



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

Eficiência da Iluminação Pública
Uma aplicação ao Concelho de Loures

JOSÉ BUSTORFF

(Licenciatura em Engenharia Mecânica)

Trabalho final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica

(Documento definitivo)

Orientador:

Doutor Nuno Soares Domingues

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques, ISEL

Vogal: Doutor Rui Neves-Silva, FCT/UNL (Arguente)

Dezembro de 2018



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica

Eficiência da Iluminação Pública
Uma aplicação ao Concelho de Loures

JOSÉ BUSTORFF

(Licenciatura em Engenharia Mecânica)

Trabalho final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica

(Documento definitivo)

Orientador:

Doutor Nuno Soares Domingues

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques, ISEL

Vogal: Doutor Rui Neves-Silva, FCT/UNL (Arguente)

Dezembro de 2018

Agradecimentos

É com o sentimento de que aumentei o leque de conhecimentos e de organização que a principal gratidão vai para o meu orientador, Professor Doutor Nuno Soares Domingues, por todo o trabalho de orientação, especialmente, por ter indicado os caminhos da investigação e pela disponibilidade.

A todos os organismos que forneceram as diversas fontes de dados utilizadas neste trabalho, aproveito para deixar uma mensagem de gratidão, em especial à Câmara Municipal de Loures, EDP e à Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária.

A toda a equipa de docentes e restantes elementos do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, pelo acolhimento como aluno e pelo amadurecer de conhecimentos, agradeço eternamente.

A todos os familiares e amigos pelo apoio e pela aceitação das horas da minha ausência por motivos de concentração e trabalhos de investigação, quero expressar um obrigado.

Resumo

A iluminação de vias públicas tem sido objeto de interesse para desenvolver diversas investigações. A eficiência energética e a segurança para condutores e pedestres são os temas em que incidimos na nossa investigação.

Através de um estudo de caso, o Concelho de Loures, investigou-se a eficiência energética neste município. Analisaram-se os dados sobre as “infraestruturas” de iluminação de vias públicas, nomeadamente, a tecnologia utilizada, a tradicional e a de ponta (LED).

Relativamente às principais fontes de dados sobre “infraestruturas” de iluminação de vias públicas os dados foram fornecidos pela EDP e pela Câmara Municipal de Loures.

Quanto à eficiência energética constatou-se que a tecnologia LED oferece melhores resultados, em termos económicos, energéticos e de menor poluição.

Concluiu-se que o Poder Local em colaboração com a EDP tem efetuaram investimentos no Concelho de Loures no sentido da melhoria da eficiência energética, substituindo lâmpadas tradicionais por tecnologia LED.

Palavras-chave – Iluminação de vias públicas, eficiência energética, tecnologia LED, Concelho de Loures.

Abstract

Roads public lighting has been recently object of research. Energy efficiency and safety for drivers and pedestrians are the focus of this research. The subject is the Municipality of Loures. It were analyzed: the relationship between the number of road accidents and casualties during daylight and night over the period 2000-2015; infrastructure and equipment for public lighting; and traditional and state-of-the-art (LED) technologies.

The main source of road accident data was the National Road Safety Authority. The main sources of data of public roadway lighting infrastructure were EDP and the Town Hall of Loures. The road accidents and casualties of the Municipality of Loures were compared to those of Municipality of Lisbon.

It was found that most of the accidents and casualties occurred during the "dark" period. Regarding LED technology to energy efficiency, it has been found that LED reduces energy costs, the lightening is more efficient and less pollutant.

It was found that the Local Authorities in collaboration with EDP has made investments in the Loures Council to improve energy efficiency replacing traditional lights with LED technology.

Keywords - Public lighting, energy efficiency, LED technology, Municipality of Loures.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E METODOLOGIA	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Apresentação da problemática e do objeto de estudo	2
1.3 Organização da dissertação	3
1.4 Metodologia	3
CAPÍTULO 2 – ILUMINAÇÃO EM VIAS PÚBLICAS.....	7
2.1 Conceitos.....	12
2.2 Pedestres.....	19
2.3 Estradas	20
2.4 Iluminação: luminância e iluminância	21
2.5 Luminárias de iluminação rodoviária.....	22
2.6 Projetores.....	23
2.7 Holofotes	23
2.8 LED's	24
2.9 Balastros	26
2.10 Legislação aplicável - a EN 13201	27
2.11 O papel da EDP Distribuição	30
2.12 Modelo de controlo da eficiência energética pública.....	30
2.13 Barreiras e incentivos à implementação de projetos de eficiência energética	32
2.14 Aspectos organizativos do Poder Local/ Autarquia.....	33
CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO. ILUMINAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS NO CONCELHO DE LOURES.....	35
3.1. Caraterização geral.....	35
3.2 Investimento em iluminação nas vias públicas	39
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....	45
3.3 Resultados	45
4.1 Análise.....	50
4.2 Discussão.....	52
CONCLUSÕES.....	55

LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	57
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	59
BIBLIOGRAFIA	61
ANEXOS	- 1 -
A ILUMINAÇÃO NAS VIAS PÚBLICAS E A CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA- 3 -	
1.1 Concelho de Lisboa	- 3 -
1.2 Concelho de Loures	- 9 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Organização da investigação.....	3
Figura 2.1 - Consumo de energia elétrica em iluminação de vias públicas <i>per capita</i> (Henriques, 2012, p. 6), [Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012].	8
Figura 2.2 - Consumos de energia em kWh /hab (quilowatt-hora por habitante), <i>per capita</i> , para iluminação de vias em Portugal (PORDATA, 2016).	9
Figura 2.3 – Fluxo luminoso (DREEIP, 2018).	14
Figura 2.4 – Intensidade luminosa (DREEIP, 2018).	15
Figura 2.5 – Intensidade luminosa (DREEIP, 2018).	15
Figura 2.6 – Iluminância sobre uma superfície (DREEIP, 2018; Gomes, 2012).	16
Figura 2.7 – Esquematização da luminância (DREEIP, 2018).	17
Figura 2.8 – Esquema elétrico: a. luminárias para montagem de rede subterrânea; b. luminárias para montagem de rede aérea (EDP, 2016).	27
Figura 3.1– Enquadramento geográfico do Concelho de Loures, obtido na Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) em http://www.dgterritorio.pt/	35
Figura 3.2 – Freguesias e União de Freguesias do Município de Loures.....	35
Figura 3.3 – População presente por Freguesia/união de Freguesias (INE, 2011; CAOP, 2015).	37
Figura 4.1 – Tendência linear dos gastos em energia elétrica em iluminação de vias públicas (kWh) entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016).	46
Figura 4.2 – Tendência dos gastos em energia elétrica em iluminação de vias públicas entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016).	47
Figura 4.3 – Evolução do número de habitantes residentes no Concelho de Loures entre 1970 e 2011 (INE, 1970/2011).	47
Figura 0.1 – Número total de mortos em acidentes rodoviários nas vias públicas, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 5 -
Figura 0.2 – Número de mortes em acidentes rodoviários, por ano, no período “escuro”, no Concelho de Loures, entre 200 e 2015 (ANSR, 2015).	- 12 -
Figura 0.3 – Mortes em acidentes em vias públicas, no Concelho de Loures, entre 2001 e 2015 (ANSR, 2015; CAOP, 2015).	- 14 -

