provém da emissão infravermelha, mas da parcela da potência elétrica aplicada ao LED que é transformada em energia calorífica e que deve ser dissipada por convecção ou condução.

O LED, como já é conhecido, possui ótima relação desempenho versus consumo de energia, transformando parte da energia em luz visível. Contudo, a maior parte da energia é transformada em calor (que é conduzido para o fundo, longe do objeto a iluminar), o que em grande quantidade prejudica o funcionamento do LED a curto ou longo prazo. Caso a

placa de LEDs ultrapasse determinada temperatura, o LED perde eficiência, até chegar a um ponto que pare de funcionar completamente.

Para evitar que ocorra essa perda de eficiência e até mesmo a total paralisação da função do mesmo, é necessário transferir o calor das placas para o ar da forma mais rápida e eficiente possível. Um modelo muito utilizado para se realizar essa transferência de energia é por meio de dissipadores de metais condutores de calor, como o alumínio. O alumínio é muito utilizado por ser um metal leve, relativamente barato, sendo desenvolvidos modelos que estão disponíveis no mercado para fácil compra e aplicação nos produtos.



Figura 37 – Modelo de dissipador de calor agregado às placas de LED

A estrutura genérica de um módulo LED consiste num chip de LED, uma placa de circuito impresso (faz a ligação elétrica com o chip LED) e um sistema de arrefecimento fixado (melhora o arrefecimento de calor por condução e convecção). Portanto quando a luminária é ligada, o chip LED produz luz visível e gera calor; o calor é extraído do chip e da placa circuito impresso (PCI) pelo dissipador de calor e posteriormente libertado para a atmosfera. Existem diversos tipos de sistemas de arrefecimento e estes podem ser naturais ou forçados. Nos sistemas de arrefecimento natural são usados dissipadores sem consumo de energia e nos sistemas de arrefecimento forçado são usados ventiladores que consomem energia extra.

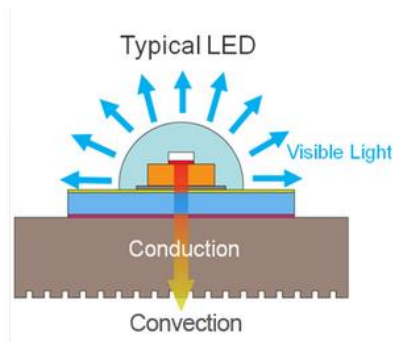


Figura 38 – Estrutura de uma placa LED

A extração de calor do LED para o ambiente ocorre em passos sucessivos (através de várias resistências de calor):

- O calor gerado pelos LED é conduzido pelo chip até ao ponto de soldadura (interno do LED).
- A partir daí, o calor é distribuído pelo circuito do LED.
- Através da interface térmica para transferência de calor entre o circuito e o dissipador, o calor espalha-se pelo dissipador.
- Por meio de convecção e radiação, o calor é extraído do dissipador para o ambiente.

É importante, ao se desenvolver produtos de iluminação que utilizem a tecnologia LED, levar em consideração a forma de dissipação do calor, já que isto está diretamente relacionado ao tempo de vida do produto, podendo estende-la ou antecipar a mesma.

De modo a melhorar a eficiência energética do LED, podem adoptar-se as seguintes soluções:

Espaçamento LED: um espaçamento mais curto dos LEDs proporciona uma menor área de dissipação de calor o que resulta em temperaturas mais altas de junção. Os LEDs devem ser o mais espaçado possível.

Propriedade dos materiais: a condutividade térmica é a propriedade de um material que relaciona a capacidade de transferência de calor por condução. Alguns materiais são melhor condutores de calor que outros e a condutividade térmica é usada para medir a eficácia de condução térmica. Por exemplo, cobre puro tem uma condutividade térmica de cerca de 400W/mK enquanto o ar é de cerca de 0.025W/mK. O alumínio é um material comum usado nos dissipadores de calor e além disso tem um baixo custo. Desta forma,

pode ser importante encontrar novos materiais que possam ser aplicados para dissipação de calor, cuja condutividade seja elevada e o custo reduzido.

Geometria do dissipador: quanto maior for a área de superfície, maior a transferência de calor por convecção.

Revestimento de alta emissividade: são usados para aumentar a taxa de transferência de calor para o meio. Em geral, quanto mais baço e mais negro é um material, mais próxima a sua emissividade é de 1.

Rugosidade: anexar um dissipador de calor a uma placa LED requer um contacto entre as duas superfícies. As superfícies são raramente lisas, por exemplo, um dissipador de calor metálico pode ter rugosidades. Se duas superfícies rugosas são acopladas, a maior parte da transferência de calor é feita através de contactos pontuais, já que o ar é um mau condutor de calor. Este problema pode ser superado através de enchimento dessas cavidades com um material macio e termicamente bom condutor.

A figura seguinte mostra uma simulação numérica da distribuição estacionária de temperaturas sobre a superfície de um dissipador de calor passivo. Como se pode ver, a temperatura máxima da distribuição de temperatura encontra-se, obviamente, no chip LED e os valores diminuem gradualmente com a distância. Por exemplo, para reduzir ao mínimo a resistência de contacto térmico entre o chip LED e o dissipador pode-se colocar uma película de grafite que possui uma elevada condutividade térmica (240W/m.K).

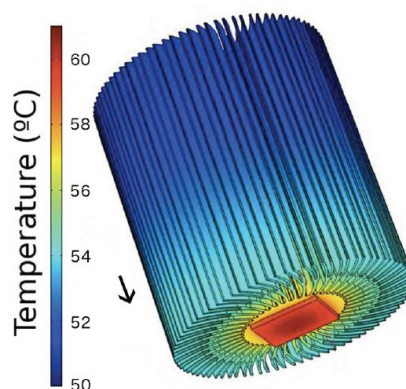


Figura 39 – Distribuição de temperatura no chip LED

São usados diversos tipos de material para facilitar a dissipação de calor, tal como dissipadores de cobre, de alumínio e espuma de grafite. De forma a melhorar a eficiência

do LED, seria importante estudar o impacto da escolha do material sobre o desempenho do dissipador de calor. Poderia fazer-se um estudo do dissipador de calor utilizando *software* CFD (“*Computational Fluid Dynamics*”), que faz a modelação matemática e simulação computacional na área de dinâmica de fluidos computacional. [21]

A figura seguinte mostra, em termos de eficiência (lm/W) a evolução sofrida pelos vários tipos de lâmpadas, a partir do ano em que foram criadas, bem como o potencial que poderão atingir mediante novos desenvolvimentos tecnológicos. [16]

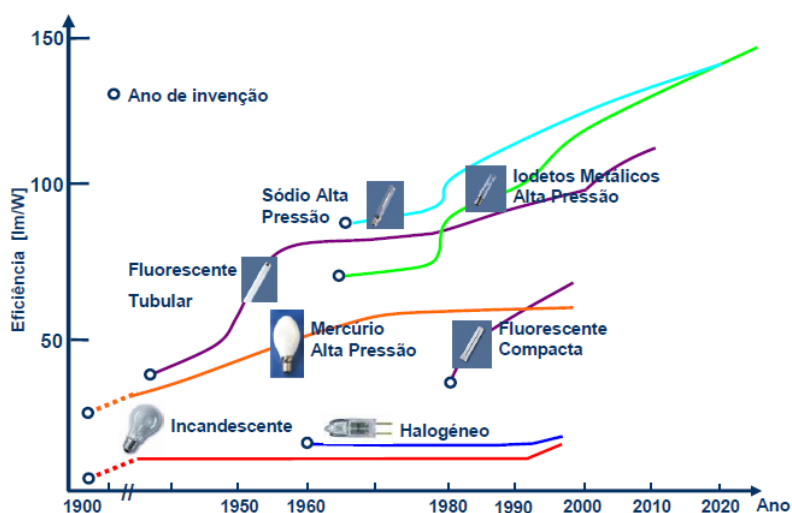


Figura 40 – Evolução de todo o tipo de lâmpada

A tabela seguinte apresenta uma comparação dos valores associados aos diversos tipos de lâmpadas.

Tabela 1 – Comparação de tecnologias

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Temperatura de Cor (K)	IRC	Eficiência (lm/W)	Tempo vida útil (h)
Incandescentes	15 a 1000	2700	100	10 a 20	1000
Vapor de mercúrio	50 a 1000	3000 a 5000	40 a 60	20 a 50	16000
CFLs integradas	3 a 25	2700 a 4000	85	35 a 70	6000 a 15000
CFLs modulares	5 a 55	2700 a 6000	85 a 98	45 a 87	10000
Vapor sódio alta pressão	50 a 1000	2000 a 3300	20 a 40	70 a 140	16000 a 32000
Vapor sódio baixa pressão	50 a 1000	1800 a 2200	10 a 20	120 a 180	16000
Iodetos metálicos	35 a 3500	3300 a 5500	80 a 90	65 a 110	12000 a 16000
Indução	100 a 150	2700 a 4000	85	75	100000
LEDs	1 a 8	2700 a 10000	65 a 85	50 a 130	30000 a 100000

Em zonas cuja perceção das cores seja fundamental, um muito bom índice de restituição é exigido, assim, as lâmpadas de indução, os LEDs e iodetos metálicos são sem dúvida as mais recomendáveis. No entanto, há zonas (industriais, estradas nacionais e secundárias,

etc.) onde a eficiência é um critério bem mais importante do que o IRC, logo, LEDs e as lâmpadas de vapor de sódio seriam as escolhas mais acertadas. Para efeitos de manutenção e da redução dos seus custos é extremamente importante o tempo de vida útil de uma lâmpada, neste campo, dois tipos de lâmpadas destacam-se claramente em relação às demais, LEDs e lâmpadas de indução são as que trazem mais benefícios a este nível, sendo que ambas apresentam uma desvantagem comum, ou seja, o investimento inicial. Por tudo isto, fazendo uma análise global, verifica-se que o LED é a solução mais promissora para a iluminação em geral e em particular de IP. No entanto, por se tratar de uma tecnologia recente apresenta um investimento inicial muito elevado.

6.5. Características dos balastros

Balastro é um limitador de corrente utilizado nas lâmpadas fluorescentes e em outros dispositivos elétricos que necessitam limitar a intensidade da corrente elétrica que os atravessa durante o funcionamento. Dependendo das suas características o balastro pode transformar a tensão de alimentação, fazer o *dimming* da lâmpada, corrigir o fator de potência e melhorar o arranque a frio da lâmpada.

Existem dois grupos de balastros, os eletrônicos e os magnéticos, sendo que os eletrônicos podem ser ainda distinguidos entre os de saída fixa e os controláveis, ou seja, com capacidade de *dimming*. No caso dos LEDs o equipamento de controlo é uma fonte de alimentação controlável denominada *driver*. [15]

Balastro eletromagnético

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.

Balastro eletrónico

Os balastros eletrônicos apareceram no início dos anos 80 e são conversores de eletrônica de potência utilizados no controle das lâmpadas de descarga, permitindo reduzir substancialmente as perdas em comparação com os balastros eletromagnéticos. Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), o que proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim os balastros eletrônicos em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os eletromagnéticos. Há dois tipos de balastro eletrônico, o convencional e o regulável (*dimming*). Relativamente ao regulável existem duas formas de se proporcionar o *dimming* através de balastros para lâmpadas de descarga de alta intensidade:

- Variação a degrau (duplo nível): as lâmpadas estão a 100% da sua potência quando os níveis máximos de iluminância são necessários. Quando tal não acontece, o nível de fluxo será reduzido, diminuindo a potência da lâmpada para um valor inferior (ex. 25%). Esta variação é feita a degrau, sendo que o balastro apenas permite internamente fazer a regulação para níveis previamente estabelecidos.
- Variação contínua: a seleção do nível de potência é feita continuamente (até 20, 10 ou mesmo 1,5% do fluxo nominal), o que resulta num controlo do fluxo luminoso completo e adequado às necessidades, para além de ter um menor impacto na qualidade de energia elétrica.

Atualmente existem no mercado balastros eletrônicos para controlo de iluminação por luminária constituído por um balastro eletrônico regulável (capacidade para regulação do fluxo luminoso) e um módulo de comunicação que são instalados no quadro elétrico da coluna de iluminação pública ou na própria luminária.

Fontes de alimentação para LED – Drivers

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

7. Sistemas de controlo e gestão de energia

7.1. Tipos de sistemas

A energia elétrica consumida na iluminação pública constitui uma despesa não desprezável, que deve incitar os responsáveis a pôr em prática ações que permitam a sua poupança. Uma iluminação eficiente proporciona elevadas reduções na carga total da iluminação, embora estas reduções variem em função das tecnologias aplicadas. É uma questão de economia, de poupança que é vantajosa tanto para os consumidores como para os produtores de energia pois poderão satisfazer um maior número de clientes sem investir em infraestruturas adicionais de produção.

Fruto do trabalho conjunto entre as Câmaras Municipais e a EDP, lançaram-se projetos-piloto na área da melhoria da eficiência energética da Iluminação Pública, através da experimentação de novas tecnologias:

- Regulação de fluxo luminoso;
- Vapor de sódio de alta pressão da nova geração;
- Balastro electrónico de alta frequência com duplo nível;
- Fluorescentes compactas;

- Tecnologia LED;
- Telegestão.

Dado que os circuitos de iluminação pública se destinam a funcionar apenas numa fração do dia, será necessário prever o seu controlo. De acordo com o tipo de via em que o circuito de iluminação atua, o seu controlo assumirá uma maior ou menor complexidade. Assim, o controlo poderá assumir a forma simples de ligação e corte totais, pré-programados, ou ter associado uma forma mais ou menos complexa de controlo de fluxo luminoso.

O controlo de fluxo pode ser vantajoso na medida em que existem soluções técnicas que, garantindo condições para que a circulação noturna se faça com segurança, permitem uma utilização racional de energia, dado que existem períodos nos quais não é necessário que os focos luminosos emitam a luminosidade máxima aconselhada.

O controlo dos circuitos de iluminação pública é feito com recurso a [15]:

Sensores crepusculares: a célula fotoelétrica existente no interruptor crepuscular irá reagir à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível estipulado, permitindo, desta forma, gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de iluminação pública. A colocação da fotocélula poderá ser à cabeceira enviando o sinal a um conjunto de luminárias, ou então poderá ser parte integrante de cada ponto de iluminação individual.



Figura 41 – Sensor crepuscular

Relógio astronómico: o relógio astronómico é uma solução de comando *on-off* cujo horário de funcionamento encontra-se enquadrado na variação do ciclo solar ao longo do ano. O relógio é inserido nos postos de transformação que alimentam os circuitos de potência da iluminação, é regulado de acordo com o horário estabelecido para o acendimento e corte da

iluminação pública e permite uma programação diária ou semanal. A grande vantagem em relação a um sistema interruptor horário antigo é que adapta o controlo da rede de IP ao horário respeitante à altura do ano. Por exemplo, o sinal transmitido para acender a iluminação pública será emitido mais cedo no Inverno do que no Verão, sem qualquer tipo de intervenção humana. O relógio astronómico tem as seguintes características de funcionamento:

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



Figura 42 – Relógio Astronómico

Reatância de duplo nível: este balastro permite uma redução do consumo energético, mediante a introdução, no circuito da lâmpada, de uma indutância adicional. Na figura está esquematizada uma das formas conhecidas deste sistema de duplo nível.

A programação da comutação de um valor de reatância para outro é feita de uma forma simples, através de um contacto temporizado existente num contactor alimentado pelo circuito de potência derivado do posto de transformação. Este contactor, por sua vez, alimenta o balastro. Este sistema de duplo nível pode aplicar-se a lâmpadas de mercúrio e a lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. Contudo, este sistema não é adequado em

lâmpadas de iodetos metálicos dado a cor da luz proporcionada por este tipo de lâmpadas ser bastante afetada pela potência luminosa emitida. Cada equipamento permite ajustar-se o tempo do intervalo, a potência nominal e o nível de redução desejado.

