

ESTUDO DOS IMPACTOS DA SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MARIA MADALENA RODRIGUES CAMÕES

novembro de 2019

ESTUDO DOS IMPACTOS DA SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Maria Madalena Rodrigues Camões



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2019

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

Candidato: Maria Madalena Rodrigues Camões, Nº 900084, 190084@isep.ipp.pt

Orientação científica: Carlos J. Pereira Freitas, cpf@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2019

Dedico este trabalho aos amores da minha vida...meus filhos e meu marido.

Agradecimentos

Ao Professor Carlos Freitas, pela excelente orientação repleta de paciência, confiança e disponibilidade.

Aos meus Filhos, pelo apoio e estímulo, e pela benevolência demonstrados ao longo do meu percurso acadêmico e, particularmente, ao longo da elaboração da presente dissertação.

Ao meu marido, pelo afeto, companheirismo, espírito crítico, inspiração e apoio incondicional.

À minha família, pelo preceito e demonstração de que o amor faz a força.

À minha eterna amiga Maria José Babo pelo seu ombro amigo sempre disponível mesmo nos momentos mais difíceis.

À Sr.^a Presidente da Câmara Municipal de Vila do Conde, Dr.^a Elisa Ferraz, por me ter facultado a utilização dos dados que viabilizaram a realização deste estudo.

Resumo

A iluminação pública proporciona às comunidades um ambiente mais seguro e convidativo à vivência do espaço público durante o período noturno, facto que a torna um serviço público essencial. No entanto, esse serviço implica grandes consumos de energia elétrica que no caso português é de aproximadamente 1,5 TWh/ano, correspondendo a cerca de 3% do total dos consumos nacionais.

Estudos recentes epilogam que a tecnologia LED (díodo emissor de luz) se tornou suficientemente madura e competitiva para poder ser aplicada nas redes de iluminação pública em detrimento das fontes de luz convencionais, nomeadamente, as lâmpadas de descarga de alta intensidade (HDI), induzindo reduções significativas nos consumos de energia elétrica e nas emissões de carbono, conduzindo a poupanças económicas e proporcionando benefícios à comunidade.

Nesse contexto, porque no país ainda existe pouca experiência comprovada, considerou-se pertinente investigar se para o caso de substituição das instalações existentes, as vantagens alegadas se mantêm. Nesta Dissertação conduziu-se um estudo que analisou a iluminação pública de um município português, Vila do Conde, e simulou-se um projeto de substituição total das luminárias convencionais instaladas por luminárias de tecnologia LED.

Os resultados obtidos são de uma diminuição de 64% nos consumos energéticos, uma poupança anual de 1.049.532 € e uma redução de emissões de CO₂ de 4.155 t/ ano. No estudo económico-financeiro efetuado para o período de vida útil das luminárias LED, 24 anos, obteve-se uma TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) de 19%, um VAL (Valor Atual Líquido) de 11.687.220 €, sendo o investimento recuperado (*payback*) nos primeiros 6,5 anos.

Palavras-Chave

Iluminação Pública, Luminárias LED, Eficiência Energética, Emissões de CO₂.

Abstract

Street lighting provides for the communities a safer and more inviting environment to experience public space during the night, which makes it an essential public service. However, this service implies large electricity consumption which in Portugal is approximately 1,5 TWh / year, corresponding to about 3% of total national consumption.

In this regard, recent studies have suggested that LED (light-emitting diode) technology has become mature and competitive enough to be applied in street lighting networks to the detriment of conventional light sources, namely high intensity discharge lamps (HDI), enabling significant reductions in power consumption and carbon emissions, leading to economic savings and benefiting the community.

In this context, since there isn't enough experience in the country with this technology, we believed it was important to research if the alleged benefits are still observed. In the present Dissertation we conducted a study which analysed the public lighting of a Portuguese municipality, Vila do Conde, and simulated a project of replacement of all the installed conventional luminaires by LED technology luminaires.

The results indicate a decrease of 64% in energy consumption, an average annual saving of 1.049.532 € and a reduction of CO₂ emissions of 4.155 t/year. From the economic-financial study carried out for the considered lifetime of LED luminaires, 24 years, we obtained a 6,5 years payback, a 19% TIR and a 11.687.220 € VAL.

Keywords

Street Lighting, LED Luminaires, Energy Efficiency, CO₂ Emissions.

Índice

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVO	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2. CONTEXTUALIZAÇÃO	4
2.1. BREVE HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	4
2.2. AS ATUAIS TECNOLOGIAS EXISTENTES NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	8
2.3. A ILUMINAÇÃO PÚBLICA E O DESENVOLVIMENTO URBANO.....	12
2.4. POLÍTICAS ENERGÉTICAS E AMBIENTAIS.....	15
3. REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1. AS DIFERENTES PERSPETIVAS DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	21
3.2. SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS DE TECNOLOGIA LED	24
4. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DE DADOS	28
4.1. METODOLOGIA	28
4.2. APRESENTAÇÃO DOS DADOS	39
4.2.1. <i>Caracterização do Cenário de Referência</i>	39
4.2.2. <i>Hierarquização das Vias</i>	44
4.2.3. <i>A rede de Iluminação Pública</i>	49
4.2.4. <i>Pressupostos</i>	54
5. RESULTADOS	58
5.1. DESPESAS DE INVESTIMENTO.....	58
5.2. CUSTOS DE MANUTENÇÃO.....	60

5.2.1.	<i>Custos de Manutenção das Luminárias Convencionais</i>	60
5.2.2.	<i>Custos Estimados da Manutenção das Luminárias LED</i>	61
5.3.	CONSUMOS ENERGÉTICOS	65
5.4.	ANÁLISE ECONÓMICA - FINANCEIRA	67
5.5.	CÁLCULO DAS EMISSÕES CO ₂ EVITADAS	68
5.6.	ANÁLISE DA SENSIBILIDADE.....	69
5.6.1.	<i>Preço das Luminárias LED</i>	70
5.6.2.	<i>Vida Útil das Luminárias LED</i>	70
5.6.3.	<i>Custos da Manutenção das Luminárias LED</i>	71
5.6.4.	<i>Potência das Luminárias LED</i>	72
6.	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	79
	APÊNDICE I –CÁLCULOS	86

Índice de Figuras

Figura 1 - Fontes de energia utilizadas em Portugal na IP (de 1780 a 2000)	6
Figura 2 - Cronograma da evolução das diferentes fontes de luz	7
Figura 3 - Tipo de lâmpadas instaladas nas redes de IP europeias em 2015	8
Figura 4 - Tipo de lâmpadas de instaladas nas redes de IP portuguesas em 2015	9
Figura 5 - Evolução eficiência VS preço do LED	11
Figura 6 - Imagem noturna da Terra 2016	14
Figura 7 - Distribuição da população mundial em 2019	14
Figura 8 - Mapa da poluição luminosa	15
Figura 9 - Maiores projetos de substituição de luminárias convencionais por LED	26
Figura 10 - Mapa da rede elétrica do concelho de Vila do Conde (AT e MT)	40
Figura 11 - Consumos energéticos por setor no Concelho de Vila do Conde (ano 2017)	41
Figura 12 - Evolução dos consumos da IP em Vila do Conde (de 1996 a 2017)	43
Figura 13 - Principal rede viária do concelho de Vila do Conde	46
Figura 14 - Distribuição dos pontos de luz no território de Vila do Conde	50
Figura 15 - Caracterização das fontes de luz do concelho de Vila do Conde	51
Figura 16 - Exemplos de luminárias do tipo “Estilizada” – Vila do Conde	52
Figura 17 - Exemplo de luminárias do tipo “Jardim” – Vila do Conde	52
Figura 18 Exemplo de luminárias tipo “Viária”	53
Figura 19 - Evolução dos preços da eletricidade consumidores não domésticos	57

Figura 20 - Comparação dos consumos energéticos	65
Figura 21 - Comparação dos custos anuais com a energia	66
Figura 22 - Comparação das emissões anuais de CO ₂	69
Figura 23 - Resultados da análise de sensibilidade - preço das luminárias LED	70
Figura 24 - Resultados da análise de sensibilidade - vida útil das luminárias LED	71
Figura 25 - Resultados da análise de sensibilidade - custo manutenção das luminárias LED	72
Figura 26 - Resultados da análise de sensibilidade - potência das luminárias LED	73

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características típicas das fontes de luz	10
Tabela 2 - Requisitos fotométricos das classes de iluminação	45
Tabela 3 - Classe de iluminação das vias - Estrada Nacionais e Municipais	47
Tabela 4 - Classe de iluminação das vias– arruamentos e caminhos	48
Tabela 5 - Classe de iluminação das vias– ruas de partilha e/ou ciclovias.	49
Tabela 6 - Caracterização dos pontos de luz instalados	51
Tabela 7 - Quantidades de luminárias instaladas	53
Tabela 8 - Potências instaladas na rede de IP	54
Tabela 9 - Preço da energia por período horário	56
Tabela 10 - Preço e Potência das Luminárias LED	59
Tabela 11 - Consumos energéticos	65
Tabela 12 - Custo de energia	66
Tabela 13 - Resultado do estudo económico – financeiro	67
Tabela 14 - Cálculo consumos e emissões CO ₂ por tipo de luminária	87
Tabela 15 - Cálculo das economias anuais por tipo de luminária LED	88
Tabela 16 - Cálculos custos manutenção luminárias LED	89
Tabela 17 – Cálculo económico-financeiro	90

Tabela 18 - Cálculo do valor económico das emissões de CO ₂ evitadas	91
Tabela 19 - Estudo económico-financeiro incluindo o valor económico das emissões CO ₂	92
Tabela 20 - Análise de sensibilidade	93
Tabela 21 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade – preço das luminárias LED	94
Tabela 22 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade -vida útil luminárias LED	95
Tabela 23 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade - manutenção das luminárias LED	96
Tabela 24 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade – potência luminárias LED	97

Acrónimos

ACV	Análise de Ciclo de Vida
AT	Alta Tensão
AUS	Austrália
BT	Baixa Tensão
CAPM	<i>Capital Asset Pricing Model</i>
CCP	Código de Contratos Públicos
CE	Comunidade Europeia
CHN	China
CMVC	Câmara Municipal de Vila do Conde
CO ₂	Dióxido de Carbono
DCF	<i>Discounted Cash Flow</i>
DGEG	Direção de Geral de Energia e Geologia
ECO.AP	Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
EEX	<i>European Energy Exchange</i>
EN	<i>European Norm</i>
ENCPE	Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
EU	União Europeia
EU ETS	European Union Emissions Trading System
EUA	EUA – European Union Allowances
EUA	Estados Unidos da América

FMLL	Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada
FSL	Fator de Sobrevivência da lâmpada
FCFE	Free Cash Flow to Equity
GPP	<i>Green Public Procurement</i>
HDI	<i>High Intensity Discharge</i>
HPM	<i>High Pressure Mercury</i>
HPS	<i>High Pressur Sodium</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de restituição de cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MH	<i>Metal Halide</i>
MT	Média Tensão
PDIPM	Plano Diretor de Iluminação Pública Municipal
PDM	Plano Diretor Municipal
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PT	Posto de Transformação
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
VAL	Valor Atual Líquido
WCED	World Commission on Environment and Development

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O setor da iluminação pública encontra-se em plena transformação decorrente do desenvolvimento tecnológico e das políticas energéticas e de desenvolvimento sustentável. A utilização de luminárias de tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) possibilita economias relevantes ao nível dos custos com a energia e com a manutenção, facto este que incentiva os decisores públicos para a implementação dessa solução nas redes de iluminação pública (IP) sob sua competência. Contudo, a concretização desse propósito não se revela isento de dificuldades dado que, por um lado, requiere grandes aplicações de capital que, na maioria dos casos, não são comportáveis para os municípios (LI & Makunbe, 2017) e, por outro, a falta de maturação necessária ao desenvolvimento e à gestão de modelos de negócios capazes de financiar tais investimentos.

Perante a complexidade desse tipo de projetos, e porque compreendem diferentes variáveis, nomeadamente, financeiras, económicas, técnicas, sociais e ambientais, torna-se imprescindível analisar um conjunto de questões que deverão ser tidas em consideração na tomada de decisão (Meyer, Muarer, Freire, & Gouvello, 2017):

- A tecnologia LED aplicada à IP está devidamente madura e comprovada?
- As luminárias LED atingirão a vida útil prevista?
- A implementação dessa solução produzirá as economias esperadas?
- O atual modelo de integração da rede de IP na concessão de distribuição em baixa tensão é facilitador da adoção de soluções inovadoras nessas redes?
- Porque razão se deve investir na eficiência energética dos sistemas de IP em detrimento de outras prioridades sociais?
- Quais são as opções que se apresentam aos municípios para que possam estruturar e financiar projetos dessa natureza?
- Quais os reais benefícios financeiros que esses projetos podem gerar para os municípios?
- Quais os reais contributos que esses projetos poderão ter no alcance das metas nacionais e internacionais definidas no âmbito da política ambiental?
- Quais os benefícios sociais que esse tipo de projeto pode gerar para as populações?

Apesar de nos últimos anos, diversos municípios portugueses terem instalado luminárias de LED, poucos são os estudos que visam avaliar de forma abrangente os impactos desses projetos nas suas diferentes dimensões. Dada a pertinência do assunto, parece oportuno que este seja aprofundado, porquanto poderá refletir tendências cujo conhecimento e entendimento se tornam fundamentais para o apoio à tomada de decisão por parte daqueles que objetivarem realizar iniciativas no âmbito da eficiência energética na IP, mais especificamente, quando a solução é a escolha da tecnologia LED.

1.2. OBJETIVO

O desenvolvimento da dissertação pretende dar resposta às questões que, num contexto de decisão pública típico, devem fundamentar a opção de proceder à substituição das luminárias ineficientes, ou menos eficientes, por luminárias de tecnologia LED. Mais concretamente, a investigação pretende analisar em que medida a mudança para a tecnologia LED, quando aplicada na totalidade da rede de IP de um concelho de média dimensão, conduz à criação de valor nas dimensões económica e ambiental. A resposta à questão da pesquisa, assente na metodologia de “estudo de caso”, permitir-nos-á, para um contexto específico, testar a hipótese de que a decisão pública de transição para a tecnologia LED pode ser fundamentada

em análise custo-benefício que comporte exclusivamente as dimensões económica e ambiental.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho organiza-se em 6 capítulos:

1º - Introdução, que contempla o enquadramento, os objetivos e a organização do trabalho.

2º - Contextualização, que contém a resenha histórica da iluminação pública, as atuais tecnologias das fontes de luz mais utilizadas, a relação desta infraestrutura com o desenvolvimento urbano e as políticas energéticas e ambientais que lhe são subjacentes.

3º - Revisão da Literatura, no qual é feita uma análise sumária do estado da arte relativamente à temática da Iluminação Pública e em particular dos estudos e dos projetos que têm sido conduzidos na área da substituição de luminárias convencionais por luminárias LED.

4º - Metodologia e Descrição de Dados, que engloba a descrição do método de investigação, a descrição do cenário de referência e a caracterização dos dados que suportam o “estudo de caso”.

5º - Análise e Discussão dos Resultados, no qual se apresenta a avaliação dos impactos económicos e ambientais e se faz a interpretação dos resultados.

6º Conclusão, onde são apresentadas com as conclusões da investigação e elencadas sugestões que possam ser úteis para a decisão pública em projetos semelhantes ao estudado e dadas pistas para investigação futura.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1. BREVE HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O conceito de iluminação do espaço público, na sua forma mais elementar, surgiu na Roma antiga, quando os cidadãos mais abastados iluminavam a frente das suas casas, utilizando lanternas de funcionamento a óleo vegetal, para garantia de maior segurança.

Para encontrarmos a primeira iluminação do espaço público organizada, surgida, também, por razões de segurança, temos de saltar até ao ano de 1417, em Londres, quando a população foi obrigada a acender lanternas a óleo no exterior das suas casas, após o anoitecer, durante os meses de inverno. O mesmo aconteceu em algumas ruas de Paris, em 1524, e em Berlim, em 1679 (Schulte-Römer, 2015).

Após a invenção da lanterna a gás, por William Murdoch, em 1807, Londres passou a contar com a primeira instalação de iluminação pública.

Em 1816, Baltimore foi a primeira cidade dos Estados Unidos da América (EUA) a instalar iluminação pública constituída por candeeiros que suportavam lanternas de funcionamento a gás. Paris seguiu-lhe o exemplo, em 1819 e Berlim, em 1826 (Mark Major, Speirs, & Tischhauser, 2005).

Anos mais tarde, em 1878, com o desenvolvimento das lâmpadas de arco, também conhecidas como velas *Yablochkov*, Paris, instalou a primeira rede elétrica de IP em 1881. A partir dessa data passou a ser possível disfrutar de iluminação pública sem combustão, fumo ou cheiro e com menor risco de incêndio. Apesar desse grande progresso, a tecnologia utilizada, bem como outras que se lhe seguiram, ainda, se caracterizavam pela ineficiência e pelo dispêndio.

A invenção da lâmpada incandescente, em 1879, por Thomas Edison, revolucionou o mundo e constituiu o mote para o desenvolvimento dos diferentes tipos de lâmpadas que viriam a ser utilizadas nas redes de IP, nas décadas seguintes, de entre as quais se destacou a lâmpada de vapor de mercúrio. No entanto, a vulgarização da utilização da eletricidade na IP, apenas, aconteceu em 1910, quando surgiu a lâmpada de filamento em tungsténio, capaz de emitir 10 lumens por cada watt consumido, uma eficiência muito superior à tecnologia prevalecente até à data.

As lâmpadas de sódio de baixa pressão foram introduzidas na Europa na década de 1930. Em 1965, surgiram as lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS - *High Pressur Sodium*), o tipo de lâmpada mais utilizado atualmente nas redes de IP a nível mundial, que apresentavam uma melhor restituição cromática e eficiência superior relativamente às de sódio de baixa pressão.

Em Portugal a evolução da IP teve um desenvolvimento idêntico ao dos outros países, embora bastante desfasado no tempo. No ano de 1782, Lisboa foi a primeira cidade portuguesa a iluminar as suas principais ruas, utilizando para o efeito candeeiros de funcionamento a óleo natural e em 1840 instalou as primeiras lanternas a gás, tendo sido, no entanto, o “petróleo de iluminação” o sistema mais utilizado no século XIX (Coordeiro, 2006).

Segundo (Coordeiro, 2006), somente, a partir dos anos 30 do século XX é que a eletricidade começou a ser, quase em exclusivo, a única fonte de energia na iluminação pública.

O cronograma apresentado na Figura 1 mostra os diferentes tipos de fontes de energia utilizados nos sistemas de IP no país, no período compreendido entre 1840 e 1980.

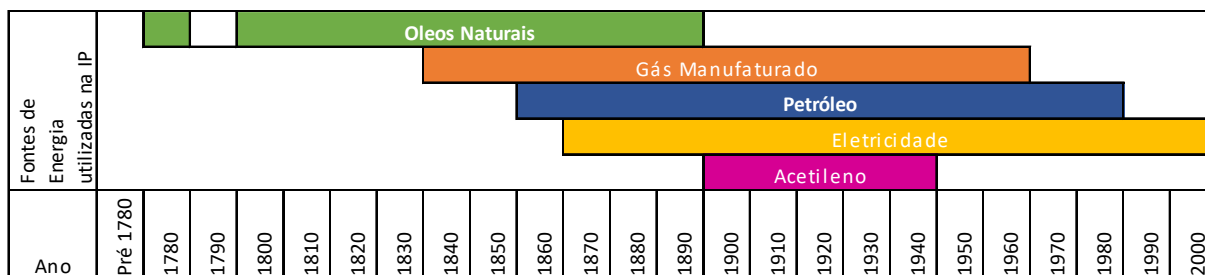


Figura 1 - Fontes de energia utilizadas em Portugal na IP (de 1780 a 2000)

Fonte: (Coordeiro, 2006)

O mesmo autor refere na sua investigação que a iluminação pública na capital, entre os anos 1780 e 1820, era um instrumento de polícia e, apenas, na década de 1930 é que passou a ser da responsabilidade dos municípios.

Quanto à tecnologia das fontes de luz atualmente utilizadas nos sistemas de IP portugueses, verifica-se a tendência mundial com a solução dominante de lâmpadas HPS.

Contudo, o cenário está a alterar-se devido, mais uma vez, à evolução tecnológica. Em 1961, os americanos, James R. Biard e Gary Pittman, ao serviço da empresa Texas Instruments, desenvolveram o primeiro LED infravermelho de luz não visível que abriu caminho para que Nick Holonyak, Jr., em 1962, ao serviço da empresa General Electric, criasse o primeiro LED de luz visível, o LED vermelho. Seguiu-se o desenvolvimento do LED amarelo, em 1970, por M. George Craford, e, finalmente, em 1972 o japonês Shuji Nakamura desenvolveu o primeiro LED azul. No entanto, somente, na década de 90, do século XX, é que surgiu a nova geração de LED de luz branca cujo aperfeiçoamento conduziu às soluções de iluminação atualmente existentes (Edison Tech Center, 2019).

Nos últimos quinze anos, esta tecnologia evoluiu de tal forma que é considerada a melhor opção em, praticamente, todo o tipo de iluminação (Pattison, Hansen, & Tsao, 2017). A grande evolução deve-se ao facto da sua eficiência luminosa ter aumentado cerca de 6,5 vezes, passando dos 25 lm/W (lúmen por watt) para mais de 160 lm/W (Pattison, Hansen, & Tsao, 2017).

Presentemente as suas vantagens, de entre as quais se destacam a eficiência e a longevidade, estão a incentivar a sua aplicação nas redes de IP em todo o mundo.

Na Figura 2 apresentamos o cronograma do surgimento das diferentes tecnologias de fontes de luz.

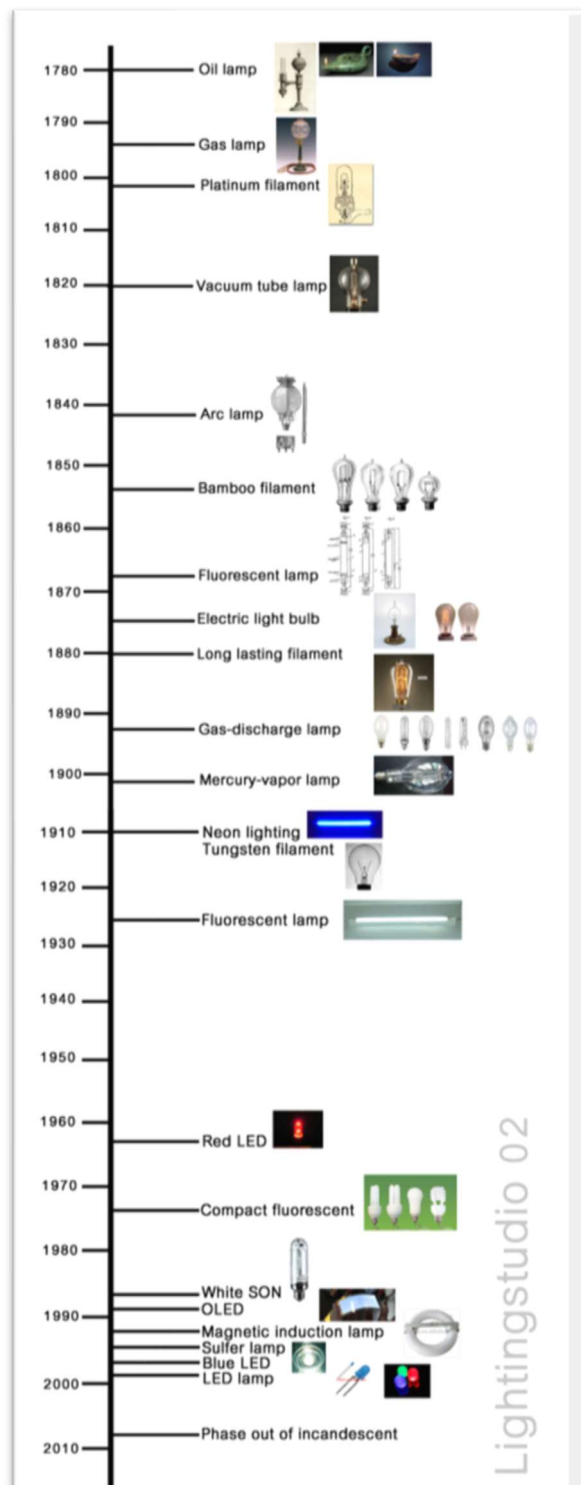


Figura 2 - Cronograma da evolução das diferentes fontes de luz

Fonte: lightingdesignerd.wordpress.com

2.2. AS ATUAIS TECNOLOGIAS EXISTENTES NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Num sistema de IP o elemento fulcral é a fonte de luz e, tal como constatado na breve história, a adoção de determinada fonte sempre foi motivada pela evolução tecnologia, mais especificamente, pelo desenvolvimento de novas fontes de luz, mais eficientes, mais duráveis e com melhores prestações luminotécnicas.