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Dados estatísticos descritivos da iluminação de vias públicas entre 1994 e 2013, em kWh (quilowatt-hora) para Portugal (PORDATA, 2016).	9
Tabela 2.2 – Teste da normalidade dos dados.	9
Tabela 2.3 – Setores que requerem energia em Portugal (DGEG, 2014).....	10
Tabela 2.4 – Tipologias de vias de circulação (EN 13201).....	13
Tabela 2.5 – Fatores e unidades de medida aplicadas na IP (EDP, 2016).....	13
Tabela 2.6 – Tipologia de espaço/atividade e iluminância (EN 12464-2).	29
Tabela 3.1 – Freguesia/União de Freguesias e respetiva área.	36
Tabela 3.2 – Características populacionais (população presente) no Concelho de Loures (INE, 2001, 2011).	38
Tabela 3.3 - Tipologia de lâmpadas no Concelho de Loures (EDP, 2017).	39
Tabela 3.4 – Luminárias rurais fixas com diâmetro 42 mm, de consumo corrente, horizontal (H) e com Fusível (F), contrato para vigorar em 2015/2016, Loures (CML, 30 de janeiro, 2015).	40
3.5 – Luminárias urbanas fixas com diâmetro 60 mm, de consumo corrente, horizontal (L) e sem Fusível (X), contrato para vigorar em 2015/2016, Loures (CML, 30 de janeiro, 2015).	40
Tabela 3.6 – Luminárias de jardim, bola com 500 mm, PC Cristal texturado, Capot com base de alumínio, de consumo corrente, Vertical (V) e sem Fusível (X), contrato para vigorar em 2015/2016, Loures (CML, 30 de janeiro, 2015).	40
Tabela 3.7 - Custos de PIPs anuais Loures (CML, 2017).	41
Tabela 3.8 – Iluminação pública e algumas das medidas no Concelho de Loures (Salvador, 2016, p. 61-62).....	42
Tabela 3.9 – Alguns exemplos de ações/poupanças para alguns dos locais do Concelho de Loures (Salvador, 2016).	43
Tabela 3.10 - Projeto-piloto para o município de Loures – análise económica (valores sem IVA), CML (2017).	43
Tabela 4.1 - Consumo de energia elétrica em iluminação de vias públicas (kWh) entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016).....	45
Tabela 4.2 – Correlação de Pearson <i>versus</i> significância entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016).....	46
Tabela 4.3 – Habitantes residentes (INE, 1970/2011).	47
Tabela 4.4 – Estatísticas descritivas dos dados populacionais entre 1970 e 2011 (INE, 1970/2011).	48
Tabela 4.5 – Parque automóvel em Portugal, entre 1974 e 2014 (Autoinforma, 2018). 49	
Tabela 4.6 – Comparação das variáveis em três das Freguesias/União de Freguesias do Concelho de Loures, com o valor máximo e mínimo de mortes/acidentes (ANSR, 2015; CAOP, 2015).	51
Tabela 0.1 – Mortes devidas a acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Lisboa, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 4 -
Tabela 0.2 – Mortes por acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Lisboa, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 4 -

Tabela 0.3 – Freguesias do Concelho de Lisboa e respetivas mortes devidas a acidentes rodoviários, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 6 -
Tabela 0.4 – Dados descritivos relativos ao número de mortes/acidente nas diversas freguesias do Concelho de Lisboa entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 7 -
Tabela 0.5 – Tipologia de acidente com sinistralidade no Concelho de Lisboa, entre 2000 e 2015, (ANSR, 2015).	- 8 -
Tabela 0.6 – Tipologia de vias em que ocorreram mortes por acidentes na via pública, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 8 -
Tabela 0.7 – Tipologia de fatores atmosféricos em que ocorreram acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 9 -
Tabela 0.8 – Tipologia dos fatores atmosféricos que provocaram mortes por acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 9 -
Tabela 0.9 – Mortes devidas a acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Loures, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 10 -
Tabela 0.10 – Estatísticas descritivas da variável vítimas mortais.	- 11 -
Tabela 0.11 - Mortes por acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Loures, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 12 -
Tabela 0.12 - Freguesias do Concelho de Loures e respetivas mortes devidas a acidentes rodoviários, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 13 -
Tabela 0.13 – Número de mortes por Freguesia/União de Freguesias do Concelho de Loures, entre 2001 e 2015 (ANSR, 2015; CAOP, 2015)	- 15 -
Tabela 0.14 – Estatística descritiva relativa às variáveis “idade do condutor” e “mortes”, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 15 -
Tabela 0.15 – Tipologia do acidente que provocou mortes no Concelho de Loures, entre 2000 e 2015, (ANSR, 2015).	- 16 -
Tabela 0.16 - Tipologia de vias em que ocorreram mortes em acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 17 -
Tabela 0.17 – Tipologia fatores atmosféricos em que ocorreram mortes em acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).	- 18 -

Siglas e Acrónimos

ANSR - Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal

CEN - Comissão Europeia de Normalização

CML - Câmara Municipal de Loures

DGT – Direção Geral do Território

EDP - Energias de Portugal

EN - Norma Europeia

FUF - Floodlighting

IEE - Índice de Eficiência Energética

IP - Infraestruturas de Portugal

LED - Light Emitting Diode

LOR - Luminaire Output Ratio

LOR - Luminaire Output Ratio

PIP - Pontos Iluminação Pública

SSL - iluminação de estado solido / Solid State Lighting

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E METODOLOGIA

1.1 Introdução

A rede de iluminação pública é alimentada em baixa tensão permitindo garantir os níveis de iluminação adequados nas diversas áreas públicas, podendo assumir também funções decorativas. Distribui-se através de sistemas de rede aérea e/ou subterrânea. Na rede aérea, a alimentação elétrica dos focos de iluminação é realizada pelos condutores existentes nos próprios cabos de distribuição (Kalthoum, 2016; Magalhães, 2014), enquanto na rede subterrânea, os circuitos elétricos são normalmente instalados em canalizações próprias (Gomes, 2014).

As instalações de iluminação externa, se forem projetadas incorretamente, desperdiçam luz ao brilhar em direções desnecessárias, exceto em direção às áreas ou objetos a serem iluminados (Narisada, & Kawakami, 1998).