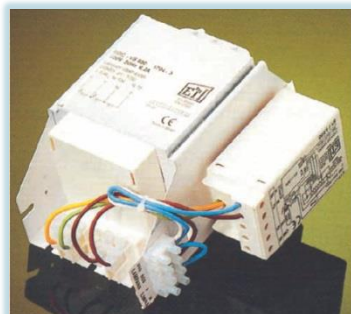


Figura 43 – Reactância de duplo nível

Sensores de movimento: a presença de pessoas ou veículos é detetada por sensores de movimento (infravermelho/microondas). Além de reduzir o consumo de energia, este recurso de luz contribui para a segurança da área abrangida. Cada sensor está configurado para evitar a detecção desnecessária.

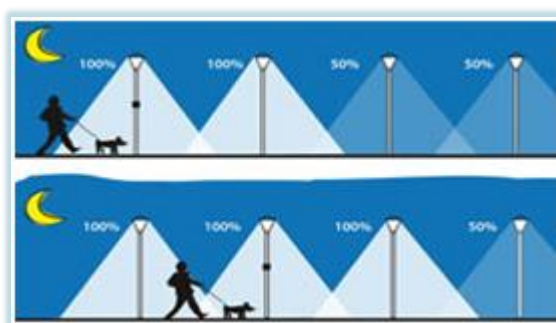


Figura 44 – Exemplo de sensor de movimento

Este tipo de sistemas tem vindo a ser estudado e melhorado, permitindo obter uma maior eficiência. Desta forma, as luzes acendem apenas quando os sensores detetam a presença de pessoas, carros ou bicicletas e ignoram quando estão a passar apenas pequenos animais, como gatos, cães ou roedores.

Reguladores de fluxo: os sistemas de regulação de fluxo luminoso permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos de menor atividade. Em períodos noturnos de menor tráfego, estes sistemas permitem diminuir o nível de luminância. Permitem, durante as horas desejadas, reduzir o fluxo luminoso produzido pelas diversas lâmpadas do sistema,

através da redução da tensão na linha elétrica que as alimenta. Em consequência dessa redução do fluxo, diminui o consumo de energia elétrica e aumenta o tempo de vida útil das lâmpadas. No entanto, esta redução de tensão apenas pode ser feita até ao limite de 180V. Uma redução inferior a este valor irá afetar o funcionamento das lâmpadas.

Este equipamento aplica-se em todos os circuitos de iluminação equipados com lâmpadas de descarga, como fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio e iodetos metálicos. Um regulador de fluxo pode estar integrado num sistema de telegestão complexo, estando às ordens do Sistema Central de Gestão (CSM), ou então inicia o seu ciclo de ignição após um sinal transmitido por um sensor de luminosidade, ou por um relógio astronómico, aumentando gradualmente a tensão até atingir o valor pré-estabelecido de funcionamento. Quando esse nível de tensão não é mais necessário, o regulador baixa a tensão de alimentação das lâmpadas. Aplicando às lâmpadas uma tensão inferior à nominal de funcionamento, a corrente é reduzida, originando a diminuição da potência absorvida pela rede de IP. A programação da regulação do fluxo deverá ser feita consoante a época do ano e a área onde o sistema de iluminação está instalado.



Figura 45 – Exemplo de funcionamento de um regulador de fluxo

Os reguladores de fluxo, para além de variarem a intensidade luminosa, têm também a função de estabilização da tensão, que permite aumentar o tempo de vida da lâmpada (reduzindo, assim, os custos de manutenção). Observa-se que reguladores de fluxo existentes no mercado conseguem proporcionar poupanças energéticas entre 25 a 50%, sem ter de recorrer ao método arcaico de desligar alguns pontos de luz da rede de iluminação. É necessário ter em atenção que a maioria dos sistemas de regulação de fluxo à cabeceira (junto ao PT) trabalha com o controlo da tensão (redução da tensão). Assim, em circuitos com mais de um tipo de lâmpadas e com grandes probabilidades de terem diferentes idades (horas de serviço) o resultado em cada lâmpada, dessa regulação, pode

ser diferente. Adicionalmente, para PTs que controlem menos do que 50 luminárias, a utilização de reguladores de fluxo torna-se economicamente pouco atrativa.



Figura 46 – Regulador de Fluxo

Sistemas de telegestão: um sistema de telegestão adaptativo com inteligência artificial e integrado numa rede inteligente permitirá ter uma rede IP mais eficiente capaz de se adaptar às necessidades de cada momento. Pode-se assim gerir o nível de iluminação em função da presença a nível rodoviário e de presença humana pedestre; adaptar a cor e os restantes parâmetros luminotécnicos em função das condições ambientais; adaptar o fluxo luminoso em função da iluminação ambiente e deteção de derrube ou impacto.

Em suma, os sistemas de telegestão fazem o controlo, a medição e o diagnóstico de um sistema de iluminação, comunicando e utilizando essa informação através de meios e equipamentos. O sistema de Telegestão é constituído por:

- Sistema Central de Gestão (CMS): é usado para controlar os vários segmentos do sistema de IP, gerindo a informação transmitida pelos controladores (da luminária e de segmento);
- Controlador de Segmento (SC): as luminárias estão ligadas a uma cabina exterior de alimentação e comunicam através do controlador de segmento;
- Controlador da Luminária Exterior (OLC): é o aparelho que faz o controlo do balastro/*driver* programável da fonte de luz e de todos os sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico. Atualmente este controlador também já é apresentado como parte integrante da luminária.

Novos sistemas de controlo: em muitas vilas alemãs, por exemplo, a partir das 21h, grande parte da iluminação pública é desligada. A medida, cujo objetivo é preservar o ambiente, não agradou à maioria dos cidadãos, por questões de segurança. Graças a um novo serviço, depois das 21h, os cidadãos podem ligar as luzes através do telemóvel. Os utilizadores pagam o custo da chamada e as instituições públicas garantem a iluminação. Para controlar as luzes, é preciso inscrever o número de telemóvel numa base de dados. Depois, basta inserir o código que identifica a área a iluminar. As luzes são desligadas automaticamente passados entre 10 a 15 minutos. Segundo a imprensa alemã, em Morgenröthe-Rautenkranz, que conta apenas com 900 habitantes, foi possível reduzir as despesas com energia e obter uma poupança anual de cerca de 4 mil euros. Noutras áreas do país, onde este sistema é implementado pela Dial4Light, alguns organismos públicos decidiram ir ainda mais longe ao cobrar mais do que uma simples chamada para iluminar as ruas. Em Rahden, por exemplo, para efetuar uma chamada que permite acender as luzes durante 60 minutos os cidadãos têm de pagar cerca de 3,50 euros. A estratégia é, no mínimo, inteligente. Além de preservar o ambiente, o novo sistema dá origem a uma nova fonte de receitas.



Figura 47 – Sistema de gestão da iluminação pública Dial4Light

8. Apresentação do cenário de estudo

8.1. Caracterização do concelho de Esposende

O concelho de Esposende, situado a Norte de Portugal, pertence ao distrito de Braga e é o único que tem território litoral, com uma extensão de 18Km. É limitado a norte pelo concelho de Viana do Castelo, a sul pelo concelho da Póvoa do Varzim e a nascente pelo concelho de Barcelos. Com uma área de 95.18km, é constituído por 15 freguesias sendo de maior dimensão a de Marinhas com 11,7 km² e a mais pequena a freguesia de Esposende com 1,85km². O concelho de Esposende enquadra-se na sub-região estatística NUT III Cávado e registou, no ano de 2010, 35.552 habitantes, sendo que a maior densidade populacional se verifica nas freguesias de Esposende e Mar (com 1876 habitantes por m² e 543 habitantes por m² respectivamente) e a menor densidade populacional nas freguesias de Rio Tinto e Vila – Chã (153 habitantes por m² e 169 habitantes por m² respetivamente). Esposende é um município onde predominam as áreas medianamente urbanas, e apesar do forte contexto agrícola, verifica-se uma grande aptidão turística e a existência de uma realidade industrial. [18]

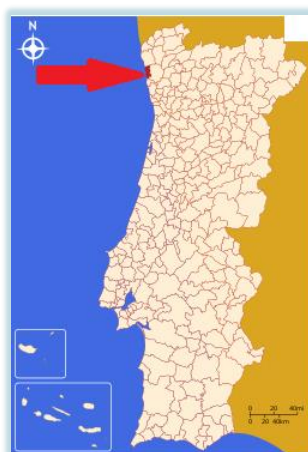


Figura 48 – Localização de Esposende

8.2. Situação energética de Esposende

Através da análise evolutiva dos dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) relativos ao consumo de energia em Esposende, nos últimos anos é possível verificar que o consumo de energia elétrica total registou um aumento progressivo até 2010, onde os consumos atingiram valores máximos, tendo vindo a decrescer ligeiramente nos anos seguintes.

Grande parte do consumo de energia elétrica em Esposende diz respeito ao consumo doméstico e à categoria “Industria. Segue-se a categoria de “Não doméstico”, as categorias “Iluminação das vias públicas” e “edifícios do estado”, ambas com valores de consumos muito próximos, e por fim a categoria “Agricultura”. [6]

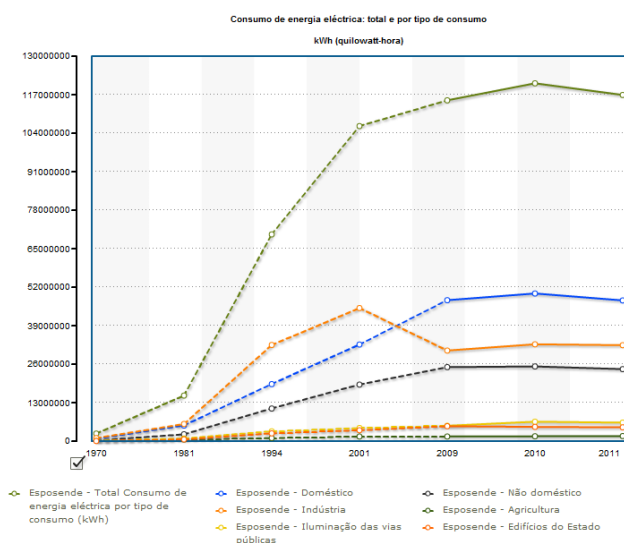


Figura 49 – Consumo de energia eléctrica total e por tipo de consumo

Como se pode verificar na tabela e no gráfico, a iluminação pública em Esposende tem vindo a aumentar de 1970 até 2010, diminuindo ligeiramente em 2011 cujo consumo de energia estima-se que tenha sido de aproximadamente 6.285.400kWh. [6]

Iluminação das vias públicas						
1970	1981	1994	2001	2009	2010	2011
167.020	903.616	3.354.021	4.417.457	5.240.157	6.563.200	Pro 6.285.400

Figura 50 – Consumo de energia na iluminação pública

8.3. Iluminação Pública em Esposende

Em Esposende, o aumento do IVA de 6 para 23 por cento, implicou um aumento anual da despesa no município na ordem dos 135 mil euros, razão pela qual se tornou necessário reduzir drasticamente os consumos. Devido a este aumento e ao abrigo do programa de poupança energética, a Câmara Municipal de Esposende começou a desligar alguns candeeiros de iluminação pública.



Figura 51 – Foco desligado

Assim, foram cortadas a iluminação pública nas estradas nacionais, as luzes decorativas, havendo ainda uma redução de pontos de luz nos arruamentos municipais. Em relação à redução dos pontos de luz nos arruamentos municipais, que se traduziu no corte intercalado das luminárias, foram ainda colocadas lâmpadas menos potentes que permitam poupanças no consumo. Apesar de Esposende ter implementado, em 2007, um Plano de Gestão Sustentada da Energia, o anunciado aumento de impostos obrigou a Câmara a adoptar

medidas ainda mais drásticas e rigorosas. Com a extinção do tarifário de Iluminação Pública, a isenção do pagamento de taxa de potência contratada deixou de vigorar a partir do dia 1 de Janeiro de 2013. Tal situação tem um fortíssimo impacto no valor da fatura de Iluminação Pública do município, que foi já forçado a implementar drásticas medidas de racionalização dos consumos de energia para fazer face ao aumento do IVA e do custo de energia registado no final de 2011.

Sendo a iluminação pública uma parte considerável da parcela dos consumos energéticos do município de Esposende, torna-se importante a definição de estratégias e a implementação de medidas que permitam a poupança nos consumos energéticos. Neste sentido, surge o programa “IP com Boa Energia”, que preconiza as principais estratégias para a gestão sustentada da iluminação pública municipal no concelho de Esposende. A Iluminação Pública constitui uma infraestrutura primária das cidades, mas sucede com frequência desenvolver-se de uma forma desordenada e heterogénea, respondendo a meras solicitações pontuais ou condicionada por disponibilidades económicas de ocasião, sem uma coerência e uma estratégia de projeto delineada, tendo em conta a globalidade do território urbanizado, na sua diversidade e articulação. A necessidade de criar uma estratégia de intervenção eficaz e articulada, bem como de racionalizar os gastos com iluminação pública, levou à criação de uma equipa de trabalho, liderada pelo executivo camarário e pelo gestor energético municipal, que em articulação com a Agência de Energia do Cávado (à qual Esposende pertence), tem definido as principais medidas a implementar neste domínio. Assim sendo, foi elaborado pelo município um Plano de Ações para a Gestão da Iluminação Pública, onde se encontram preconizadas as principais medidas a implementar entre 2010 e 2011.

Foi elaborado um Diagnóstico de Eficiência Energética na Iluminação Pública, com base no levantamento efetuado por todos os Presidentes de Junta de Freguesia, no âmbito da candidatura ao concurso Eficiência Energética na Iluminação Pública, onde se encontra previsto que o município de Esposende proceda à substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio e instale 70 relógios astronómicos nos PT's onde ainda não existem tais equipamentos. As principais estratégias definidas para a Iluminação Pública têm como principal objetivo a redução a curto e médio prazo dos consumos, sendo por isso fundamental um diálogo articulado com as Juntas de Freguesia, bem como com a EDP e outras partes interessadas. Até ao momento, as medidas em curso nesta área prevêm a

eliminação total da iluminação cénica, a suspensão da iluminação nas estradas nacionais, suspensão da iluminação pública noturna durante 4 horas diárias e eliminação de 10% dos pontos de luz por freguesia ou eliminação de 30% dos pontos de luz por freguesia, a monitorização e acompanhamento dos técnicos da EDP, por parte do município, para leituras diretas nos vários PT's do concelho, bem como o ajuste do horário de funcionamento da IP. [18] A sustentabilidade energética na IP passa pela diminuição dos consumos de energia e das emissões de CO2, pela diminuição dos custos de exploração e manutenção, pelo incremento do tempo de vida útil dos consumíveis, nomeadamente lâmpadas, utilização de novas tecnologias (balastros electrónicos reguláveis), telegestão das instalações e iluminação adaptativa.

8.4. Horas de funcionamento da IP

A tabela seguinte apresenta o horário de ligação e desligação da iluminação pública no concelho de Esposende, em 2011.