A Figura 3 mostra a estimativa da divisão da tecnologia de lâmpadas existentes nas redes de IP, viária, da UE em 2015. Nesse ano, estimou-se a existência de cerca 64 milhões de luminárias, distribuídas por 1,5 milhões de km de estrada (Donatello, et al., 2019).

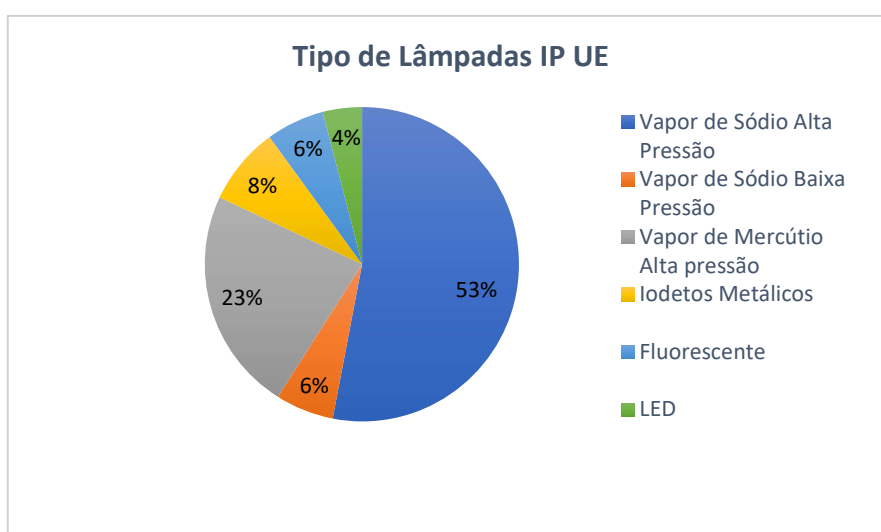


Figura 3 - Tipo de lâmpadas instaladas nas redes de IP europeias em 2015

Fonte: (Donatello, et al., 2019)

Em Portugal, segundo a EDP Distribuição, no final de 2015, na rede IP nacional, 14,1% das lâmpadas instaladas eram de vapor de mercúrio, 83,4% de vapor de sódio e uma reduzida percentagem correspondia à tecnologia LED (EDP Distribuição, 2016), o gráfico da Figura 4 ilustra o cenário referido.

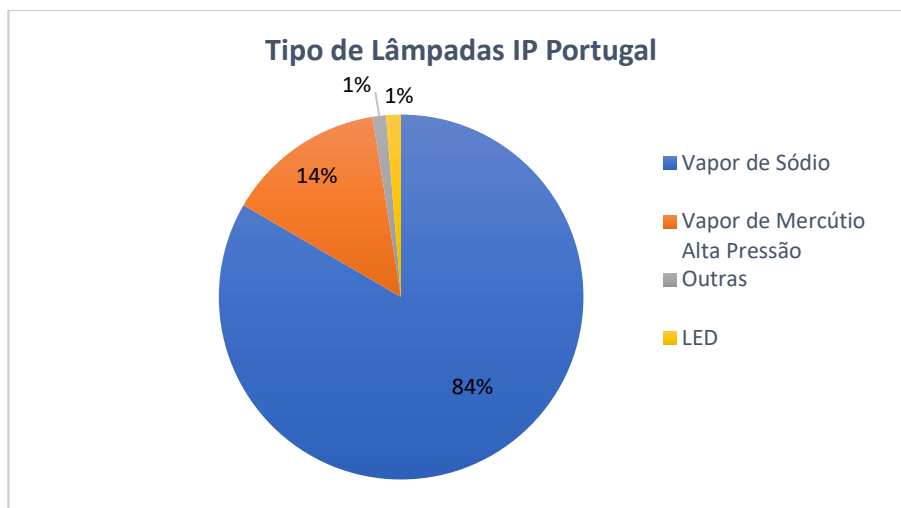


Figura 4 - Tipo de lâmpadas de instaladas nas redes de IP portuguesas em 2015

Fonte: (EDP Distribuição, 2016)

Como se conclui pela observação dos gráficos acima expostos, atualmente, na IP utilizam-se, maioritariamente, lâmpadas de descarga de alta intensidade (HDI - *High Intensity Discharge*) e a tecnologia LED está a emergir.

As características técnicas e os parâmetros de desempenho que caracterizam cada tipo de fonte de luz são:

- Potência (W);
- Tempo de vida (h);
- Índice de restituição de cor (IRC)¹;
- Temperatura da cor (K)²;

¹ A restituição de cor é o aspeto da reprodução cromática, o efeito da radiação emitida por uma fonte de luz nos objetos que ilumina. Este efeito é medido através da comparação ao aspeto cromático dos mesmos objetos iluminados pela luz do dia. O IRC é índice da capacidade que uma determinada fonte luminosa possui em restituir com fidelidade as cores do objeto iluminado. O IRC varia entre 0 e 100, quanto maior mais fiel é a restituição das cores (EDP Distribuição, 2016).

² A temperatura de cor é uma característica da luz visível, definida pela comparação da sua saturação cromática com a de um corpo negro radiante ideal, ou seja, corresponde à temperatura a que um corpo negro irradiaria a mesma cor da fonte luminosa (é medida em Kelvin – K) (CPI, et al., Eficiência Energética na Iluminação Pública Documento de Referência Parte I - Conceitos de Luminotecnia, 2018).

- Eficiência luminosa (lm/W);
- Aparelhagem auxiliar;
- Fator de sobrevivência da lâmpada (FSL)³
- Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL)⁴
- Custo.

Na Tabela 1 apresentam-se algumas das características típicas de diferentes fontes de luz.

Tabela 1 - Características típicas das fontes de luz

Tecnologia	Gama de Potências (W)	Temperatura de Cor (K)	Eficiência luminosa (lm/W)*	Vida Útil (horas)	IRC
Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	50 - 1000	3000 - 5000	20 - 50	16000	40 - 60
Vapor de Sódio de Alta Pressão	50 - 1000	2600 - 3200	70 - 150	16000 - 28000	20 - 40
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	50 - 1000	1800 - 2200	120 - 180	16000	0
Iodetos Metálicos	35 - 3500	3300 - 5500	65 - 120	12000- 24000	80 - 90
LED	1 - 250	2700 - 10000	50 - 160	25000 - 140000	80 - 90

Fonte: (EDP Distribuição, 2016)

Pela análise dos valores constantes na Tabela 1 facilmente se compreende as razões que sustentam a intensiva utilização das lâmpadas de HPS: a elevada eficiência energética combinada com sua longa vida útil amplamente comprovadas.

³ Fator de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz corresponde à probabilidade da fonte de luz se manter operacional durante um determinado período de tempo. Esta probabilidade depende do tipo de fonte de luz, da potência, da frequência de comutação e do tipo de balastro/driver (CPI, et al., Eficiência Energética na Iluminação Pública Documento de Referência Parte I - Conceitos de Luminotecnia, 2018).

⁴ Fator de manutenção da luminosidade da Lâmpada/fonte de luz que corresponde à depreciação do fluxo que a lâmpada apresenta após determinado tempo de operação (CPI, et al., Eficiência Energética na Iluminação Pública Documento de Referência Parte I - Conceitos de Luminotecnia, 2018).

A tecnologia LED, de entre as tecnologias de iluminação de estado sólido (SSL), é a mais madura (The Climate Group, 2012), sendo a sua relevância reconhecida pelo Comité do Prémio Nobel da Física que, em 2014, premiou os investigadores Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura pela invenção do LED azul eficiente, o qual possibilitou o desenvolvimento da geração de luz branca aplicada na área da iluminação (Nobelprize.org., 2014).

A par destes desenvolvimentos ao nível da eficácia e do desempenho da tecnologia, também, os custos a esta associados tiveram uma redução gradual de tal modo que as luminárias LED são comercializadas, hoje, a preços que tornam viável a sua aplicação nas redes de IP.

Os dados da Figura 5 demonstram a previsão da queda nos preços dos LED bem como o aumento da sua eficiência luminosa, resultando em menores custos operacionais (Donatello, et al., 2019).

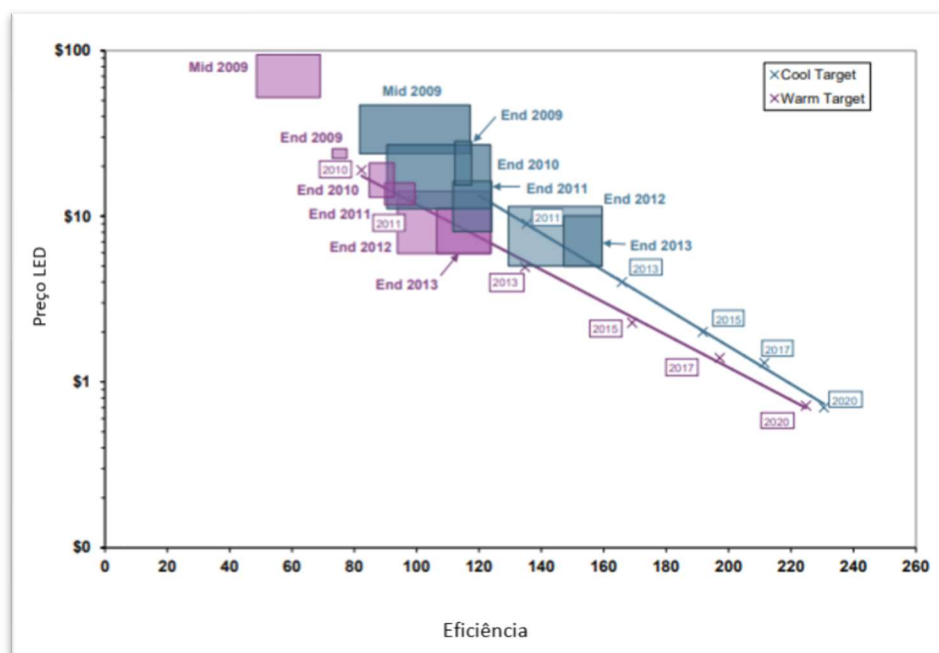


Figura 5 - Evolução eficiência VS preço do LED

Extraído: (USA Department of Energy, 2015)

Na última década, utilização da tecnologia LED na IP tem sido promovida pelas seguintes vantagens: elevada economia de energia; custos reduzidos de manutenção e operação; maior segurança e proteção; poluição luminosa reduzida e invasão de luz (Lightsavers Canada, 2017).

Apesar do LED representar, ainda, uma pequena parcela do conjunto das luminárias instaladas na Europa, é consensual que se tornará, a curto prazo, na tecnologia dominante nas redes de IP da UE (Donatello, et al., 2019)

2.3. A ILUMINAÇÃO PÚBLICA E O DESENVOLVIMENTO URBANO

A socialização das populações, bem como a sua fixação em locais específicos, sempre esteve relacionada com valores ambientais. As civilizações antigas testemunham a tendência da escolha de locais estrategicamente pensados, ou pela abundância e pela qualidade dos recursos naturais e/ou pela morfologia do terreno facilitadora da proteção do seu território (Silva, 2014).

Apesar das primeiras cidades terem surgido há mais de 3500 a.C., na Mesopotâmia, o processo de urbanização, apenas, se iniciou no século XVIII, como consequência da Revolução Industrial. Contudo, a grande alteração da distribuição das populações ocorreu, somente, no século XIX, associada à necessidade de mão de obra por parte das indústrias, localizadas nos meios urbanos, e à procura por melhores condições de vida por parte das populações rurais. A conjugação desses fatores provocou um verdadeiro êxodo rural com a migração das populações para os centros urbanos (Silva, 2014).

No século XX, a Europa passou a ser um continente, predominantemente, urbano. As estimativas indicam que cerca de 70% da população da União Europeia, ou seja, aproximadamente 350 milhões de pessoas, vive em meios urbanos com mais de 5.000 habitantes e, embora o ritmo desta transformação tenha abrandado, a percentagem da população urbana continua a crescer (UE, 2011).

A nível mundial, atualmente, cerca de 55% da população vive em cidades e as Nações Unidas perspetivam um aumento até aos 68% até 2050 (United Nations, 2019).

As cidades são as responsáveis pela criação de 80% do PIB mundial, pelo consumo de 2/3 da energia produzida e pela produção de 70% dos gases de efeito de estufa (World Bank, 2018).

O contínuo aumento da população nos centros urbanos representa, assim, um grande desafio para os governantes, na medida em que, para garantir um crescimento económico equitativo, veem-se obrigados a dar respostas eficazes à necessidade de criação de mais e melhores infraestruturas, construindo, dessa forma, cidades mais inclusivas, seguras e sustentáveis (World Bank, 2018). Sendo a IP parte integrante dessas infraestruturas, será de esperar que a sua instalação acompanhe essa tendência.

A existência de IP proporciona às populações um ambiente mais seguro e convidativo à vivência do espaço público durante o período noturno, contribuindo assim para o bem-estar social e qualidade de vida (Jagerbrand, 2014). No entanto, a expansão urbana, em particular, tem conduzido a um aumento da iluminação noturna que, muitas vezes, é excessiva e desnecessária (Holden, 1992).

Os dados referentes à existência e intensidade de iluminação noturna, calculados a partir de registos meteorológicos por satélite, são cada vez mais utilizados em estudos sociais como *proxy* da atividade económica ou do desenvolvimento económico, sendo considerados bons indicadores locais de desenvolvimento humano e de expansão urbana (Brealey & Stewart, 2016) (Mellander, Lobo, Stolarick, & Matheson, 2015).

Ao compararmos a imagem noturna da terra, Figura 6, com o mapa representado na Figura 7, o qual apresenta a distribuição da população mundial, constata-se que a maior densidade da iluminação nem sempre coincide com a maior densidade populacional.

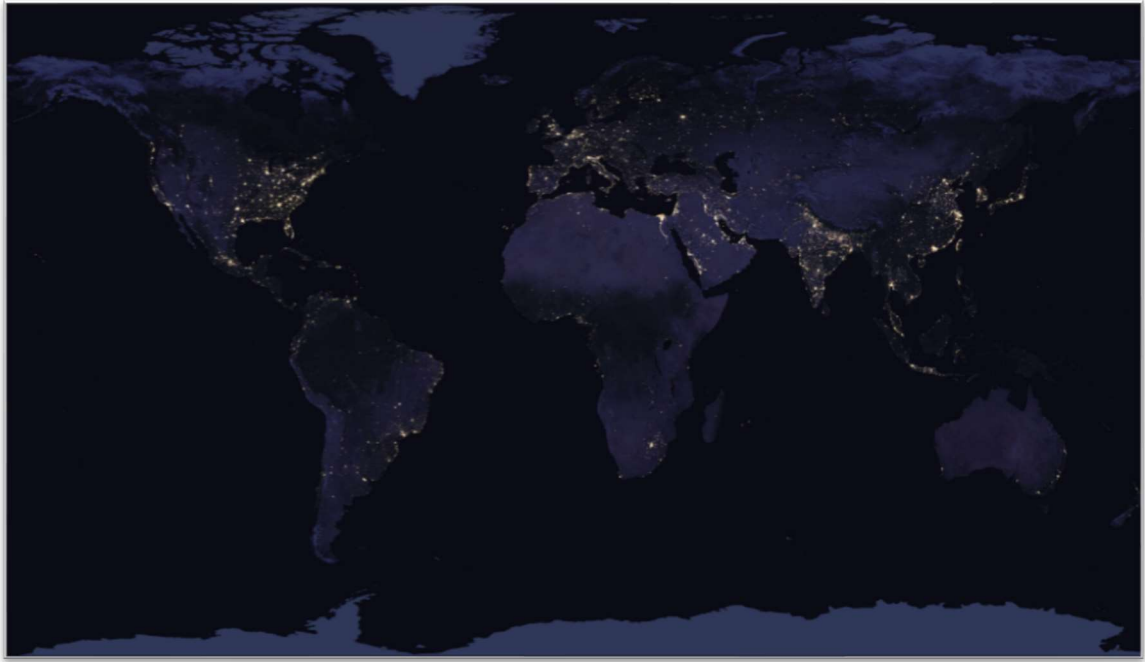


Figura 6 - Imagem noturna da Terra 2016

Fonte: (National Aeronautics and Space Administration, 2017)

População total em milhões, 2019

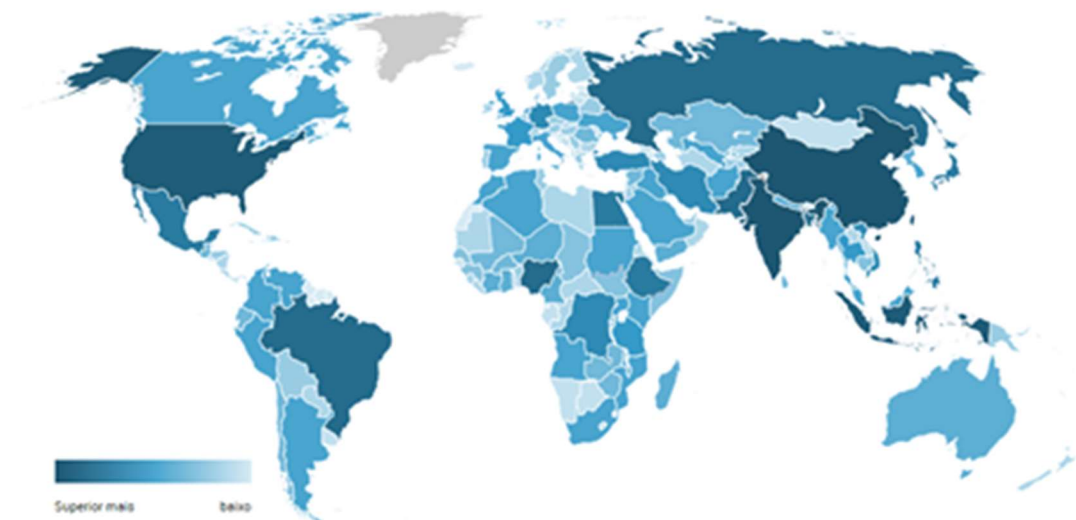


Figura 7 - Distribuição da população mundial em 2019

Extraído: United Nations Population Fund UNFPA (United Nations Population Fund, 2019).

O desfasamento entre as imagens resulta do facto de, ainda hoje, existir uma grande percentagem da população mundial sem acesso à energia elétrica apesar do considerável progresso registado nos últimos anos em alguns países, entre os quais se destacam a Índia, o Bangladesh e o Quênia (World Bank, 2019).

Ao observarmos o mapa da poluição luminosa, Figura 8, torna-se evidente a relação existente entre a densidade e intensidade de IP e o desenvolvimento social e urbano.

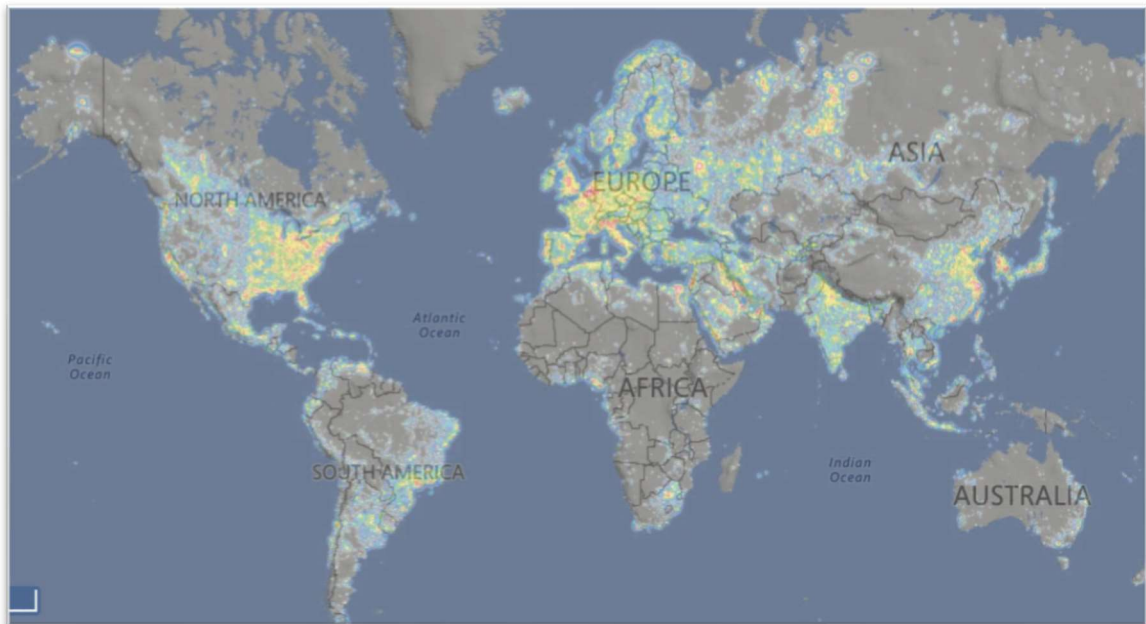


Figura 8 - Mapa da poluição luminosa

Extraído: <https://www.lightpollutionmap.info>

2.4. POLÍTICAS ENERGÉTICAS E AMBIENTAIS

As preocupações ambientais são uma realidade relativamente recente. Apesar da existência de relatos pontuais, nos finais do século XIX, em países como a Inglaterra e os EUA, somente, no ano de 1972 se realizou, em Estocolmo, na Suécia, a primeira conferência mundial sobre o tema Ambiente (Melo & Pimenta, 1993). Nesse evento, a comunidade científica alertou para os impactos que a degradação ambiental e a escassez de recursos têm no crescimento económico das sociedades. No ano seguinte, a Comunidade Europeia (CE) estabeleceu as primeiras leis comunitárias sobre ambiente. No entanto, devido aos períodos

de recessão económica (1975-1978, 1981-1983), o entusiasmo europeu para a implementação de políticas ambientais esmoreceu (Scheuer, 2005).

Por outro lado, a nível mundial, na década de 80, assistiu-se a um grande progresso, tanto tecnológico como económico, continuando o bem-estar do Homem a prevalecer sobre os danos que tal avanço pudesse causar na natureza. A inquietação que esse facto provocou, conduziu, em 1983, a Assembleia Geral das Nações Unidas a criar a *World Commission on Environment and Development* (WCED). Em 1987, no documento designado *Our Common Future*, essa comissão expôs, pela primeira vez, o conceito de desenvolvimento sustentável: “Por desenvolvimento sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas necessidades” (Brundtland, 1987).

Em 1992, na conferência do Rio, foram abordados temas relevantes como as alterações climáticas, a destruição da biodiversidade e a desertificação. No entanto, o sucesso da reunião foi abalado pelos diversos entraves colocados por países produtores de petróleo, nomeadamente, os EUA e os países da península arábica (Melo & Pimenta, 1993).

Anos mais tarde, na prossecução dos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto⁵, cuja preocupação central foram as alterações climáticas, a União Europeia (UE), através do Plano Europeu sobre Alterações Climáticas, adotado pelo Parlamento Europeu em dezembro de 2008, definiu um conjunto de metas ambientais que os Estados-Membros deveriam atingir até ao ano 2020. Designada por Estratégia 20/20/20, as metas contemplavam: a redução das emissões de gases de efeito de estufa em 20%, relativamente aos níveis de 1990; alcançar uma quota de 20% geração de energia primária através de fontes de energia renovável; reduzir em 20% o consumo energético recorrendo à eficiência energética.

⁵ O Protocolo de Quioto é um tratado internacional, assinado em 1997, no Japão, cujo objetivo é fazer com que os países desenvolvidos assumam o compromisso de reduzir a emissão de gases que agravam o efeito estufa, por forma a minimizar os impactos causados pelo aquecimento global. A primeira reunião que juntou cientistas e governantes para discutir o tema alterações climáticas realizou-se em 1988 na “*Toronto Conference on the Changing Atmosphere*” no Canadá.

Mais recentemente, em 2017, na 23.^a Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP 23), realizada em Bonn, foram assumidos pelo grupo de Estados participantes, no qual se inclui a UE, objetivos mais ambiciosos por forma a combater mais eficazmente as alterações climáticas. Entre outros, ao nível do setor elétrico, o compromisso da UE é aumentar até 2030 a eficiência energética em mais 12,5%, relativamente aos valores anteriormente definidos para o ano de 2020. Saliente-se que um quinto desta meta poderia ser alcançada se, a nível mundial, a totalidade da IP fosse convertida para LED (World Bank, 2019).

Atualmente, a redução do consumo energético, a emissão de gases com efeito de estufa e a dependência energética, são prioridades da UE. Na visão estratégica de longo prazo, apresentada pela Comissão Europeia, surgem os planos para a eficiência energética e o roteiro para uma economia hipocarbónica em 2050, prevendo uma redução das emissões entre os 80% e os 90% comparativamente aos níveis de 1990 (Parlamento Europeu, 2019).

Em Portugal, a adesão à Comunidade Europeia foi o momento decretório para o desenvolvimento e a evolução das políticas ambientais, dado que os Estados-Membros são obrigados à transposição das diretivas europeias para a respetiva legislação nacional.

Igualmente, em matéria de energia foi necessária a introdução das diretivas europeias relativas à eficiência energética e às energias renováveis para que Portugal desse início ao desenvolvimento de uma política energética alinhada com objetivos ambientais.