Existem valores de luminância média recomendada para as vias interurbanas, cujas velocidades máximas autorizadas estão compreendidas entre 70 e 130 km/h, e para as vias urbanas considera-se uma velocidade máxima autorizada de 50 km/h (conforme a Norma Europeia sobre Iluminação Pública: EN 13201). Entende-se por vias interurbanas: autoestrada, estrada nacional, estrada secundária).

A descoberta do *Light Emitting Diode* (LED) veio revolucionar o mercado tecnológico, proporcionando melhor e maior qualidade nas iluminações e equipamentos. Os LED transformam energia elétrica em luz (Luz, Scheffer, Krzyzaniak & Cadore, 2015). As lâmpadas LED apresentam-se como uma alternativa mais eficiente em termos energéticos. Isso, de fato, deve-se a que as lâmpadas LED, ao contrário das fontes de luz convencionais, fazem uma transferência direta de energia elétrica para a luz (Gil-de-Castro, Moreno-Muñoz, Larsson, Rosa & Bollen, 2013). Existem autores que defendem que as lâmpadas LED contribuem para combater o aquecimento global (Luz, Scheffer, Krzyzaniak & Cadore, 2015). A iluminação LED veio substituir as tecnologias de iluminação convencional, permitindo uma maior economia de energia. Esta tecnologia permite reduzir os custos de energia em 40 % (Fillipo Rugeles, Cano Garzón & Chaves Osório, 2010).

As barreiras atuais têm a ver com os custos iniciais de implantação da tecnologia LED (Castañeda, Sáenz, & Cárdenas, 2012; Saavedra, Rey & Luyo, 2016).

Nick Holonyak em 1962 conseguiu obter luz visível através do LED, com um ensaio rudimentar produzindo luz vermelha com baixa luminosidade (Luz, Scheffer, Krzyzaniak & Cadore, 2015).

Foi na década de 90 que a verdadeira revolução do LED aconteceu, através da descoberta da tecnologia InGan (Indium gallium nitride), onde tornou-se possível obter LED com comprimento de ondas menores, nas cores azul, verde e ciano (Luz, Scheffer, Krzyzaniak & Cadore, 2015).

O setor de iluminação pública exterior inclui diversos locais, nomeadamente, vias de circulação rodoviária e pedonal (linha do metro, estradas, estacionamento) e construções externas, citando apenas estes exemplos (Saavedra et al., 2016). Além de iluminar, cria uma sensação de segurança pessoal e chama à atenção para as empresas e os diversos espaços (Saavedra et al., 2016).

1.2 Apresentação da problemática e do objeto de estudo

O consumo de energia dos Pontos Iluminação Pública (PIP) em Portugal é pago, maioritariamente, pelas Câmaras Municipais, representando aproximadamente 1500 GWh/ano. A iluminação pública (IP) está diretamente ligada à segurança da via pública e à prevenção da criminalidade (Santos, 2011). Em termos de criminalidade referimo-nos especialmente à falta de iluminação pública que pode provocar acidentes rodoviários.

Este trabalho foca-se no município de Loures e pretende estudar a eficiência da iluminação nas vias públicas. Como objetivo geral tem-se em vista “abrir” o debate sobre a eficiência energética em vias públicas, tendo como protagonistas a empresa concessionária, a Energias de Portugal (EDP) e o Poder Local, no sentido de escolher as melhores soluções energéticas com tecnologias modernas e mais eficientes. Como objetivos específicos deste trabalho pretende-se identificar estratégias de redução dos gastos com a iluminação de vias públicas, recorrendo à tecnologia *Light Emitting Diode* (LED) ou diodo emissor de luz. Pretende-se ainda contribuir para uma maior eficiência energética podendo, de forma indireta, diminuir a sinistralidade ao melhorar a qualidade da iluminação durante o período “escuro”.

Para a concretização dos objetivos valida-se o “modelo” energético com dados empíricos de forma a incentivar a melhor solução de eficiência energética no Concelho de Loures.

1.3 Organização da dissertação

A investigação está organizada por capítulos, conforme se ilustra Figura 1.1. Desde a introdução, objetivos, problemática/questões de investigação e metodologia, aos capítulos seguintes, que integram a revisão bibliográfica e as teorias que sustentam o estudo de caso – a iluminação de vias públicas no Município de Loures e, por fim, a respetiva análise dos dados, discussão e conclusões, incluindo as perspectivas de trabalhos futuros.

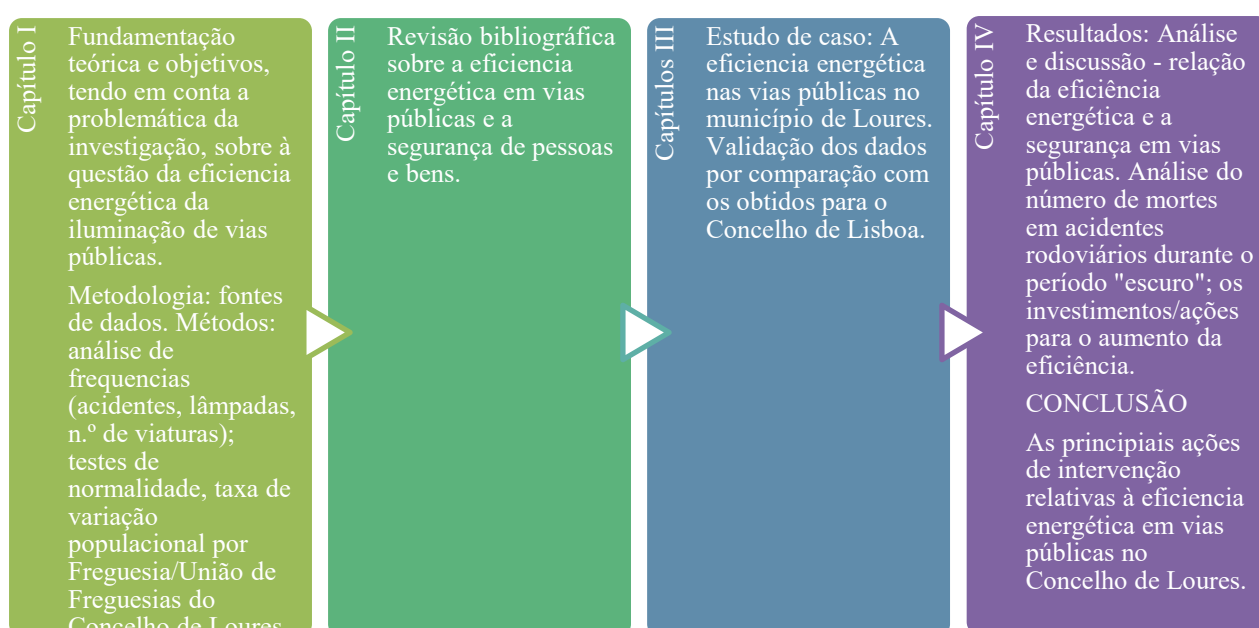


Figura 1.1 – Organização da investigação.