Tabela 2 – Horas de funcionamento da IP de Esposende

2011 - Ajustamento de Horários de ligação e desligação da Iluminação Pública																								
Tempo de desligar a IP antes do Nascer do Sol												Tempo de ligar a IP depois do Ocaso do Sol												
00:30												00:15												
Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez		
Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	
1	7:25	17:41	7:13	18:13	6:40	18:44	6:52	20:15	6:10	20:44	5:44	21:10	5:46	21:20	6:08	21:03	6:35	20:23	7:02	19:35	6:33	17:52	7:05	17:31
2	7:25	17:42	7:12	18:14	6:38	18:45	6:51	20:16	6:09	20:44	5:44	21:11	5:46	21:20	6:09	21:02	6:36	20:21	7:03	19:34	6:34	17:51	7:06	17:31
3	7:25	17:42	7:11	18:15	6:37	18:46	6:49	20:17	6:08	20:45	5:43	21:12	5:46	21:20	6:10	21:01	6:37	20:20	7:04	19:32	6:35	17:50	7:07	17:30
4	7:25	17:43	7:10	18:16	6:35	18:47	6:48	20:18	6:06	20:46	5:43	21:12	5:47	21:20	6:10	21:00	6:38	20:18	7:05	19:31	6:36	17:49	7:08	17:30
5	7:25	17:44	7:09	18:18	6:34	18:48	6:46	20:19	6:05	20:47	5:43	21:13	5:48	21:20	6:11	20:59	6:39	20:16	7:06	19:29	6:37	17:48	7:09	17:30
6	7:25	17:45	7:08	18:19	6:32	18:49	6:45	20:20	6:04	20:48	5:42	21:14	5:48	21:20	6:12	20:58	6:40	20:15	7:07	19:27	6:39	17:47	7:10	17:30
7	7:25	17:46	7:07	18:20	6:31	18:50	6:43	20:21	6:03	20:49	5:42	21:14	5:49	21:19	6:13	20:56	6:41	20:13	7:08	19:26	6:40	17:46	7:11	17:30
8	7:25	17:47	7:06	18:21	6:29	18:51	6:42	20:21	6:02	20:50	5:42	21:15	5:49	21:19	6:14	20:55	6:42	20:12	7:09	19:24	6:41	17:45	7:12	17:30
9	7:25	17:48	7:05	18:22	6:28	18:52	6:40	20:22	6:01	20:51	5:42	21:15	5:50	21:19	6:15	20:54	6:43	20:10	7:10	19:23	6:42	17:44	7:13	17:30
10	7:25	17:49	7:04	18:23	6:26	18:53	6:39	20:23	6:00	20:52	5:42	21:16	5:51	21:18	6:16	20:53	6:43	20:09	7:11	19:21	6:43	17:43	7:13	17:30
11	7:25	17:50	7:03	18:24	6:25	18:54	6:37	20:24	5:59	20:53	5:42	21:16	5:51	21:18	6:17	20:52	6:44	20:07	7:12	19:20	6:44	17:42	7:14	17:30
12	7:24	17:51	7:02	18:26	6:23	18:55	6:36	20:25	5:58	20:54	5:41	21:17	5:52	21:18	6:18	20:51	6:45	20:05	7:13	19:18	6:45	17:41	7:15	17:30
13	7:24	17:52	7:01	18:27	6:22	18:56	6:34	20:26	5:57	20:55	5:41	21:17	5:53	21:17	6:18	20:49	6:46	20:04	7:14	19:17	6:46	17:40	7:16	17:31
14	7:24	17:53	6:59	18:28	6:20	18:57	6:33	20:27	5:56	20:56	5:41	21:18	5:53	21:17	6:19	20:48	6:47	20:02	7:15	19:16	6:47	17:39	7:17	17:31
15	7:24	17:54	6:58	18:29	6:19	18:58	6:31	20:28	5:55	20:57	5:41	21:18	5:54	21:16	6:20	20:47	6:48	20:01	7:16	19:14	6:48	17:39	7:17	17:31
16	7:23	17:55	6:57	18:30	6:17	18:59	6:30	20:29	5:54	20:57	5:41	21:18	5:55	21:16	6:21	20:45	6:49	19:59	7:17	19:13	6:50	17:38	7:18	17:31
17	7:23	17:56	6:56	18:31	6:16	19:00	6:28	20:30	5:53	20:58	5:42	21:19	5:55	21:15	6:22	20:44	6:50	19:57	7:18	19:11	6:51	17:37	7:19	17:32
18	7:22	17:57	6:55	18:32	6:14	19:01	6:27	20:31	5:53	20:59	5:42	21:19	5:56	21:14	6:23	20:43	6:50	19:56	7:19	19:10	6:52	17:37	7:19	17:32
19	7:22	17:58	6:53	18:33	6:13	19:02	6:26	20:32	5:52	21:00	5:42	21:19	5:57	21:14	6:24	20:41	6:51	19:54	7:20	19:08	6:53	17:36	7:20	17:32
20	7:21	17:59	6:52	18:35	6:11	19:03	6:24	20:33	5:51	21:01	5:42	21:20	5:58	21:13	6:25	20:40	6:52	19:53	7:21	19:07	6:54	17:35	7:20	17:33
21	7:21	18:00	6:51	18:36	6:09	19:04	6:23	20:34	5:50	21:02	5:42	21:20	5:59	21:12	6:26	20:39	6:53	19:51	7:22	19:06	6:55	17:35	7:21	17:33
22	7:20	18:02	6:49	18:37	6:08	19:05	6:21	20:35	5:50	21:03	5:42	21:20	5:59	21:12	6:27	20:37	6:54	19:49	7:23	19:04	6:56	17:34	7:21	17:34
23	7:20	18:03	6:48	18:38	6:06	19:06	6:20	20:36	5:49	21:04	5:43	21:20	6:00	21:11	6:27	20:36	6:55	19:48	7:24	19:03	6:57	17:34	7:22	17:34
24	7:19	18:04	6:47	18:39	6:05	19:07	6:19	20:37	5:48	21:04	5:43	21:20	6:01	21:10	6:28	20:34	6:56	19:46	7:25	19:02	6:58	17:33	7:22	17:35
25	7:18	18:05	6:45	18:40	6:03	19:08	6:17	20:38	5:48	21:05	5:43	21:20	6:02	21:09	6:29	20:33	6:57	19:45	7:26	19:01	6:59	17:33	7:23	17:36
26	7:18	18:06	6:44	18:41	6:02	19:09	6:16	20:39	5:47	21:06	5:43	21:20	6:03	21:08	6:30	20:32	6:58	19:43	7:27	18:59	7:00	17:32	7:23	17:36
27	7:17	18:07	6:43	18:42	7:00	20:10	6:15	20:40	5:46	21:07	5:44	21:21	6:03	21:08	6:31	20:30	6:59	19:42	7:28	18:58	7:01	17:32	7:24	17:37
28	7:16	18:08	6:41	18:43	6:58	20:11	6:14	20:41	5:46	21:07	5:44	21:21	6:04	21:07	6:32	20:29	6:59	19:40	7:29	18:57	7:02	17:32	7:24	17:38
29	7:15	18:10			6:57	20:12	6:12	20:42	5:45	21:08	5:45	21:21	6:05	21:06	6:33	20:27	7:00	19:38	7:30	18:56	7:03	17:31	7:24	17:38
30	7:15	18:11			6:55	20:13	6:11	20:43	5:45	21:09	5:45	21:21	6:06	21:05	6:34	20:26	7:01	19:37	6:31	17:54	7:04	17:31	7:24	17:39
31	7:14	18:12			6:54	20:14			5:44	21:10			6:07	21:04	6:35	20:24			6:32	17:53			7:25	17:40
Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	Nasc	Ocaso	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													

Segundo dados da EDP Distribuição, em Esposende definiu-se que a iluminação pública desligava 30 minutos antes do nascer do sol e voltava a ligar 15 minutos depois do ocaso. Este horário é definido no relógio astronómico instalado no posto de transformação e pode ser alterado se for necessário.

Tabela 3 – Horário de programação do relógio astronómico em Esposende

Concelho	Horário de programação
Amares	Desfasado + 30 minutos depois do ocaso e - 30 minutos antes do nascer do sol ;
Barcelos	Desfasado + 30 depois do ocaso e desliga às 02h00 486 Pts (Rural) / Desfasado + 30 minutos depois do ocaso e - 60 minutos antes do nascer do sol = 54 Pts (hurbano) ;
Braga	Desfasado + 30 minutos depois do ocaso e - 30 minutos antes do nascer do sol ;
Esposende	Desfasado + 15 minutos depois do ocaso e - 30 minutos antes do nascer do sol ;
Povoa de Lanhoso	Desfasado + 30 minutos depois do ocaso e - 30 minutos antes do nascer do sol ;
Terras de Bouro	Desfasado + 30 minutos depois do ocaso e - 30 minutos antes do nascer do sol ;
Vieira do Minho	Desfasado + 30 minutos depois do ocaso e - 30 minutos antes do nascer do sol ;
Vila Verde	Desfasado + 30 minutos depois do ocaso e - 30 minutos antes do nascer do sol ;

Relativamente ao número de horas de funcionamento mensal da iluminação pública em 2011 em Esposende, segundo a EDP Distribuição, estão apresentados na tabela.

Tabela 4 – Número de horas em que a IP está ligada por mês

Mês	Numero horas ligada
Jan	13:26
Fev	12:29
Mar	11:18
Abr	10:02
Mai	8:58
Jun	8:25
Jul	8:40
Ago	9:36
Set	10:48
Out	12:03
Nov	13:09
Dez	13:44

Daqui se conclui que em média a iluminação pública neste concelho está ligada durante 11 horas por dia. Também se pode verificar através do gráfico seguinte, que os meses em que a iluminação pública está ligada durante mais horas é no Inverno, altura em que o ocaso ocorre mais cedo e o sol nasce mais tarde. Pode-se perspectivar que devido a um maior número de horas ligada, os consumos durante os meses de Inverno também vão ser superiores.

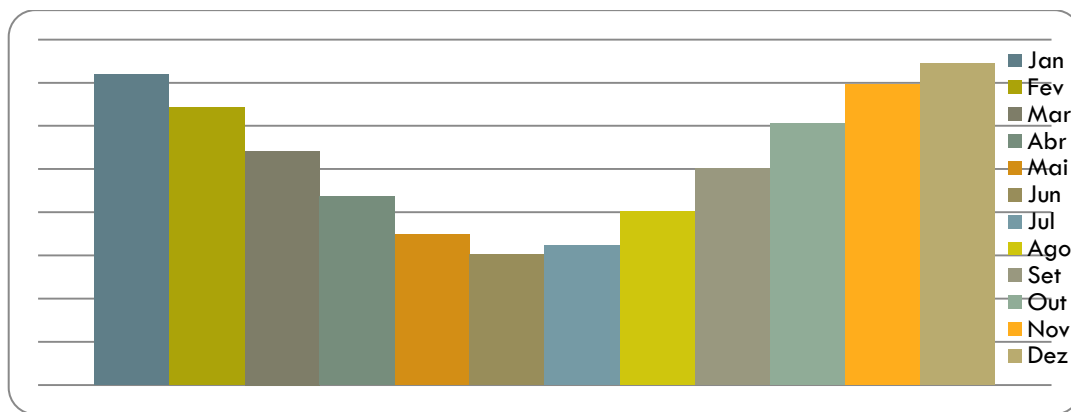


Gráfico 5 – Variação do número de horas que a IP está ligada

8.5. Número de lâmpadas em serviço

A tabela seguinte apresenta uma síntese dos dados cedidos pela EDP Distribuição, relativamente ao tipo de lâmpadas utilizadas e respetivas potências na iluminação pública em Esposende desde 2009 até 2012.

Tabela 5 – Número de lâmpadas em serviço

Concelho	Ano	Outras (Baixo Consumo)			Vapor Mercúrio				Vapor Sódio					Outras (lodetos Metálicos)			Nº Pontos Luz	Variação Pontos Luz
		7	18	25	50	80	125	250	70	100	150	250	400	70	150	250		
Esposende	2009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.900	
	2010	-	-	-	233	14	-	-	8.563	1.054	1.638	1.092	74	-	-	-	12.668	3.232
	2011	-	-	-	-	308	37	-	8.488	1.031	1.651	1.092	74	-	-	-	12.681	13
	2012	-	31	22	-	208	30	-	8.488	1.031	1.629	1.092	74	-	-	-	12.605	-76

Verificou-se que a partir de 2011 têm-se registado cortes na iluminação pública, tendo sido desligadas algumas lâmpadas, cortes estes que não têm em conta os níveis de luminosidade recomendados para a IP.

Através do gráfico verifica-se que o número de focos em serviço tem vindo a diminuir desde 2009, e prevê-se que continuem a decrescer de modo a reduzir a fatura da iluminação pública do município.

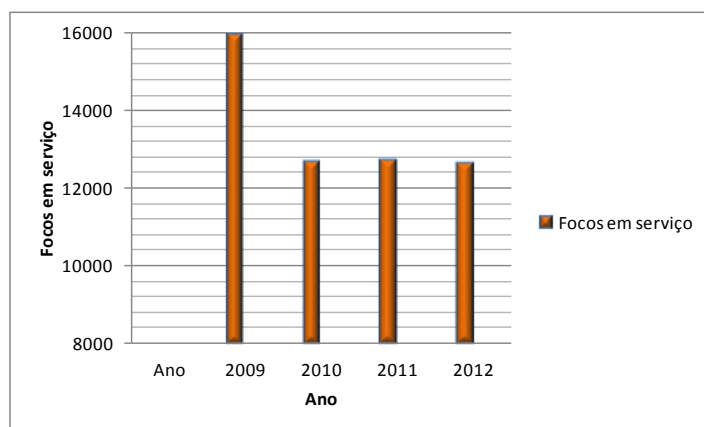


Gráfico 6 – Número de focos em serviço 2009-2012

8.6. Consumos em IP e Fatura energética

A tabela seguinte foi cedida pela EDP Distribuição e é mais detalhada pois refere-se ao número de focos em serviço, potência instalada, consumo de energia, tarifa e custo neste concelho.

Tabela 6 – Custo de energia na IP

Ano	Número de lâmpadas ao serviço				Focos em serviço	Potência instalada	Consumo energia	Tarifa IP	Custo
	Vapor de mercúrio	Vapor de sódio	lodetos metálicos	Outras (baixo consumo)		kW	kWh	€	€/kWh
2009					15900	-	-	0,0908	
2010	247	12421	0	0	12668	1266	5083	0,098	498,134
2011	345	12336	0	0	12681	1277	5127	0,1027	526,5429
2012	238	12314	0	53	12605	1266	5083	0,11	559,13

Pela análise das tabelas, constatou-se que, de 2011 a 2012, houve um decréscimo considerável da utilização de lâmpadas de mercúrio e de vapor de sódio, resultantes da substituição faseada destas por lâmpadas energeticamente eficientes. A tendência é, efetivamente, tirar de serviço todas as lâmpadas de mercúrio e substituí-las por lâmpadas de vapor de sódio ou, então, por tecnologia LED. Como consequência desta diminuição, verificou-se uma redução da potência instalada e do consumo de energia.

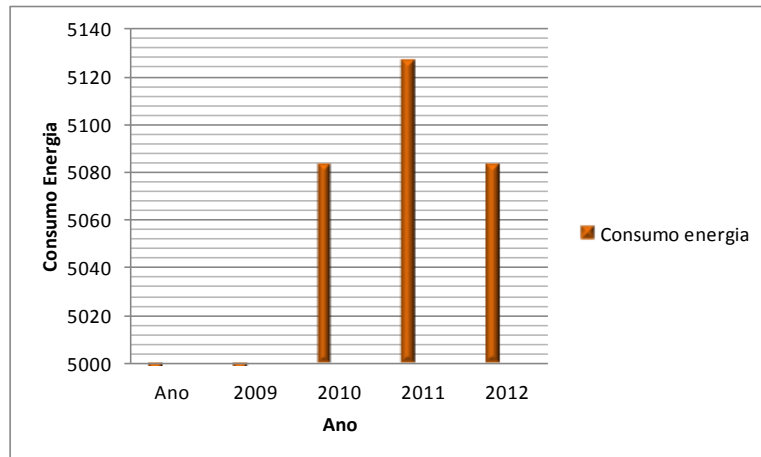


Gráfico 7 – Consumo de energia na IP

Comparando os dados referentes a 2011 com os de 2012, é possível constatar uma diminuição do consumo na ordem dos 44 kWh. Em complemento a esta diminuição, regista-se um decréscimo na utilização de lâmpadas de mercúrio e vapor de sódio e um aumento da utilização de lâmpadas energeticamente eficientes.

Apesar de nesse intervalo se ter verificado uma diminuição no consumo de energia, houve um aumento na fatura energética, justificado pelo aumento de tarifa aplicável à iluminação pública.

9. Apresentação de propostas de melhorias

9.1. Caracterização do local

O objetivo da avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação é analisar a situação atual, identificar as necessidades e oportunidades de intervenção, definindo a ordem de grandeza da economia e dos custos. O uso eficiente de energia deve estar voltado para a implementação de um conjunto integrado de ações que induzam a um aumento da eficiência do consumo de energia, transformando os resultados em lucros, no contexto de utilizar sistemas de iluminação energeticamente eficientes e eficazes.