No âmbito da eficiência energética, a Diretiva Europeia n.º 2006/32/CE, de 5 de abril 2006 (Parlamento Europeu e do Conselho, 2006), relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, estabeleceu como objetivo geral a obtenção de economias de energia de 9% no nono ano da sua aplicação (2016), por comparação com o período compreendido entre o ano 2001 e o ano 2005, ficando os Estados-Membros obrigados a apresentarem à Comissão Europeia dos seus planos de ação relativos à eficiência energética. Essa obrigatoriedade conduziu à elaboração do primeiro Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) para o período 2008-2015, aprovado pela resolução do conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio.

Na primeira década de 2000, realizaram-se importantes investimentos que possibilitaram um franco crescimento do aproveitamento energético dos recursos renováveis endógenos, com ênfase no recurso eólico. Na década seguinte, em consequência da crise económica e no seguimento de novas orientações políticas em matéria de energia, tanto o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) como o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER)⁶, foram revistos numa lógica de sustentabilidade e de racionalidade económica. Em termos de eficiência energética, surgem novas metas: uma de aplicação geral, consistindo na redução do consumo de energia primária em 25%, e uma específica, para a Administração Pública, de redução de 30% do consumo de energia primária (Energia em Portugal, 2019).

Também nesse âmbito, o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública “ECO.AP”, lançado pelo XVIII Governo Constitucional através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 12 de janeiro, surgiu com o objetivo de permitir que os organismos e serviços do Estado alcancem um nível de eficiência energética de 30% até 2020, sem aumentar a despesa pública. Esta possibilidade foi concretizada através do desenvolvimento de um enquadramento legal para a celebração dos contratos de gestão de eficiência energética (ECO-AP, 2011).

Entretanto, a mais recente diretiva da UE em matéria de eficiência energética⁷ impõe aos Estados-Membros que as reabilitações em edifícios do estado respeitem os requisitos mínimos de desempenho energético da diretiva designada por *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) e estimula a aplicação de sistemas de gestão de energia e a aquisição de produtos, serviços e edifícios com elevada classificação energética, de acordo com as diretivas *Energy Labelling* e *Ecodesign*, as quais apoiam fortemente a transição para iluminação LED de qualidade na iluminação interior e exterior.

⁶ PNAEE e PANAER são instrumentos de planeamento energético que instituem o modo de alcançar os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

⁷ Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro – Diretiva de Eficiência Energética (EED) (UE, 2012).

Complementarmente, o regulamento da UE referente à Rotulagem Energética de lâmpadas e luminárias define as duas classes de energia, A + e A ++, que são, maioritariamente, preenchidas pelos LED.

Por último, os critérios do *Green Public Procurement* (GPP)⁸ para a IP e a Sinalização de Tráfego definem as especificações dos produtos e dos serviços de iluminação a considerar pelas entidades públicas dos Estados-Membros nas suas compras públicas, para garantia de um menor impacto ambiental.

Em Portugal, tais critérios são parte integrante da Estratégia Nacional para as Compras Públicas Ecológicas (ENCPE 2020), aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros nº 38/2016, de 29 de julho. O Despacho nº 2568/2017, de 28 de março, esclareceu as formas de implementação e coordenação técnica necessárias para a realização dos objetivos da ENCPE 2020. O objetivo primordial é o de constituir uma ferramenta adicional das políticas ambientais, contribuindo para promover a redução da poluição, a preservação dos recursos naturais e, conseqüentemente, o aumento da eficiência dos sistemas. Nesse sentido, têm vindo a ser desenvolvidos manuais contendo as especificações técnicas ambientais relevantes as quais devem ser aplicadas nas aquisições efetuadas mediante procedimentos pré-contratuais definidos no Código de Contratos Públicos (CCP) para o conjunto de produtos e serviços considerados prioritários, no âmbito do GPP (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017).

Apesar da IP integrar a lista dos produtos e dos serviços considerados prioritários, as especificações técnicas, até à presente data, ainda, não foram disponibilizadas.

Neste contexto, a aplicação de soluções eficientes nas redes de IP, nomeadamente, a iluminação LED de alta qualidade, representa um forte potencial de poupança energética, podendo contribuir de forma significativa para a concretização das metas nacionais e dos

⁸ Definido pela Comissão Europeia como sendo "um processo através do qual as autoridades públicas procuram obter bens, serviços e trabalhos com um impacto ambiental reduzido ao longo do seu ciclo de vida quando comparadas com bens, serviços e obras com a mesma função primária que, de outra forma, seriam adquiridos." (Comissão das Comunidades Europeias, 2008).

compromissos internacionais assumidos pelo país. Por outro lado, a Administração Pública passou a assumir um importante papel impulsionador de soluções energeticamente sustentáveis e fomentador das boas práticas da eficiência energética e da aplicação das políticas ambientais.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. AS DIFERENTES PERSPETIVAS DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Iluminação Pública, tal como hoje a conhecemos no cenário urbano, não surgiu repentinamente (Holden, 1992). A sua evolução tem sido impulsionada, principalmente, pela evolução das tecnologias inerentes ao seu funcionamento (Coordeiro, 2006).

Após o seu surgimento, prevaleceu como um símbolo de urbanidade, modernidade e segurança, sendo foco de atenção durante várias décadas de políticos, investigadores e público em geral. Contudo, por volta dos anos 50, do século XX, quando já era parte integrante da vida das cidades, a iluminação pública passou para a esfera técnica. “Assim, no que pode parecer um desenvolvimento paradoxal, como a noite se tornou cada vez mais brilhante, a luz que a ilumina tornou-se praticamente invisível.” (pag.1) (Meier, Pottharst, Krause, & Hasenöhrl, 2015).

No passado, o tratamento do tema da IP estava no essencial reduzido a aspetos funcionais, ou seja, na perspetiva de um serviço público básico que se traduzia em garantir visibilidade e segurança ao espaço público durante o período noturno. Contudo, essa visão exclusivamente funcional tem vindo a sofrer alteração, recolhendo atualmente o tema da IP

interesse de decisores políticos, de académicos e da população em geral (Meier, Pottharst, Krause, & Hasenöhrl, 2015).

Na perspetiva do desenvolvimento urbano, existem investigadores que entendem que a IP também deverá ter a função de conferir personalidade e carácter aos locais, por forma a atrair e a estimular a vivência desses espaços (Isenstadt, Petty, & Neumann, 2015) (Neto, 2009).

Atualmente, as cidades, sejam grandes ou pequenas, são cada vez mais entendidas como paisagens de luz, tendo vindo a transformar-se em espetáculos de movimento de luz, cor e som (Weibel, 2015).

A “The Society of Light and Lighting” considera que a IP potencia a vivência do espaço exterior, permitindo prolongar o seu uso em período noturno, contribuindo para uma maior segurança e proporcionando uma melhor experiência aos residentes e aos visitantes (The Society of Light and Lighting, 2016).

Estas potencialidades da IP, agora redescobertas, abrem novas perspetivas no contexto de renovação urbana, *placemaking* e *marketing* da cidade (Meier, Pottharst, Krause, & Hasenöhrl, 2015).

Por outro lado, a perceção de que iluminação artificial não é totalmente benigna tem também motivado a investigação e a discussão. Temas como a poluição luminosa, os efeitos adversos que a IP pode ter nos ecossistemas, na saúde e no bem-estar humano, na qualidade estética das cidades ou na visibilidade do céu noturno, são alguns dos assuntos que têm sido amplamente discutidos (Meier, Pottharst, Krause, & Hasenöhrl, 2015).

A par da evolução das sociedades e das tecnologias de iluminação, a luz artificial invade, cada vez mais, os refúgios escuros que são habitat de diversas espécies. O rápido crescimento global da iluminação artificial representa, assim, uma perturbação potencialmente significativa para os ciclos naturais de luz e escuridão podendo interromper a utilização de recursos e o fluxo de informações nos ecossistemas (Gaston, Bennie, Davies, & Hopkins, 2013).

Existe um vasto conjunto de estudos de caso, documentados, de implicações ecológicas da poluição luminosa sobre diversas espécies, nos quais são demonstradas evidências dos efeitos que a luz artificial tem nos seus processos de reprodução, nas suas funções

fisiológicas, na percepção do ciclo circadiano, lunar e sazonal, na deteção de recursos e de inimigos e na navegação. No entanto, a sua influência nos processos ao nível de população ou ecossistemas, como por exemplo, na mortalidade, na produtividade e na composição de espécies os seus efeitos são pouco conhecidos (Gaston, Bennie, Davies, & Hopkins, 2013).

Uma outra perspetiva que também tem despertado a atenção sobre estas infraestruturas é o potencial que apresentam para a redução de consumos energéticos, de emissões de carbono e dos encargos financeiros, levando vários investigadores a estudar o tema (Garcia, Angulo, Gonzalez, & Tavizón, 2014) (Jinag, Li, Guan, & Zhao, 2015) (Sudarmono, Deendarlianto, & Widyaparag, 2015) (Campisi, Gitto, & Morea, 2017) (Sędziwy, Basiura, & Wojnicki, 2018).

Esta nova abordagem apenas é possível devido aos grandes avanços tecnológicos que, curiosamente, ao nível da IP, tem ocorrido em intervalos regulares. A IP de funcionamento a gás foi introduzida no final do século XVIII, de seguida o recurso à eletricidade no final do século XIX, e, cerca de cem anos depois, surge a iluminação LED que veio introduzir um novo e promissor cenário (Schulte-Römer, 2015).

Na pesquisa efetuada foi ainda possível identificar a existência de estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV) das diferentes fontes de luz utilizadas na IP, de entre as quais se destacam a lâmpada HPS e o LED, tendo-se verificado que as conclusões são consensuais: é a fase operacional que mais contribui para os impactos ambientais, sendo o LED, devido ao seu baixo consumo energético, a tecnologia com menor impacto ambiental (Lukman & Krajnc, 2011).

As características da recente tecnologia LED, nomeadamente, quanto à qualidade e à intensidade de iluminação produzida, as quais são muito diferentes das fontes de luz convencionais, trouxeram novas soluções, mas também novos desafios, para quem “pensa” a iluminação, obrigando à introdução de alterações significativas a diversos níveis, particularmente, dos conceitos de iluminação, da legislação, das estratégias políticas e dos incentivos, e dos programas de financiamento (Meier, Pottharst, Krause, & Hasenöhr, 2015).

3.2. SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS DE TECNOLOGIA LED

Em todo o mundo estima-se a existência de cerca de 317 milhões de fontes de luz instaladas nas redes de IP e que, em 2027, esse valor passará para os 363 milhões. As fontes de luz instaladas são maioritariamente lâmpadas HDI, especificamente, as lâmpadas HPS, lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão (HPM - High Pressure Mercury) e lâmpadas de iodetos metálicos (MH - Metal Halide) (Research And Markets, 2018).

Com a evolução tecnológica do LED, iniciou-se um novo capítulo na história da IP. As luminárias convencionais instaladas estão a ser substituídas por luminárias de tecnologia LED, prevendo-se, para o período compreendido entre os anos de 2017 e 2027, que o investimento global nessa área atinja os 56,3 biliões de dólares (Research And Markets, 2018).

O The Climate Group tem vindo desde 2009 a apoiar a adoção da iluminação LED nas redes de IP em todo o mundo, tendo sido nesse âmbito que desenvolveu o Programa Lightsavers. O programa consistiu na implementação de projetos piloto em 12 cidades do mundo, onde se incluíram as cidades de Londres (Reino Unido), Nova York (EUA), Sydney (AUS) e Hong Kong (CHN) para avaliar diferentes luminárias LED quanto à economia de energia, à vida útil, aos níveis de iluminação e ao impacto na população (The Climate Group, 2012).

Entre 2009 e 2012 testaram 27 produtos de LED de diferentes marcas e modelos, num total de 15 instalações. Todos os testes seguiram o mesmo protocolo de monitorização, controlo e medição, de acordo com as diferentes características da rede, tipos de vias e de condições do meio ambiente envolvente (The Climate Group, 2012).

A avaliação dos resultados nos projetos piloto realizados permitiu ao The Climate Group concluir que os LEDs tinham atingido a devida maturidade para aprovar a sua aplicação em ambientes exteriores e que, em 2012, já existia no mercado uma ampla gama de luminárias LED que possibilitava economias de energia entre os 50% a 70% e com de vida útil estimada entre as 50.000 e as 100.000 horas (The Climate Group, 2015).

O mesmo organismo verificou, ainda, que mais de 70% das luminárias testadas alcançaram pelo menos 50% de economia e que a taxa de avarias, ocorridas entre as 4.000 a 6.000 horas

de funcionamento, foi de 1,8%, ou seja, muito menor do que a típica taxa de avarias de 10%, das lâmpadas HID (The Climate Group, 2012).

No entanto, alguns dos projetos não conseguiram as economias efetivas facto atribuído aos custos associados à necessidade de modificações da própria rede, nomeadamente, à necessidade de alteração dos espaçamentos entre colunas de IP existentes (The Climate Group, 2012).

Cinco dos projetos realizados contemplaram a auscultação de utentes do espaço público, permitindo concluir que a maioria dos peões e dos condutores consideraram que a visibilidade tinha melhorado (The Climate Group, 2012).

Os resultados obtidos incentivaram vários municípios norte americanos a adotar a solução. As cidades pioneiras foram Edmonton, Hamilton, Manitoba, New Brunswick Power, Los Angeles, Seattle e a Província da Nova Escócia (Lightsavers Canada, 2017). Em 2012, Seattle instalou 21.000 pontos de luz, de um total de 41.000, obtendo uma economia 1,2 milhões de dólares (USA Departement of Energy, 2015).

Los Angeles foi uma das primeiras cidades a fazer a troca na totalidade da rede. Em 2013 implementou o maior programa de substituição à escala global, procedendo à substituição das suas 140.000 luminárias, num investimento de 57 milhões de dólares que previa uma redução nos consumos anuais de 63%. No mesmo ano, Las Vegas alterou 42.000 luminárias na expectativa de economizar anualmente entre 35% a 65% (Lightsavers Canada, 2017).

O Canadian Urban Institute analisou os resultados alcançados nos projetos acima descritos, desde a data da sua implementação, tendo concluiu que a tecnologia LED cumpriu os objetivos esperados, diminuindo os consumos energéticos, no mínimo em 50%, e apresentou uma taxa de avarias inferiores de 1% (Lightsavers Canada, 2017).

Entre 2016 e 2017, o The Climate Group levou a efeito uma avaliação a mais de 1.000 projetos, realizados em cerca de 90 países, tendo inferido que a introdução da tecnologia LED na IP conduz a uma significativa redução dos consumos energéticos e introduz melhorias consideráveis na qualidade da luz (The Climate Group, 2019).

A Figura 9 mostra alguns dos maiores projetos de substituição de luminárias convencionais por tecnologia LED nas redes de IP, a nível mundial.

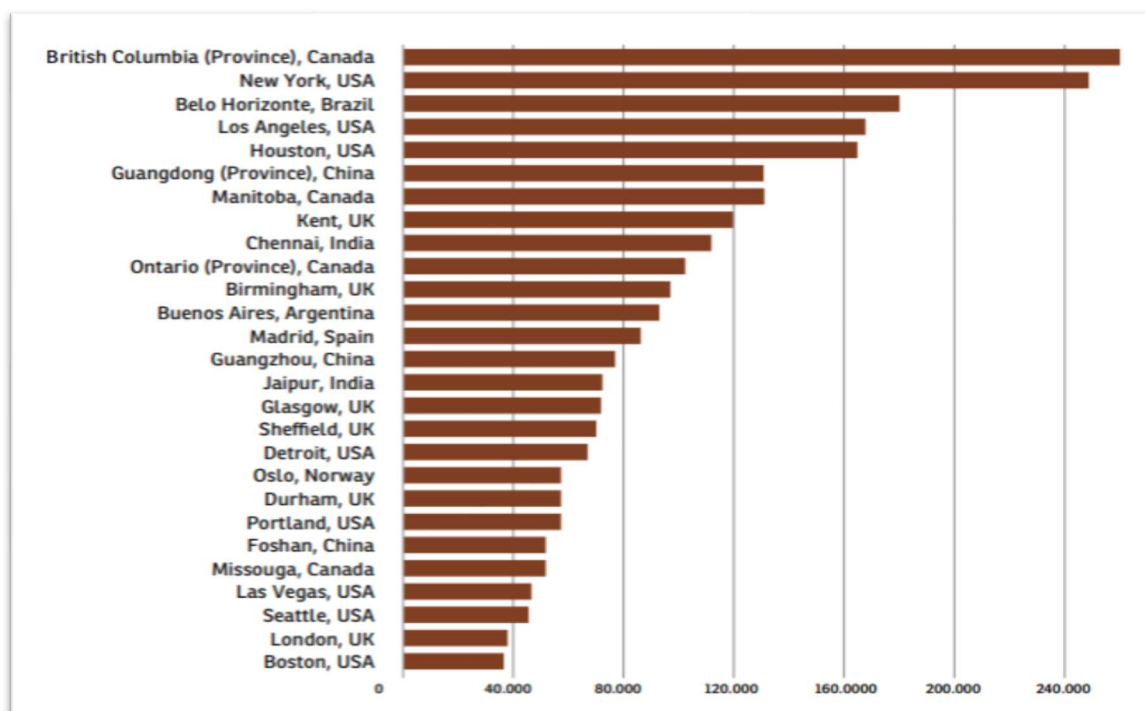


Figura 9 - Maiores projetos de substituição de luminárias convencionais por LED

Extraído: (The Climate Group, 2019)

Em Portugal, apesar de grande parte municípios já terem introduzido a solução nas suas redes, como resultado de pequenos projetos, em 2015, o LED representava, apenas, 1,3% da totalidade de luminárias instaladas (EDP Distribuição, 2016). Atualmente, já existem alguns municípios que procederam à substituição da totalidade das suas luminárias, por tecnologia LED, outros preparam-se para o fazer.

O Município de Valongo, é um dos exemplos, em 2017, trocou cerca de 16.000 luminárias (Câmara Municipal de Valongo, 2017). Também, Santo Tirso, em 2019, substituiu 16.500 luminárias, praticamente, todos os candeeiros do concelho (Câmara Municipal de Santo Tirso, 2019), no entanto não foram encontrados resultados publicados desses projetos.

A revisão da literatura mostra que, para além da economia gerada, a adoção da tecnologia LED nas redes de IP, não, somente, contribuiu para a mitigação das alterações climáticas, como, também, permite aos municípios posicionar-se como exemplo de boas práticas na redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e na governação sustentável. (Garcia, Angulo, Gonzalez, & Tavizón, 2014).

Apesar de todas as vantagens identificadas e comprovadas por estudos técnicos e científicos da tecnologia LED na IP, o facto é que a substituição das luminárias convencionais por LED tem acontecido de forma lenta, o que demonstra a necessidade de estudar e determinar os constrangimentos e as barreiras que possam estar na origem dessa demora.

Nesse sentido, após o sucesso do LightSavers, o The Climate Group lançou um outro programa, designado por Global LED Consultation, visando a identificação e a discussão dos fatores que se opõem à adoção do LED na globalidade das redes de IP (The Climate Group, 2015). Entre outros, constataram a existência dos seguintes obstáculos:

- A necessidade de desenvolver modelos de negócio à medida;
- No âmbito dos contratos de concessão, quando os ativos são propriedade dos concessionários, a falta de concertação entre as partes interessadas;
- A falta de consenso entre a opinião pública;
- A dificuldade em definir os riscos do projeto;
- A escassez de soluções financeiras disponíveis;
- A ausência de inquéritos técnicos adaptados às tendências de mercado.

4. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DE DADOS

4.1. METODOLOGIA

A técnica de investigação que suportou o trabalho empírico foi o "Estudo de Caso". O objeto de estudo foi a iluminação pública no concelho de Vila do Conde, em Portugal.

O “Estudo de Caso” é o estudo intensivo de um tema com a finalidade da explicação detalhada de situações reais complexas, possibilitando, assim, esclarecer as dúvidas sobre o assunto e orientar as tomadas de decisão. Esta estratégia de investigação implica a realização de diferentes etapas, nomeadamente, de recolha, análise e interpretação da informação (Yin, 2005).

Com o propósito de atender aos objetivos da investigação desenvolveu-se pesquisa bibliográfica, realizando-se a respetiva revisão em diversos documentos, nomeadamente, livros técnicos, teses, dissertações, artigos científicos, artigos jornalísticos, relatórios técnicos, informação disponibilizada online (internet) e outras publicações relacionadas com a temática.

Para a concretização do “Estudo de Caso” procedeu-se à recolha dos dados relativos à rede de iluminação pública existente, particularmente: tipologia das fontes de luz instaladas, quantidade, potências, características das luminárias, localização e taxa de avarias. Além dessa informação, foi necessário proceder à recolha de dados técnicos e comerciais relativos aos diferentes tipos de luminárias, especificamente, vida útil dos componentes e preços. Os dados relativos à rede instalada foram cedidos pela Câmara Municipal de Vila do Conde e pela EDP Distribuição, S.A.

Os dados técnicos e comerciais dos equipamentos foram fornecidos pelos fabricantes e, em alguns casos, ajustados aos valores de referência da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG)⁹.

Para um conhecimento mais aprofundado do cenário de estudo foi-se perquirir o Plano Diretor Municipal (PDM)¹⁰ e o Plano Diretor de Iluminação Pública Municipal (PDIPM)¹¹ do Concelho de Vila do Conde, informação facultada pela Câmara Municipal.

Procedeu-se à recolha dos dados relativos aos consumos energéticos do período compreendido entre os anos 1996 e 2017, no site da DGEG, bem como à informação populacional, referente ao ano de 2011, no site do Instituto Nacional de Estatística (INE).

Relativamente à legislação, pesquisou-se a que se aplica à IP e com maior relevância para o estudo, nomeadamente: EN 13201-1 (classes de iluminação das vias); EN 13201-2 (requisitos de desempenho); EN 13201-3 (cálculo de desempenho); CIE 191:2010 (sistema recomendado para fotometria mesópica com base no desempenho visual); CIE 115:2010 (iluminação viária e pedonal); CIE 154:2003 (manutenção dos sistemas de IP); Regulamento CE 245/2009 e alterações introduzidas pelo Regulamento CE 347/2010 (requisitos de conceção ecológica das lâmpadas fluorescentes sem balastro integrado, das lâmpadas de descarga de alta intensidade e dos balastos e luminárias que podem funcionar com essas lâmpadas).

Após a recolha, o tratamento e a análise dos dados, calculou-se a potência instalada no cenário com implementação do projeto, selecionando-se as luminárias LED de substituição

⁹ Autoridade nacional na área da energia e dos recursos geológicos, licenciamento e relações internacionais, pesquisa, prospeção e exploração de hidrocarbonetos (Decreto Lei 69/2018 de 27 agosto 2018).

¹⁰ Trata-se de um documento normativo que define as regras de urbanização do território Municipal.

¹¹ Trata-se de um documento que possibilita aos municípios definirem estratégias para o desenvolvimento sustentável das redes de IP existentes na sua área territorial. É um documento de carácter político onde constam as normas, entendidas por necessárias, pela respetiva Câmara Municipal, para a caracterização da iluminação nos diferentes espaços públicos, com vista à obtenção de uma rede de iluminação mais coerente no que respeita às características técnicas, sociais e arquiteturais do meio onde se insere.

das luminárias existentes, de acordo com a sua potência, o seu fluxo luminoso e as suas características fotométricas.

Posteriormente, com base nos dados disponíveis procedeu-se ao cálculo dos custos de manutenção, dos consumos energéticos e do custo da energia, para cada uma das situações, cenário de referência e cenário com implementação do projeto.

Seguidamente, calculou-se o valor do investimento necessário para a implementação do projeto, isto é, a substituição das luminárias convencionais por luminárias LED. A avaliação dos impactos económico e ambiental foi desenvolvida seguindo a seguinte metodologia:

a) Avaliação do impacto económico do projeto

Para a avaliação do impacto económico a metodologia de avaliação utilizada foi o Método dos *Cash Flows* Descontados (DCF -*Discounted Cash Flow*).

O DCF é um método de análise económico-financeira que permite avaliar um projeto, uma empresa ou um ativo, com base na sua capacidade de gerar fluxos de caixa livre (*free cash flows*). Apesar da sua aplicação remontar a tempos antigos, desde que surgiu o empréstimo de dinheiro a juros, a sua denominação surgiu pela primeira vez formalizada em 1930, no livro “*The Theory of Interest*”, da autoria do economista norte-americano, Irving Fisher. Atualmente, é dos modelos de avaliação mais utilizado nos negócios e considerado como um bom modelo por diversos autores.