Neste documento integram-se ainda dois artigos científicos, que foram realizados durante os trabalhos de investigação, para publicação em duas revistas internacionais: um deles sobre uma revisão sistemática sobre a iluminação pública e o segundo sobre o papel das Agências de Energia em Portugal, a nível regional e municipal.

1.4 Metodologia

A concretização do trabalho é fundamentada com uma revisão bibliográfica sobre o fornecimento de eficiente energética para iluminação de vias públicas. Tem-se como fontes principais de dados a informação cedida pela EDP para o Concelho de Loures: 32613 pontos de IP (2017), as luminárias e ainda a tipologia de lâmpadas e respetiva

potência; os dados cedidos pela Câmara Municipal de Loures sobre as ações e projetos de intervenção no município; Censos obtidos no INE, nomeadamente, dados populacionais por Freguesia/União de Freguesias; a base de dados da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), para o período temporal 2000 - 2015, sobre acidentes rodoviários nos concelhos de Loures e de Lisboa; e dados obtidos da Autoinforma (2018) sobre a frota automóvel em Portugal entre o período temporal 1974 - 2014. Recorreu-se ainda à utilização da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), de 2015, da Direção Geral do Território (DGT) para delimitar as unidades administrativas – as Freguesias/União de Freguesias.

Em termos de iluminação pública fomos indagar na legislação aplicável e enumerada por Santos (2011): EN 13201-1 (escolha das classes de iluminação), EN 13201-2 (parâmetros fotométricos recomendados), - EN 13201-3 (cálculo dos parâmetros fotométricos) e EN 13201-4 (métodos de medição das performances fotométricas). Procurou-se ainda informação sobre iluminação através da tecnologia LED (Louçano, 2009).

Com as variáveis, população e iluminação pública sugere-se um modelo que considera as inter-relações entre os parâmetros para proceder a estimativas de gastos energéticos, com o objetivo de identificar os benefícios da solução da tecnologia fonte de luz LED. Neste sentido, faz-se uma abordagem ao modelo de Patrício et al. (2016), tentando uma “discussão” sobre as variáveis que deverão ou poderão intervir num modelo energético, mais especificamente para o caso de Loures. Identificaram-se as necessidades de aumento do fornecimento de energia ao longo do tempo e, a partir daí, foi efetuada uma “previsão” para os anos vindouros. Entende-se que, para a sustentabilidade energética é necessário, investir na eficiência energética, com mais energia produzida, com menores custos e menos poluição ambiental (Patrício et al., 2016).

O estudo aplicou-se a uma escala mais alargada, o município de Loures, e a uma escala parcelar quando se consideram as dez Freguesias/União de freguesias. Validam-se os resultados por comparação dos resultados do Concelho de Loures com os do Concelho de Lisboa, em relação aos acidentes durante o período “escuro”, durante 24 horas, que podem ter sido influenciados pela iluminação de vias públicas.

Com o “modelo” energético municipal idealizado, pode tomar-se como referência um índice energético sustentável para o município de Loures, recorrendo à tecnologia LED’s. Portanto, conseqüentemente foi realizado um levantamento no âmbito municipal sobre as ações humanas que já foram levadas a cabo e as que estão ainda a decorrer, para alcançar

esse índice de iluminação sustentável das vias públicas. O índice de sustentabilidade é função dos índices das classes de iluminação para as vias rodoviárias, descritas no Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública, DREEIP (2012/2018).

CAPÍTULO 2 – ILUMINAÇÃO EM VIAS PÚBLICAS

A função da IP é garantir a segurança rodoviária de pessoas e bens (Peña-García, Hurtado, & Aguilar-Luzón, 2015). Os aspetos da qualidade da iluminação são diversos, destacando-se: a quantidade, a distribuição do número de pontos de luz, o brilho, a distribuição de energia espectral, a luz do dia, a direção e a sua dinâmica (Kruisselbrink, Dangol & Rosemann, 2018). Os investigadores ressaltaram que o primeiro passo para otimizar a qualidade da iluminação é medir todos os aspetos fotométricos relevantes, relacionados com a compreensão da qualidade da mesma. Portanto, os modelos criados através dos algoritmos têm de se concentrar nos diversos aspetos apontados pelos referidos investigadores. Para fazer face à qualidade energética em vias públicas recomendam-se medições contínuas que visam melhorar a qualidade da iluminação. A este respeito, fez-se referência à investigação sistemática de alguns investigadores (Kruisselbrink, Dangol & Rosemann, 2018), que verificaram que a qualidade da iluminação nos anos 90 teve um desenvolvimento significativo, evidenciando-se esse resultado nas diversas conferências e publicações de diversos investigadores. Uma investigação que merece ser citada refere-se à qualidade da iluminação (Veitch & Newsham, 1996). Outra, sobre medição dos aspetos de qualidade de iluminação, é a demonstrada noutros trabalhos de investigação (Gentile, Dubois, Osterhaus, Stoffer, Amorim, Geisler-Moroder & Jakobiak, 2016). Estes dois temas complementam-se em termos de visão geral para o estudo da iluminação. Regra geral, à medida que a quantidade de luz aumenta, até um certo limite, a iluminação torna-se mais agradável, mais confortável, mais clara, mais estimulante, mais brilhante, mais colorida, mais natural, mais amigável, mais quente e mais uniforme (Gentile, et al., 2016). Outro tema de relevo relacionado com a IP são as emissões de CO₂. Com o progressivo desenvolvimento económico do nosso país, os consumos de energia elétrica *per capita* para iluminação das vias públicas tiveram um crescimento gradual e, conseqüentemente, torna-se necessário conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas. Este facto deve-se ao aumento da área total iluminada devido ao crescimento das áreas urbanizadas, que foi o ponto da ignição da eletrificação nas várias localidades. A iluminação deve contribuir para ajudar a identificar lugares essenciais, como nós, portas, rotundas, pontos de referência, locais onde é necessário tomar decisões de

orientação ou ajudar a criar um referencial que permita identificar o território (Alves, 2004).

Portugal encontra-se particularmente dependente de países terceiros no que se refere ao fornecimento de energia, com 78,3 %, em 2015 (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017). No nosso País, têm sido efetuados alguns esforços no sentido de reduzir o consumo de energia elétrica em iluminação, isto é, tornando mais eficiente este setor.

Quanto ao consumo de energia elétrica em iluminação, podem observar-se os dados para Portugal Continental, tendo em conta essa distribuição pelos diversos concelhos, consumo de energia em vias públicas entre 1994 e 2013 (Figura 2.1). Os concelhos localizados na faixa do litoral são os que necessitam de menos quantidade de energia para iluminação de vias públicas devido ao maior número de horas de luz solar, comparativamente aos restantes concelhos.