Em Portugal, muitos municípios ainda não possuem um levantamento da sua iluminação pública nem um cadastro atualizado adequadamente. Isto acaba por gerar dificuldades para o levantamento de materiais a serem utilizados na manutenção, além de ser mais difícil para a concessionária de energia elétrica fazer o levantamento da iluminação pública, para chegar à energia consumida por esta. De forma a gerir corretamente a iluminação, é necessária a realização de um levantamento em campo, de todos os pontos existentes através do cadastro das coordenadas georreferenciadas dos pontos de iluminação que

compõe a iluminação pública. Estes dados devem ser incluídos num sistema de forma a permitir descrever todos os dados relativos ao ponto luminoso.

A utilização de sistemas de georreferenciamento da iluminação pública foi possível graças ao desenvolvimento dos sistemas SIG (Sistemas de Informações Geográficas). Podem ser definidos como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. Deste modo, designa-se georreferenciação como o processo de introdução dos dados espaciais em sistemas computacionais. Para obtenção das coordenadas geográficas, faz-se um levantamento em campo com o uso de sistemas de posicionamento por satélite, através do uso de um aparelho GPS (*Global Position System*).

No âmbito do conjunto de estratégias que têm vindo a ser implementadas com o objectivo de promover a melhoria da eficiência energética, o Município de Esposende, por via da empresa municipal Esposende Ambiente, e em estreita colaboração com a EDP, executou o cadastro da rede de IP do concelho. Desta forma, como durante o tempo de estágio decorreu este levantamento, optou-se por estudar uma zona de Esposende, nomeadamente uma das zonas mais degradadas a nível de iluminação. O cadastro da rede IP é um projeto ambicioso que irá permitir um conhecimento mais rigoroso da rede existente, constituindo um passo determinante na definição de medidas adicionais tendentes à melhoria contínua da gestão desta vertente do consumo energético do Município, promovendo o desenvolvimento sustentável do concelho de Esposende e naturalmente, a melhoria da qualidade de vida dos seus munícipes.

Na elaboração deste cadastro a IP tem de ser ligada durante o dia, período durante o qual decorrem os trabalhos, sendo que tal sucede apenas nos locais e nos períodos em que o levantamento está a ser efectuado. O cadastro dos pontos de ligação de energia e iluminação pública da EDP é feito através da plataforma de georreferenciação designada por GeoAct.

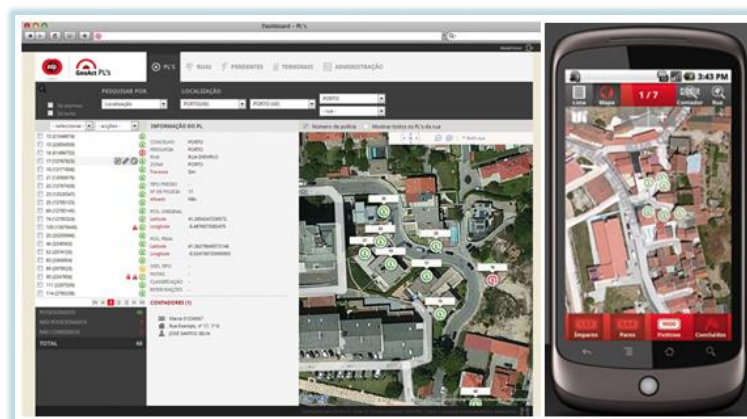


Figura 52 – Plataforma de georreferenciação GeoAct

O desenvolvimento deste projeto teve como base a plataforma primerCORE, propriedade da MediaPrimer. O projeto compreendeu a aplicação Android (smartphones e tablets) para georreferenciação e caracterização no terreno. Com recurso a um recetor GPS, foram então recolhidas as localizações dos suportes das luminárias e postos de transformação (PT), bem como atributos associados, nomeadamente o tipo de lâmpada, número de luminárias por poste, o género de luminária (aberta ou fechada), o nome do PT, etc. Depois de terminado o cadastro a informação geográfica é armazenada numa base de dados.

Relativamente à zona escolhida para fazer o estudo, está localizada numa zona residencial situada no concelho de Esposende designada por Outeirinho. O principal motivo da seleção deste local foi devido ao elevado grau de degradação da iluminação pública. A zona de Outeirinho, localizada conforme figura seguinte, constitui-se como uma zona essencialmente para habitação, de férias ou permanente, e encontra-se muito próximo das zonas mais movimentadas de Esposende.



Figura 53 – Zona de Outeirinho em Esposende

Uma análise inicial indicou que a maior parte das luminárias era ineficiente e utilizavam equipamentos auxiliares eletromagnéticos. As lâmpadas não obtinham uns resultados ótimos já que os níveis de iluminação eram baixos. Por outro lado o mecanismo de regulação aplicado é o desligar permanente de algumas luminárias, o que provoca uma falta de uniformidade na IP. A IP na zona de Outeirinho conta com 34 luminárias constituídas por lâmpadas VSAP de 70, 100 e 150 W e balastos magnéticos. O comando destas luminárias é realizado por meio de um relógio astronómico instalado no PT que alimenta as luminárias referidas. O PT que alimenta esta zona é o n.º 12 e na figura seguinte apresenta-se o QGBT (Quadro Geral Baixa Tensão) deste PT, estando representado a parte de IP e a parte da distribuição de baixa tensão para alimentar as habitações. Relativamente às saídas de baixa tensão, no terreno verificou-se que possui um circuito de 6 saídas estando 1 de reserva e quanto à parte de IP esta é constituída pelo relógio astronómico, o contador, fusíveis e as saídas de IP.



Figura 54 – Quadro Geral Baixa Tensão do PT12

A parte de IP tem dois circuitos tripolares, dois quais estão a ser utilizados uma fase R, duas fases S, e na fase T, apenas temos o fusível mas não serve para nada pois tem o fio cortado. Portanto, tem 3 circuitos em cabo subterrâneo a sair do PT para a IP, dois em cabo trifásico $3 \times 25 + 16\text{mm}^2$ e um cabo trifásico de $4 \times 6\text{mm}^2$, em que uniram as três fases numa só, provavelmente devido a um problema com o circuito (talvez um curto circuito).



Figura 55 – Constituição do circuito IP

9.2. Descrição da tecnologia atual

A zona de Esposende escolhida para este estudo designa-se por Outeirinho, é alimentada pelo Posto de Transformação n.º 12 e a distribuição dos pontos de iluminação pública está ilustrada na seguinte figura.

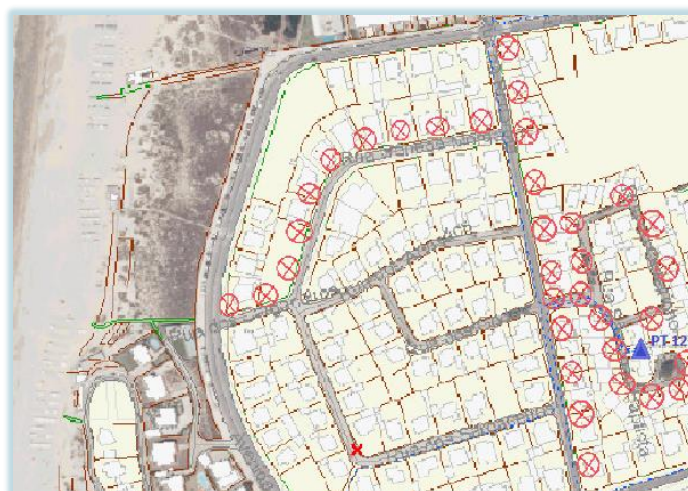


Figura 56 – Esquema representativo da IP do PT 12

Nesta zona a IP é constituída por equipamentos não muito recentes, com muito pouca manutenção para além da ocasional substituição de lâmpada fundida, cuja única preocupação com a eficiência energética é o desligar permanente de algumas luminárias de acordo com o programa de poupança energética de Esposende, sendo que na grande maioria dos casos, as luminárias já não oferecem quaisquer condições estruturais de segurança, quer em termos de utilização de energia elétrica, quer em termos da própria circulação de pessoas e bens, conforme se pode verificar nas figuras seguintes:



Figura 57 – Luminárias do PT 12

Na imagem constata-se que há uma enorme variedade de tipo de luminárias (pelo menos quatro tipo de luminárias diferentes), apresentam um elevado estado de degradação, muitas têm o difusor partido e outras já nem o têm, estando as lâmpadas praticamente a cair, possuem lâmpadas com diferentes potências como se irá ver mais tarde na recolha dos dados do levantamento que foi feito, o modelo destes equipamentos não possui qualquer tipo de equipamentos interiores previstos para poder suportar sistemas de gestão de energia e além disso aproximadamente 38% das luminárias estão permanentemente desligadas (medida adoptada pela Câmara de Esposende para diminuir os consumos de energia), que tornam a luminosidade muito reduzida e pontos de sombra o que provoca algum desconforto a nível de segurança para os moradores.

De forma a analisar pormenorizadamente o tipo de luminárias desta zona, foram cedidos pela EDP, os dados do levantamento que foi feito através do GeoAct da IP desta zona, os quais se encontram na seguinte tabela.

Tabela 7 – Dados do Levantamento da IP de Esposende

Distrito	Concelho	PT	Luminária tipo	Lâmpada	Lâmpada potência	Braço	Apoio	Luminária desligada	Apoio derivação
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Todos ligados	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	70w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	70w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Todos ligados	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	150w		1 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Tipo Jardim	Sódio	70w		0 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Tipo Jardim	Sódio	70w		0 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Tipo Jardim	Sódio	70w		0 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Todos ligados	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	70w		1 Poste betão	Desligado total	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Todos ligados	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Todos ligados	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Desligado total	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Todos ligados	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Tipo Jardim	Sódio	70w		0 Coluna metálica	Desligado total	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Tipo Jardim	Sódio	70w		0 Coluna metálica	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Todos ligados	2
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Todos ligados	1
Braga	Esposende	0306D2001200	Urbano fechado	Sódio	100w		1 Poste betão	Todos ligados	1

As saídas de IP deste PT vão alimentar um total de 34 PIP's (Pontos de Iluminação Pública). Constata-se que todas as lâmpadas são de vapor de sódio mas possuem diferentes potências provocando uma irregular distribuição de luminosidade. Alguns apoios são em poste de betão e outros são em colunas metálicas octogonais homologadas pela EDP. E como se pode ainda verificar, 13 dos 34 PIP estão permanentemente desligados.

Segundo dados da EDP este PT tem uma potência contratada de 4,6kVA e foram também recolhidos os dados relativamente às correntes e tensões medidas no PT, e que estão representadas na tabela:

Tabela 8 – Corrente e Tensão do PT 12

Distrito	Concelho	PT	Num PIPs	Tipo comando	Corrente 1	Corrente 2	Corrente 3	Tensao 1	Tensao 2	Tensao 3
Braga	Esposende	0306D2001200	34	Relógio astronómico	5,5	13,5	0,0	225,0	225,0	224,0

A célula fotoelétrica já foi substituída pelo relógio astronómico. Estes são equipamentos que efetuam o cálculo diário, com base em fórmulas astronómicas, do número de horas de Sol, da hora a que o Sol nasce e se põe, para determinada latitude de qualquer lugar da

Terra. Os horários obtidos, são para a posição exata relativa ao do fuso horário da cidade em questão, havendo lugar a uma correção de alguns minutos, caso a cidade não fique exatamente em cima do meridiano do fuso horário local (o que acontece na maioria das cidades). O relógio pode funcionar com horário astronómico, ou seja, a IP liga quando o sol se põe e desliga quando o sol nasce, ou então o horário pode ser pré definido ajustando as horas de ligar e desligar a iluminação pública. No caso de Esposende este está programado para ligar a IP 15 minutos depois do ocaso e desligar 30 minutos antes do nascer do sol.



Figura 58 – Relógio Astronómico

Quanto aos consumos de iluminação pública, estes são recolhidos em cada Posto de Transformação aproximadamente de 3 em 3 meses. Como a análise será feita para o ano de 2012, a EDP Distribuição forneceu os dados dos consumos relativos ao PT n.º 12 desse ano.

Tabela 9 – Consumo de energia na IP do PT 12

Data Leitura	Consumo (kWh)
01-01-2012	4137
27-02-2012	2930
28-02-2012	2015
29-05-2012	3005
30-05-2012	2358
10-08-2012	
11-08-2012	
09-11-2012	
10-11-2012	
31-12-2012	
Total	14445

Fazendo uma média dos consumos por mês, para se ter uma ideia dos meses em que há maior consumo na IP, obtém-se a seguinte tabela:

Tabela 10 – Média do consumo por mês

Mês	Média Consumo/Mês (kWh)
Janeiro	2068,5
Fevereiro	2068,5
Março	976,7
Abril	976,7
Mai	976,7
Junho	1007,5
Julho	1007,5
Agosto	1001,6
Setembro	1001,6
Outubro	1001,6
Novembro	1179
Dezembro	1179
Total	14444,9

Verifica-se que em 2012, o consumo total relativo à iluminação pública do PT atingiu o valor de 14.445kWh/ano. Este valor corresponde apenas ao consumo das 21 lâmpadas que estão ligadas, visto que as outras 13 estão permanentemente desligadas.

Como seria de esperar os meses com maior consumo de energia foram no período do Inverno, pois é a altura em que a IP está um maior número de horas ligada.

De forma a confirmar os dados obtidos na Tabela anterior, fez-se o cálculo para a situação em que está toda a IP ligada e a situação em que está 38% desligada e obteve-se os seguintes valores:

Tabela 11 – Consumo com a IP ligada e com 38% desligada

	Nº Ponto sde Luz			Potencia total (kW)	Consumo (kWh)
Potência das lâmpadas	81	114	169		
Nº Lâmpadas acesas	8	16	10	34	4,162
Nº Lâmpadas acesas (38% da IP desligada)	4	11	6	21	2,592
					16710,43
					10406,88

Nos cálculos é necessário considerar a potência consumida pelo balastro. Como se pode ver, caso a IP estivesse toda ligada teríamos um consumo de 16710,43kWh, mas como 38% das luminárias estão desligadas há uma redução substancial no consumo. Contudo, o consumo calculado não é igual ao fornecido pela EDP. Isto deve-se ao facto de durante o ano de 2012 ter havido uma troca de potência de lâmpadas, ou seja, no primeiro semestre de 2012 teríamos lâmpadas de 250W, que no segundo semestre foram sendo substituídas por lâmpadas de 70W, 100W e 150W, daí a diferença dos 14445kWh/ano real e dos 10406,88kWh/ano.

Mas o valor que se irá usar para os cálculos é o fornecido pela EDP, independentemente das trocas de potência que houve.

Segundo a ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) em 2012 a tarifa de venda a clientes finais em baixa tensão (iluminação pública) era de 0,1100€/kWh. Ora se o consumo em 2012 deste PT foi de 14445kWh, a Câmara de Esposende teve de pagar 1589€/ano pela iluminação pública só daquele PT.

Quanto às toneladas de CO₂ que são emitidas fez-se o seguinte cálculo:

$$TCO_2 = Energia(MWh) \times Energia\ combinada\left(\frac{ton\ CO_2}{MWh}\right)$$

Onde o valor da energia combinada é de 0,47 ton CO₂/MWh.

$$TCO_2 = 14,445(MWh) \times 0,47\left(\frac{ton\ CO_2}{MWh}\right) = 6,8\ ton\ CO_2$$

De forma a reduzir o consumo desta zona de estudo, de seguida, irão ser analisadas algumas propostas de solução. De referir que, aliado à instalação de lâmpadas e luminárias eficientes está a adoção de boas práticas em termos de gestão de energia, na exploração de uma instalação de iluminação pública. Existem várias medidas que proporcionam uma economia de energia adicional, e sem comprometer as características e os níveis de iluminação estipulados.

As medidas de poupança de energia em iluminação pública não devem nunca englobar o apagar de lâmpadas, sob pena de violação dos critérios de segurança das vias a que se referem e das características de iluminação tomadas em consideração aquando a fase de projeto.

9.3. Alternativa Proposta 1 – LED e *Driver* Regulador

Um dos objetivos seria remodelar toda a IP visto que se encontra bastante degradada, escolhendo luminárias mais eficientes e lâmpadas de menor potência de forma a reduzir os consumos de energia. Poderá ainda optar-se por implementar um sistema que permita reduzir o fluxo luminoso das lâmpadas a partir de uma determinada hora da noite.

Neste primeiro caso de estudo, pretende-se substituir as lâmpadas de vapor de sódio por luminárias LED.