- Cálculo dos *Cash Flows* Libertos

A análise do DCF permite encontrar o valor intrínseco do projeto ou do negócio em duas perspetivas: na do projeto ou do negócio e na do acionista. Dado o objetivo do estudo que passa pela avaliação da viabilidade económica do projeto independentemente da natureza da

organização que o promove e da estrutura de capital¹² que suporta o seu financiamento, considera-se como sendo mais adequado proceder à avaliação na perspetiva do acionista ou do investidor. Nesse ponto de vista são descontados os *cash flows* disponíveis para uma categoria de financiadores (acionistas) e que corresponde ao *cash flow* disponível depois de cumpridos os compromissos para com os credores (encargos financeiros) e para com o Estado (impostos), depois de liquidadas as despesas de investimento e considerando o efeito líquido das movimentações de dívida (acréscimos de dívida deduzidos do reembolso de empréstimos). O *cash flow* resultante designa-se por *Free Cash Flow to Equity* (FCFE) e obtém-se utilizando a seguinte formula:

$$FCFE = Resultados Líquidos + Amortizações - Inv. Ativos Fixos - Inv. Fundo de Maneio + \Delta Dívida . \quad (1)$$

Como o objetivo do estudo passa por avaliar exclusivamente o impacto da substituição das luminárias, a expressão do *cash flow* do projeto vem substancialmente simplificada. Assim, foram consideradas como rubricas do *cash flow* as poupanças associadas ao consumo energético e as poupanças associadas à manutenção da infraestrutura. Objetivamente, o valor económico gerado pelo investimento corresponde àquelas poupanças, medidas face ao cenário de referência, isto é, ao cenário das luminárias convencionais (sem a realização do investimento). Desta forma, a expressão do FCFE usada é a seguinte:

$$FCFE = Resultado Operacional - Investimento. \quad (2)$$

Sendo que:

$$FCFE = Poupanças na Energia + Poupanças na Manutenção - Investimento. \quad (3)$$

¹² A “Estrutura de Capital” consiste na relação entre os capitais próprios e os capitais alheios no financiamento de uma empresa ou de um projeto. Note-se que a avaliação na perspetiva do projeto ou da empresa somente tem sentido quando se considera a dívida (capitais alheios) como uma das fontes de financiamento, a par dos capitais próprios.

- Cálculo do custo dos capitais – Taxa de desconto do *free cash flows*

Na metodologia DFC, os *cash flows* libertados pelo projeto devem ser descontados a uma taxa que reflita o custo de oportunidade do capital investido no projeto. Como a perspectiva que adotamos na avaliação económica é a do acionista/investidor, essa taxa deve corresponder ao retorno esperado pelos acionistas/investidores em aplicações financeiras de risco equivalente ao do projeto.

No cálculo da remuneração dos capitais próprios (rentabilidade esperada), seguimos o modelo mais utilizado entre os profissionais da área financeira, o CAPM (*Capital Asset Pricing Model*¹³) que se traduz pela seguinte expressão (Fama & French, 2004):

$$r_e = r_f + (r_m - r_f) \times \beta_e. \quad (4)$$

em que:

r_e – rentabilidade esperada do ativo/investimento

r_f – taxa sem risco

r_m – rentabilidade esperada no mercado de capitais

$(r_m - r_f)$ – prémio de risco associado ao mercado de capitais

β_e – Beta do ativo/investimento

No modelo CAPM, a remuneração dos capitais comporta uma componente destinada a remunerar a passagem do tempo (decorrente da desvalorização monetária) e outra destinada a remunerar o risco assumido pelo investidor (Brealey & Stewart, 2016).

A primeira componente define-se pela comparação com a rentabilidade que um ativo sem risco oferece; uma vez que essa oportunidade de investimento (ativo sem risco) é teórica, procura-se uma *proxy* desse ativo, optando-se pela oportunidade de investimento que apresente menor risco na economia. O mais comum é utilizar-se a taxa de juro associada às Obrigações do Estado (OT – Obrigações do Tesouro) por se considerar que este é o agente com menos risco na economia. Esta foi a opção tomada no presente estudo, tendo-se usado

¹³ Modelo de Avaliação de Ativos Financeiros. Modelo desenvolvido por Jack Treynor (1961, 1962), William Sharpe (1964), John Lintner (1965) e Jan Mossin (1966), cujo desenvolvimento partiu do conceito de “diversificação” e da Teoria do Portfólio desenvolvida por Harry Markowitz anos antes (1952, 1959).

a taxa de juro das OT's do Estado Português a 10 anos. Assim, a taxa r_f na expressão do modelo CAPM assume o valor de 1,73% (*Portugal Government Bond 10Y em 02/01/2019*)¹⁴.

A componente da remuneração dependente do risco é obtida a partir do parâmetro Beta (β). O Beta é o parâmetro que se aplica sobre o prémio de risco ($r_m - r_f$) – retorno adicional do mercado de capitais face ao título sem risco – que indica a volatilidade que os retornos originados pelo ativo (taxas de rentabilidade) têm face aos apresentados pelo mercado. O Beta dos capitais próprios é um índice do risco sistemático (mantém-se após a diversificação do investimento) de um ativo num portfólio corretamente diversificado (Fama & French, 2004).

O indicador Beta utilizado corresponde ao Beta médio de empresas comparáveis ao projeto, isto é, empresas com a sua atividade num setor o mais próximo possível da qual o projeto se desenvolve (fornecimento de serviços de iluminação pública). Na ausência de um setor de atividade com empresas cotadas em bolsa especificamente na área da iluminação pública, dos setores listados na Europa, optamos pelo setor mais próximo *Utility General*¹⁵. Sendo uma medida de risco global, o Beta aferido no mercado reflete o risco operacional do setor de atividade, mas também o risco financeiro associado à estrutura de capital (dívida) das empresas que compõem o setor. Por essa razão, este Beta, designado de Beta alavancado (*Levered Beta*), porque reflete o efeito de alavanca financeira que a dívida tem no financiamento, deve ser sujeito a correções que suprimam quer o efeito direto da alavanca financeira quer o efeito fiscal que está associado à dívida¹⁶ (Damodaran, 2014).

¹⁴ Fonte: agência de informação financeira Bloomberg. A data foi escolhida de forma a mantermos a consistência entre todos os dados de natureza económico-financeira usados no estudo.

¹⁵ O Beta é calculado pela Agência de Informação Bloomberg para os mercados Europeus e divulgado pelo autor Aswath Damodaran na sua página Internet: http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/home.htm (Damodaran, 2019).

¹⁶ A correção do efeito fiscal (imposto sobre lucros) é necessária uma vez que o Beta é calculado num contexto de fiscalidade (mercados de capitais europeus) diferente da fiscalidade a que o projeto está sujeito

Assim, começamos por proceder à “desalavancagem” do Beta de mercado em função do grau de alavancagem e das taxas de imposto que as empresas do sector selecionado enfrentam, calculando o Unlevered Beta (β_u) de acordo com a seguinte expressão (Brealey & Stewart, 2016):

$$\beta_u = \beta_e / \left(1 + \frac{D}{E} \times (1-T_r)\right). \quad (5)$$

D/E – Rácio de endividamento médio das empresas componentes do setor de atividade (sendo D o valor de mercado da dívida e E o valor de mercado dos capitais próprios)

T_r – taxa de imposto sobre lucros média incidente sobre as empresas que compõem o setor de atividade

No caso em estudo vem¹⁷:

$$\beta_e = 0,73 \text{ (Utility General)}$$

$$D/E = 98,78\%$$

$$T_r = 22,27\%$$

$$\beta_u = 0,73 / (1+98,78\% \times (1-22,77\%)) = 0,41$$

Depois de expurgarmos o risco financeiro do Beta calculado no mercado (β_u - *Unlevered Beta*), voltaríamos a alavancar o Beta, usando agora o grau de alavancagem associado à estrutura de capital do projeto (D/E) e o feito fiscal decorrente da taxa de imposto sobre lucros que incide sobre o projeto (β_l - *Levered Beta*), usando a seguinte expressão (Brealey & Stewart, 2016):

$$\beta_l = \beta_u \times \left(1 + \frac{D}{E} \times (1-T_r)\right). \quad (6)$$

¹⁷ Fonte: http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/home.htm (Damodaran, 2019).

Contudo, porque o nosso objetivo é avaliar o projeto sem considerar a presença de dívida ($D/E = 0\%$), então, o Beta a considerar no modelo CAPM, deve corresponder ao Unlevered Beta, isto é, ao Beta que reflete, apenas, o risco operacional do negócio:

$$\beta_l = \beta_u = 0,41$$

No apuramento do prémio de risco de mercado ($r_m - r_f$), de entre as possíveis abordagens de análise, evidenciam-se duas: análise de séries históricas dos prémios de risco e prémios de risco inerentes à capitalização bolsista de títulos cotados.

- i) A análise de séries históricas dos prémios de risco: atualmente, existem vários estudos de mercado efetuados sobre séries históricas de longo prazo com referência ao mercado norte-americano, dado que é o mercado com a série histórica mais longa. Apesar de diferentes autores concordarem quanto à relevância deste tipo de análise, o mesmo já não se verifica quanto à fórmula de apuramento, nomeadamente, quanto à utilização de média geométrica ou aritmética ¹⁸.
- ii) Prémios de risco inerentes à capitalização bolsista de títulos cotados: assumindo a hipótese de mercados eficientes, isto é, nos quais o preço dos títulos é capaz de incorporar toda a informação disponível, bem como um conjunto simples de parâmetros como dividendos esperados ou *payout ratio* (rácio de distribuição de

¹⁸ Grande parte desses estudos apontam para prémios de risco de mercado em torno dos 5%-6%.

Autor	Metodologia	Prémio de Risco
(Copeland, Koller, & Murrin, 2000)	Média aritmética ao longo do período 1926-1998	5,75%
(Damodaran, Corporate Finance, 2001)	Média aritmética ao longo do período 1928-2007	5,01%
(Ross, Westerfield, Jaffe, Myers, & Allen, 2012)	Média aritmética ao longo do período 1926-1998	5,75%

dividendos), é possível determinar o prémio de risco de mercado implícito em cada momento nas capitalizações bolsistas dos títulos cotados ¹⁹.

Para calcular o prémio de risco do mercado apoiamo-nos na informação publicada *online* por Aswath Damodaran, professor de ensino de Finanças Empresariais e Avaliação de Ativos, na *Stern School of Business*, da Universidade de Nova York, e que segue a abordagem da análise de séries históricas.

Prémio de risco de mercado para os USA (janeiro 2019) (Damodaran, 2019):

$$r_m - r_f = 5,96\%$$

Como o prémio de risco é calculado para um mercado de capitais diferente do país onde o projeto tem lugar, devemos ajustar o prémio de risco dos USA pelo risco do país (*Country Risk*), somando-lhe o risco de Portugal, medido em relação ao mercado USA (Damodaran, 2014).

Recorrendo, novamente, a (Damodaran, 2019)²⁰, o risco do país para Portugal, em janeiro de 2019, era de 2,48%²¹.

Da soma resulta o prémio de risco do mercado português:

$$(r_m - r_f) + \text{Country Risk (PT)} = 5,96\% + 2,48\% = 8,44\%$$

¹⁹ A casa de investimento UBS produziu um estudo para a Europa, excluindo o Reino Unido, para o período de 1991 a 2007, tendo chegado a um valor médio para o prémio de risco implícito na cotação dos títulos de 4,5% (UBS Investment Research, 2007).

²⁰ O risco país é calculado pelo autor com base nas cotações de *Sovereign CDS – Credit Default Swap*.

²¹ Deve referir-se que o prémio de risco do país (Portugal) diminuiu consideravelmente desde janeiro de 2019, registando em setembro de 2019 valores de -1,46%, significando que a taxa de juro a que o Estado português se endivida é inferior à taxa de juro da dívida pública dos USA (countryeconomy, 2019). Contudo, quer por uma questão de consistência na base de dados que estamos a usar quer porque a atual tendência das taxas de juro está longe de ser representativa da Tendência de mais longo prazo, entendemos assentar o nosso cálculo nos dados fornecidos por (Damodaran, 2019), reportados a janeiro 2019.

Finalmente, aplicando no modelo CAPM (fórmula (4)) os valores de r_f , β_e e (r_m-r_f) calculados, anteriormente, obtém-se o custo de oportunidade do capital para o projeto que corresponderá à taxa de desconto dos *cash flows* livres no modelo DCF:

$$r_e = 1,73\% + 8,44\% \times 0,41 = 5,19\%$$

- Cálculo dos Indicadores de Criação de Valor e de Rentabilidade do Projeto

- i) Valor Atual Líquido -VAL

Na metodologia DCF, o valor criado pelo projeto, designado por Valor Atual Líquido (VAL), corresponde ao somatório dos *cash flows* livres descontados somado de um valor terminal, ou seja, existem duas parcelas (Brealey & Stewart, 2016):

- A parcela respeitante ao período explícito de projeção dos *cash flows* livres;

- A parcela respeitante ao valor terminal (TV - Terminal Value) que poderá corresponder ou ao valor residual dos ativos, na hipótese de encerramento do projeto no fim do período explícito de projeção, ou ao valor do projeto em perpetuidade, na hipótese de continuidade do projeto/empresa após o período explícito.

No caso de estudo, dado que o objetivo é comparar duas soluções durante um determinado período, foi desprezada a parcela respeitante ao valor terminal.

Assim, o VAL calculou-se utilizando a seguinte fórmula:

$$VAL = \sum_{t=0}^n \frac{FCF_{Et}}{(1 + r_e)^t} \quad (7)$$

- ii) Taxa Interna de Rentabilidade - TIR

A TIR é a taxa de desconto que anula o valor atual líquido, podendo ser entendida como uma taxa de remuneração mínima exigida pelos acionistas (no caso da TIR Acionistas) ou pela totalidade dos investidores no caso projeto/empresa, incluindo os financiadores por dívida (no caso da TIR Projeto) (Brealey & Stewart, 2016).

No estudo calculamos a TIR através da resolução da seguinte equação.

$$\sum_{t=0}^n \frac{FCFE_t}{(1 + TIR(\text{acionista}))^t} = 0. \quad (8)$$

iii) *Payback Period*

O indicador *Payback Period* corresponde ao período de tempo necessário para que o projeto permita a recuperação dos capitais nele investidos (Brealey & Stewart, 2016).

$$\text{Payback Period} = T, \text{ quando } \sum_{t=0}^T \frac{FCFE_t}{(1 + r_e)^t} = I_0. \quad (9)$$

- Avaliação do Impacto Ambiental do projeto

Na avaliação do impacto ambiental utilizou-se a seguinte metodologia:

- Cálculo da Poupança de Energia primária no cenário: com a implementação do projeto através da fórmula:

$$\text{Poupança Energia primária} = \quad (10)$$

$$(\text{Consumos energéticos da solução existente} - \text{Consumos energéticos da solução LED}) \times k1..$$

em que:

k1: a constante de conversão kWh/tep - 0,000215 (Despacho n.º 17313/2008 e Despacho n.º 15793-D/2013)

²² Io corresponde ao valor atual de todas as despesas de investimento.

- Cálculo das Emissões de CO₂ evitadas no cenário: com a implementação do projeto através da fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{Emissões Evitadas} && (11) \\ & = (\text{Consumos energéticos da solução existente} - \text{Consumos energéticos da solução LED}) \\ & \times k2. \end{aligned}$$

em que:

k2: a constante de conversão kWh/ton CO₂ – 0,00047 (Despacho n.º 17313/2008 e Despacho n.º 15793-D/2013)

- Atribuição de valor económico das Emissões de CO₂ evitadas com base no preço de mercado do CO₂ apurado no EU ETS (*European Union Emissions Trading System*).

4.2. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO DE REFERÊNCIA

Vila do Conde é um concelho localizado no Litoral Norte de Portugal Continental e integra a Área Metropolitana Porto (AMP). A sua área geográfica, com aproximada de 149 km², divide-se em 21 freguesias e tendo uma população residente de 79 740 habitantes (2011) (Instituto Nacional de Estatística, 2019).

O concelho é caracterizado pelo seu porto de mar, um moderno estaleiro de construção e reparação naval de embarcações de pesca, por possuir um dos principais núcleos piscatórios nacionais, pelo seu património arquitetónico e por dispor de uma vasta zona balnear.

Os seus 18km de praias impulsionaram uma maior urbanidade das freguesias costeiras em contraste com a ruralidade das freguesias mais interiores que, na sua maioria, são pequenas aldeias. A média do concelho apresenta uma densidade populacional com cerca de 533 hab./km², com os mais recentes indicadores sociodemográficos disponíveis referindo que 36% reside na cidade onde esse valor sobe para 4.211,2 hab./km².

Ao nível da rede elétrica, no território existem 2 subestações, 47 km de rede de alta tensão (AT), 396 km de rede de média tensão (MT) e 496 postos de transformação (PT) donde

deriva uma rede de baixa tensão (BT) com uma extensão com aproximadamente 803 km pela área geográfica do município e que alimenta cerca de 44.500²³ consumidores.

No mapa seguinte pode visualizar-se a rede de AT e MT, (a lilás) bem como a distribuição dos PT's (representados no mapa por círculos a cor lilás).

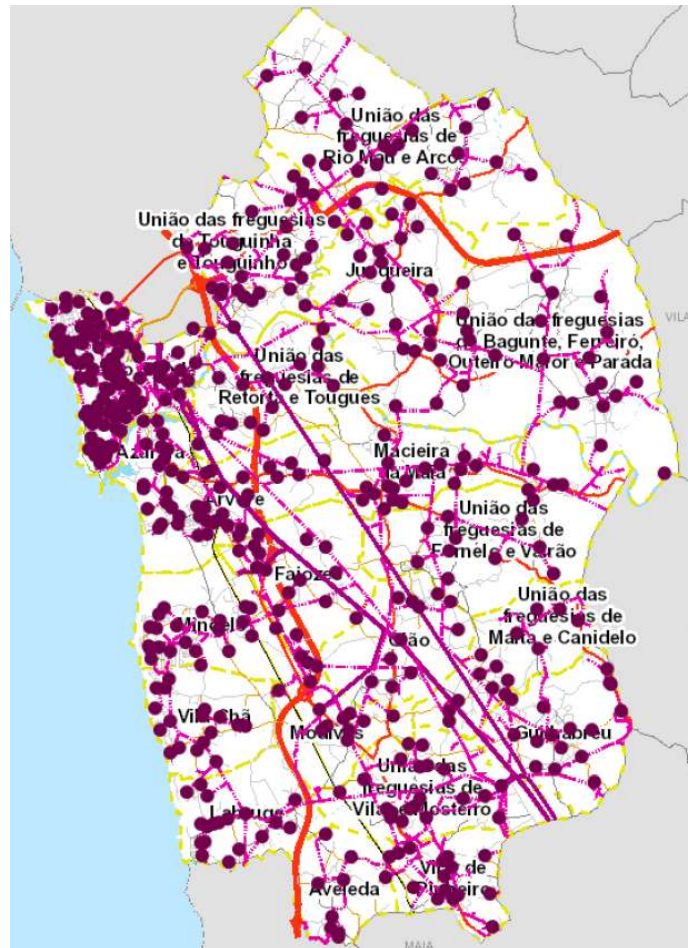


Figura 10 - Mapa da rede elétrica do concelho de Vila do Conde (AT e MT)

Extraído: Sistema de Informação Gestão (SIG) facultado pelo CMVC

²³ Dados facultados pelo Município de Vila do Conde.

Segundo os dados da DGEG, em 2017, no concelho a indústria foi responsável por 37% e a IP por 4% dos consumos elétricos. O gráfico abaixo apresenta a distribuição desses consumos por setor.

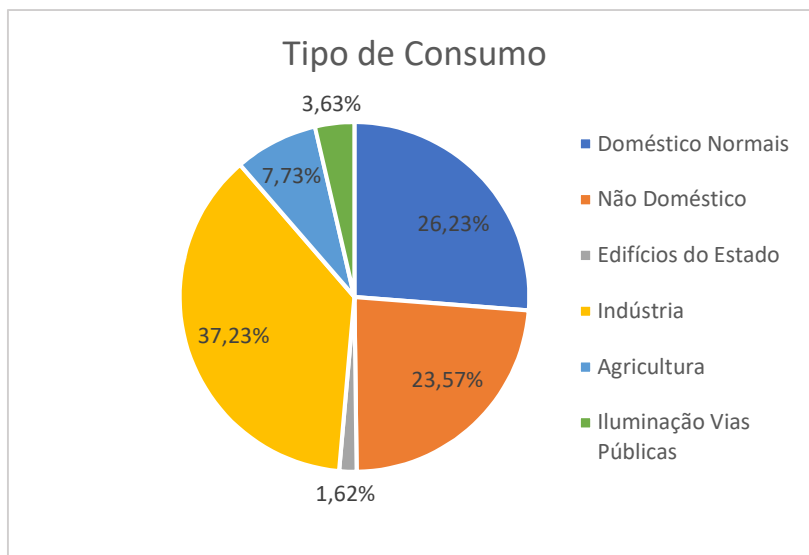


Figura 11 - Consumos energéticos por setor no Concelho de Vila do Conde (ano 2017)

Fonte: (DGEG, 2019)

A rede de IP do concelho, alimentada em BT, deriva de um total de 456 PT's e comporta, aproximadamente, 25.000 luminárias.

Tal como acontece na maioria dos concelhos de Portugal Continental, atualmente, a rede de IP integra a concessão municipal da distribuição de energia elétrica em BT, sendo a EDP Distribuição, S.A, a empresa concessionária em regime de exclusividade. Nessa qualidade, a empresa é responsável pelo estabelecimento, conservação e manutenção dessas redes.

No que respeita à gestão da rede de IP, nomeadamente, a definição dos níveis de iluminação, dos horários de funcionamento, do tipo e das quantidades de aparelhos em serviço, é competência dos municípios existindo restrições expressas nos contratos de concessão em vigor que limitam a escolha do tipo de candeeiros a instalar. Relativamente a esse ponto, o concessionário, apenas, assume a manutenção dos candeeiros que considere, à data da instalação, de “uso corrente”, ou seja, o tipo de candeeiro a aplicar no concelho é condicionado pela aceitação do concessionário.

Com o atual modelo de concessão, tal condicionamento repercute-se nas medidas de eficiência energética passíveis de aplicar à rede de IP, verificando-se assim um “desalinhamento de interesses”. No caso específico das luminárias, esse antagonismo resulta do facto de a entidade que suporta o custo do investimento na infraestrutura (concessionário) não ser a mesma que suporta o custo da sua utilização (os encargos com o consumo de energia) (município). Neste contexto, o concessionário implementa a solução mais conveniente para a sua gestão a qual pode não corresponder na perspetiva do município à solução mais eficiente ou mais adequada.

Para o Município de Vila do Conde os custos de energia associados à IP representam cerca de 60% ²⁴ dos custos totais com a energia elétrica. Para diminuir este valor nas despesas, o Município tem investido em ações de eficiência energética na sua rede de iluminação pública, balanceando entre a poupança energética e a qualidade de serviço prestada aos munícipes.

Em colaboração com o concessionário da rede, o Município tem vindo a concretizar algumas soluções de eficiência energética, nomeadamente:

- Instalação de relógios astronómicos²⁵ em todos os postos de transformação, permitindo um controlo rigoroso do comando de ativação/desativação da IP;
- Redução de potência em candeeiros que se encontravam sobredimensionados;
- Otimização das potências contratadas;
- Substituição de luminárias convencionais por luminárias de tecnologia LED.

O Gráfico da Figura 12 mostra a evolução dos consumos das instalações de IP, no concelho de Vila do Conde, entre os anos de 1996 e de 2017.

²⁴ Dado facultado pelo Município de Vila do Conde.

²⁵ O relógio astronómico é um equipamento utilizado para o controlo de ligação e corte da IP, cujo horário de funcionamento encontra-se ajustado à variação do ciclo solar ao longo do ano (EDP Distribuição, 2016).

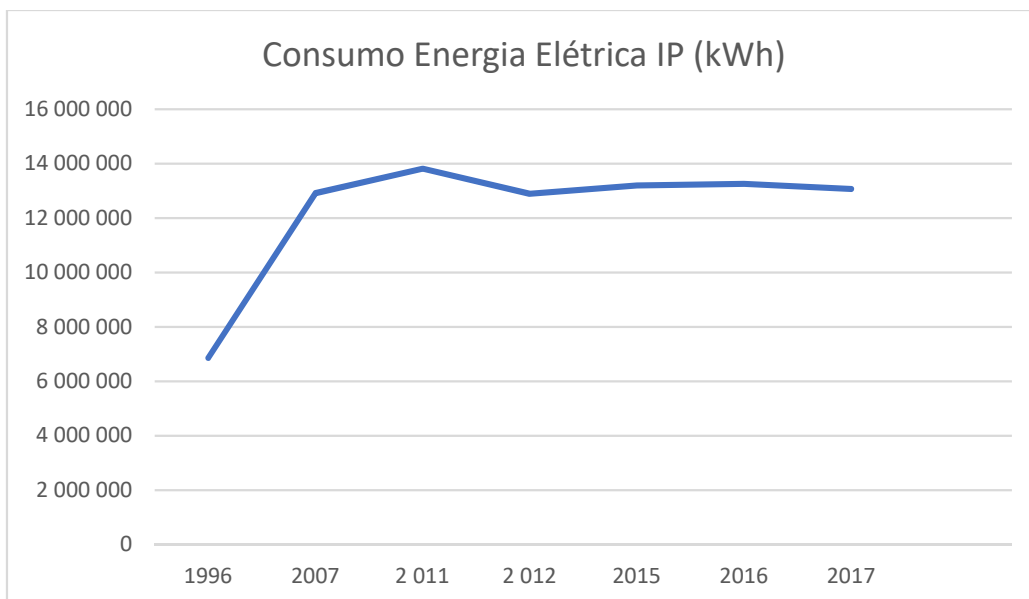


Figura 12 - Evolução dos consumos da IP em Vila do Conde (de 1996 a 2017)

Fonte: (DGEG, 2019).