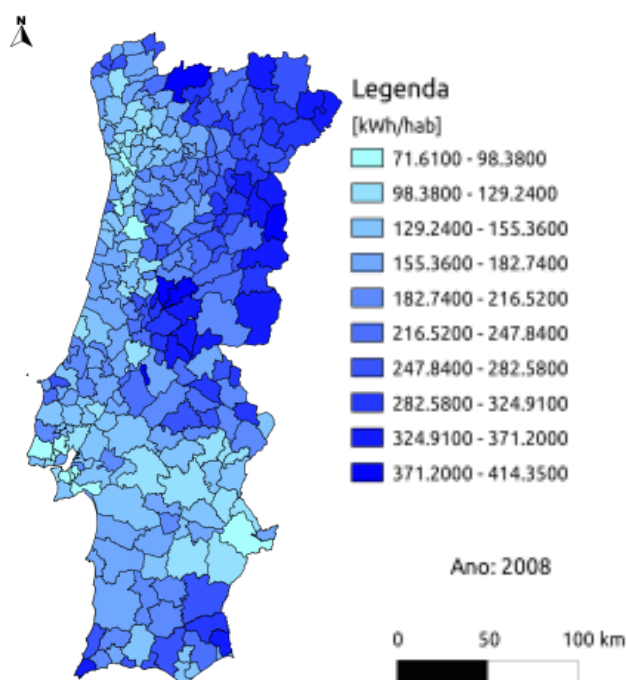


Figura 2.1 - Consumo de energia elétrica em iluminação de vias públicas *per capita* (Henriques, 2012, p. 6), [Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012].

Tendo em conta o investimento para melhorar a eficiência energética e os gastos públicos neste setor e, tendo como referência o período 1994 - 2013 (Figura 2.2), verificou-se que foi a partir de 2011 quando os consumos manifestam uma pequena descida (PORDATA, 2016). O consumo é o resultado de mais vias públicas para iluminar ao longo das últimas duas décadas, paralelamente com o investimento em tecnologia de poupança energética

nos últimos anos, tecnologia LED e energia alternativas, como o exemplo da energia solar.

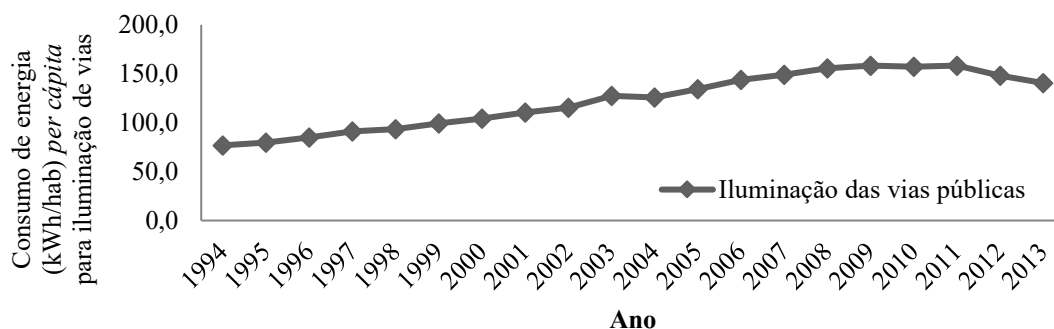


Figura 2.2 - Consumos de energia em kWh /hab (quilowatt-hora por habitante), *per capita*, para iluminação de vias em Portugal (PORDATA, 2016).

O valor máximo de consumo de energia (com 158,3 kWh/hab) foi atingido em 2009, sendo o mínimo atingido em 1994 (Figura 2.1 e Tabela 2.1). Os dados de consumo energético assumem uma distribuição normal, conforme o teste de Shapiro-Wilk (significância $p = 0,078$; $> 0,05$), Tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Dados estatísticos descritivos da iluminação de vias públicas entre 1994 e 2013, em kWh (quilowatt-hora) para Portugal (PORDATA, 2016).

		Estatística (kWh/ano)	Erro Padrão
Média		122,7	6,4
95 % Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	109,3	
	Limite superior	136,0	
5 % da média aparada		123,2	
Mediana		126,6	
Desvio Padrão		28,4	
Mínimo		76,8	
Máximo		158,3	
Amplitude		81,5	
Amplitude interquartil		53,8	
Assimetria		-0,2	0,5
Curtose		-1,4	1,0

Tabela 2.2 – Teste da normalidade dos dados.

	Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.
Iuminação de Vias públicas	0,914	20	0,078

*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Correlação de Significância de Lilliefors.

Quanto aos diversos setores que requerem energia, verificou-se para o caso particular das vias públicas, que a tendência, entre 2012 e 2013, foi a descida (-5,5 %), enquanto entre 2013 e 2014 verificou-se um ligeiro aumento nos gastos energéticos neste setor (+0,5 %), conforme se ilustra na Tabela 2.3. Estes dados vêm confirmar a evolução que se representou no gráfico anterior da Figura 2.2.

Tabela 2.3 – Setores que requerem energia em Portugal (DGEG, 2014).

Setor	2012 (GWh)	2013 (GWh)	Variação = (2013/2012) - (100 %)	2014 (GWh)	Variação = (2014/2013)- 100 %)
Agricultura	1003	941	-6,2%	825	-12,3%
Doméstico	12898	12311	-4,6%	11908	-3,3%
Edifícios do estado	1892	2076	9,7%	1119	-46,1%
Iluminação Vias Públicas	1555	1470	-5,5%	1478	0,5%
Indústria	17291	17011	-1,6%	17305	1,7%
Não doméstico	12133	12170	0,3%	12142	-0,2%
Tração	358	292	-18,4%	295	1,0%
TOTAL	47130	46271		45072	

Quer as vias de comunicação rodoviárias e pedonais quer a IP foram objeto de investimentos públicos, conforme se demonstrou nas tabelas anteriores. Foram os diversos investimentos que contribuíram para uma maior eficiência energética, sendo este um bem público comum.

O sistema de IP, gerido pela Administração Local, consome uma boa parte do orçamento (Perko, Topić & Šljivac, 2016), sendo através dos impostos que este é suportado (Milan & Creutzig, 2016). Os maiores gastos também estão relacionados com níveis de dívida mais elevados e os orçamentos municipais têm que contemplar essa relação com a intervenção municipal (Milan & Creutzig, 2016). A teoria da taxa sobre o uso do solo (*land taxation theory*) é a tributação imobiliária das diferenças nos seus usos. A este respeito, a taxa de tributação, tendo em conta os efeitos da estrutura urbana, deve ser considerada nos orçamentos referentes à iluminação pública (Milan & Creutzig, 2016).

A teoria delineada sobre os tecidos urbanos mostra como os diferentes tipos de centros urbanos são combinações de circulação para a qualidade de vida dos cidadãos (Newman, Kosonen & Kenworthy, 2016).

A implantação da rede de abastecimento elétrica, transporte e comunicação influenciaram de maneira essencial na estrutura das regiões e nas áreas metropolitanas, construídas por múltiplos agentes públicos e privados (Sáez & Costa, 2013).