Para facilitar a caracterização individual de cada uma das zonas utiliza-se uma ferramenta computacional, *Dialux*, permitindo calcular com precisão a forma como a luz se distribui no ambiente, produzindo cenários realistas e valores médios de iluminâncias. A fase inicial consistiu na caracterização individual dos tipos de zonas que apresentam maior interesse. Na figura seguinte está representada a zona de estudo e as respetivas ruas que são alimentadas pelo PT 12.

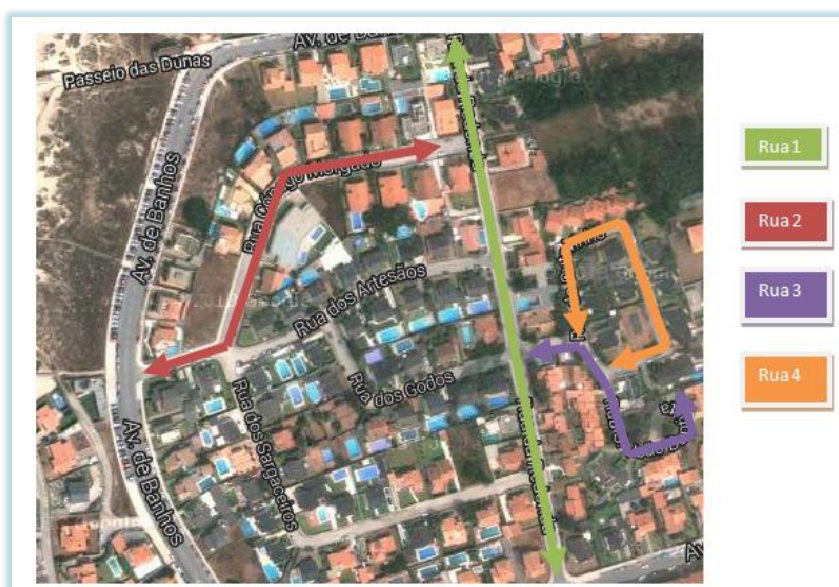


Figura 59 – Zona de estudo e respectivas ruas

Após escolhida a zona a estudar, realizou-se uma visita ao local em causa de modo a efetuar uma medição real das distâncias entre postes, das larguras dos passeios e das vias. Essa recolha de dados está descrita na tabela seguinte:

Tabela 12 – Caracterização das ruas

Nome da rua	Distância entre PIP's (m)	Comprimento da rua (m)	Nº de PIP's
Rua 1	30	330	10
Rua 2	30	250	10
Rua 3	20	140	8
Rua 4	20	160	6

Verificou-se que tendo em conta o comprimento de cada rua, os PIP's estão praticamente todos bem distribuídos. Mas como apresentam distâncias entre eles que diferem de rua para

rua, vai ser necessário analisar individualmente cada um dos casos. Além disso, há ruas que têm características diferentes, logo terá de se ter isso em conta no projeto do *Dialux*.

9.3.1. Projecto da Rua 1 e Rua 2

Na Rua 1 e 2, como se pode ver na tabela anterior, as luminárias estão distanciadas umas das outras de 30 metros e têm disposição unilateral. São consideradas ruas urbanas e apesar de ser uma zona essencialmente residencial, estas duas ruas têm ligação com as vias principais, sendo relativamente frequente a passagem de veículos. E como também apresentam as mesmas características a nível de passeios e via, podem ser analisadas em conjunto. Começa-se então por introduzir no *Dialux* os seguintes parâmetros:

Tabela 13 – Características dos passeios da Rua 1 e 2

	Largura (m)	Altura (m)	Classe Iluminação
Passeio 1	2	0,25	A3
Via	6	0	ME6
Passeio 2	2	0,25	A3

Estes são os primeiros parâmetros que devem ser introduzidos no projecto *Dialux*. A largura e a altura da via e dos passeios foram medidas no local. Quanto à classe de iluminação, o *Dialux* possui um assistente para o apuramento de uma classe, mas estas podem ainda ser consultadas no “Documento Referência Eficiência Energética na Iluminação Pública” ou ainda na norma EN13201. Ainda relativamente à classe de iluminação os passeios são considerados classe A que é destinada aos pedestres e aos ciclistas e aplica-se a zonas pedonais, vias próprias para bicicletas, caminhadas e outras vias que se encontrem separadas mas ao longo de uma estrada para veículos motorizados. Nesta classe os parâmetros de iluminação utilizados vão ser a iluminância hemisférica (E_{med}) e a sua uniformidade geral (U₀). Concluiu-se que neste caso os passeios pertencem à classe A3 e para que o projeto seja aceite e cumpra todos os requisitos, a iluminância hemisférica deve ser superior a 2 lux e a uniformidade geral deve ser superior a 0.15, como ilustra a tabela seguinte.

Classe	Iluminância Hemisférica	
	Eavg (lux)	Uo
A1	5	0.15
A2	3	0.15
A3	2	0.15
A4	1.5	0.15
A5	1	0.15

Figura 60 – Requisitos de iluminância hemisférica exigidos pela classe A

As características da classe A3 dos passeios são:

- Velocidade passo (≤ 5 km/h);
- Utilizadores principais são exclusivamente pedestres. Não são autorizados outros utilizadores;
- O risco de criminalidade da superfície de sinalização considerada encontra-se em comparação com o risco de criminalidade no restante arredor – Normal;
- Reconhecimento do rosto de pessoas é necessário;
- O fluxo de tráfego de pedestres é normal;
- O arredor é urbano;

Quanto à pista de rodagem é considerada uma classe ME, que corresponde ao tráfego misto, ou seja, comporta tráfego motorizado a baixa e média velocidade bem com a existência de ciclistas e pedestres nessas áreas. Na figura seguinte, o índice máximo encontrado para uma classe ME é 4, no entanto, a norma EN13201 – 2: 2003 define 6 índices possíveis, cujos parâmetros estão indicados na tabela seguinte. Para este caso de estudo a via é uma ME6 e tem como limite a seguinte luminância:

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

Figura 61 – Requisitos de luminância da superfície da estrada

As características da classe ME6 da pista de rodagem são:

- Velocidade média (entre 30 e 60km/h)
- Utilizadores principais são tráfego motorizado e veículos a baixa velocidade. São autorizados ciclistas e pedestres;
- Tipo de clima principal: seco;
- Não é necessário considerar medidas para redução de tráfego;
- Dificuldade de navegação é normal;
- Contam-se menos que 7000 veículos por dia;
- Não há zonas de conflito;
- A complexidade do campo de visão é normal;
- Não é necessário considerar veículos estacionados à margem da pista de rodagem;
- O fluxo de tráfego de ciclistas é normal;
- Arredor urbano;

Foram ainda feitas medições no local relativamente à distribuição dos PIP's:

- Altura de montagem das luminárias: 8 metros;
- Quantidade de luminárias por poste: 1;
- Distância entre dois postes: 30 metros;
- Distância poste-pista de rodagem: 0.3 metros;

Depois de todos os parâmetros introduzidos, optou-se por analisar algumas luminárias da Philips, pois não se conseguiu obter valores concretos dos preços de outras luminárias, e verificar qual se enquadrava no projeto e qual cumpria todos os requisitos exigidos, obviamente tendo em conta a potência da lâmpada, o fluxo luminoso e a eficiência luminosa.

A inclinação da luminária pode aumentar a iluminância média na via e atenuar a diferença entre iluminância média nas duas meias-faixas. Os fabricantes das luminárias indicam para cada luminária as inclinações possíveis, o que permite escolher a inclinação mais favorável para uma situação específica.

A distância ou espaçamento entre luminárias é um dos parâmetros da iluminação viária com mais impacto no custo da instalação de iluminação pública. Esta varia entre 20 e 40 metros. De realçar que ao diminuir o espaçamento entre luminárias aumenta o nível médio

de luminância e melhora a uniformidade de iluminância, mas em contrapartida aumenta o custo da instalação. As luminárias viárias apresentam uma distribuição luminosa assimétrica e daí resulta que o fluxo luminoso emitido para o lado da via é superior ao fluxo luminoso emitido para o lado da berma. Neste projeto será mantida a distância atual das luminárias, de forma a não aumentar os custos.

Através da simulação no *Dialux* consegue-se identificar quais as lâmpadas que reúnem as condições desejadas e, conseqüentemente, mais eficientes, de acordo com as características da zona. A identificação é feita pelo gráfico dos valores dos níveis de iluminação e pelas linhas *isolux*, ou seja, as lâmpadas selecionadas como proposta de melhoria têm de ter os níveis de iluminação de acordo com os valores recomendados na norma 13201.

Depois de se fazer o estudo para várias luminárias da Philips, optou-se pela *Mini Iridium LED BGS 451 ECO43-2S/740 MSO* de 41W e 4246lm, homologada pela EDP, pois era a que cumpria todos os requisitos luminotécnicos exigidos pela classe ME6 da via e A3 dos passeios. [19]

Na figura seguinte está representada a luminária e o respetivo gráfico de curvas *isolux*.

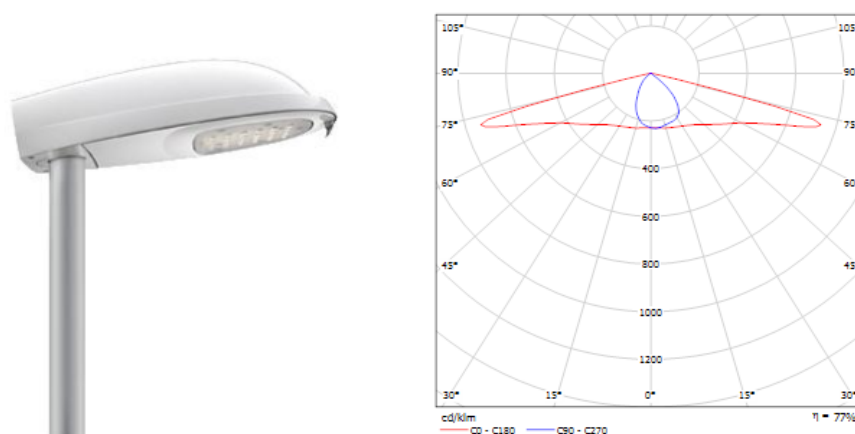


Figura 62 – Luminária *Mini Iridium LED BGS 451 ECO43-2S/740 MSO*

Utilizando-se o recurso de cores falsas, é possível uma análise visual do grau de luminância desta via pública.

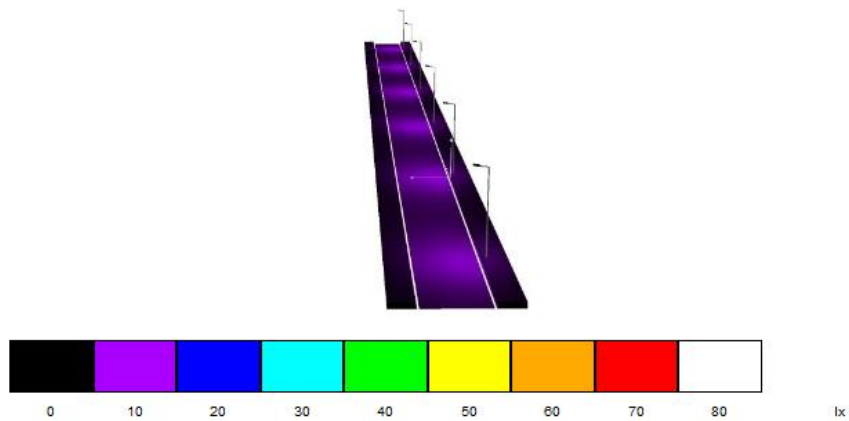


Figura 63 – Grau de Luminância

A potência total consumida pelo equipamento LED engloba o consumo efetuado pelos LEDs assim como o consumo da fonte de alimentação. Ao invés da tecnologia de sódio, a potência consumida pelo equipamento LED é estanque, ou seja, não aumenta gradualmente com o decorrer do tempo de vida da lâmpada.

A escolha recaiu sobre esta luminária pois era a mais barata, dentro da gama de potência e características exigidas no projeto. As luminárias de menor potência e de menor fluxo luminoso (quantidade de luz emitida em todas as direções), eram de facto mais baratas mas exigiam que a distância entre postes fosse de 20 metros, o que não se aplicava a estas duas ruas. Portanto para satisfazer os requisitos de uma distância entre postes de 30 metros, o fluxo luminoso tinha de ser mais elevado, logo a potência teria também de ser mais elevada, aumentando o custo da luminária. Por fim obteve-se o resultado luminotécnico e concluiu-se que esta luminária cumpria todos os requisitos.

1	<p>Campo de avaliação Passeio 1 Comprimento: 30.000 m, Largura: 2.000 m Grelha: 10 x 3 Pontos Elementos de rua correspondentes: Passeio 1. Classe de iluminação seleccionada: A3</p>	(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)					
			E_m (semi-esférico) [lx]	U0			
	Valores reais segundo o cálculo:		2.24	0.75			
	Valores nominais segundo a classe:		≥ 2.00	≥ 0.15			
	Cumprido/não cumprido:		✓	✓			
2	<p>Campo de avaliação Passeio 2 Comprimento: 30.000 m, Largura: 2.000 m Grelha: 10 x 3 Pontos Elementos de rua correspondentes: Passeio 2. Classe de iluminação seleccionada: A3</p>	(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)					
			E_m (semi-esférico) [lx]	U0			
	Valores reais segundo o cálculo:		2.45	0.63			
	Valores nominais segundo a classe:		≥ 2.00	≥ 0.15			
	Cumprido/não cumprido:		✓	✓			
3	<p>Campo de avaliação Pista de rodagem 1 Comprimento: 30.000 m, Largura: 6.000 m Grelha: 10 x 3 Pontos Elementos de rua correspondentes: Pista de rodagem 1. Pavimento: R2, q_0: 1.000 Classe de iluminação seleccionada: ME6</p>	(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)					
			L_m [cd/m ²]	U0	UI	Ti [%]	SR
	Valores reais segundo o cálculo:		5.59	0.63	0.68	/	0.66
	Valores nominais segundo a classe:		≥ 0.30	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	/
	Cumprido/não cumprido:		✓	✓	✓	/	✓

Figura 64 – Resultado luminotécnico da Rua 1 e 2

9.3.2. Projeto da Rua 3 e Rua 4

As Ruas 3 e 4 não possuem passeios logo estes foram eliminados do projeto e a largura destas ruas é um pouco maior do que as anteriores, 8 metros. São ruas residenciais e consideradas CE5, visto que a possibilidade de interseção de veículos motorizados e pedestres é elevada. Neste caso, de forma a melhorar as características luminotécnicas, optou-se por colocar as luminárias a uma altura de 6 metros, com braço extensor de 1 metro e uma inclinação de 5°. Bastava a luminária estar a uma altura de 8 metros para não cumprir com os requisitos exigidos do projeto.

Optou-se também pela luminária *Mini Iridium LED BGS 451 ECO43-2S/740 MSO* da Philips de 41W, pois se aplicasse uma de potência inferior já não cumpria com os requisitos. Como se pode ver, a luminária cumpre todos os requisitos de iluminância média e uniformidade geral exigidos pelo projeto.

Lista de campo de avaliação

- 1 Campo de avaliação Pista de rodagem 1
 Comprimento: 20.000 m, Largura: 8.000 m
 Grelha: 10 x 6 Pontos
 Elementos de rua correspondentes: Pista de rodagem 1.
 Classe de iluminação seleccionada: CE5 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	E_m [lx]	U0
Valores reais segundo o cálculo:	7.55	0.43
Valores nominais segundo a classe:	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumprido/não cumprido:	✓	✓

Figura 65 – Resultado luminotécnico da Rua 3 e 4

Tabela 14 – Resumo das características de cada rua e luminária

Nome da Rua	Distancia postes	Altura poste	Largura via	Potencia lâmpada	Fluxo luminoso	Inclinação	Passeio 1	Passeio 2	Via
Rua 1 e 2	30 m	8 m	6 m	41 W	4246 lm	5°	Em=2,24lx	Em=2,45lx	Lm=5,59cd/m ²
							U0=0,75	U0=0,63	U0=0,63
									UI=0,68 SR=0,66
Rua 3 e 4	20 m	6 m	8 m	41 W	4246 lm	5°	-	-	Em=7,55lx
									U0=0,43

9.3.3. Avaliação do consumo e fatura com nova tecnologia

A avaliação consiste nos custos associados a cada tipo de lâmpada, no cálculo do consumo de energia, investimento e a quantidade de toneladas de CO2 libertada anualmente para cada solução. Com esta informação consegue-se obter um dado relevante para o investimento que é o *Payback* (Período de Recuperação do Investimento), isto é, quanto tempo leva o novo projeto a ter retorno. Assim, quanto menor for o *Payback* mais vantajoso se torna o investimento e, naturalmente, apresenta-se a melhor solução e energeticamente mais eficiente.