Pela análise do gráfico da Figura 12 pode verificar-se que de 1996 até 2011, constata-se um aumento do consumo de energia, o qual está relacionado diretamente com as obras municipais levadas a efeito, entre outros, com o objetivo de dotar o concelho de mais iluminação pública acompanhando o aumento da população residente.

No ano de 2012, as medidas implementadas pelo Município contribuíram para uma pequena redução dos consumos energéticos. Desse ano até 2017, a energia elétrica consumida pela IP apresenta-se sem grandes variações, levando a considerar a necessidade de implementação de soluções de eficiência energética mais eficazes, ou seja, que se traduzam em poupanças mais expressivas.

4.2.2. HIERARQUIZAÇÃO DAS VIAS

A rede viária do concelho está ordenada e hierarquizada com base numa estratégia territorial de mobilidade constante no Plano Diretor Municipal em vigor e que se revela de extrema importância na tipificação das vias, quanto à sua classe de iluminação, para garantia dos requisitos fotométricos referidos na norma EN 13201²⁶.

No caso específico deste trabalho, o conhecimento da caracterização das vias do concelho permitiu-nos otimizar as potências das luminárias LED.

A norma EN 13201 define três tipos de Classe de Iluminação:

- Classe M, que se aplica a zonas de tráfego motorizado – estradas de alta e média velocidade;
- Classe C, que se aplica a zonas de conflito, onde as faixas de veículos se interseccionam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres e ciclistas;
- Classe P, para zonas de baixa velocidade e ocupadas maioritariamente por pedestres e ciclistas.

Em cada uma das classes existem subclasses que são definidas através da conjugação de diferentes índices característicos da via. Essa pormenorização permite a otimização dos parâmetros luminotécnicos para cada tipo de via.

Da observância dessa classificação, os requisitos fotométricos são estabelecidos em relação à zona a iluminar, nomeadamente:

- Função e geometria da via;
- Velocidade permitida;
- Volume e composição do tráfego.

²⁶ A norma EN 13021 define classe de iluminação como um conjunto de requisitos fotométricos que a iluminação das vias deve respeitar por forma a garantir as necessidades visuais dos utilizadores.

De acordo com as diferentes situações, os parâmetros podem ser determinados pelo critério da luminância²⁷ ou da iluminância²⁸:

- Zonas de alta e média velocidade são sempre definidos pelo critério da luminância;
- Zonas de conflito e zonas pedonais podem ser definidos quer pelo critério da luminância quer pelo da iluminância.

Na Tabela 1 são apresentados os requisitos fotométricos para as diferentes classes de iluminação.

Tabela 2 - Requisitos fotométricos das classes de iluminação

Classe M	Luminância (cd/m²)	Classe C	Iluminância (lux/m²)	Classe P	Iluminância (lux/m²)
-	-	C0	50	-	-
M1	2	C1	30	-	-
M2	1,5	C2	20	-	-
M3	1	C3	15	P1	15
M4	0,75	C4	10	P2	10
M5	0,5	C5	7,5	P3	7,5
M6	0,3			P4	5
-	-	-	-	P5	3
-	-	-	-	P6	2

Fonte: Norma EN 13201

Na análise efetuada, em consonância com o PDM e o PDIPM de Vila do Conde, identificaram-se as classes de iluminação para as vias sob gestão municipal, agrupando-as da seguinte forma:

- Estradas Nacionais e Estradas Municipais
- Arruamentos e Caminhos de acesso a habitações
- Ruas de Partilha e/ou Ciclovias

²⁷ A luminância é a medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido. Tem como unidade a candela/m² (cd/m²).

²⁸ A iluminância é o quociente entre o fluxo luminoso incidente num elemento da superfície e a área desse elemento. Tem como unidade o lux (lx).

O mapa da Figura 13 mostra as principais vias do concelho.

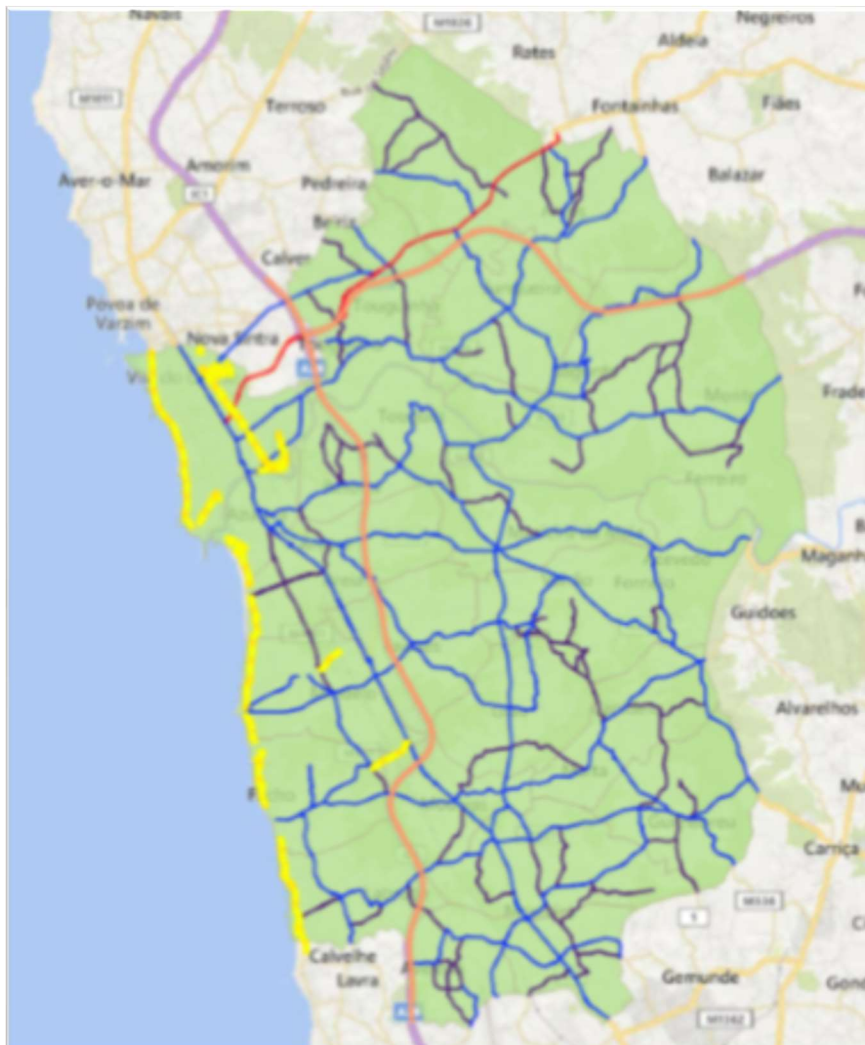


Figura 13 - Principal rede viária do concelho de Vila do Conde

Fonte: Mapa facultado pelo Município de Vila do Conde

- Estradas Nacionais e Municipais

As Estradas Nacionais e Municipais estabelecem a distribuição do tráfego rodoviário entre os principais setores do concelho, nomeadamente, entre a rede viária nacional e as vias de acesso local de maior densidade populacional.

A estas vias o PDIPM atribui a classificação M2 quando inseridas em meio urbano e M5 quando inseridas em meio rural.

Os critérios balizadores da classificação são explicados na Tabela 3.

Tabela 3 - Classe de iluminação das vias - Estrada Nacionais e Municipais

Parâmetro	Opções	Ponderação	Zonas Urbanas	Zonas Rurais
Velocidade	Muito alta	2	-1	1
	Alta	1		
	Moderada	-1		
	Baixa	-2		
Volume do tráfego	Alto	1	1	0
	Moderado	0		
	Baixo	-1		
Composição do trânsito	Misto, com grande percentagem de não motorizado	2	1	0
	Misto	1		
	Apenas motorizado	0		
Separador de Vias	Não	1	1	1
	Sim	0		
Densidade de interseções	Alta	1	1	0
	Moderada	0		
Veículos Estacionados	Sim	1	1	0
	Não	0		
Luminância Ambiente	Alta	1	0	-1
	Moderado	0		
	Baixa	-1		
Tarefas de navegação	Muito difíceis	2	0	0
	Difíceis	1		
	Fáceis	0		
Soma dos Valores Ponderados			4	1
Classe da Via			M2	M5

Fonte: Facultado pelo Município de Vila do Conde

- Arruamentos e Caminhos de Acesso a Habitação

Os Arruamentos e Caminhos de Acesso a Habitação são, especificamente, destinados à circulação pedonal e de bicicletas, comportam uma bainha de estacionamento e permitem trânsito automóvel para a realização de cargas/descargas.

O PDIPM classifica este tipo de via como M4, quando inseridas em meio urbano, e M5 quando inseridas em meio rural, com base nos critérios estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4 - Classe de iluminação das vias– arruamentos e caminhos

Parâmetro	Opções	Ponderação	Zonas Residenciais
Velocidade	Muito alta	2	-1
	Alta	1	
	Moderada	-1	
	Baixa	-2	
Volume do tráfego	Alto	1	-1
	Moderado	0	
	Baixo	-1	
Composição do trânsito	Misto, com grande percentagem de não motorizado	2	2
	Misto	1	
	Apenas motorizado	0	
Separador de Vias	Não	1	1
	Sim	0	
Densidade de interseções	Alta	1	0
	Moderada	0	
Veículos Estacionados	Sim	1	1
	Não	0	
Luminância Ambiente	Alta	1	0
	Moderado	0	
	Baixa	-1	
Tarefas de navegação	Muito difíceis	2	0
	Difíceis	1	
	Fáceis	0	
Soma dos Valores Ponderados			2
Classe da Via			M4

Fonte: Facultado pelo Município de Vila do Conde

- Ruas de partilha e/ou ciclovias

A função deste tipo de via é o trânsito pedonal, com corredor dedicado a modos alternativos de transporte, nomeadamente, a bicicleta. No entanto, garantem, em regime apropriado, a acessibilidade automóvel para residentes, comércio e outras eventuais atividades.

O PDIPM classificou este tipo de via como P2 quer se enquadrem em ambiente urbano ou rural, fundamentado nos critérios apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Classe de iluminação das vias– ruas de partilha e/ou ciclovia.

Parâmetro	Opções	Ponderação	Zonas residenciais
Velocidade	Baixa	1	1
	Muito baixa (andar a pé)	0	
Intensidade de Uso	Intenso	1	1
	Normal	0	
	Calma	-1	
Composição do trânsito	Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	2	2
	Pedestres e tráfego motorizado	1	
	Apenas Ciclistas	0	
Veículos Estacionados	Sim	1	0
	Não	0	
Luminância Ambiente	Alta	1	0
	Moderado	0	
	Baixa	-1	
Reconhecimento Facial	Necessário	Requerimentos	
	Não Necessário	Sem Requerimentos	X
Soma dos Valores Ponderados			4
Classe da Via			P2

Fonte: Facultado pelo Município de Vila do Conde.

4.2.3. A REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O cadastro da iluminação pública fornecido ao Município pela concessionária da rede foi o ponto de partida para a análise dos dados que caracterizam a rede de IP do concelho em estudo, mais especificamente, a georreferenciação dos pontos de luz e a sua caracterização.

Sendo o cadastro de IP um documento dinâmico, em constante atualização, a caracterização apresentada pode incorrer em alguns pequenos erros relativamente à situação realmente implementada. Para tentar minimizar eventuais erros, confrontaram-se os dados constantes do cadastro fornecido ao Município em 2016 com os dados do cadastro mais atualizado, disponibilizado em 2019.

Quanto ao tipo de fonte de luz, no concelho de Vila do Conde, verifica-se a mesma tendência do país e da UE, ou seja, as lâmpadas instaladas na rede de IP são maioritariamente de HPS.

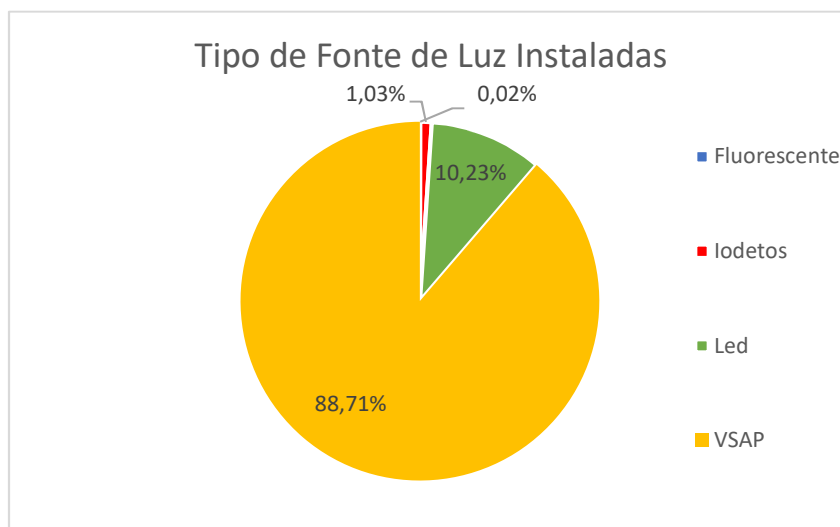


Figura 15 - Caracterização das fontes de luz do concelho de Vila do Conde

Fonte: Cadastro IP 2019 facultado pelo Município de Vila do Conde

Tal como pode observar-se no gráfico da Figura 15, do conjunto de luminárias existentes 88,71% são equipadas com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (HPS), 1,03% compreendem as luminárias com lâmpadas de iodetos metálicos (MH), 0,02%, fluorescentes e 10,23% LED que, desde 2016, têm vindo a ser instaladas, resultado de pequenos projetos de substituição que a Câmara Municipal e o concessionário da rede têm vindo a implementar.

As luminárias são agrupadas no cadastro por tipo de lâmpada e tipo de luminária, com as designações constantes da tabela seguinte.

Tabela 6 - Caracterização dos pontos de luz instalados

Tipo de Fonte Luminosa	Tipo de Luminária
<ul style="list-style-type: none"> • Iodetos Metálicos • Fluorescentes • Vapor de Sódio • LED 	<ul style="list-style-type: none"> • Rural aberta • Rural fechada • Urbana aberta • Urbana fechada • Tipo jardim • Decorativa • Especial • Estilizada

Fonte: Cadastro IP facultado pelo Município de Vila do Conde

No entanto, atendendo ao objetivo do estudo e com vista à uniformização dos critérios de análise relativamente à caracterização do tipo de luminária, considerou-se a divisão nos três seguintes grupos:

- Tipo Viária (rural aberta, rural fechada, urbana aberta, urbana fechada)
- Tipo Jardim
- Estilizada (estilizada, decorativa, especial)

Para uma melhor percepção, nas imagens seguintes identificam-se alguns exemplos de modelos de luminárias instaladas no concelho.



Figura 16 - Exemplos de luminárias do tipo “Estilizada” – Vila do Conde

Fonte: Própria 2019



Figura 17 - Exemplo de luminárias do tipo “Jardim” – Vila do Conde

Fonte: Própria 2019



Figura 18 Exemplo de luminárias tipo “Viária”

Fonte: Própria 2019

Na Tabela 7 apresentam-se as quantidades existentes em um cada dos grupos considerados e de acordo com a potência instalada.

Tabela 7 - Quantidades de luminárias instaladas

Tipo Luminária		Potências				Total
		70W	100W	150W	250W	
Viária	Rural	9105	1234	4697	678	15714
	Urbana	763	458	1702	1903	4826
Jardim		1599	246	860	21	2726
Estilizada		546	107	515	11	1179
Total		12013	2045	7774	2613	24445

Fonte: Cadastro IP facultado pelo Município de Vila do Conde

Da análise efetuada ao cadastro foi possível identificar a existência de um total de 25.274 pontos de iluminação, dos quais 829 são equipamentos de iluminação meramente decorativa (iluminação de elementos e/ou edificações arquitetónicas) pelo que não foram considerados no presente estudo. Assim, o estudo elaborado considerou a existência de 24.445 pontos de luz representando uma potência instalada de, aproximadamente, 3,3 MW.

Na Tabela 8 apresentam-se as potências instaladas no concelho, por tipo de luminária.

Tabela 8 - Potências instaladas na rede de IP

Tipo de Luminária	Potência instalada (W)				
	85W*	116W*	170W*	270W*	Total
Viária	838 780	196 272	1 087 830	696 870	2 705
Jardim	135 915	28 536	146 200	5 670	1 168
Estilizada	46 410	12 412	87 550	2 970	149 342
Total	1 021 105	237 220	1 321 580	705 510	3 285 415

* Potência instalada refere-se à potência da lâmpada mais respetivos acessórios.

Fonte: Cadastro IP 2019 facultado por (Câmara Municipal de Vila do Conde, 2019).

Para efeitos de cálculo de potência, dado que não existe registo da potência instalada para cerca de 2130 luminárias, estas foram indexadas às diferentes potências, de acordo com a proporção das luminárias caracterizadas.

4.2.4. PRESSUPOSTOS

Atendendo aos dados disponíveis, às especificidades dos locais integrados no cenário de referência e ao objetivo da análise, consideraram-se os seguintes pressupostos:

- Pressupostos Técnicos
 - i) As luminárias LED são de elevada eficiência energética.
 - ii) A duração de vida dos LEDs é de $L80B10@ Ta=25^{\circ}C >100.000h^{29}$;

²⁹ Para quantificar a vida útil dos módulos LED, a norma IEC 62722-2-1 define as seguintes métricas:

A vida útil média L_x especifica o tempo que demora até que o módulo LED forneça menos de x percento do seu fluxo luminoso. No caso, $L80 1000.000h$ significa que o fluxo luminoso do módulo diminui 20% após 100.000 horas de funcionamento. A vida nominal $L_x B_y$ indica qual a percentagem “y” dos módulos LED terão “x” lúmen após o período especificado. Assim, $L80B10, 100.000h$ deve ser lido como:

- Após 100.000 horas de funcionamento, 10% dos LEDs terão um fluxo luminoso igual ou inferior a 80% do original.

O tempo para a falha abrupta C_z descreve o tempo após o qual “z” percento dos LEDs falharam. Assim, $C10^{\circ} 100.000 t = 25^{\circ} C$ deve ser lido como:

- Após um período de 100.000 horas e uma temperatura ambiente de $25^{\circ} C$, 10% das luminárias LED instaladas com o mesmo módulo LED sofreram uma falha total.

- iii) A duração de vida do driver das luminárias LED é de 100.000h.
- iv) A duração de vida considerada para as luminárias LED é de 100.000h.
- v) A vida útil considerada para as luminárias existentes é de 25 anos.
- vi) A duração de vida admitida para as lâmpadas de HPS é de 20.000h.
- vii) Dado que a grande percentagem das luminárias existentes no concelho é equipada com lâmpadas de HPS, por uma questão de uniformidade de cálculos, assumiu-se que todas as luminárias existentes são equipadas com lâmpadas HPS.
- viii) Assumiu-se que a rede de IP existente cumpre o especificado na EN 13201³⁰.
- ix) Com base no PDIPM assumiram-se as temperaturas de cor correlacionadas dos LED a aplicar, tendo sido estipulado o seguinte critério:

Centro histórico: 2700°K,

Restantes zonas: 3000°K.

Esta consideração foi necessária para a escolha das luminárias LED envolvidas no estudo.

- x) Fixou-se um rácio de saída do fluxo luminoso ascendente de 0% para as luminárias do tipo viária.
- xi) Fixou-se um rácio de saída do fluxo luminoso ascendente inferior ou igual a 3% em luminárias de jardim e estilizadas.
- xii) Assumiu-se que o tempo anual de funcionamento da IP é de 4200h (aproximadamente, 11,5h diárias).
- xiii) Pela análise dos consumos das instalações de IP, foi possível concluir que cerca de 11% corresponde a consumos em horas de ponta, 26% em horas de cheia e 63% em horas de vazio, pelo que foram esses os valores assumidos no cálculo.

³⁰ Norma europeia que introduz e tipifica as classes de iluminação das vias públicas por forma a regulamentar e uniformizar os requisitos luminotécnicos da IP em território Europeu.

- Pressupostos Económico-Financeiros

- i) Período de tempo considerado no estudo económico-financeiro

Na elaboração do estudo de viabilidade económica o período considerado é igual à duração de vida útil considerada para as luminárias LED 100.000h, aproximadamente 24 anos.

- ii) Preço da Energia Elétrica

Os preços de energia elétrica admitidos para os diferentes períodos horários são os preços de mercado, ano 2019, cobrados ao Município de Vila do Conde, para as instalações de IP.

Tabela 9 - Preço da energia por período horário

Período Horário	Preço kWh (€)
Ponta	0,277
Cheia	0,136
Vazio	0,084

Fonte: Dados pelo Município de Vila do Conde

- iii) Evolução do preço da energia elétrica

Assumiu-se como referência o comportamento recente desse preço no conjunto dos Estados-Membro da UE (Donatello, et al., 2019).

A análise dos dados constantes do gráfico da Figura 19 mostra que na UE o aumento anual médio do preço do kW para instalações não domésticas, no período de 2008-2017, foi de 2%, pelo que, no nosso estudo consideramos esse valor.

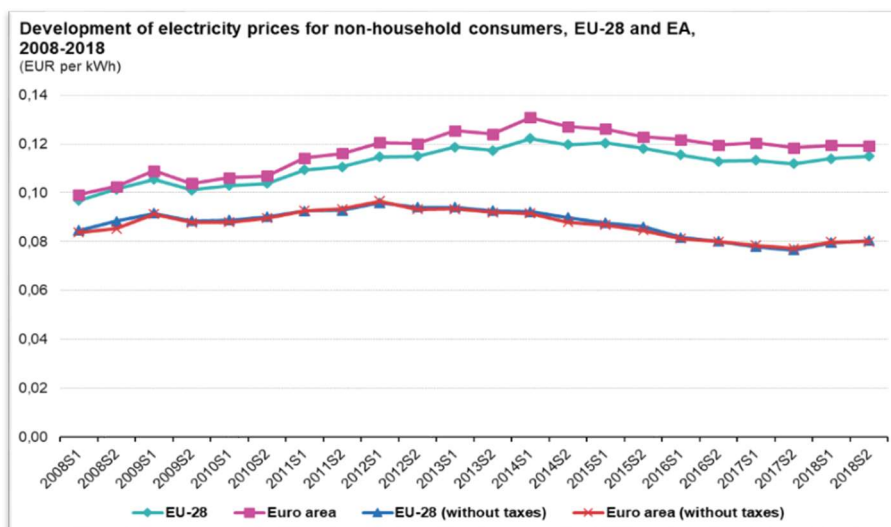


Figura 19 - Evolução dos preços da eletricidade consumidores não domésticos³¹

UE-28 e EA, 2008-2018E

Fonte: Eurostat (nrg_pc_205)

³¹ Instalações com consumos entre os 500-2000MWh/ano.

5. RESULTADOS

5.1. DESPESAS DE INVESTIMENTO

As despesas de investimento, mais especificamente os custos associados à aquisição e à instalação das luminárias LED, foram calculados com base nos preços de referência da DGEG que integraram as candidaturas ao Portugal 2020, no âmbito da eficiência energética na Administração Pública (POSEUR, 2014). Em relação à potência, consultou-se um fabricante do mercado nacional, com grande experiência no setor da iluminação pública, que facultou os dados necessários a considerar no estudo, tendo em conta as características das luminárias a substituir e o meio onde se inserem.

Os preços unitários das luminárias LED, constantes Tabela 10, referem-se ao fornecimento e instalação das luminárias em causa, ou seja, incluem o custo da luminária LED, a sua instalação e o custo da desmontagem da luminária existente e a substituir.

Tabela 10 - Preço e Potência das Luminárias LED

Tipo Luminária	Luminárias LED	Potência da Lâmpada Instalada (W)	Quantidade de Luminárias	Preço Unitário Luminárias LED (€)
Meio Rural				
Viária	Luminária 8LED 29W - 2794lm VS 70W VSAP	70 W	9105	200
	Luminária 24LED 38W - 4716lm VS 100W VSAP	100 W	1234	230
	Luminária 16LED 57W - 5565lm VS 150W VSAP	150 W	4697	260
	Luminária 32LED 108W - 10419lm VS 250W VSAP	250 W	678	300
Meio Urbano				
Viária	Luminária 8LED 29W - 2794lm VS 70W VSAP	70 W	763	200
	Luminária 16LED 57W - 5565lm VS 100W VSAP	100 W	458	230
	Luminária 24LED 82W - 7921lm VS 150W VSAP	150 W	1702	260
	Luminária 32LED 108W - 10419lm VS 250W VSAP	250 W	1903	300
Meio Rural/Meio Urbano				
Jardim	Luminária 16LED 18W - 2400lm	70 W	1599	300
	Luminária 16LED 36W - 4080lm	100 W	246	300
	Luminária 32LED 51W - 6432lm	150 W	860	300
	Luminária 48LED 107W - 12240lm	250 W	21	300
Especial	Luminária 16LED 37W - 4008lm	70 W	546	500
	Luminária 16LED 37W - 4008lm	100 W	107	500
	Luminária 32LED 51W - 6432lm	150 W	515	500
	Luminária 48LED 107W - 12240lm	250 W	11	500
TOTAL			24445	

Fonte: Luminária, Schröder Portugal, S.A; Preços de Referência da DGEG (POSEUR, 2014).