“O crescimento urbano verificado no século XIX, (...), trouxe consigo problemas de circulação de pessoas e bens, obrigados a deslocar-se numa área de maiores dimensões” (Matos, 2012, p. 13).

“A iluminação pública, (...) deve reger-se pelo critério da eficiência energética. (...) é frequentemente repartida por várias entidades (...)” (Silva, 2007, p. 32).

A IP deve ser adequada porque é necessária para ver e ser visto, sendo que os níveis básicos de iluminação devem permitir a identificação de um indivíduo a uma distância mínima de 10 metros (Costa, 2015). A IP noturna tem como principal função facilitar a mobilidade dos cidadãos em segurança, quer a pé quer de automóvel (Murray & Feng, 2016). Durante o período noturno, maiores iluminâncias aumentam a segurança, permitindo um nível de luz ideal para que o cidadão pedestre seja identificado (Fotios & Castleton, 2016).

A IP está diretamente ligada à segurança da via pública, sendo uma das características em destaque nas cidades (Santos, 2011) e outros meios urbanos de menor dimensão.

A IP tem sido uma das necessidades básicas das sociedades modernas. Devido a este facto, o investimento tem sido considerável neste setor (Amaral, 2013). O desenvolvimento desigual, em extensão de área iluminada num determinado território, derivou em investimento, conquista de novos mercados de trabalho e consequente modernização, em geral (Sáez & Costa, 2013). Porém, surge a necessidade de poupar energia como um desafio que deriva das alterações climáticas e vai no sentido de contribuir para uma maior eficiência energética e a diminuição de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Por isso, como medida contra as alterações climáticas, em Portugal e no mundo, têm sido efetuados alguns esforços para reduzir o consumo de iluminação, como o exemplo das políticas da União Europeia.

Em comparação com os sistemas tradicionais de iluminação de rua, o sistema de iluminação exterior com LED, conectado por rede com capacidade de controlo remoto, oferece muitos benefícios, como a redução do consumo de energia e os custos operacionais, o controlo em tempo real e a capacidade de monitoramento (Jin et al., 2016). Os sensores instalados em postes de iluminação também poderiam ser utilizados durante o dia para prever o fluxo de tráfego e regular os semáforos (Perko et al., 2016). Atualmente, a necessidade de diminuir o consumo transformou-se numa prioridade máxima (Santos, 2011). A substituição de lâmpadas de Mercúrio de Alta Pressão (HPM) por lâmpadas Sódio Alta Pressão (HPS) permite uma redução nos consumos na ordem do 50 %, sendo que, quando se substitui as HPM diretamente por lâmpadas energeticamente eficientes, como as LED, a redução verificada pode ir até 80 %, sem perder intensidade

luminosa (Santos, 2011). Ora, existem evidências que com a tecnologia LED temos uma redução do consumo de eletricidade (Perko et al., 2016). As redes de IP com luminárias LED, utilizando *Dimming*, são as que permitem obter uma maior poupança energética, paralelamente, as soluções LED revelaram-se a longo prazo as mais económicas, refletindo os custos com o investimento e a energia consumida (Machado, 2017).

A coesão entre os vários países da UE é reforçada com as normais Europeias contribuindo para uma maior eficiência, como o caso da energética.

“Em termos de compromissos regionais, e no domínio do desenvolvimento sustentável, sublinha-se o progresso notável no desempenho nacional face às metas da Estratégia Europa 2020, em particular no aumento da percentagem de energias renováveis, no consumo de energia final, e no aumento da eficiência energética, reduzindo a proporção no consumo de energia primária” (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017, p. 38).

Segundo dados da EDP (2016), existem cerca de 3 milhões de pontos de luz de IP em Portugal continental, com um consumo global correspondente a 3 % da energia saída da rede de distribuição. Na mesma base, a fonte de luz através de lâmpadas a vapor de sódio é a grande parcela dos pontos de iluminação pública, com 83,4 %. A fonte luminosa por LED's ocupa 1,3 % na IP nacional, embora com elevado potencial de crescimento. Ainda, segundo dados da EDP, o tipo de luminárias fechadas é dominante em termos de parque nacional de IP, sendo mais usual em áreas urbanas.

2.1 Conceitos

A Norma Europeia sobre iluminação pública (EN 13201) distingue três tipos de vias: interurbanas, urbana e rural. Define as três tipologias de vias: 1. Vias interurbanas - as autoestradas, estradas nacionais e estradas secundárias. 2. Vias urbanas - autoestrada urbana, circunvalação, estrada periférica, estrada de entrada em área habitada ou não habitada, avenida, via secundária, via de serviço, via comercial, via pedonal, pista de ciclismo, passeio e rotunda. 3. Vias rurais - via de acesso a localidade, rua principal, via transversal, loteamento e rotunda. Vejamos o esquema no seu conjunto (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Tipologias de vias de circulação (EN 13201).

Categoria da via	Tabela	Tipo de via
Interurbana	1	Autoestrada Estrada nacional Estrada secundária
		Urbana
3	Avenida Via secundária Via de serviço	
	4	
Rural		

Define-se como Índice de Eficiência Energética (IEE) de uma instalação de IP a relação existente entre o ponto de superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada. Podendo ser definida pela expressão

(2.1).

$$IEE = \frac{S \cdot E}{P} \quad (2.1)$$

Sendo que, “S” é a área (m²) resultante do produto do valor da interdistância entre pontos de luz e a largura total da via e dos passeios, “E” é o nível médio de iluminação calculado e “P” é a potência total das luminárias, mais auxiliares, intervenientes na área calculada (EDP, 2016).

A EDP (2016) representa alguns dos fatores e suas respectivas unidades (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Fatores e unidades de medida aplicadas na IP (EDP, 2016).

Fator	Unidade de medida
Índice de Restituição de Cor	(IRC)
Fluxo luminoso	lm
Temperatura da Cor	kelvin
Eficácia Luminosa	lm/W
Gama de Potência	W
Tempo de Vida	H
Fator de Sobrevivência da Lâmpada	FSL
Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada	FMLL

Definem-se *drivers* dos LED's como sendo todo o sistema controlador, que efetua a conversão da energia elétrica da rede em tensão contínua, de forma a alimentar todos os componentes eletrônicos da luminária de LED e controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LED (EDP, 2016).

A principal função da luminária é distribuir, espalhar e direcionar a luz emitida pelas lâmpadas numa superfície previamente definida.

O Fluxo Luminoso (lm) é a quantidade de energia produzida por uma fonte luminosa (Novicki & Martinez, 2008), ou seja, é a potência da radiação total emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço e capaz de produzir uma sensação de luminosidade percebida pelo olho humano (Ribeiro, Rosa, da Silva Correa & da Silva, 2012). O fluxo luminoso e a forma como a lâmpada emite luz, ilustrando-se na Figura 2.3 (DREEIP, 2018).