Tabela 15 – Comparação da tecnologia actual com a proposta

Tecnologia	Quantidade	Potencia Total (kW)	Consumo (kWh)	TCO2	Custo (€/ano)
VSAP	34	3,66	14445	6,9	1589
LED	34	1,39	5581	2,62	614
Diferença		2,27	8864	4,28	975

Com esta nova tecnologia prevê-se que os consumos da iluminação pública diminuam e consequentemente também a fatura energética. Substituindo as atuais lâmpadas de sódio de por luminárias de tecnologia LED de 41 W, tem-se o consumo anual de 5581kWh. Como é perceptível as diferenças são bastante consideráveis com uma redução do consumo em 8864kW que representa uma economia de energia que pode chegar aos 40%, e uma redução do custo de 975€. Esta solução, que incluiu a instalação de 34 luminárias, permitiu

ainda evitar a emissão de 4,28 toneladas de CO₂ por ano. Esta solução apresenta-se francamente atrativa, por não necessitar de manutenção pelo menos durante os próximos 15 anos. Em complemento, a qualidade de iluminação é algo notória, devido ao seu elevado IRC e a luz branca gerada por luminárias LED provocar um ambiente distinto.

Para determinar os custos de energia na situação proposta, e considerando que se está a fazer um estudo para o ano 2012, utilizou-se a tarifa de IP do referido ano que era de 0,11€/kWh. Logo, os encargos com a IP para um consumo anual de 5581kWh são de 614€/ano. Para além do custo, pode ainda ser calculada a emissão CO₂ na situação proposta:

Equação 5

$$TCO_2 = Energia(MWh) \times Energia\ combinada\left(\text{ton}\frac{CO_2}{MWh}\right)$$

Onde o valor da energia combinada é de 0,47 ton CO₂/MWh.

Equação 6

$$TCO_2 = 5,581(MWh) \times 0,47\left(\text{ton}\frac{CO_2}{MWh}\right) = 2,62\text{ton}CO_2$$

Analisemos agora uma nova proposta de alteração, que consiste em aplicar nas luminárias LED um *driver* regulador de forma a reduzir ainda mais o consumo nas horas de menor movimento.

As luminárias usadas neste projeto têm a opção de balastro eletrónico de duplo nível Lumistep (6,8h). A forma mais fácil de conseguir luz por pedido consiste em utilizar *drivers* com regulação Lumistep. O Lumistep é um protocolo de nível simples e regulação por escalões que permite reduzir o consumo de energia até 25%. O nível luminoso de cada luminária é atenuado a 50% durante determinadas horas da noite. Depois de sincronizar as horas de apagado e aceso da instalação com o pôr-do-sol, o Lumistep determina automaticamente o ponto central da noite. O protocolo de regulação permite eleger um período de 6 ou de 8 horas. A primeira opção proporcionará luz plena até ao ponto central da noite e depois será atenuada seis horas antes de restabelecer o nível de 100%. O programa de 8 horas ativará a redução duas horas antes e prolongará até seis horas depois do ponto central.

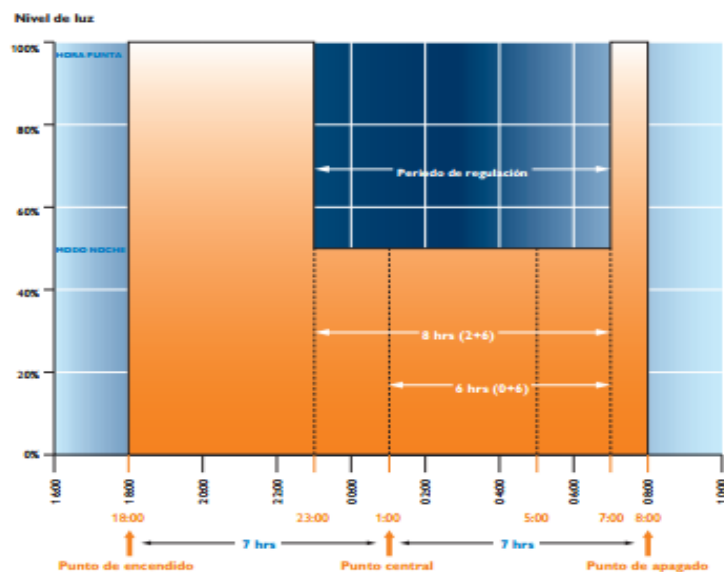


Figura 66 – Funcionamento do Lumistep

Nesta caso de estudo, em média a IP está ligada 11 horas por dia, por exemplo liga às 19h e desliga às 6h. O ponto médio da noite é aproximadamente às 0h, logo com o Lumistep o programa de 8h vai ser ativado duas horas antes do ponto médio (22h) e é desativado 8 horas depois (6h). Portanto das 19h às 22h a IP vai estar à potência nominal e das 22h às 6h (hora em que a IP desliga) vai estar a 50% da potência nominal, como se pode ver na figura.

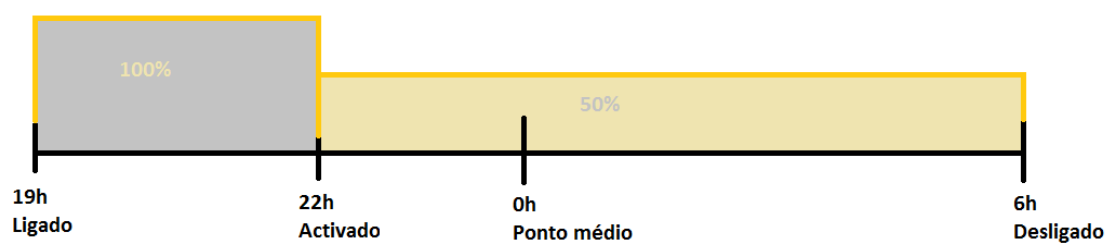


Figura 67 – Programação do Lumistep

Fazendo os cálculos para a regulação obtém-se os valores do número de horas à potência nominal e à potência reduzida, os respetivos consumos energéticos e o custo final da energia que será paga pelo município:

Equação 7

$$Horas_{nom} = 3 \times 365 = 1095$$

Equação 8

$$Horas_1 = 8 \times 365 = 2920$$

Equação 9

$$Consumo = Potencia(kW) \times horas(ano)$$

Equação 10

$$Consumo_{nom} = 1,4 \times 1095 = 1533kWh$$

Equação 11

$$Consumo_1 = 1,4 \times 2920 \times 0,5 = 2044kWh$$

Equação 12

$$Consumo_{total} = 1533 + 2044 = 3577kWh/ano$$

Equação 13

$$Custo = Consumo_{total}(kWh) \times Tarifa_{IP} \left(\frac{\text{€}}{kWh} \right)$$

Equação 14

$$Custo = 3577 \times 0,11 = 394\text{€}$$

Com a tecnologia LED o consumo era de 5581 kWh e com a tecnologia LED em conjunto com um *Driver* regulador obtém-se um consumo anual de apenas 3577 kWh.

Em relação ao custo energético, obtém-se um valor de 394€/ano, face aos 1589€/ano da tecnologia atual. Quanto à emissão de toneladas de CO₂ e o *payback* do sistema tem-se:

Equação 15

$$TCO_2 = 3,577(MWh) \times 0,47 \left(\text{ton} \frac{CO_2}{MWh} \right) = 1,68\text{tonCO}_2$$

Equação 16

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Poupança Anual}} = \frac{34 \times 525\text{€}}{1589\text{€} - 394\text{€}} \cong 15\text{anos}$$

Verifica-se que o retorno do investimento é muito elevado, cerca de 15 anos. Tendo em conta que a luminária LED tem um tempo de vida útil de aproximadamente 60000 horas (15 anos), só se obteria o retorno do investimento quando a luminária estivesse no fim do seu tempo de vida útil. De notar, que relativamente à vida útil da luminária LED a duração efetiva ainda é desconhecida, visto só há relativamente pouco tempo terem começado a ser instaladas.

Uma opção seria tentar encontrar uma luminária bastante mais barata de forma a baixar o custo do investimento. De qualquer forma, a tecnologia LED é extremamente interessante pois reduz significativamente os consumos e consequentemente o custo de energia, mas neste caso não traz grande vantagem devido ao elevado custo da luminária e ao baixo consumo que este PT apresenta.

Se se comparasse a tecnologia LED e o Driver, com as lâmpadas VSAP todas ligadas iriam obter-se valores um pouco diferentes. O consumo anual seria de 16710kWh e o custo seria de 1838€, logo comparando com a nova proposta cujo consumo é de 3577kWh e o custo de 394€ o retorno do investimento era menor:

Equação 17

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Poupança Anual}} = \frac{34 \times 525\text{€}}{1838\text{€} - 394\text{€}} \cong 12\text{anos}$$

As luminárias LED têm como vantagens o facto de serem desenhadas com uma boa ótica, podem dirigir melhor a luz para a zona que interessa, evitando a poluição luminosa. A visibilidade das luminárias LED é muito melhor, apesar de terem menos luminância, graças às vantagens da luz branca e a uma maior uniformidade da distribuição da luz. Além disso estas luminárias têm como exigência a conservação das suas prestações o maior tempo possível, evitando a degradação interna do sistema ótico, ou evitando a degradação das superfícies refletoras ou das superfícies transmissoras e refratoras. Deve-se optar por uma luminária com boa resistência, características anti-vandalismo, que respeite o meio

ambiente, ou seja, que possam ser recicladas no final de vida e reutilizar o máximo número de componentes.

Conclusão, os LEDs são uma solução interessante, mas não são ainda a solução! Muito menos para uma migração total! Por um lado, porque implicam a substituição dos equipamentos atuais e essa situação não é sustentável. A grande maioria das luminárias existentes ainda tem algum tempo de vida útil que não deve ser descurado. Por outro, porque a própria tecnologia não está ainda num estado de maturação tal que permita obter ganhos tão significativos se se optar por uma substituição massiva. O facto de uma luminária LED ser muito mais cara do que uma luminária normal, não está relacionado com o custo de produção pois este apresenta valores reduzidos. Tem a ver essencialmente com a ainda baixa competitividade de produtos, exatamente como qualquer outra tecnologia.

Uma das grandes desvantagens da tecnologia LED é a sensibilidade à temperatura de funcionamento.

9.4. Alternativa Proposta 2 – Balastro eletrónico regulável

O nível de iluminação deve ser função da densidade de tráfego e do movimento de peões, tanto quanto possível. Esta medida implica a utilização de balastros especiais (eletrónicos) que permitam a regulação de fluxo (*dimming*) das lâmpadas. A implementação desta medida pode permitir uma poupança na fatura energética na ordem dos 30% a 40%.

A opção de manter a iluminação pública ligada com o mesmo nível de fluxo a noite inteira, provoca igualmente um desperdício energético, visto não estar adequada à quantidade de tráfego existente em cada momento; os níveis de iluminação requeridos nas horas de ponta não se adequam às horas de vazio ou super vazio.

A medida consiste na intervenção nos 34 candeeiros, substituindo os atuais balastros ferromagnéticos por balastros eletrónicos com redução noturna de fluxo luminoso pré-programado.

A regulação de fluxo da lâmpada, ou seja, o controlo do nível de iluminação, pode ser alcançada através de balastros com função *dimming*. Neste trabalho optou-se por estudar o balastro electrónico regulável *Altron/Bipall* da empresa Nemotek. [22]



Figura 68 – Balastro electrónico regulável Altron/Bipall

Controlar a saída de luz e otimizar o consumo de energia é o desafio tecnológico conseguido pelo Altron, que permite baixar o consumo de energia. A iluminação reduzida permite economizar recursos e proteger o meio ambiente. O Altron permite aumentar a vida útil da lâmpada e os limites de consumo de energia. O programador Bipall tem três níveis de iluminação: redução da potência da lâmpada em 100%, 80% e 50% para as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. Opera sem controlo externo e permite gerir a iluminação diretamente. Comparado com os balastros ferromagnéticos tradicionais, o seu peso e as suas medidas favorecem a incorporação muito simples em todo o tipo de luminárias. Altron adapta-se a todos os tipos de ambiente de iluminação pública para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e de iodetos metálicos. Este balastro pode ser integrado na base do poste ou na luminária. O Altron é um sistema electrónico que recebe do balastro a energia necessária para o seu funcionamento e comunica a informação dos estados de redução. Funciona em qualquer local de instalação sem qualquer ajuste. O Altron associado ao Bipall permite variar a potência da lâmpada seguindo uma programação pré-definida. No Altron de 70W – 100W – 150W o Bipall está integrado, mas no Altron 250W – 400W o Bipall é um módulo externo. A programação do Bipall é feita na fábrica. O Bipall funciona com vários ciclos, mas o que foi seleccionado para este trabalho foi o “Ciclo Verde” que se adapta a zonas industriais, comerciais e residenciais e cuja economia de energia é de 38%.



Figura 69 – Ciclo de funcionamento do balastro electrónico Bipall

Considerou-se que em média a IP está ligada 11 horas por dia, das 19h às 6h e a programação do Bipall é a seguinte:

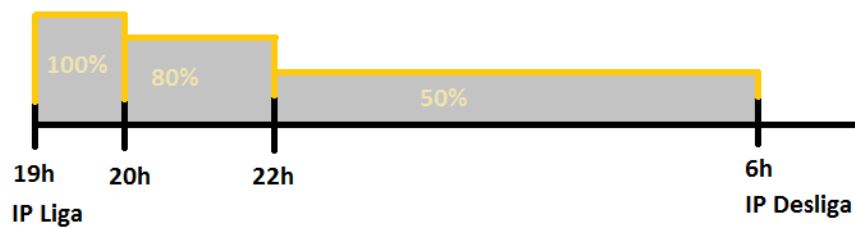


Figura 70 – Programação do Bipall

Determinou-se o número de horas à potência nominal, a 80% da potência nominal e a 50% da potência nominal:

Equação 18

$$Horas_{nom} = 1 \times 365 = 365$$

Equação 19

$$Horas_1 = 2 \times 365 = 730$$

Equação 20

$$Horas_2 = 8 \times 365 = 2920$$

Segundo dados calculados anteriormente, se a IP estivesse toda ligada teríamos um consumo de 16710,43kWh e uma potência instalada de 4,162kW. De seguida determinou-se o consumo para os três períodos da tecnologia proposta:

Equação 21

$$Consumo_{nom} = 4,162 \times 365 = 1519kWh$$

Equação 22

$$Consumo_1 = 4,162 \times 730 \times 0,80 = 2431kWh$$

Equação 23

$$Consumo_2 = 4,162 \times 2929 \times 0,50 = 6095kWh$$

Equação 24

$$Consumo_{Total} = 1519 + 2431 + 6095 = 10045kWh$$

Sabendo o consumo anual, determinou-se o custo da energia que o município terá de pagar e o *payback*:

Equação 25

$$Custo_{atual} = 14445 \times 0,11 = 1589€$$

Equação 26

$$Custo_{proposta} = 10045 \times 0,11 = 1105€$$

Equação 27

$$Payback = \frac{34 \times 100}{1589 - 1105} \cong 7 \text{ anos}$$

Equação 28

$$TCO_2 = 10,045(MWh) \times 0,47 \left(\text{ton} \frac{CO_2}{MWh} \right) = 4,7 \text{ ton} CO_2$$

Esta alternativa tem um investimento reduzido, cerca de 100€ por balastro. No entanto, com esta tecnologia será necessário voltar a ligar as 13 luminárias que foram desligadas. Teria ainda de ser feita uma manutenção nas luminárias, visto que algumas se encontram degradadas.