Efetuosos os cálculos, multiplicando o valor unitário de referência constante na Tabela 10 pelas quantidades referidas na Tabela 7, obteve-se o investimento estimado necessário para a substituição das luminárias existentes por luminárias LED de 6.208.100 € .

5.2. CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção da iluminação pública pode ser dividida em duas categorias: as substituições programadas de grupo de lâmpadas (sistémica) e as substituições aleatórias devido a falha de lâmpada ou outro dos componentes constituintes da luminária.

5.2.1. CUSTOS DE MANUTENÇÃO DAS LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS

No caso da manutenção das luminárias convencionais (equipadas com lâmpadas HPS), normalmente, esta é efetuada pela combinação de ambas as categorias de manutenção dado que, maioritariamente, a falha ocorre no mesmo esquema de substituição de grupo (manutenção sistémica) (Cook, Shackelford, Pang, & Bryan, 2008). Perante tal facto, no presente estudo, os custos totais de manutenção anual das luminárias convencionais foram estimados com base nos gastos com mão de obra e materiais, da manutenção sistémica.

No cálculo dos encargos com a manutenção não foi considerado o descarte das lâmpadas e dos componentes, nem as despesas administrativas e de gestão da IP, pelo que, as economias de custos de manutenção consideradas no estudo representam um cenário conservador.

Para encontrar o custo anual de manutenção aplicou-se a seguinte fórmula:

$$C_m = N \times P . \quad (12)$$

em que:

C_m - Custo anual manutenção.

N - Número médio anual de intervenções nas luminárias que, neste estudo, assume o valor de 4.225³².

³² Este valor é a média anual de intervenções nas luminárias do Concelho de Vila do Conde. Fonte: Município de Vila do Conde.

P - Custo de manutenção do tipo sistémico que assume o valor de 23€/luminária³³.

Da resolução da equação (12) obtém-se um custo estimado para a manutenção das luminárias convencionais no valor de 97.175€/ano, o qual corresponde a intervenções em 17% das luminárias existentes no concelho.

5.2.2. CUSTOS ESTIMADOS DA MANUTENÇÃO DAS LUMINÁRIAS LED

Os LEDs das luminárias consideradas no presente estudo têm uma vida útil prevista de 100.000h, aproximadamente 24 anos, a funcionar 4.200 horas por ano. Esse tempo de vida é significativamente maior do que a vida útil estimada da lâmpada HPS, de 20.000 horas, aproximadamente 5 anos.

No caso das luminárias LED, apesar da métrica comumente aceite para determinar a vida útil nominal ser o tempo que a fonte de LED leva a depreciar o seu fluxo luminoso - no caso em estudo esse valor é de 80% (L80) às 100.000h - o facto é que, dada a recente aplicação da tecnologia nas redes de IP, ainda não existem dados reais que comprovem as indicações dos fabricantes quanto à manutenção desse fluxo. Por outro lado, sendo a luminária constituída por diferentes componentes (LEDs, driver, compartimento, revestimento, etc.), a vida útil esperada da luminária pode não ser a mesmo que o dos LEDs. Tal evidência tem levado a que diferentes autores considerem que a definição da vida útil da luminária LED deverá corresponder à vida útil do primeiro dos seus componentes a falhar. Perante as dificuldades em encontrar na literatura uma posição unânime quanto à vida útil das luminárias LED, e procurando assegurar uma comparação consistente entre as luminárias convencionais (lâmpada HPS) e as luminárias LED, no presente estudo assumimos para estas últimas 100.000h, fazendo, assim, a comparação da fonte de luz.

Embora seja comum, ao nível dos fornecedores, considerar-se que as luminárias LED não exigem custos de manutenção, entendeu-se por conveniente atribuir um custo de manutenção para resolução de falhas abruptas, ocasionais, e um custo de manutenção preventiva,

³³ Custo médio de cada intervenção. Porque não dispomos de dados exatos, assumimos para o presente estudo o valor de referência referente a cada intervenção do tipo sistémica constante no DREEIP, parte II (CPI, et al., 2018)

periódica (para limpeza, reaperto, etc.), tal como recomendado por alguns autores (Cook, Shackelford, Pang, & Bryan, 2008).

Assim, foi estimado que uma pequena percentagem (10%³⁴) de luminárias LED falharia antes do final da sua vida útil.

A frequência de substituição da luminária foi baseada na probabilidade anual de falha. Os custos de manutenção anual foram calculados tendo por base a probabilidade de falha da luminária durante e após o período de garantia.

custo de substituição da luminária LED por falha durante o período de garantia corresponde apenas a mão de obra, enquanto o custo de substituição após a garantia incluirá a mão de obra e a luminária. Os cálculos são detalhados na do Anexo I.

Para cada luminária, porque têm preços diferentes, calculou-se o custo anual de manutenção que se traduz pela seguinte expressão:

$$CAM_L = C_{mf} \times \frac{PF_g}{t} + (C_L + C_{mf}) \times \frac{PF_{fg}}{t} + C_{mprev}. \quad (13)$$

em que:

CAM_L – Custo anual da manutenção da luminária.

C_{mf} – Custo da mão de obra por falha e por luminária, assumindo o valor de 37€³⁵.

PF_g - Probabilidade de anual de falha dentro da garantia.

t – Vida útil da luminária (anos).

³⁴ A escolha da percentagem de falhas baseou-se na revisão de diferentes estudos com objetivo idêntico ao nosso (Cook, Shackelford, Pang, & Bryan, 2008).

³⁵ Custo mão de obra para resolução de falha. Porque não dispomos de dados exatos, assumimos para o presente estudo o valor de referência de cada intervenção do tipo ocasional constante no DREEIP, parte II (CPI, et al., 2018).

C_L – Custo da luminária.

PF_{fg} – Custo de falhas fora da garantia.

$C_{mprev.}$ – Custo da mão de obra por manutenção preventiva por luminária, que neste estudo, assume o valor de 9€³⁶.

No cálculo dos custos relativos às falhas foi necessário calcular a probabilidade de ocorrer a avaria e atendendo a que distribuição da probabilidade de falha das luminárias LED ao longo do tempo não é disponibilizada pelos fornecedores, considerou-se uma distribuição uniforme para estimar a taxa anual de falha (Cook, Shackelford, Pang, & Bryan, 2008).

Assim, para cada luminária, calculou-se a probabilidade anual de falha a qual é baseada na vida útil da luminária e taxa de avarias considerada e traduz-se pela seguinte expressão:

$$PAF = (1 - TF)^{\left(\frac{1}{1-t}\right)}. \quad (14)$$

em que:

PAF – Probabilidade de anual de falha.

TF – Taxa de falha considerada (10%).

t – Vida útil da luminária LED (anos).

Seguidamente, através das expressões abaixo indicadas, determinou-se a probabilidade de falha dentro da garantia e a probabilidade de falha fora da garantia, com base na probabilidade anual de falha, vida útil da luminária e prazo de garantia³⁷, através das seguintes expressões:

³⁶ Custo de mão de obra para intervenção preventiva, valor de mercado.

³⁷ O prazo de garantia admitido é 10 anos e corresponde ao prazo praticado pelo fabricante das luminárias LED consideradas no estudo.

$$PF_g = (1 - PAF)^{(t-g)}. \quad (15)$$

$$PF_{fg} = (1 - PAF)^{(g)}. \quad (16)$$

em que:

PF_g – Probabilidade de falha dentro do período de garantia.

PAF – Probabilidade de falha.

t – Vida útil da luminária LED (anos).

g – Prazo de garantia da luminária LED (anos).

PF_{fg} – Probabilidade de falha fora do período de garantia.

Pela aplicação das equações (14), (15) e (16), obtiveram-se as seguintes probabilidades:

- Probabilidade anual de falha: $PAF=0,44\%$.
- Probabilidade de falha dentro do período de garantia: $PF_g=4,33\%$.
- Probabilidade fora do período de garantia: $PF_{fg}=5,93\%$.

Resolvendo a equação (13) para cada tipo de luminária, de acordo com o seu custo unitário, encontramos os valores de manutenção anuais por luminária. Multiplicando esses valores unitários pela quantidade total de luminárias e somando os resultados desses produtos, resulta o valor estimado para a manutenção anual das luminárias LED de 53.417€.

Em relação à solução instalada obteve-se, assim, uma poupança de 43.758€ que, pelos motivos já apresentados, representa um valor conservador.

Os eventuais custos de substituição no final da vida útil das luminárias não foram incluídos nesta análise porque se fez coincidir a vida útil das mesmas com o período considerado no estudo económico-financeiro (24 anos). Desta forma, o *cash flow* do projeto não inclui qualquer valor residual, seja positivo, caso se considerasse algum valor de abate (sucata) das luminárias, seja negativo, caso se incluíssem custos de desmantelamento/substituição da infraestrutura.

5.3. CONSUMOS ENERGÉTICOS

Com a finalidade de comparar os consumos energéticos anuais entre as duas soluções em estudo, calculou-se o valor para cada tipo de luminária recorrendo-se à seguinte expressão:

$$Ec = PL \times TF \times N . \quad (17)$$

em que:

Ec - Energia consumida anualmente

PL - Potência da luminária (potência da fonte de luz mais equipamento)

TF - N.º de horas de funcionamento anual (4200h no caso em estudo)

N - N.º de luminárias do mesmo tipo

Na Tabela 11 apresentam-se os resultados obtidos para o consumo energético anual de cada uma das soluções:

Tabela 11 - Consumos energéticos

Solução Existente	Solução LED	Redução Estimada	Redução Estimada (%)
Consumo de Energia (kWh/ano)			
13 798 743	4 958 348	8 840 395	64%

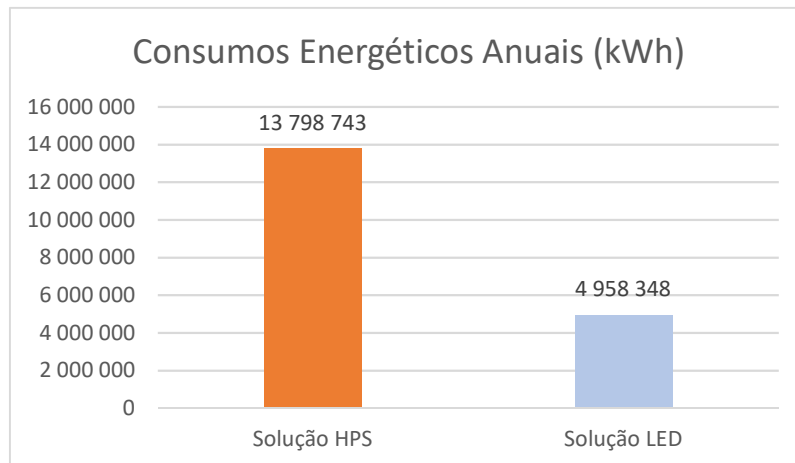


Figura 20 - Comparação dos consumos energéticos

Para encontrar os custos associados aplicou-se a seguinte fórmula:

$$CEC = EC_{ponta} \times PE_{ponta} + EC_{cheia} \times PE_{cheia} + EC_{vazio} \times PE_{vazio} . \quad (18)$$

em que:

CEC - Custo da energia anual consumida

EC_{ponta} - Energia anual consumida em horas de ponta

PE_{ponta} - Preço do kWh em horas de ponta

EC_{cheia} - Energia anual em horas de cheia

PE_{cheia} - Preço do kWh em horas de cheia

EC_{vazio} - Energia anual em horas de vazio

PE_{vazio} - Preço do kWh em horas de vazio

Utilizando os preços da energia do ano 2019, indicados na Tabela 9, de acordo com o respetivo período horário, obtiveram-se os seguintes resultados para o valor (€) do consumo energético para o 1º ano do estudo, em cada uma das soluções.

Tabela 12 - Custo de energia

Solução Existente	Solução LED	Redução Estimada	Redução Estimada (%)
Custos de Energia (€)			
1 638 187	588 655	1 049 532	64%

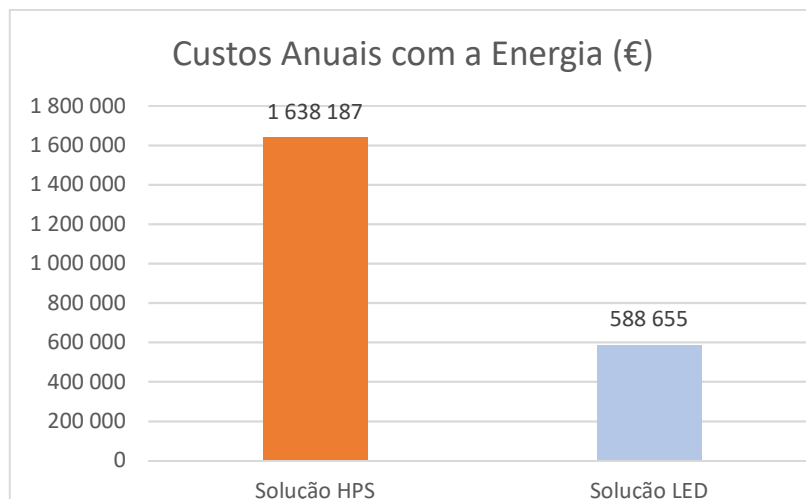


Figura 21 - Comparação dos custos anuais com a energia

Como pode verificar-se na Tabela 12, e considerando os valores de referência assumidos para o estudo, nomeadamente – potências instaladas, n.º de horas anuais de funcionamento, preços unitários de kWh, por período horário - a solução LED introduz uma poupança energética de 64% face à solução existente (luminárias convencionais), o que representa, para o 1º ano em estudo, uma redução de 1.049.532€ na fatura de energia elétrica.

No Apêndice I, Tabela 17, é apresentado um mapa com a evolução desta poupança ao longo dos 24 anos considerados no estudo económico-financeiro.

5.4. ANÁLISE ECONÓMICA - FINANCEIRA

Seguindo a metodologia descrita no capítulo anterior (*discounted cash flow*), procedeu-se ao cálculo dos indicadores de rentabilidade económico-financeira, tendo sido obtidos os seguintes resultados:

Tabela 13 - Resultado do estudo económico – financeiro

Resultados	
VAL	11.687.220 €
TIR	19,2%
<i>Payback (anos)</i>	6,5

Na tabela 17 do Apêndice 1 é apresentado um mapa com a evolução das várias rubricas dos *free cash flows* ao longo do período considerado para o estudo económico-financeiro.

Como pode constatar-se, os resultados obtidos mostram claramente que o investimento nas luminárias LED constitui uma solução que do ponto de vista económico-financeiro é bastante vantajosa.

O investimento apresenta um Valor Atual Líquido (VAL) superior a 11,6 milhões de euros, com uma taxa de desconto dos *cash flows* de 5,19%. A TIR do investimento é de 19,2%, ficando claramente acima do custo de oportunidade do capital investido (taxa de desconto dos *cash flows*). A recuperação do investimento (*Payback period*) é alcançada ao fim dos primeiros 6,5 anos.

5.5. CÁLCULO DAS EMISSÕES CO₂ EVITADAS

Relativamente aos valores obtidos para a dimensão ambiental, como ficou referido antes, o impacto do projeto foi aferido pelas emissões de CO₂ evitadas. Com vista ao seu cálculo, os consumos de energia elétrica foram convertidos para Energia Primária, utilizando-se como fator de conversão (kWh/tep) o valor de 0,000215, de acordo com os Despachos n.º 17313/2008 e n.º 15793-D/2013. Um cálculo semelhante foi efetuado para as emissões de CO₂, tendo sido considerado o valor de 0,00047 para a constante de conversão kWh/t CO₂, de acordo com os Despachos n.º 17313/2008 e n.º 15793-D/2013.

Estes cálculos permitiram concluir que a solução LED permitiria uma redução anual do consumo de Energia Primária de 1901 tep/ano, o que se traduz num total de emissões de CO₂ evitadas de 4.155 t CO₂ / ano, o que representaria para o período de vida do investimento um total de 99.720 t CO₂.

Com o objetivo de avaliar o valor económico das emissões evitadas, que em última análise poderia ser somado ao VAL do investimento, a quantidade de emissões evitada foi avaliada ao preço de mercado da tonelada de CO₂. O valor de mercado do CO₂ teve como referência o valor das licenças de emissões de CO₂ (EUA – European Union Allowances) transacionadas no sistema EU ETS (European Union Emissions Trading System), nomeadamente no mercado EEX (European Energy Exchange). Considerou-se o preço das licenças de emissão em 02/01/2019³⁸ que foi de 25,06€/t CO₂.

Relativamente ao comportamento do preço do CO₂ ao longo do período do estudo, considerou-se que evoluiria de forma análoga ao do preço da eletricidade, isto é, considerou-se uma taxa de crescimento do preço de 2% ao ano. Tal como os restantes *cash flows* do projeto, o valor económico atribuído à quantidade de emissões de CO₂ evitadas em cada ano foi posteriormente descontado à taxa de 5,19%. Deste cálculo resultou um valor atual para o total de emissões evitadas pela solução LED de 1.710.387€.

³⁸ Fonte: <https://www.eex.com/en/about/eex/eex-ag>. A data foi escolhida de forma a mantermos a consistência entre todos os dados de natureza económico-financeira usados no estudo.

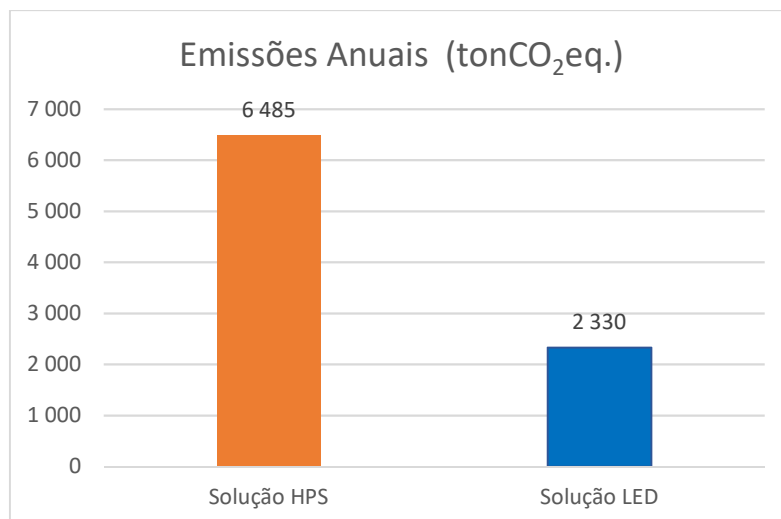


Figura 22 - Comparação das emissões anuais de CO₂

Considerando o valor económico das emissões de CO₂ evitadas na análise económica financeira do projeto, como seria expectável, os indicadores de rentabilidade sofrem uma melhoria:

- VAL de 13. 392.469 €
- TIR de 21%.
- O retorno do investimento aconteceria nos primeiros 5,9 anos (aproximadamente 5 anos e 11 meses).

5.6. ANÁLISE DA SENSIBILIDADE

No estudo realizado foram consideradas variáveis teóricas cujo comportamento tem influência decisiva nos resultados obtidos. Com o objetivo de fazer uma análise do risco do projeto, procedeu-se à realização de uma análise de sensibilidade de algumas das variáveis consideradas críticas. Para tal utilizou-se o Método Tradicional que consiste em medir o efeito produzido pela variação de um dado de entrada por forma a verificar o seu impacto no resultado do projeto.

Na análise efetuada, cada uma das variáveis em estudo foi considerada isoladamente de modo a ser perceptível a sua consequência nos resultados, nomeadamente, os impactos económicos e ambientais. Para o estudo das variáveis críticas do projeto em análise, avaliaram-se as repercussões das seguintes variáveis técnicas e económicas:

- Preço das Luminárias LED.
- Vida Útil das Luminárias LED.
- Custos da Manutenção das Luminárias LED.
- Potências das Luminárias LED.

5.6.1. PREÇO DAS LUMINÁRIAS LED

A análise de sensibilidade do preço das luminárias LED correspondeu à utilização de valores de mercado das luminárias, o que implica uma redução do investimento face ao *base case* de 10%. Como se pode observar na Figura 23, a redução do valor do investimento traduz-se numa melhoria dos indicadores económico-financeiros: o VAL tem uma variação positiva de 5%, passando de 11.687.220€ para 12.275.324€, a TIR aumenta em 10,2%, passando de 19,2% para 21,1% e o *Payback* do projeto tem uma variação 10,4%, passando dos primeiros 6,5 anos para os primeiros 5,8 anos.

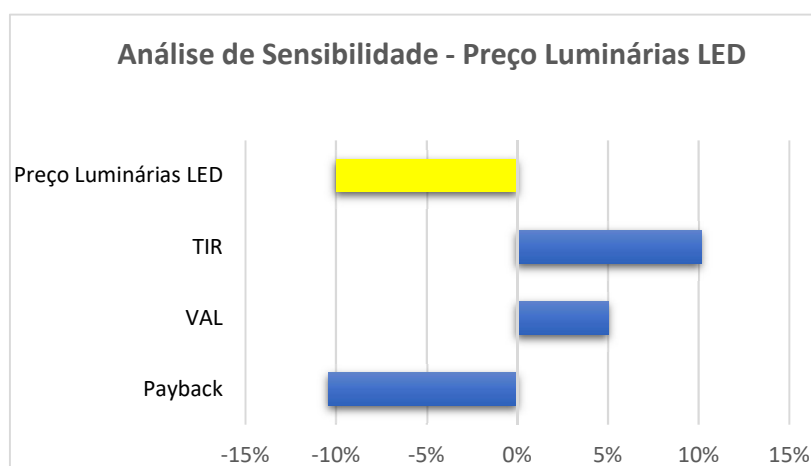


Figura 23 - Resultados da análise de sensibilidade - preço das luminárias LED

5.6.2. VIDA ÚTIL DAS LUMINÁRIAS LED

Outra das variáveis considerada crítica para os resultados é a duração de vida das luminárias LED, até porque é a variável com maior incerteza. Nesse sentido, admitimos que as luminárias LED apresentariam uma vida útil de 50.000h, aproximadamente 12 anos, o que representa uma redução de 50% relativamente ao *base case*, obrigando à concretização de um reinvestimento no 12º ano correspondente à substituição das luminárias.

No cálculo do valor do reinvestimento, o preço das luminárias no 12º ano foi obtido pela aplicação da taxa de inflação de 2% ao ano, sendo o valor posteriormente descontado à taxa de 5,19% (taxa de desconto dos restantes *cash flows*).

A análise de sensibilidade realizada a esta variável evidencia o seu elevado impacto negativo nos indicadores económico-financeiros do projeto, nomeadamente: uma elevada variação negativa no VAL, de 36,7%, passando de 11.687.220€ para 7.397.317€, uma diminuição significativa da TIR, cerca de 18%, passando de 19,2% para 15,7% e uma variação negativa do *Payback*, cerca de 82,9%, ou seja a recuperação do investimento que no *base case* aconteceria nos 6,5 primeiros anos, passa para os primeiros 11,9 anos. Repare-se, contudo, que, mesmo neste cenário extremo, o projeto se mantém viável na perspetiva económico-financeira.

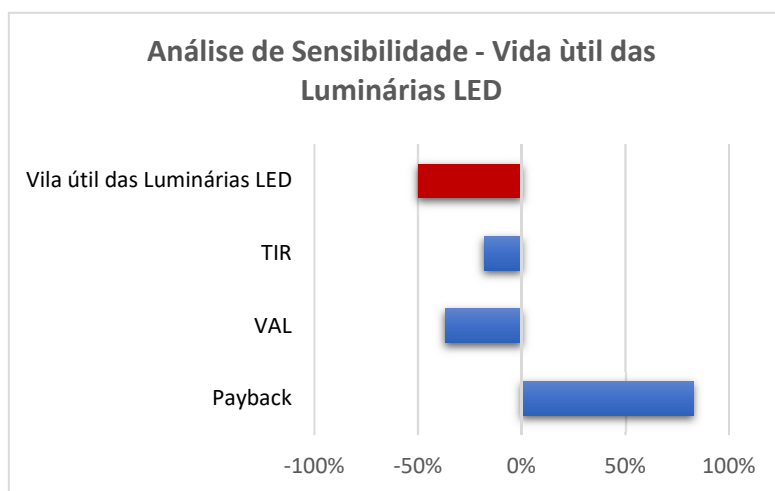


Figura 24 - Resultados da análise de sensibilidade - vida útil das luminárias LED

5.6.3. CUSTOS DA MANUTENÇÃO DAS LUMINÁRIAS LED

Um aumento nos custos anuais de manutenção das luminárias LED de cerca de 82%, de modo a anular a poupança em manutenção, tem um impacto negativo nos indicadores financeiros do projeto, nomeadamente: VAL tem uma variação negativa de 6%, passando de 11.687.220€ para 10.980.199€, a TIR diminui em cerca de 3,9%, passando de 19,2% para 18,4%, e o *Payback* tem uma variação de 4,6 %, aumentando de 6,5 para os 6,8 primeiros anos.