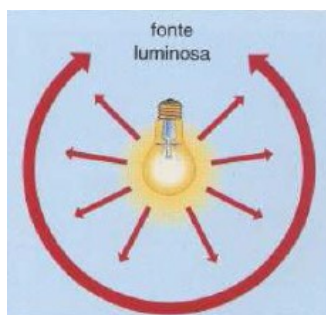


Figura 2.3 – Fluxo luminoso (DREEIP, 2018).

O valor do fluxo luminoso permite conhecer a quantidade de luz emitida pela fonte num intervalo de tempo e pode ser determinada pela equação 2.2 (Gomes, 2012):

$$Q = F \times t \quad (2.2)$$

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

A Intensidade Luminosa (cd) é o valor de energia radiante emitida por uma fonte de luz, correspondendo a 1/60 da intensidade luminosa emitida por um centímetro quadrado da superfície de um corpo, capaz de absorver toda a energia radiante nele incidida (Novicki & Martinez, 2008). O valor dos lumens emitidos em cada direção é representado por vetores, cujo comprimento indica a intensidade luminosa, ou seja, é a potência da radiação luminosa numa dada direção (Ribeiro et al., 2012).

Para compreender o alcance é necessário conhecer o conceito de ângulo sólido. Ângulo sólido pode ser definido como aquele que, visto do centro de uma esfera, percorre uma dada área sobre a superfície dessa esfera, como se pode ver na Figura 2.4 (Gomes, 2012).

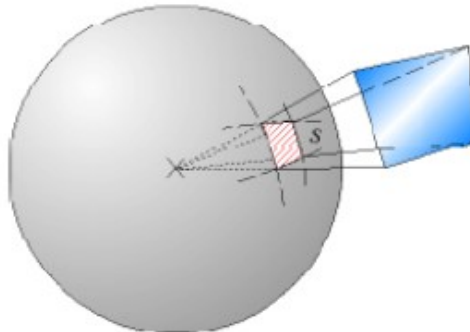


Figura 2.4 – Intensidade luminosa (DREEIP, 2018).

Assim o ângulo sólido será dado por:

$$W = S / r^2 \quad (2.3)$$

Onde “w” é o ângulo sólido (sr); “S” é a área de superfície esférica (m²); e “r” é o raio da esfera (m).

A Intensidade luminosa pode então ser definida como fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido no qual é emitido, pressupondo que a fonte luminosa é pontual (Gomes, 2012).

De acordo com Gomes (2012) a unidade de intensidade luminosa é candela (cd). O conceito de fluxo Luminoso ilustra-se na Figura 2.5.

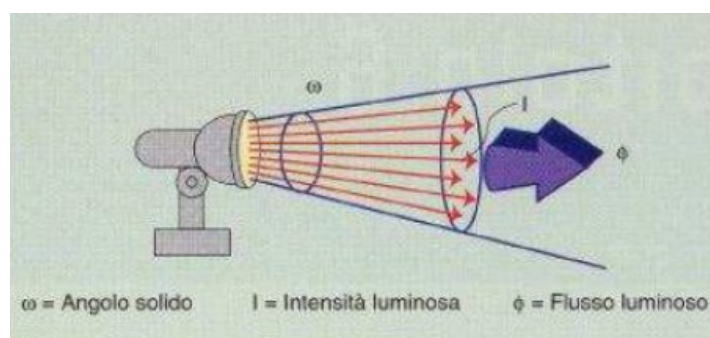


Figura 2.5 – Intensidade luminosa (DREEIP, 2018).

A intensidade luminosa é obtida a partir da expressão:

$$I = F / W \quad (2.4)$$

Onde, I é a intensidade luminosa.

A Iluminância ($lx = lm/m^2$) corresponde ao fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a uma certa distancia da fonte (Novicki & Martinez, 2008). A iluminância é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide (Ribeiro et al., 2012). A relação é dada entre a intensidade luminosa e o quadrado da distância, ou ainda, entre o fluxo luminoso e a área da superfície, conforme a equação 2.5 (DREEIP, 2018; Gomes, 2012):

$$E = \Theta / S \quad (2.5)$$

onde: E = Iluminância [Lx], Θ = Fluxo Luminoso [Lm], S = superfície iluminada [m^2].

Sendo a iluminância um dos fatores mais importantes a ter em conta no dimensionamento de uma instalação de iluminação deve considerar-se o local mais adequado (Gomes, 2012). Ainda, segundo o mesmo autor, representa-se um exemplo do fluxo luminoso recebido por uma área iluminada, ver Figura 2.6.

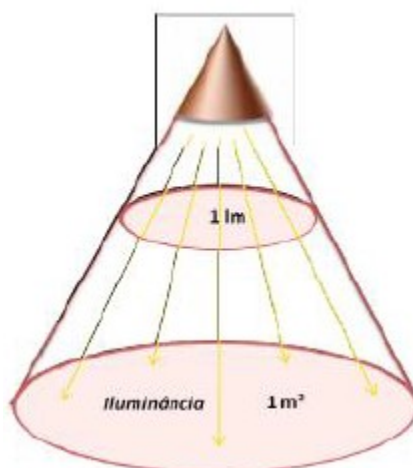


Figura 2.6 – Iluminância sobre uma superfície (DREEIP, 2018; Gomes, 2012).

A Luminância, medida em cd/m^2 , refere-se à intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente (Novicki & Martinez, 2008). De acordo com alguns investigadores a luminância é um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta, relacionando-se com o brilho (Ribeiro et al., 2012). Referem ainda que, a diferença é que a luminância é uma excitação visual, enquanto que o brilho é a resposta visual. Acrescentam que a luminância é quantitativa e o brilho é sensitivo, conforme a equação (2.6).

$$L = I / A \cdot \cos a \quad (2.6)$$

onde: L = Luminância [Cd/m^2], I = Corrente [A], A = Área [m^2], Cos = Fator de Potência.

Ou, segundo Gomes (2012), iluminância por ser determinada pela expressão (2.7).

$$L = I / S_a \quad (2.7)$$

Onde, L é a luminância (cd/m^2); e S_a é a área de superfície aparente (m^2).

Esquematiza-se a luminância na Figura 2.7.

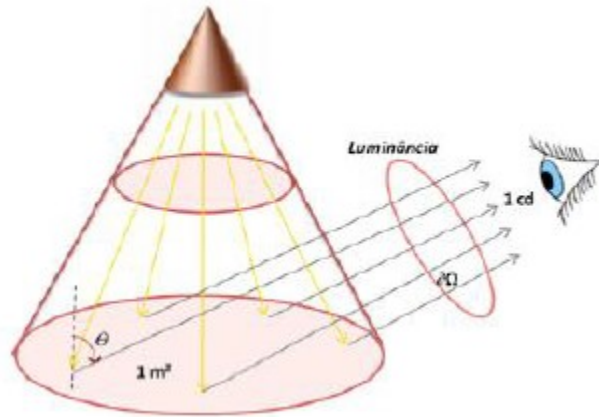


Figura 2.7 – Esquematização da luminância (DREEIP, 2018).