A regulação de fluxo luminoso permite a redução do fluxo nas horas em que o fluxo de tráfego é substancialmente inferior, não sendo necessário, portanto, ter-se a iluminação na potência total. Como vantagens, tem-se, perdas reduzidas, fator de potência elevado,

possibilidade de programar perfis por luminária (ponto-a-ponto) de modo a permitir configurar perfis para zonas de jardim, pedonais e viárias e não depende da diversidade de lâmpadas da rede. No entanto nem todas as luminárias permitem a colocação de balastro eletrónico e poderá haver alteração das características aquando de reduções profundas.

9.5. Alternativa Proposta 3 – Lâmpadas VSAP 70W

Uma alternativa aos cortes de iluminação poderá ser a substituição das lâmpadas instaladas por outras de menor potência. Visto que nesta zona a iluminação está bastante degradada, pois algumas luminárias têm o difusor partido, optou-se por considerar também a manutenção das luminárias instalando novos difusores, de forma a aumentar a eficiência energética do sistema, pois a inexistência destes componentes provoca o depósito de poeiras nos equipamentos e que aliado ao seu natural envelhecimento dá origem a uma depreciação do fluxo luminoso emitido, resultando num decréscimo do nível de iluminação e da duração de vida das lâmpadas. A consequente diminuição da duração de vida das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar, resultante da ausência de aplicação de boas práticas de gestão de energia, tem como consequência o aumento da fatura energética e dos custos de manutenção associados. De referir ainda que em questões de manutenção, uma limpeza periódica das armaduras pode aumentar a eficiência do sistema em cerca de 10% a 30%, e, procedendo-se à substituição periódica das lâmpadas, a mesma pode aumentar de 20% a 25%.

Nesta secção, serão comparadas as diferenças de consumos na situação atual (38% da IP desligada e potência das lâmpadas de 70, 100 e 150W) com a situação proposta (toda a IP ligada com lâmpadas de 70W). Para tal, é necessário efetuar um estudo no programa *Dialux* para verificar se aplicando lâmpadas de 70W em todas as luminárias deste PT, eram cumpridos os requisitos luminotécnicos.

Após pesquisa na internet, optou-se pela lâmpada *MASTER SON-T PIA PLUS TUBULARES 70W E40 HG FREE da PHILIPS*. Esta lâmpada é de alta pressão com a tecnologia PIA (*Philips Integrated Antenna*) e garante um elevado grau de fiabilidade e um tempo de vida útil prolongado, o seu reacendimento é praticamente instantâneo, cerca de 30 segundos. É ideal para uma iluminação residencial e de estradas, iluminação industrial e em instalações desportivas tanto de interior como de exterior e também em iluminação

agrícola; tem uma eficácia luminosa de 107lm/W; um Índice de Restituição Cromática de 25% e Tempo de Vida útil de 20.000 horas.

Após simulação no *Dialux* verificou-se que de facto ao aplicar uma lâmpada VSAP de 80W (inclui o consumo do balastro) e com aproximadamente 7500lm, cumpria com os requisitos luminotécnico exigidos para uma classe ME6 e CE5, como se pode ver na figura:

<p>Campo de avaliação Passeio 1 Comprimento: 30.000 m, Largura: 2.000 m Grelha: 10 x 3 Pontos Elementos de rua correspondentes: Passeio 1. Classe de iluminação seleccionada: A3 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)</p>					
	E_m (semi-esférico) [lx]				
Valores reais segundo o cálculo:	3.55			U0 0.70	
Valores nominais segundo a classe:	≥ 2.00			≥ 0.15	
Cumprido/não cumprido:	✓			✓	
<p>Campo de avaliação Passeio 2 Comprimento: 30.000 m, Largura: 2.000 m Grelha: 10 x 3 Pontos Elementos de rua correspondentes: Passeio 2. Classe de iluminação seleccionada: A3 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)</p>					
	E_m (semi-esférico) [lx]				
Valores reais segundo o cálculo:	2.42			U0 0.46	
Valores nominais segundo a classe:	≥ 2.00			≥ 0.15	
Cumprido/não cumprido:	✓			✓	
<p>Campo de avaliação Pista de rodagem 1 Comprimento: 30.000 m, Largura: 6.000 m Grelha: 10 x 3 Pontos Elementos de rua correspondentes: Pista de rodagem 1. Pavimento: R2, q_0: 1.000 Classe de iluminação seleccionada: ME6 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)</p>					
	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reais segundo o cálculo:	5.86	0.72	0.67	/	0.68
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.30	≥ 0.35	≥ 0.40	≤ 15	/
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	/	✓

Figura 71 – Resultados luminotécnicos da Rua 1 e 2

<p>Campo de avaliação Pista de rodagem 1 Comprimento: 20.000 m, Largura: 8.000 m Grelha: 10 x 6 Pontos Elementos de rua correspondentes: Pista de rodagem 1. Classe de iluminação seleccionada: CE5 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)</p>		
	E_m [lx]	
Valores reais segundo o cálculo:	8.77	U0 0.52
Valores nominais segundo a classe:	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumprido/não cumprido:	✓	✓

Figura 72 – Resultados luminotécnicos da Rua 3 e 4

No custo e consumo da solução proposta, obtiveram-se os seguintes valores:

Equação 29

$$Potencia_{proposta} = 80 \times 34 = 2,720kW$$

Equação 30

$$Consumo_{proposta} = 2,720 \times 365 \times 11 = 10921kWh$$

Equação 31

$$Custo_{proposta} = 10921 \times 0,11 = 1201€$$

Resultando num *payback* e TCO2 de:

Equação 32

$$Payback = \frac{34 \times 9.36}{1589 - 1201} \cong 1ano$$

Equação 33

$$TCO2 = 10,921(MWh) \times 0,47 \left(ton \frac{CO2}{MWh} \right) = 5,13tonCO2$$

Com esta solução, os consumos mantêm-se reduzidos, mas como todas as luminárias estão ligadas oferece maior segurança aos utentes da via e uma uniformidade na iluminação.

Portanto, os Municípios em vez de terem optado por desligar parte da iluminação, poderiam ter colocado lâmpadas com consumo inferior, e obteriam igualmente uma redução de consumo, com um custo de investimento bastante reduzido. No entanto seria necessário fazer uma manutenção nas luminárias que se encontram degradadas.

Com esta lâmpada VSAP de 70W os requisitos luminotécnicos para a classe ME6 e CE5 continuam a ser cumpridos. Note-se que a câmara ao desligar 38% das luminárias reduz o consumo de IP mas nesta situação os requisitos luminotécnicos não são cumpridos.

De notar que o contrato de concessão não prevê a substituição de lâmpadas antes do seu fim de vida, pelo que uma medida deste tipo terá que ser suportada pelo Município.

9.6. Alternativa Proposta 4 – Telegestão

As soluções de telegestão constituem um importante avanço tecnológico na iluminação, já que têm vantagens consideráveis e reduções substanciais de energia. Cada ponto de luz pode ser regulado individualmente e a monitorização automática facilita a informação contínua sobre o estado de cada lâmpada. Sistemas de telegestão do tipo *Starsense* da Philips permitem o controlo individual de cada ponto de luz em qualquer momento, ou a regulação a qualquer nível permitido pela lâmpada, assegurando a máxima fiabilidade na instalação pública. Por exemplo, uma zona pode estar apagada, outra regulada a 90% e outra a 40% sem ser necessário qualquer tipo de conexão elétrica especial. Além disso, é possível programar a instalação de modo a modificar o fluxo em função da hora ou das leituras recolhidas por sensores climáticos e medidores de tráfego. Este tipo de sistema de telegestão pode ser aplicado em qualquer instalação de iluminação pública exterior, por exemplo, autoestradas, vias urbanas, vias residenciais, etc. A telegestão pode ser por PLC (*Power Line Carrier*) ou por RF (*Radio Frequency – wireless, zigbee, etc.*).

Neste trabalho será feito um estudo para o sistema de telegestão *Starsense*. Este sistema tem duas opções de funcionamento, por RF ou por PLC que se baseia no protocolo *LonWorks* sobre a rede elétrica. O *Starsense PLC (Power Line Communication)* é a tecnologia que utiliza uma das redes mais utilizadas em todo o mundo: a rede de energia elétrica. A ideia desta tecnologia não é nova. Consiste em transmitir dados em banda larga pela rede de energia elétrica. Como utiliza uma infraestrutura já disponível, não necessita de obras numa edificação para ser implantada. A opção *Starsense Wireless* permite a comunicação wireless bidirecional utilizando a mais avançada tecnologia de rede distribuída,

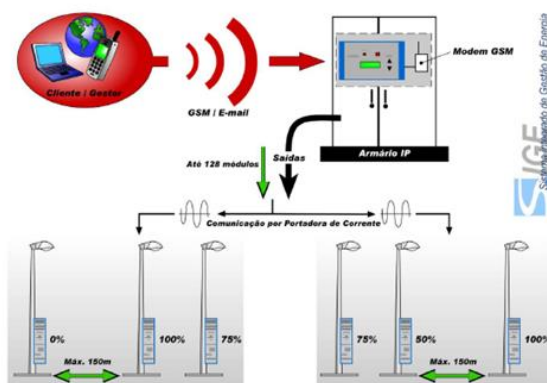


Figura 73 – Telegestão por PLC

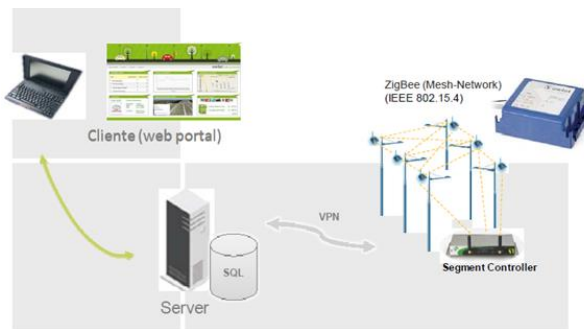


Figura 74 – Telegestão por RF (*Wireless*)

O *Starsense* é um sistema de telegestão revolucionário para o seguimento, controlo, medição e diagnóstico da iluminação exterior.



Figura 75 – Sistema de Telegestão ponto a ponto *Starsense*

Hoje em dia há dois tipos de telegestão referentes à iluminação pública, uma designada por telegestão por grupo de luminárias e outra mais focada na luminária conhecida como telegestão ponto-a-ponto. A telegestão ponto-a-ponto é mais vantajosa porque cada luminária dispõe de um elemento que as gere. Este elemento comunica com um controlador de grupo (ao qual pertence um número limitado de luminárias) e este envia a informação via internet aos servidores, onde se armazena toda a informação do sistema, ao qual o usuário acede através de um *software*. Este tipo de telegestão permite conhecer o estado de cada ponto de luz, assim como enviar “ordens” como apagado, acendido, redução de fluxo, consumo em tempo real, etc. É a ferramenta mais avançada para a gestão de iluminação pública que existe hoje em dia.

O *Starsense* é um rentável sistema de telegestão para o controlo, medição e diagnóstico da iluminação exterior. O sistema reduz energia, reduz custos de manutenção e melhora a fiabilidade da iluminação. Os pontos de luz podem acender-se e apagar individualmente em qualquer momento, assim como regular a iluminação ao nível desejado. Também se podem agrupar os pontos de luz de uma determinada zona para fazer o controlo simultâneo. O sistema pode controlar o estado de cada lâmpada e informar sobre falhas que possam existir indicando a posição exata da luminária. Estas funções permitem reduzir substancialmente os custos de manutenção graças à maior vida útil das lâmpadas. Manter o mesmo nível de iluminação toda a noite não é a melhor solução. Os usuários das vias públicas não necessitam da mesma quantidade de luz quando o tráfego é escasso. *Starsense* pode usar-se para reduzir os níveis de iluminação em função do volume de tráfego. O *Starsense* PLC é baseado no protocolo LonWorks sobre linha elétrica. O LonWorks é um protocolo de rede especificamente dirigido para o desempenho de aplicações de controlo. É usado para dispositivos de transmissão de dados sobre a rede elétrica, fibras óticas e rádio frequência. A arquitetura do sistema *Starsense* é constituída por:

- Controlador de luminária exterior (OLC): O controlador de luminárias de exterior acende e apaga a lâmpada, ajusta o nível de iluminação e deteta falhas nas lâmpadas. Comunica com o controlador de segmento através da linha elétrica, e utiliza um sinal de regulação de 1-10 V ou DALI como interface com o balastro eletrónico e um relé para o ativar e desativar. O OLC incorpora uma entrada digital para conectar uma fotocélula e habilitar a comutação local. A unidade pode ir integrada na luminária ou instalar-se na base da coluna.



Descrição	EOC	
STARSS LLC 7030/00 DALI <ul style="list-style-type: none"> • 220-240V +/-10% 50/60Hz +/-5% • Protocolo LonTalk e sinal de regulação DALI • 1 x entradas apta para uma fotocélula de relé magnética • 2 x saídas DALI • Caixa de montagem disponível • Dimensões:Altura 63mm x Largura 156mm x Profundidade 37.5mm 	73281799	
STARSS LLC 7040/00 I-10V <ul style="list-style-type: none"> • 220-240V +/-10% 50/60Hz +/-5% • Protocolo LonTalk e sinal de regulação I-10V • 1 x entradas apta para uma fotocélula de relé magnética • Caixa de montagem disponível • Dimensões:Altura 63mm x Largura 156mm x Profundidade 37.5mm 	73280099	

Figura 76 – Controladores de luminária exterior

- Controlador de segmento (SC): monitoriza vários OLC's conectados à mesma rede elétrica e envia a informação para o PC através da Internet, normalmente por GPRS. O SC normalmente é instalado no quadro elétrico do PT. Integrado no quadro de comando, controla um número de OLCs conectados à mesma rede elétrica e recolhe informação relacionada para o seu envio a um PC remoto através de uma conexão TCP/IP quando for necessário. O SC também conta com duas entradas e duas saídas que se podem utilizar como interface com outros dispositivos do quadro de comando. O SC incorpora o *software Starsense Configurator*, aplicação Web que simplifica a configuração do sistema.

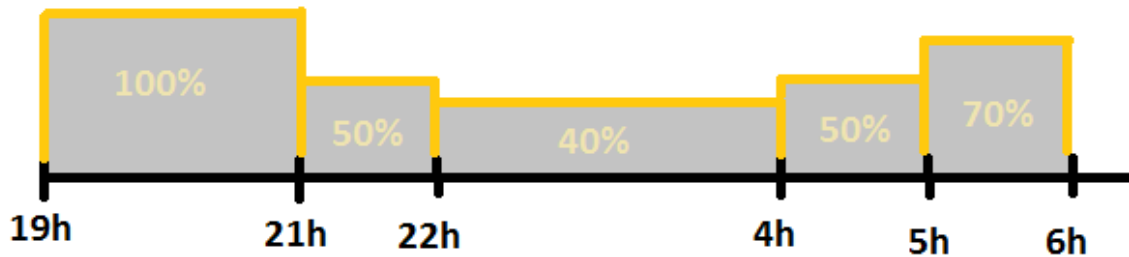
Descrição		EOC
LFC 7070/00	CiTo Segment Controller	18395200
<ul style="list-style-type: none"> • 100-230V +/-10% 50/60Hz • 2 x Entradas de contacto seco isoladas opticamente • 2 x saídas de relé • Conector ERJ-45 para Ethernet 10/100 Base-T • Dimensões: Altura 89.4mm x Largura 140mm x Profundidade 66.1mm 		



Figura 77 – Controlador de segmento

- O *software Starsense Spervisor* usa-se para monitorizar e gerir dados procedentes dos SC. O programa compila e filtra a informação antes de armazená-la na base de dados central. Os responsáveis pela iluminação pública podem aceder a aplicações Web para analisar os dados, o que lhes permitirá reduzir os consumos de energia e custos de manutenção, assim como melhorar o serviço de iluminação. *Starsense Supervisor* converte os dados para extrair a informação útil e facilitar a tomada de decisão para a gestão eficaz de manutenção. Análises de consumo, deteção e localização de avarias, previsão da vida útil das lâmpadas e muitas outras funções, tudo isso com um simples clique.