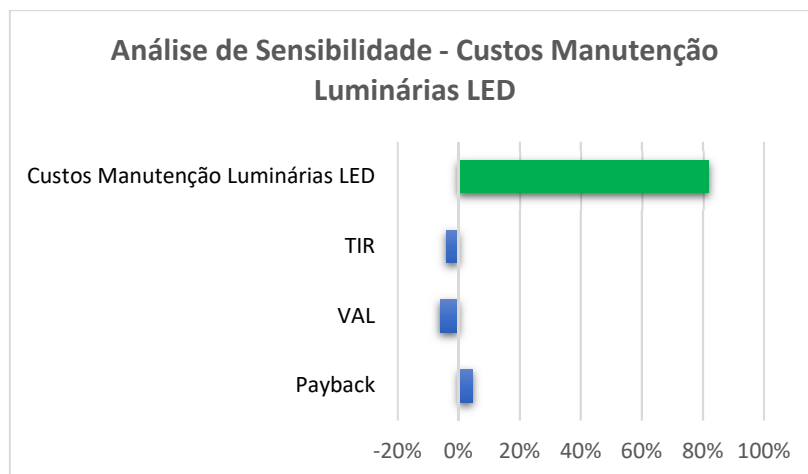


Figura 25 - Resultados da análise de sensibilidade - custo manutenção das luminárias LED

Perante os resultados desta variável, pode concluir-se que, num cenário teórico, mesmo não existindo poupança na manutenção, a substituição de luminárias LED continua a ser um projeto financeiramente rentável.

5.6.4. POTÊNCIA DAS LUMINÁRIAS LED

Por fim, a análise de sensibilidade passou pela simulação de um cenário alternativo para a potências das luminárias LED, situação que na realidade pode ocorrer devido à configuração da rede existente. Assim, foi analisado o impacto nos resultados de um incremento de 10% na potência total a instalar na solução LED, de 1.181kW (*base case*) para 1.299kW (análise de sensibilidade).

Como resultado da variação admitida para a potência das luminárias, as poupanças energéticas sofrem uma variação negativa na ordem dos 5,6%, diminuindo de 64% para 60%.

Quanto aos indicadores económico-financeiros, como era espectável, também sofrem alteração: o VAL sofre uma variação negativa 8,2%, passando de 11.687.220€ para 10.723.173€, a TIR passa de 19,2% para 18,2% e o *Payback* também apresenta varia negativa na ordem dos 6,3%, ou seja, passa dos 6,5 primeiros anos para os 6,9.

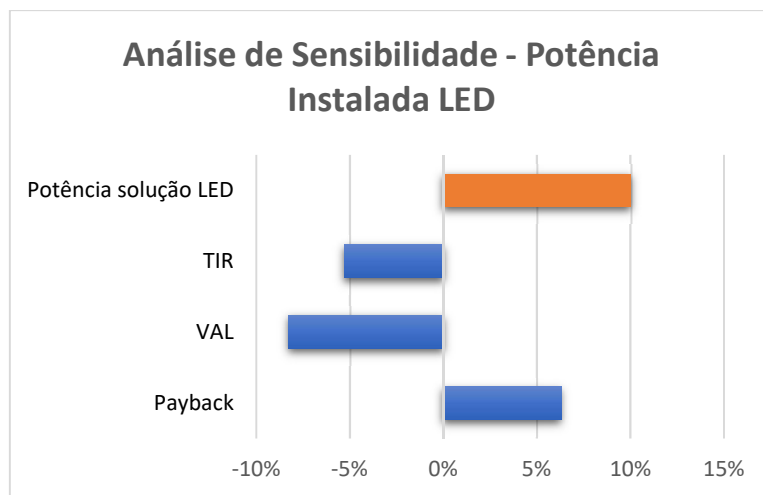


Figura 26 - Resultados da análise de sensibilidade - potência das luminárias LED

Como se pode observar no gráfico da Figura 26, a potência das luminárias LED condiciona significativamente os resultados do projeto. Contudo, tal como para as variáveis anteriores, o seu impacto não coloca em causa a rentabilidade do investimento.

6. CONCLUSÃO

A investigação sobre a Iluminação Pública permitiu concluir que na literatura publicada o tema é tratado numa grande diversidade de dimensões - técnicas, económicas, ecológicas, biológicas, ambientais, sociológicas e até políticas - as quais têm despertado o interesse de diferentes autores.

Tal variedade, demonstra a importância dessa infraestrutura nas atuais sociedades bem como a sua complexidade numa perspetiva multifacetada na qual os diferentes autores apontam linhas de orientação para pesquisas e políticas de ação que têm em conta as dimensões sociais, políticas e económicas da iluminação urbana e da poluição luminosa com o objetivo de um "futuro mais brilhante (Meier, Pottharst, Krause, & Hasenöhr, 2015).

A iluminação pública é, portanto, parte imprescindível nas análises que associam eficiência energética e sustentabilidade.

Com o surgimento da tecnologia LED, considerada o terceiro estágio na evolução da lâmpada elétrica, tem-se assistido nos últimos anos à adoção desta tecnologia na IP em diferentes partes do globo.

Apesar das indiscutíveis vantagens da tecnologia LED, amplamente referenciadas na literatura publicada sobre o tema, persistem algumas dúvidas quer quanto à própria tecnologia, quer quanto ao seu uso em substituição das lâmpadas convencionais e, até mesmo, à utilização exclusiva desta tecnologia na iluminação (Moura, Mota, & Noya, 2015).

A revisão da literatura permitiu concluir que, apesar destas dúvidas, a tecnologia LED é amplamente sugerida como uma opção para a obtenção de resultados significativos na redução dos consumos e dos encargos associados às instalações de IP (Donatello, et al., 2019) (Lightsavers Canada, 2017) (Isenstadt, Petty, & Neumann, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho investigou os impactos nas perspetivas económica e ambiental associados à substituição da totalidade das luminárias existentes por luminárias de tecnologia LED num contexto de iluminação pública urbana. Sustentado na técnica de investigação “Estudo de Caso”, o objetivo principal deste trabalho foi a quantificação das poupanças no consumo de eletricidade e a quantificação da diminuição das emissões de GEE associadas a essas poupanças no concelho de Vila do Conde. A par desta quantificação, o estudo envolveu a análise económico-financeira do projeto de investimento, desenvolvido com base na metodologia de desconto de *cash flows* (DCF - *Discounted Cash Flows*). Analisamos, ainda, os ganhos resultantes da inclusão do valor económico associado às emissões de CO₂ evitadas.

A investigação confirmou o que a literatura sobre o tema já vem expondo, tanto em termos económicos como ambientais, a substituição da totalidade das luminárias convencionais por luminárias de tecnologia LED num contexto de IP, além de permitir a redução dos consumos elétricos, e correspondente redução das emissões de GEE, representa, do ponto de vista económico-financeiro, um investimento rentável.

No estudo económico-financeiro, partindo de uma estimativa para o investimento de 6.208.100€, para o período de 24 anos, obtêm-se os seguintes resultados

- Poupanças energéticas na ordem dos 64%;
- Redução de energia primária de 1.901 tep/ano;
- Redução de emissões de CO₂ de 4.155 t/ano.

Em termos de indicadores económico-financeiros, os resultados do projeto de substituição das luminárias convencionais por luminárias LED são os seguintes:

- VAL de 11.687.220€;
- TIR de 19%, ou seja, substancialmente superior à taxa de desconto dos *free cash flows* considerada no estudo (5,19%);
- A recuperação do investimento (*pay back*) é alcançada ao fim dos primeiros 6,5 anos do projeto.

Seguindo a recomendação de (Sędziwy, Basiura, & Wojnicki, 2018), o impacto ambiental deve ser incluído quantitativamente nos projetos de eficiência energética na rede de IP dado que contribuem significativamente para a sua rentabilidade. Assim, considerando o valor económico das emissões de CO₂ evitadas, calculado com base no valor das licenças de emissões de CO₂ (EUA – European Union Allowances) transacionadas no sistema EU ETS (European Union Emissions Trading System), os indicadores económico-financeiros do projeto resultam ainda mais favoráveis:

- VAL de 13.392.469 €;
- TIR de 21%.;
- A recuperação do investimento aconteceria nos primeiros 5,9 anos.

Com o objetivo de avaliar o risco do projeto, procedeu-se à realização de uma análise de sensibilidade de algumas das variáveis consideradas críticas: a consideração do preço de mercado das luminárias LED, que representa uma redução face aos valores de referência considerados no *base case*, a menor vida útil das luminárias LED, o aumento dos custos de manutenção e o aumento de potência instalada na solução LED. O resultado desta análise demonstrou que o projeto é bastante sensível às alterações destas variáveis. Contudo, em nenhum dos casos a assunção de cenários menos favoráveis coloca em causa a viabilidade económico-financeira do projeto de substituição das luminárias convencionais por luminárias de tecnologia LED na IP do Município de Vila do Conde IP.

Os resultados obtidos mostram que a implementação do projeto representaria, por um lado, uma significativa diminuição das despesas municipais com a energia elétrica e, por outro, um franco contributo para as metas nacionais em matéria de eficiência energética e de redução das emissões de CO₂.

Uma das dificuldades encontradas durante a investigação foi a recolha dos dados, em particular, a caracterização da rede instalada a qual não é suficientemente detalhada nos cadastros existentes deste Município.

Tal contrariedade permitiu-nos confirmar a importância das recomendações de (Donatello, et al., 2019) que, no contexto de investimento em novos equipamentos de IP, consideram como fundamental que o decisor reúna o conhecimento rigoroso do desempenho dos ativos existentes. A exatidão dos dados é fundamental para uma real avaliação do custo-benefício das diferentes estratégias de gestão e, por conseguinte, da diminuição do risco.

Nesse sentido, é essencial a existência de um cadastro atualizado, contendo as informações mais relevantes, de entre as quais se destacam:

- O número exato e atualizado dos pontos de luz;
- A caracterização pormenorizada das luminárias existentes (marca, modelo, eficiência, saída de luz ascendente e ano de instalação);
- Detalhes da lâmpada/fonte de luz instalada (modelo, tecnologia, potência nominal, data de intervenção/manutenção);
- Equipamento elétrico auxiliar (balastro, controlo de regulação, etc.);
- A georreferenciação rigorosa.

A revisão da literatura permitiu ainda concluir que na opinião de vários autores as decisões públicas relativamente ao tema da IP não devem se sustentadas apenas em fatores económicos e ambientais, mas também numa análise mais abrangente que englobe as três dimensões da sustentabilidade - normativa, científica e estratégica (Jagerbrand, 2014).

Segundo (The Climate Group, 2015), a complexidade deste tipo de projeto está interrelacionada com diferentes condicionalismos sejam estes tecnológicos, de que são exemplo os riscos associados à modernização e incerteza quanto à durabilidade das luminárias LED, sejam de falta de competência ao nível técnico, mais especificamente na falta de facilitadores qualificados nos municípios, sejam ainda de natureza institucional, nomeadamente no que respeita aos contratos de concessão em vigor.

Tais condicionalismos tornam necessário que neste tipo de iniciativas, para garantia de sucesso, a decisão quanto à forma de governança seja sustentada na análise nas referidas dimensões de sustentabilidade (Jagerbrand, 2014).

Acresce que a mitigação dos riscos associados a este tipo de projeto passa pelo rigoroso planeamento, o qual deverá ser desenvolvido por técnicos especializados, munidos de informação detalhada relativa à rede existente, e de conhecimentos robustos que lhes possibilitem o desenvolvimento de especificações técnicas adequadas para integrar o procedimento de aquisição dos equipamentos e a monitorização dos resultados, antes, durante e após a implementação da nova solução (Donatello, et al. 2019).

Antes de se avançar com o projeto será igualmente importante aferir qual a posição da concessionária da rede relativamente às relações a estabelecer no âmbito da implementação do mesmo e à eventual indemnização a pagar, uma vez que, num contexto caracterizado por restrições orçamentais e limitações ao endividamento dos municípios, poderá representar um obstáculo para a concretização desse objetivo durante o período de vigência do contrato de concessão.

Na sequência da investigação efetuada é possível apontar algumas pistas para desenvolvimentos futuros, nomeadamente sobre os temas: modelos de gestão dos contratos de desempenho energético na iluminação pública; viabilidade económica da introdução de telegestão na rede de iluminação pública.

Referências Documentais

- Agência Portuguesa do Ambiente. (09 de 2017). *apambiente.pt/_zdata*. (A. P. Ambiente, Ed.) Obtido em 06 de 2019, de apambiente.pt: <http://apambiente.pt>
- Brealey, R., & Stewart, A. F. (2016). *Principles of Corporate Finance* (12th ed.). McGraw-Hill.
- Brundtland, G. (1987). *Our Common Future*. The World Commission on Environment and Development. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Câmara Municipal de Santo Tirso. (3 de 4 de 2019). *Notícias*. Obtido em 06 de 2019, de Câmara Municipal de Santo Tirso: <https://www.cm-stirso.pt>
- Câmara Municipal de Valongo. (28 de 08 de 2017). *Notícia*. Obtido em 8 de 3 de 2019, de Câmara Municipal de Valongo: <https://www.cm-valongo.pt>
- Câmara Municipal de Vila do Conde. (2019). Vila do Conde, Porto, Portugal.
- Campisi, D., Gitto, S., & Morea, D. (7 de 2017). Light Emitting Diodes Technology in Public Light System of the Rome: An Economic and Financial Analysis. pp. 200-208.
- Comissão das Comunidades Europeias. (16 de 07 de 2008). Euro-lex.europa/legal-content. Bruxelas: EU. Obtido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008DC0400>
- Cook, T., Shackelford, J., Pang, T., & Bryan, M. (2008). *LED Street Lighting Host Site: City of San Francisco, California*. Energy Solutions. EUA: Pacif gas and Electric Company.
- Coordeiro, B. C. (2006). A iluminação pública em Lisboa e a problemática da história das Técnicas. Lisboa.
- Copeland, T., Koller, T., & Murrin, J. (2000). *Valuation-Measuring and Managing the Value of Companies*. John Wiley & Sons.

- countryeconomy. (11 de 09 de 2019). *countryeconomy.com/risk-premium/portugal*. Obtido em 09 de 11 de 2019, de countryeconomy: <https://countryeconomy.com/risk-premium/portugal>
- CPI, OE, OET, RNAE, DGEG, & ANMP. (2018). *Eficiência energética na iluminação pública - Documento de Referência DREEIP Parte II - Projeto de Iluminação Pública - Especificações, 2.ª edição 2018*.
- CPI, OE, OET, RNAE, DGEG, & ANMP. (2018). *Eficiência Energética na Iluminação Pública Documento de Referência Parte I - Conceitos de Luminotecnia*.
- Damodaran, A. (2001). *Corporate Finance* (2nd ed.). Wiley.
- Damodaran, A. (2014). *Applied Corporate Finance* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Damodaran, A. (05 de janeiro de 2019). Obtido em 11 de 09 de 2019, de www.damodaran.com:
http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/home.htm
- DGEG. (15 de 01 de 2019). Obtido de DGEG - Direção de Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgeg.gov.pt/>
- Donatello, S., Quintero, R. R., Wolf, O., Caldas, M. G., Tichelen, P. V., Hoof, V. V., & Geerken, T. (2019). *Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/372897
- ECO-AP. (12 de 01 de 2011). *Programa de Eficiência Energética na Administração Pública*. Obtido de [eco.ap](https://ecoap.pnaee.pt): <https://ecoap.pnaee.pt>
- Edison Tech Center. (19 de 01 de 2019). *edisontechcenter.org/LED:Edison TechCenter*. Obtido de Edison TechCenter: <https://edisontechcenter.org/LED.html>
- EDP Distribuição. (Outubro de 2016). *Manual de Iluminação Pública*. Portugal.
- Energia em Portugal. (2019). Obtido em 06 de 2019, de [WWW.energiaportugal.pt](http://www.energiaportugal.pt):
<http://www.energiaportugal.pt/pt/energia-em-portugal>

- Fama, E. F., & French, K. R. (2004). The capital Asset Pricing Model: Theoretical and Empirical Evidence. (Journal of Perspectives, Ed.) 18(3), pp. 25-46. doi:10.1257/0895330042162430
- Garcia, R. B., Angulo, G. V., Gonzalez, J. R., & Tavizón, E. F. (2014). LED Street Lighting as a Strategy for Climate Change Mitigation at Local Government Level. In IEEE (Ed.), *Global Humanitarian Technology Conference* (pp. 345-349). EUA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi:10.1109/GHTC.2014.6970303
- Gaston, K. J., Bennie, J., Davies, T. W., & Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: A mechanistic appraisal. (B. Reviews, Ed.) 88, pp. 912-927. doi:doi.org/10.1111/brv.12036
- Holden, A. (1992). Lighting the Night: Technology, Urban Life and the Evolution of Street Lighting. *Places* 8.2.
- Instituto Nacional de Estatística. (26 de 8 de 2019). *Início/Produtos/Base de Dados*. Obtido de Instituto Nacional de Estatística: <https://www.ine.pt/xportal>
- Isenstadt, S., Petty, M. M., & Neumann, D. (2015). *Cities of Light - Two Centuries of Urban Illumination* (1 ed.). (T. & Group, Ed.) Routledge. doi:10.4324/9781315747835
- Jägerbrand, A. K. (5 de 12 de 2014). New Framework of Sustainable Indicators for Outdoor LED (Light Emitting Diodes) Lighting and SSL (Solid State Lighting) .
- Jinag, Y., Li, S., Guan, B., & Zhao, G. (30 de 03 de 2015). Cost effectiveness of new roadway lighting systems. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 39. doi:10.1016/j.jtte.2015.03.004
- Li, J., & Makunbe, P. (7 de 8 de 2017). LED street lighting: Unburdening our cities. World Bank. Obtido de <http://blogs.worldbank.org/energy/led-street-lighting-unburdening-our-cities>
- Lightsavers Canada. (2017). *The realized results of led streetlight - Seizing the opportunity*. Canadian Urban Institute, Toronto. Obtido de <http://static1.squarespace.com/static/546bbd2ae4b077803c592197/t/5a5f7a7253450ae87511ffb3/1516206708558/CUIPublication.TheRealizedResultsofLEDStreetlights.2017.pdf>

- Lukman, R., & Krajnc, D. (2011). Environmental impact assessment of two different streetlight technologies. *Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2011) & SECOTOX Conference* (pp. 938-989). Skiathos: Grafina. Obtido em 7 de 2019, de <https://docplayer.net>
- Mark Major, R., Speirs, J., & Tischhauser, A. (2005). *Made of light : the art of light and architecture*. Boston: Birkhauser.
- Meier, J., Pottharst, M., Krause, K., & Hasenöhr, U. (10 de 2015). The New Visibility of Lighting. Em U. H. Josiane Meier, *Urban Lighting, Light Pollution an Society* (1 ed.). NY, EUA: Routledge.
- Mellander, C., Lobo, J., Stolarick, K., & Matheson, Z. (26 de 10 de 2015). Night-Time Light Data: A Good Proxy Measure for Economic Activity? *PloS One*, 10. doi:10.1371/Journal.pone.0139779
- Melo, J. J., & Pimenta, C. (1993). *O que é Ecologia*. Lisboa: Difusão Cultural.
- Meyer, M., Muarer, L., Freire, J., & Gouvello, C. d. (Abril de 2017). *Lighting Brazilian Cities: Business Models for Energy Efficient Public Street Lighting*. Washington, USA: World Bank Group.
- Moura, M., Mota, A., & Noya, M. (2015). Considerações e aAnálise em Projetos de Iluminação Utilizando a Tecnologia LED. *XI Congresso nacional de Excelência em Gestão* . Rio de janeiro. Obtido de <http://www.cneg.org>
- National Aeronautics and Space Administration. (25 de 04 de 2017). Earth at Night 2016 [Imagem]. Obtido de <https://svs.gsfc.nasa.gov/30876>
- Neto, A. J. (setembro de 2009). *As luzes da Cidade - Iluminação Arquitectónica e Urbanística*. Lisboa, Portugal.
- Nobelprize.org. (2014). The Nobel Prize in Physics 2014". Obtido em 3 de 2019, de <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/>

- Parlamento Europeu. (04 de 2019). *Fichas Temáticas sobre a União Europeia*. Obtido de Parlamento Europeu: http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pt/FTU_2.4.8.pdf
- Parlamento Europeu e do Concelho. (05 de 04 de 2006). Diretiva Europeia n.º 2006/32/CE, de 5 de abril 2006,. Bruxelas, Belgica. Obtido de <https://eur-lex.europa.eu>
- Pattison, P. M., Hansen, M., & Tsao, J. Y. (28 de 12 de 2017). LED Lighting efficacy: Satus and directions. (Elsevier, Ed.) *Comptes Rendus*, 19. doi:10.1016/j.crhy.2017.10.013
- POSEUR. (2014). *poseur.portugal 2020.pt*. Obtido em 07 de 2019, de Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR): <https://poseur.portugal2020.pt>
- Research And Markets. (10 de 11 de 2018). *Global LED and Smart Street Lighting: Market Forecast (2017 - 2027)*. Obtido de www.researchandmarkets.com: <https://www.researchandmarkets.com>
- Ross, S., Westerfield, r., Jaffe, J., Myers, S., & Allen, F. (2012). *Corporate Finance*. Irwin/McGraw-Hill.
- Scheuer, S. (. (2005). *EU Environmental Policy Handbook. A Critical Analysis of EU*. Bruxelas, Belgique: European Environmentak Bureau.
- Schulte-Römer, N. (2015). *Innovating in public- The introduction of LED lighting in Berlin and Lyon*. Berlin, Germany.
- Sędziwy, A., Basiura, A., & Wojnicki, I. (29 de 10 de 2018). Roadway lighting retrofit: Environmental and economic impact of greenhouse gases footprint reduction. *Sustainability (Switzerland)*, 10. doi:10.3390/su10113925
- Silva, V. C. (Setembro de 2014). *A Cidade, a vida urbana e os seus contributos*. Lisboa.
- Sudarmono, P., Deendarlianto, & Widyaparag, A. (2015). Energy efficiency effect on the public street lighting by using LED light replacement and kwh-meter installation at DKI Jakarta Province, Indonesia. doi:10.1088/1742-6596/1022/1/012021

- The Climate Group. (2012). *Lighting The Clean Revolution: The rise of Leds and What it means for cities*. London.
- The Climate Group. (2015). *The Big Switch: Why It's Time to scale Up LED Street Lighting*. London.
- The Climate Group. (04 de 2019). *www.theclimategroup.org*. Obtido de The Climate Group: <https://www.theclimategroup.org/news/global-outdoor-led-trials>
- The Society of Light and Lighting. (01 de 2016). *Lighting Guide 6: The exterior environment*. London: CIBSE.
- UBS Investment Research. (07 de 2007). *Global Investment Strategy - Implied Equity Risk Premium*. (ESB, Ed.)
- UE. (2011). *Cidades de Amanhã - Desafios, visões e perspectivas*. Bruxelas: UE. Obtido em 11 de 2018, de <http://ec.europa.eu>
- UE. (25 de 10 de 2012). *euro-lex.europa.eu. Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012*. Bruxelas, Belgica: UE. Obtido de Euro-Lex: <https://eur-lex.europa.eu>
- United Nations. (2019). *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*. New York, Department of Economic and Social Affairs. USA: United Nation. Obtido de <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>
- United Nations Population Fund. (28 de 07 de 2019). *World Population Dashboard [Mapa]*. Obtido de www.unfpa.org: <https://www.unfpa.org/data/world-population-dashboard>
- USA Department of Energy. (2015). *DOE SSL Program, "R&D Plan"*. Consulting, SB Consulting, SSLS, Inc., LED LightingAdvisors, and Navigant Consulting. USA: USA Department of Energy.
- Weibel, P. (2015). *Light's Bright Future: Lightscape*. Em D. Jackson, *SuperLux: Smart Light Art, Design & Architecture for Cities* (1 ed., p. 272). Londres: Thames & Hudson.

World Bank. (5 de 10 de 2018). *Understanding Poverty*. Obtido de [worldbank.org](https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview):
<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>

World Bank. (2019). *2019 Tracking SDG7 The Energy Progress Report*. ESMAP, Washington, DC.

Yin, R. K. (2005). *Estudo de Caso- Planejamento e Métodos*. Porto Alegre: Bookman.