Pretende-se com este sistema, ajustar a luminosidade durante o período em que a IP está ligada. Uma das alternativas com o sistema de regulação *Starsense* seria regular o sistema da seguinte forma:



- Das 19h às 21h aceso a 100%;
- Das 21h às 22h regulação a 50% do nível da luz;
- Das 22h às 4h regulação a 40% do nível da luz;
- Das 4h às 5h regulação a 50% do nível da luz;
- Das 5h às 6h regulação a 70% do nível da luz.

Inicialmente é necessário determinar o número de horas que a IP está ligada às diferentes potências que foram estabelecidas:

Equação 34

$$Horas_{nom} = 2 \times 365 = 730horas$$

Equação 35

$$Horas_1 = 2 \times 365 = 730horas$$

Equação 36

$$Horas_2 = 6 \times 365 = 2190horas$$

Equação 37

$$Horas_3 = 1 \times 365 = 365horas$$

Segundo dados da EDP, a potência das lâmpadas na situação atual é de 3,66kW e o consumo é de 14445kWh. Com o *Starsense* o consumo energético e o preço que o município irá pagar é o seguinte:

Equação 38

$$Consumo_{nom} = 3,66 \times 730 = 2672kWh$$

Equação 39

$$\text{Consumo}_1 = 3,66kW \times 730 \times 0,50 = 1336kWh$$

Equação 40

$$\text{Consumo}_2 = 3,66kW \times 2190 \times 0,40 = 3206kWh$$

Equação 41

$$\text{Consumo}_3 = 3,66kW \times 365 \times 0,70 = 935kWh$$

Equação 42

$$\text{Consumo Total} = 2672 + 1336 + 3206 + 935 = 8149kWh$$

Equação 43

$$\text{Custo}_{\text{proposta}} = 8149 \times 0,11 = 896,4\text{€}$$

Relativamente ao *payback* e TCO2 obtiveram-se os seguintes valores:

Equação 44

$$\text{Payback} = \frac{6000}{1589 - 896,4} = 8,6 \text{ anos}$$

Equação 45

$$\text{TCO2} = 8,149(\text{MWh}) \times 0,47 \left(\text{ton} \frac{\text{CO2}}{\text{MWh}} \right) = 3,99\text{tonCO2}$$

Relativamente ao custo do investimento, este valor foi-me fornecido pela Philips, e corresponde a todo o equipamento de telegestão (controlador de luminária exterior, controlador de segmento e *software* de gestão) para o sistema de iluminação em estudo.

Esta solução poderá ser uma boa alternativa de investimento, visto que se obtém uma redução no consumo de aproximadamente 56%, e um tempo de retorno não muito elevado. Com o aumento da competitividade no mercado e com a evolução da telegestão, prevê-se que esta tecnologia venha a diminuir o custo de investimento inicial tornando-se mais atrativa.

10. Conclusões

A elaboração deste trabalho permitiu alertar para a necessidade da utilização de componentes energeticamente eficientes a serem empregues numa substituição que vise, além da diminuição da potência instalada, a necessidade de manter iluminâncias mínimas requeridas por parte dos utilizadores nas tarefas desenvolvidas.

Contrariamente ao que se pretende fazer passar por solução de poupança energética, o corte (ou desligação) parcial ou total de algumas instalações de IP, mesmo sinalizando as luminárias desligadas, de modo a que não sejam confundidas com outras que, eventualmente, não estejam a funcionar por qualquer motivo, não é uma solução de eficiência energética. Em termos económicos puros não há dúvida que esta situação produza dividendos económicos mas, este tipo de soluções provoca uma enorme falta de segurança nos municípios.

Por outro lado verifica-se na IP atual a existência de um conjunto variado de equipamentos que não têm rentabilidade energética, uma vez apresentarem níveis elevados de desperdício, quer energético, quer luminoso. São exemplos as luminárias de modelo globo ou bola/jardim, com iluminação esférica a 360°, com a calote superior iluminando o céu, ou algumas luminárias com difusores de muito fraca qualidade, algumas até abertas, etc. Aqui sim, urge garantir a substituição destes equipamentos por outros de maior

rendimento, contribuindo para que se possa, para uma mesma situação, utilizar outras luminárias com lâmpadas de menor potência.

Para além disso, verifica-se já existir, todo um vasto e muito alargado campo de conhecimento e informação, referente a ações, metodologias, técnicas, ferramentas, equipamentos, etc, destinados ao cumprimento do objetivo em causa.

O custo de investimento dos mesmos, todavia, constitui-se como o seu mais importante fator de depreciação, pelo que a sua implantação nem sempre poderá ser decidida de ânimo ligeiro.

Também em situações que são da inteira responsabilidade do Município, é verificado que existirá sempre, de início, a necessidade da execução de um determinado esforço de investimento, muitas vezes sem retorno imediato e que exigirá analisar, para poder decidir.

Uma das dificuldades encontradas deve-se ao facto do concelho de Esposende já ter adotado medidas de redução de consumo de energia, como por exemplo a redução de potência das lâmpadas e o desligar permanente das luminárias. Como o consumo já é baixo, qualquer investimento com um custo mais elevado iria aumentar o *payback* e torná-lo inviável.

De qualquer forma, neste trabalho, constatou-se que as propostas analisadas diminuem significativamente os consumos, tornando a despesa com a iluminação pública muito mais reduzida. Contudo este tipo de tecnologia deverá ser implementado em PT's com um elevado consumo e cujas luminárias possuam uma potência elevada, desde que cumpram com os requisitos luminotécnicos de cada zona. Tentou-se também analisar propostas um pouco mais simples e económicas de implementar, tais como o balastro eletrónico e as lâmpadas VSAP, mas que também apresentam redução no consumo. De referir ainda que neste trabalho não se teve em consideração os custos de manutenção, custos com outros materiais, custos de mão-de-obra, etc.

Tabela 16 – Comparação de tecnologias

	Situação actual	LED+Dimmer	Balastro eletrónico	VSAP 70W	Telegestão
Consumo anual (kWh)	14445	3577	10045	10921	8149
Toneladas CO2	6,8	1,68	4,7	5,13	3,99
Potencia (kW)	3,66	0,89	4,162	2,72	2,03
Custo consumo anual (€)	1589	394	1105	1201	896,4
Custo unitário (€)		525	100	9,36	176
Numero de unidades		34	34	34	34
Payback (anos)		15	7	1	8,6

A tecnologia LED é inovadora e tem um tempo de vida útil bastante superior ao das lâmpadas convencionais, sendo que o período de manutenção pode chegar aos 15 anos, reduzindo-se assim os custos de manutenção, e o baixo consumo deste tipo de lâmpada traduz-se numa redução substancial da fatura energética. No entanto é uma tecnologia cujo custo unitário ainda é bastante elevado (cerca de 500€) o que torna o investimento inicial bastante elevado quando a substituição das luminárias é feita em massa. A tecnologia LED apresenta valores elevados pois ainda não há muita concorrência, tornando a tecnologia pouco competitiva no mercado. A tecnologia LED também pode ser melhorada quanto à dissipação de calor, pois é um dos fatores que prejudica a vida útil do LED.

Neste trabalho concluiu-se que a zona que estava a ser estudada apresentava um défice de iluminação, visto que parte das luminárias estavam desligadas, o que provoca um desconforto a nível de segurança na população e não há uniformidade na iluminação. Testou-se então uma solução que seria voltar a ligar a IP na sua totalidade, e trocar as lâmpadas atuais por lâmpadas de potência mais reduzida, neste caso 70W. Desta forma, testou-se no *Dialux* se estas lâmpadas cumpriam os requisitos luminotécnicos da zona, obtendo-se um resultado positivo. Concluiu-se ainda que para além do custo reduzido no investimento inicial, verificava-se uma diminuição do consumo comparado com a tecnologia atual.

Com o balastro eletrónico colocado em todas as luminárias obteve-se uma redução do consumo de energia comparado com a tecnologia actual. No entanto há que ter em conta que deverá ser feita uma manutenção nas luminárias que apresentam degradação.

Os sistemas de telegestão permitem gerir remotamente a iluminação pública definindo reduções de fluxo luminoso em horas em que este não é necessário. Para além dos óbvios benefícios em termos de consumo de energia, é possível reduzir custos com operações de manutenção, assim como aumentar a eficácia das operações de gestão uma vez que é

possível saber com exatidão o local e os componentes afetados quando existe alguma avaria. Esta tecnologia apresenta um consumo de energia bastante reduzido comparado com a tecnologia atual e tem um investimento inicial médio, o que torna a tecnologia atrativa.

Como se pode ver nos gráficos e na tabela, a tecnologia LED com um Driver de regulação é a tecnologia em que o consumo, as toneladas de CO2 emitidas e o custo anual são mais reduzidas, mas em contrapartida apresenta um custo unitário bastante elevado, traduzindo-se num *payback* bastante superior às outras tecnologias. Isto não significa que noutros casos, em que o consumo anual seja muito superior ao verificado neste PT, o *payback* seja inferior e se justifique aplicar a tecnologia LED.

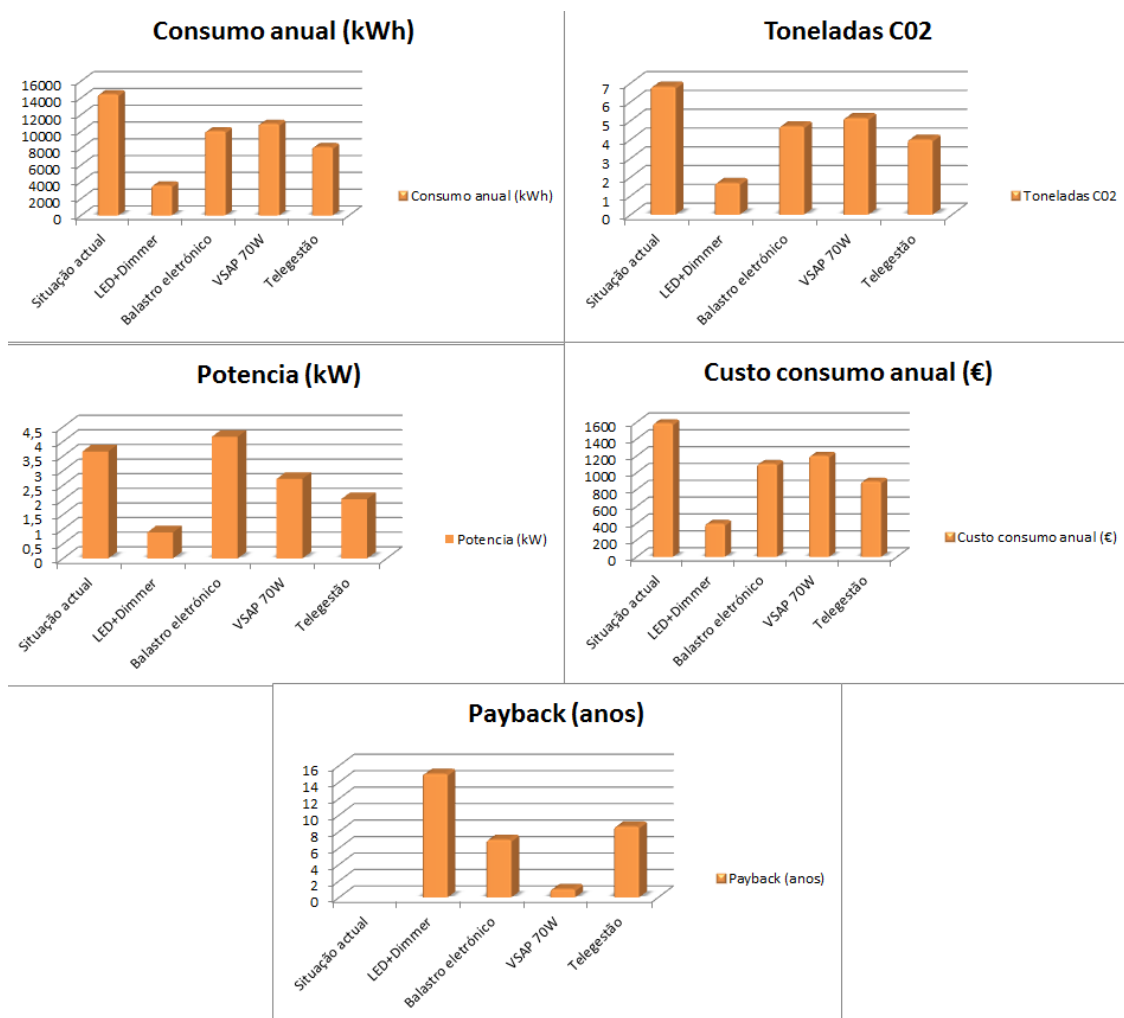


Figura 78 – Comparação entre tecnologias

De uma maneira geral, a opção da telegestão é uma boa aposta para a eficiência energética na iluminação pública, pois reduz significativamente o consumo de energia e o custo do investimento é médio, obtendo-se um *payback* aceitável.

Todos os equipamentos e/ou acções e/ou medidas apresentados (as) têm como característica a necessidade da execução de consideráveis investimentos iniciais – sendo este fator, o único que faz com que os resultados económicos finais, ao longo do período de estudo, apresentem resultados depreciativos. Todavia, não existem dúvidas que ultrapassada esta questão, os resultados são de óptima qualidade, recomendando vivamente a colocação em prática das soluções apresentadas.

No final deste trabalho ficaram algumas questões e por isso como trabalhos futuros sugere-se:

- O estudo do impacto provocado na rede eléctrica devido à introdução de aparelhos electrónicos na rede que provocarão harmónicos, tais como os balastos electrónicos;
- O desenvolvimento da tecnologia LED, nomeadamente melhorar a forma de dissipação de calor, visto que esta é uma das suas desvantagens pois diminui a vida útil do LED. A forma de dissipação de calor pode passar por usar materiais melhor condutores e estruturas que facilitem a convecção e condução natural do calor.

Referências Bibliográficas

- [1] EDP – Eletricidade de Portugal: www.edp.pt, Portugal
- [2] EDP Distribuição: www.edpdistribuicao.pt, Portugal
- [3] Paiva, José Pedro – Redes de Energia Eléctrica. Instituto Superior Técnico, 2005
- [4] EDP - Manual de Ligações à Rede Eléctrica do Serviço Público – 3ª Edição, Junho 2011.
- [5] Solidal – Guia Técnico, Condutores Eléctricos, S.A
- [6] PORDATA – Base Dados de Portugal Contemporâneo: www.pordata.pt, Portugal
- [7] ADENE – Agência para a Energia: www.adene.pt, Portugal
- [8] INE – Instituto Nacional de Estatística: www.ine.pt, Portugal
- [9] Panesi, André R.Quinteros – Fundamentos da Eficiência Energética – Industrial, Comercial e Residencial. Ensino Profissional, 2006
- [10] Resolução do Concelho de Ministros n.º 20/2013 – Diário da República, 1.ª série – N.º 70 – 10 de Abril de 2013
- [11] Resolução do Concelho de Ministros n.º 2/2011 – Diário da República, 1.ª série – N.º 8 – 12 de Janeiro de 2011
- [12] Alves, Teresa – Geografias da noite, fazer geografia através da luz. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras
- [13] EDP – Manual de Iluminação Pública, Volume 1 – Conceitos básicos de luminotecnia, Julho 2010
- [14] Schreder – Iluminação SA: www.schreder.pt, Portugal
- [15] EDP - Manual de Iluminação Pública, Volume 2 – Componentes de Iluminação, Julho 2010
- [16] Vaz, Emanuel Eduardo – Luminotecnia. Porto, 1987
- [17] Moreira, Vinicius – Iluminação Eléctrica. Edgard Blucher, 1999
- [18] Plano Estratégico de Sustentabilidade Energética, Município de Esposende, Horizonte 2011-2020. Novembro 2011
- [19] Philips Iluminação: www.lighting.philips.pt, Portugal
- [20] QATS – Advanced Thermal Solutions, INC.: <http://qats.com/cms/tag/led-lighting/>, USA
- [21] Yunus, Cengel; Ghajar, Afshin – Transferência de Calor e Massa, McGraw Hill, 2009
- [22] NEMOTEK – Gestão Técnica Centralizada, Lda.: www.nemotek.pt, Portugal