Apêndice I – Cálculos

Tabela 14 - Cálculo consumos e emissões CO₂ por tipo de luminária

Tipo Luminária	Luminárias LED	Potência da Lâmpada Instalada (W)	Quantidade de Luminárias	Cenário Solução Existente					Cenário Solução LED					
				Potência Total instalada (kW)	Consumo Estimado (kWh/ano)	Custo Estimado de Energia (€/ano)	Consumo Estimado Energia Primária (tep/ano)	Emissões de CO ₂ (ton/ano)	Potência Total instalada (kW)	Consumo Estimado (kWh/ano)	Custo Estimado de Energia (€/ano)	Consumo Estimado Energia Primária (tep/ano)	Emissões de CO ₂ (ton/ano)	
Meio Rural														
Viária	A	Luminária 8LED 29W - 2794lm VS 70W VSAP	70 W	9105	774	3 250 485	385 898	699	1 528	264	1108989	131659	238	521
	B	Luminária 24LED 38W - 4716lm VS 100W VSAP	100 W	1234	143	601 205	71 375	129	283	47	196946	23381	42	93
	C	Luminária 16LED 57W - 5565lm VS 150W VSAP	150 W	4697	798	3 353 658	398 146	721	1 576	268	1124462	133496	242	528
	D	Luminária 32LED 108W - 10419lm VS 250W VSAP	250 W	678	183	768 852	91 278	165	361	73	307541	36511	66	145
Meio Urbano														
Viária	E	Luminária 8LED 29W - 2794lm VS 70W VSAP	70 W	763	65	272 391	32 338	59	128	22	92933	11033	20	44
	F	Luminária 16LED 57W - 5565lm VS 100W VSAP	100 W	458	53	223 138	26 491	48	105	26	109645	13017	24	52
	G	Luminária 24LED 82W - 7921lm VS 150W VSAP	150 W	1702	289	1 215 228	144 272	261	571	140	586169	69590	126	275
	H	Luminária 32LED 108W - 10419lm VS 250W VSAP	250 W	1903	514	2 158 002	256 198	464	1 014	206	863201	102479	186	406
Meio Rural/Meio Urbano														
										0				
Jardim	I	Luminária 16LED 18W - 2400lm VS 70W VSAP	70 W	1599	136	570 843	67 770	123	268	29	120884	14351	26	57
	J	Luminária 16LED 36W - 4080lm VS 100W VSAP	100 W	246	29	119 851	14 229	26	56	9	37195	4416	8	17
	K	Luminária 32LED 51W - 6432lm VS 150W VSAP	150 W	860	146	614 040	72 899	132	289	44	184212	21870	40	87
	L	Luminária 48LED 107W - 12240lm VS 250W VSAP	250 W	21	6	23 814	2 827	5	11	2	9437	1120	2	4
Especial	M	Luminária 16LED 37W - 4008lm VS 250W VSAP	70 W	546	46	194 922	23 141	42	92	20	84848	10073	18	40
	N	Luminária 16LED 37W - 4008lm VS 250W VSAP	100 W	107	12	52 130	6 189	11	25	4	16628	1974	4	8
	O	Luminária 32LED 51W - 6432lm VS 250W VSAP	150 W	515	88	367 710	43 655	79	173	26	110313	13096	24	52
	P	Luminária 48LED 107W - 12240lm VS 250W VSAP	250 W	11	3	12 474	1 481	3	6	1	4943	587	1	2
TOTAL				24445	3 285	13 798 743	1 638 187	2 967	6 485	1 181	4 958 348	588 655	1 066	2 330

Tabela 15 - Cálculo das economias anuais por tipo de luminária LED

Tipo Luminária	Luminárias LED	Potência da Lâmpada Instalada (W)	Quantidade de Luminárias	Poupança					
				Redução de consumo esperado com aplicação do equipamento (kWh)	Redução de fatura esperada com aplicação do equipamento (€)	Poupança prevista (%)	Redução de Energia Primária (tep/ano)	Redução das emissões de CO ₂ (ton/ano)	
Meio rural									
Viária	A	Luminária 8LED 29W - 2794lm VS 70W VSAP	70 W	9105	2141496	254238	66	460	1007
	B	Luminária 24LED 38W - 4716lm VS 100W VSAP	100 W	1234	404258	47994	67	87	190
	C	Luminária 16LED 57W - 5565lm VS 150W VSAP	150 W	4697	2229196	264650	66	479	1048
	D	Luminária 32LED 108W - 10419lm VS 250W VSAP	250 W	678	461311	54767	60	99	217
Meio urbano									
Viária	E	Luminária 8LED 29W - 2794lm VS 70W VSAP	70 W	763	179458	21305	66	39	84
	F	Luminária 16LED 57W - 5565lm VS 100W VSAP	100 W	458	113492	13474	51	24	53
	G	Luminária 24LED 82W - 7921lm VS 150W VSAP	150 W	1702	629059	74682	52	135	296
	H	Luminária 32LED 108W - 10419lm VS 250W VSAP	250 W	1903	1294801	153719	60	278	609
Meio rural/Meio urbano									
Jardim	I	Luminária 16LED 18W - 2400lm VS 70W VSAP	70 W	1599	449959	53419	79	97	211
	J	Luminária 16LED 36W- 4080lm VS 100W VSAP	100 W	246	82656	9813	69	18	39
	K	Luminária 32LED 51W- 6432lm VS 150W VSAP	150 W	860	429828	51029	70	92	202
	L	Luminária 48LED 107W - 12240lm VS 250W VSAP	250 W	21	14377	1707	60	3	7
Especial	M	Luminária 16LED 37W - 4008lm VS 250W VSAP	70 W	546	110074	13068	56	24	52
	N	Luminária 16LED 37W - 4008lm VS 250W VSAP	100 W	107	35503	4215	68	8	17
	O	Luminária 32LED 51W - 6432lm VS 250W VSAP	150 W	515	257397	30558	70	55	121
	P	Luminária 48LED 107W - 12240lm VS 250W VSAP	250 W	11	7531	894	60	2	4
TOTAL				24445	8 840 395	1 049 532	64	1901	4 155

Tabela 16 - Cálculos custos manutenção luminárias LED

Luminárias LED - Custos Estimados de Manutenção	
Premissas	
N.º Total de Luminárias	24445
Vida útil da Luminária (anos)	23,8
Vida útil da Luminária (horas)	100000
Taxa de falhas (antes do final de vida útil)	10%
Horas de funcionamento (anual)	4200
Anos garantia (anos)	10
N.º de manutenções preventiva (anos)	2
Custo falhas aleatórias (€)	37
Custo de mão obra de manutenção preventiva (€)	9,5

Detalhes da frequência de substituição e garantia	Luminária A, E	Luminária B, F	Luminária C, G	Luminária D, H	Luminária I, J, K, L	Luminária M, N, O, P	Total Manutenção anual (€)
Probabilidade anual de falhas	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%	0,44%	
Probabilidade de falha fora da garantia	5,93%	5,93%	5,93%	5,93%	5,93%	5,93%	
Probabilidade de falha dentro da garantia	4,33%	4,33%	4,33%	4,33%	4,33%	4,33%	
Detalhe de cálculo de custos							
Custo Luminária	200	230	260	300	300	500	
Custo anual de falhas fora do período de garantia	0,59	0,66	0,73	0,83	0,83	1,33	
Custo anual de falhas dentro do período de garantia	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
Total custo de falhas (€)	0,65	0,73	0,80	0,90	0,90	1,39	
Total custo de manutenção preventiva	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	
Custo Total anual manutenção por luminária (€)	2,10	2,24	2,39	2,59	2,59	3,58	
Quantidade de luminárias	9 868	1 692	6 399	2 581	2 726	1 179	
Custo Total anual manutenção (€) /ano	20 682,36	3 797,02	15 308,32	6 684,52	2 726,00	4 218,33	53 417

Tabela 17 – Cálculo económico-financeiro

Dados	
Investimento estimado	6 208 100€
Taxa de Desconto	5,19%
Taxa Atualização Eletricidade	2,00%

Ano	Taxa de Inflação (%) *	Investimento	Economia Energia (€/ano)	Economia Manutenção (€/ano)	Free Cash Flow	Free Cash Flow Descontado
0	-	6 208 100	-	-	-6 208 100	-6 208 100
1	-	0	1 049 532	43 758	1 093 290	1 039 344
2	0,012	0	1 070 522	44 284	1 114 806	1 007 505
3	0,013	0	1 091 933	44 859	1 136 792	976 681
4	0,02	0	1 113 771	45 756	1 159 528	947 058
5	0,02	0	1 136 047	46 672	1 182 718	918 334
6	0,02	0	1 158 768	47 605	1 206 373	890 481
7	0,02	0	1 181 943	48 557	1 230 500	863 473
8	0,02	0	1 205 582	49 528	1 255 110	837 284
9	0,02	0	1 229 694	50 519	1 280 212	811 890
10	0,02	0	1 254 288	51 529	1 305 817	787 265
11	0,02	0	1 279 373	52 560	1 331 933	763 388
12	0,02	0	1 304 961	53 611	1 358 572	740 234
13	0,02	0	1 331 060	54 683	1 385 743	717 783
14	0,02	0	1 357 681	55 777	1 413 458	696 013
15	0,02	0	1 384 835	56 892	1 441 727	674 903
16	0,02	0	1 412 532	58 030	1 470 562	654 434
17	0,02	0	1 440 782	59 191	1 499 973	634 585
18	0,02	0	1 469 598	60 375	1 529 972	615 338
19	0,02	0	1 498 990	61 582	1 560 572	596 675
20	0,02	0	1 528 970	62 814	1 591 783	578 578
21	0,02	0	1 559 549	64 070	1 623 619	561 030
22	0,02	0	1 590 740	65 351	1 656 091	544 014
23	0,02	0	1 622 555	66 658	1 689 213	527 514
24	0,02	0	1 655 006	67 992	1 722 997	511 515
VAL			11 687 220€			
TIR			19,2%			
Payback (anos)			6,50			

*A taxa de inflação no 2º e 3º anos foi definida com base nas previsões do Banco de Portugal para o ano 2020 e 2021; a partir do 4º ano considerou-se uma taxa de inflação constante de 2% que corresponde ao objetivo de longo prazo do Banco Central Europeu (BCE) para a taxa de inflação na Zona Euro.

Tabela 18 - Cálculo do valor económico das emissões de CO₂ evitadas

Dados	
Emissões Evitadas (ton/ano)	4155
Preço ton CO ₂ (02/01/2019) *	25,06 €
Taxa de Desconto	5,19%
Taxa de atualização Eletricidade	2,00%

Ano	Valor das Emissões CO₂ Evitadas (ton/ano)	Valor Económico das Emissões Evitadas Atualizado (€)	Valor Económico das Emissões Evitadas Descontado (€)
0	-	-	-
1	4155	104124	104124
2	4155	106206	95984
3	4155	108331	93073
4	4155	110497	90250
5	4155	112707	87513
6	4155	114961	84858
7	4155	117260	82285
8	4155	119606	79789
9	4155	121998	77369
10	4155	124438	75022
11	4155	126927	72747
12	4155	129465	70541
13	4155	132054	68401
14	4155	134695	66327
15	4155	137389	64315
16	4155	140137	62364
17	4155	142940	60473
18	4155	145799	58639
19	4155	148715	56860
20	4155	151689	55136
21	4155	154723	53463
22	4155	157817	51842
23	4155	160973	50269
24	4155	164193	48745
Total	99720	3167644	1710387

*Valor da tonelada de CO₂ cotada no mercado, foi obtido em: <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>

Tabela 19 - Estudo económico-financeiro incluindo o valor económico das emissões CO₂

Dados	
Investimento estimado	6 208 100 €
Taxa de Desconto	5,19%
Taxa Atualização Eletricidade	2,00%
Taxa Inflação* 2º ano	1,2%
Taxa inflação* 3º ano	1,3%
Taxa inflação* (do 4º ao 24º ano)	2%

Ano	Investimento	Economia Energia (€/ano)	Economia Manutenção (€/ano)	Emissões Evitadas (€)	Free Cash Flow	Free Cash Flow Descontado
0	6208100	-	-	-	-6208100	-6208100
1	0	1049532	43758	104124	1197414	1138330
2	0	1070522	44284	106206	1221012	1103489
3	0	1091933	44859	108331	1245123	1069754
4	0	1113771	45756	110497	1270025	1037308
5	0	1136047	46672	112707	1295426	1005847
6	0	1158768	47605	114961	1321334	975340
7	0	1181943	48557	117260	1347761	945758
8	0	1205582	49528	119606	1374716	917073
9	0	1229694	50519	121998	1402210	889259
10	0	1254288	51529	124438	1430254	862288
11	0	1279373	52560	126927	1458860	836135
12	0	1304961	53611	129465	1488037	810775
13	0	1331060	54683	132054	1517797	786184
14	0	1357681	55777	134695	1548153	762340
15	0	1384835	56892	137389	1579117	739218
16	0	1412532	58030	140137	1610699	716798
17	0	1440782	59191	142940	1642913	695057
18	0	1469598	60375	145799	1675771	673977
19	0	1498990	61582	148715	1709286	653535
20	0	1528970	62814	151689	1743472	633713
21	0	1559549	64070	154723	1778342	614493
22	0	1590740	65351	157817	1813908	595856
23	0	1622555	66658	160973	1850187	577783
24	0	1655006	67992	164193	1887190	560259
VAL				13 392 469 €		
TIR				21,0%		
Payback (anos)				5,9		

*A taxa de inflação no 2º e 3º anos foi definida com base nas previsões do Banco de Portugal para o ano 2020 e 2021; a partir do 4º ano considerou-se uma taxa de inflação constante de 2% que corresponde ao objetivo de longo prazo do Banco Central Europeu (BCE) para a taxa de inflação na Zona Euro.

Tabela 20 - Análise de sensibilidade

Análise de Sensibilidade		Investimento (€)		Poupança Consumos (%)			Redução do Consumo (kWh)			Redução do Consumo (€/ano)			Redução Energia Primária (tep/ano)		Redução Emissões de CO2 (ton/ano)																			
Variável em análise	Variação (%)	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade																	
		Base Case	Valor Absoluto		Valor Absoluto	Variação (%)		Valor Absoluto	Variação (%)		Valor Absoluto	Variação (%)		Valor Absoluto	Variação (%)		Valor Absoluto	Variação (%)																
Preço das Luminárias ED) (€)	-10%	6 208 100	5 619 996	64%	8 840 395	60%	-5,6%	8 344 560	-5,6%	1 049 532	990 666	-5,6%	1 901	1 794	-5,6%	4 155	3 922	-5,6%																
Vida útil das luminárias LED	-50%																																	
Custos Manutenção Luminárias LED*	+82%																																	
Potência das Luminárias LED	+10%																																	

Análise de Sensibilidade		Investimento (€)		VAL			TIR			Payback			
Variável em análise	Variação (%)	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade		Base Case	Análise de Sensibilidade		
		Base Case	Valor Absoluto		Valor Absoluto	Variação (%)		Valor Absoluto	Variação (%)		Valor Absoluto	Variação (%)	
Preço das Luminárias LED) (€)	-10%	6 208 100	5 619 996	11 687 220	12 275 324	5,0%	19,2%	21,1%	10,2%	6,5	5,8	-10,4%	
Vida útil das luminárias LED	-50%				7 397 317	-36,7%			15,7%		-18,0%	11,9	82,9%
Custos Manutenção Luminárias LED	+82%*				10 980 199	-6,0%			18,4%		-3,9%	6,8	4,6%
Potência Instalada da solução LED	+10%				10 723 173	-8,2%			18,2%		-5,3%	6,9	6,3%

*Percentagem que anula a poupança em manutenção

Tabela 21 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade – preço das luminárias LED

Dados	
Investimento estimado	6 208 100 €
Taxa Atualização	5,19%
Taxa atualização eletricidade	2,00%

Ano	Taxa de Inflação (%)*	Investimento	Economia Energia (€/ano)	Economia Manutenção (€/ano)	Free Cash Flow (€)	Free Cash Flow Descontado (€)
0		-5 619 996			-5 619 996	-5 619 996
1		0	1 049 532	43 758	1 093 290	1 039 344
2	0,012	0	1 070 522	44 284	1 114 806	1 007 505
3	0,013	0	1 091 933	44 859	1 136 792	976 681
4	0,02	0	1 113 771	45 756	1 159 528	947 058
5	0,02	0	1 136 047	46 672	1 182 718	918 334
6	0,02	0	1 158 768	47 605	1 206 373	890 481
7	0,02	0	1 181 943	48 557	1 230 500	863 473
8	0,02	0	1 205 582	49 528	1 255 110	837 284
9	0,02	0	1 229 694	50 519	1 280 212	811 890
10	0,02	0	1 254 288	51 529	1 305 817	787 265
11	0,02	0	1 279 373	52 560	1 331 933	763 388
12	0,02	0	1 304 961	53 611	1 358 572	740 234
13	0,02	0	1 331 060	54 683	1 385 743	717 783
14	0,02	0	1 357 681	55 777	1 413 458	696 013
15	0,02	0	1 384 835	56 892	1 441 727	674 903
16	0,02	0	1 412 532	58 030	1 470 562	654 434
17	0,02	0	1 440 782	59 191	1 499 973	634 585
18	0,02	0	1 469 598	60 375	1 529 972	615 338
19	0,02	0	1 498 990	61 582	1 560 572	596 675
20	0,02	0	1 528 970	62 814	1 591 783	578 578
21	0,02	0	1 559 549	64 070	1 623 619	561 030
22	0,02	0	1 590 740	65 351	1 656 091	544 014
23	0,02	0	1 622 555	66 658	1 689 213	527 514
24	0,02	0	1 655 006	67 992	1 722 997	511 515
VAL	12 275 324 €					
TIR	21,1%					
Payback (anos)	5,8					

*A taxa de inflação no 2º e 3º anos foi definida com base nas previsões do Banco de Portugal para o ano 2020 e 2021; a partir do 4º ano considerou-se uma taxa de inflação constante de 2% que corresponde ao objetivo de longo prazo do Banco Central Europeu (BCE) para a taxa de inflação na Zona Euro.

Tabela 22 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade -vida útil luminárias LED

Dados	
Investimento estimado	6 208 100 €
Taxa de Desconto	5,19%
Taxa Atualização Eletricidade	2,00%
Taxa Inflação* 2º ano	1,2%
Taxa inflação* 3º ano	1,3%
Taxa inflação* (do 4º ao 24º ano)	2%

Ano	Investimento (€)	Investimento Total Descontado (€)	Economia Energia (€/ano)	Economia Manutenção (€/ano)	Cash Flow (€) Operacional	Cash Flow Operacional Descontado (€)	Free Cash Flow Descontado (€)
0	6 208 100	6 208 100	-	-	-	-	-6 208 100
1	0	0	1 049 532	43 758	1 093 290	1 039 344	1 039 344
2	0	0	1 070 522	44 284	1 114 806	1 007 505	1 007 505
3	0	0	1 091 933	44 859	1 136 792	976 681	976 681
4	0	0	1 113 771	45 756	1 159 528	947 058	947 058
5	0	0	1 136 047	46 672	1 182 718	918 334	918 334
6	0	0	1 158 768	47 605	1 206 373	890 481	890 481
7	0	0	1 181 943	48 557	1 230 500	863 473	863 473
8	0	0	1 205 582	49 528	1 255 110	837 284	837 284
9	0	0	1 229 694	50 519	1 280 212	811 890	811 890
10	0	0	1 254 288	51 529	1 305 817	787 265	787 265
11	0	0	1 279 373	52 560	1 331 933	763 388	763 388
12	7 873 372	4 289 903	1 304 961	53 611	1 358 572	740 234	-3 549 669
13	0	0	1 331 060	54 683	1 385 743	717 783	717 783
14	0	0	1 357 681	55 777	1 413 458	696 013	696 013
15	0	0	1 384 835	56 892	1 441 727	674 903	674 903
16	0	0	1 412 532	58 030	1 470 562	654 434	654 434
17	0	0	1 440 782	59 191	1 499 973	634 585	634 585
18	0	0	1 469 598	60 375	1 529 972	615 338	615 338
19	0	0	1 498 990	61 582	1 560 572	596 675	596 675
20	0	0	1 528 970	62 814	1 591 783	578 578	578 578
21	0	0	1 559 549	64 070	1 623 619	561 030	561 030
22	0	0	1 590 740	65 351	1 656 091	544 014	544 014
23	0	0	1 622 555	66 658	1 689 213	527 514	527 514
24	0	0	1 655 006	67 992	1 722 997	511 515	511 515
VAL	7 397 317						
TIR	15,7%						
Payback (anos)	11,9						

*A taxa de inflação no 2º e 3º anos foi definida com base nas previsões do Banco de Portugal para o ano 2020 e 2021; a partir do 4º ano considerou-se uma taxa de inflação constante de 2% que corresponde ao objetivo de longo prazo do Banco Central Europeu (BCE) para a taxa de inflação na Zona Euro.

Tabela 23 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade - manutenção das luminárias LED

Dados	
Investimento estimado	6 208 100 €
Taxa Atualização	5,19%
Taxa atualização eletricidade	2,00%

Ano	Taxa de Inflação (%)*	Investimento	Economia Energia (€/ano)	Economia Manutenção (€/ano)	Free Cash Flow (€)	Free Cash Flow Descontado (€)
0	-	6 208 100	-	-	-6 208 100	-6 208 100
1	-	0	1 049 532	0	1 049 532	997 745
2	0,012	0	1 070 522	0	1 070 522	967 483
3	0,013	0	1 091 933	0	1 091 933	938 140
4	0,02	0	1 113 771	0	1 113 771	909 686
5	0,02	0	1 136 047	0	1 136 047	882 096
6	0,02	0	1 158 768	0	1 158 768	855 342
7	0,02	0	1 181 943	0	1 181 943	829 400
8	0,02	0	1 205 582	0	1 205 582	804 244
9	0,02	0	1 229 694	0	1 229 694	779 852
10	0,02	0	1 254 288	0	1 254 288	756 199
11	0,02	0	1 279 373	0	1 279 373	733 264
12	0,02	0	1 304 961	0	1 304 961	711 024
13	0,02	0	1 331 060	0	1 331 060	689 459
14	0,02	0	1 357 681	0	1 357 681	668 548
15	0,02	0	1 384 835	0	1 384 835	648 271
16	0,02	0	1 412 532	0	1 412 532	628 609
17	0,02	0	1 440 782	0	1 440 782	609 543
18	0,02	0	1 469 598	0	1 469 598	591 056
19	0,02	0	1 498 990	0	1 498 990	573 129
20	0,02	0	1 528 970	0	1 528 970	555 746
21	0,02	0	1 559 549	0	1 559 549	538 891
22	0,02	0	1 590 740	0	1 590 740	522 546
23	0,02	0	1 622 555	0	1 622 555	506 698
24	0,02	0	1 655 006	0	1 655 006	491 330
VAL			10 980 199 €			
TIR			18,4%			
Payback (anos)			6,8			

*A taxa de inflação no 2º e 3º anos foi definida com base nas previsões do Banco de Portugal para o ano 2020 e 2021; a partir do 4º ano considerou-se uma taxa de inflação constante de 2% que corresponde ao objetivo de longo prazo do Banco Central Europeu (BCE) para a taxa de inflação na Zona Euro.

Tabela 24 - Estudo económico-financeiro da análise de sensibilidade – potência luminárias LED

Dados	
Investimento estimado	6 208 100 €
Taxa Atualização	5,19%
Taxa atualização eletricidade	2,00%

Ano	Taxa de Inflação (%) *	Investimento	Economia Energia (€/ano)	Economia Manutenção (€/ano)	Free Cash Flow (€)	Free Cash Flow Descontado (€)
0	-	6 208 100	-	-	-6 208 100	-6 208 100
1	-	0	990 666	43 758	1 034 425	983 383
2	0,012	0	1 010 480	44 284	1 054 763	953 241
3	0,013	0	1 030 689	44 859	1 075 548	924 063
4	0,02	0	1 051 303	45 756	1 097 059	896 036
5	0,02	0	1 072 329	46 672	1 119 001	868 860
6	0,02	0	1 093 776	47 605	1 141 381	842 508
7	0,02	0	1 115 651	48 557	1 164 208	816 955
8	0,02	0	1 137 964	49 528	1 187 492	792 176
9	0,02	0	1 160 723	50 519	1 211 242	768 150
10	0,02	0	1 183 938	51 529	1 235 467	744 852
11	0,02	0	1 207 617	52 560	1 260 176	722 261
12	0,02	0	1 231 769	53 611	1 285 380	700 355
13	0,02	0	1 256 404	54 683	1 311 087	679 113
14	0,02	0	1 281 532	55 777	1 337 309	658 516
15	0,02	0	1 307 163	56 892	1 364 055	638 543
16	0,02	0	1 333 306	58 030	1 391 336	619 177
17	0,02	0	1 359 972	59 191	1 419 163	600 397
18	0,02	0	1 387 172	60 375	1 447 546	582 187
19	0,02	0	1 414 915	61 582	1 476 497	564 530
20	0,02	0	1 443 214	62 814	1 506 027	547 407
21	0,02	0	1 472 078	64 070	1 536 148	530 805
22	0,02	0	1 501 519	65 351	1 566 871	514 706
23	0,02	0	1 531 550	66 658	1 598 208	499 095
24	0,02	0	1 562 181	67 992	1 630 172	483 957
VAL			10 723 173 €			
TIR			18,2%			
Payback (anos)			6,9			

*A taxa de inflação no 2º e 3º anos foi definida com base nas previsões do Banco de Portugal para o ano 2020 e 2021; a partir do 4º ano considerou-se uma taxa de inflação constante de 2% que corresponde ao objetivo de longo prazo do Banco Central Europeu (BCE) para a taxa de inflação na Zona Euro.