A poluição luminosa acontece devido ao desperdício de luz artificial no período da noite, que se relaciona com o modo como é projetada a luz. Na iluminação LED este efeito é minimizado, sendo que a iluminação é direcionada, o que se considera ideal (Novicki & Martinez, 2008). É, e ainda, a luz de dispersão para cima, que se espalha pelas partículas “flutuando” no ar aumentando o brilho do céu durante o período da noite (Narisada & Kawakami, 1998). Uma luminária ou armadura tem como funções o controle da distribuição da luz emitida por uma ou mais lâmpadas. Deve incluir todos os elementos necessários para a fixação e proteção das mesmas e para a sua ligação ao circuito de alimentação, isto é, lâmpadas, balastros, refletores, arrancadores, difusores, citando apenas estes exemplos (Gomes, 2012, cit in Teixeira, 2003).

O fator de utilização do “Floodlighting” (FUF) é definido como o fluxo luminoso útil, ϕ_u , que é destinado à superfície de um objeto iluminado, que causa um efeito visual específico (como luminância) e ainda, o total do fluxo originado por todas as fontes de luz usadas naquela solução de iluminação (Skarzyński, 2016). A expressão define-se por (2.8).

$$FUF = \frac{\phi_u}{\phi_t} \cdot 100 [\%] \quad (2.8)$$

Porém, de acordo com Skarzyński (2017) o fator de utilização máxima do holofote define o valor máximo teórico do FUF para um projeto específico. É o definido como o fluxo

luminoso total emitido a partir de todas as luminárias usadas e o fluxo luminoso total, ϕ_t , que provém de todas as fontes de luz utilizadas nessa solução de iluminação. No entanto, o valor está relacionado com a qualidade de fabrico do equipamento de iluminação por Luminaire Output Ratio (LOR).

Daqui se obtém a expressão 2.9:

$$FUF = \frac{\phi_{top}}{\phi_t} \cdot 100 [\%] \quad (2.9)$$

A perda de fluxo luminoso é definida pela fórmula 2.10. É uma diferença entre a soma dos fluxos luminosos de todas as luminárias e o fluxo luminoso útil. Também pode ser apresentado de forma relativa (Skarżyński, 2016).

A perda do fluxo luminoso de todas as luminárias descreve-se pelas expressões 2.10 e 2.11. Regra geral, é uma causa direta do fenómeno da poluição luminosa devido à emissão de holofotes (Skarżyński, 2017).

$$\phi_{loss} = \phi_{top} - \phi_u [lm] \quad (2.10)$$

$$\phi'_{loss} = \frac{\phi_{loss}}{\phi_{top}} \cdot 100 [\%] \quad (2.11)$$

O coeficiente de utilização do holofote é definido como a proporção entre o valor do fator de utilização deste nessa solução de iluminação e o valor máximo. Pode ser muito útil para avaliar o projeto em relação à eficiência energética e à poluição luminosa (Skarżyński, 2017). Pode ser expressa da seguinte maneira (2.12):

$$CFUF = \frac{FUF}{FUF_{máx}} \cdot 100 [\%] \quad (2.12)$$

O importante é encontrar o melhor equilíbrio possível entre os aspetos técnicos do holofote (eficiência energética e poluição luminosa) e a beleza estética por acréscimo.

A uniformidade é a razão entre a iluminância mínima e média de uma superfície, podendo ser um indicador, que é frequentemente usado, porque é facilmente determinado com base nas medições de iluminação. Além disso, a uniformidade pode ser traduzida para a luminância (Chraïbi, Crommentuijn, Loenen & Rosemann, 2017).

A distribuição de luminância é o padrão em um espaço delimitado por superfícies (Guide to Protocols for Describing Lighting, 2014).

O conceito do fluxo de luz consiste em dois aspetos: a direção do fluxo de luz e a intensidade do fluxo de luz (Gentile, et al., 2016).

A qualidade de iluminação é considerada, por alguns investigadores, um constructo porque não possui uma definição adequada, referindo que existem diversos fatores que influenciam a qualidade da iluminação (Gentile, et al., 2016).

2.2 Pedestres

As luminárias decorativas para pedonais são usadas para iluminação de ruas comerciais, áreas de exposição ao ar livre, estacionamento, jardins, praças, parques, por citar apenas estes exemplos (Narisada & Kawakami, 1998). De acordo com os mesmos autores, o controlo ótico da emissão do fluxo luminoso nas respetivas direções deve ser tido em conta para evitar o desperdício de luz.

As iluminâncias colocadas em posições mais altas permitem o reconhecimento do pedestre a uma distância mais afastada (Fotios, Yang & Uttley, 2015). Além disso, dois investigadores estudaram as expressões faciais relativamente à quantidade de luz, ou seja, como a iluminação pode influenciar os julgamentos das emoções transmitidas por expressões faciais (raiva, repugnância, medo, felicidade, neutralidade e tristeza), manifestando a segurança percebida pelos cidadãos pedestres (Yang & Fotios, 2015). Há evidências de que a expressão facial e a postura corporal contribuem para julgamentos sociais relacionados com a avaliação da ameaça (Willis, Palermo & Burke, 2011). Além disso, os estímulos ambientais podem afetar o humor momentaneamente o estado de alerta, ou seja, a quantidade de luz pode afetar o estado de espírito (Plitnick, Figueiro, Wood & Rea, 2010).

O estudo da iluminação tem sido objeto de diversas investigações, centradas nas características ótimas para o reconhecimento facial dos pedestres através da distância (Fotios, Yang & Uttley, 2015). Pretende-se que os pedestres se sintam seguros ao caminhar durante a noite em áreas pedonais (Dravitzki, Cleland, Walton & Laing, 2003). Uma das distâncias sugerida foi de 10 m (Fotios, Yang & Uttley, 2015, cit in Caminada, van Bommel, 1980; Dravitzki, et al., 2003). Uma maior distância permite ao usuário reconhecer o rosto de outra pessoa, sendo sugerido por outros investigadores, os 25 m (Luymes & Tamminga, 1995). Porém, a distância mínima crítica, para o período noturno, para reconhecimento facial é de 4 m (Fotios, Yang & Uttley, 2015; cit in Hall, 1969; Willis, Palermo & Burke, 2011).

Quanto a distância entre pessoas desconhecidas que caminham na rua para se sentirem confortáveis (evitando por exemplo “colisão” entre pessoas), ou seja, se sintam seguras, os estudos apontam para 30 m (Fotios, Yang & Uttley, 2015). A distância interpessoal para baixo conforto situa-se em 1,5 lux (Adams & Zuckerman, 1991). A média da distância para uma baixa iluminação, obtida pelos investigadores referidos, foi de 1,17 m, sendo para uma boa iluminação com o valor de 0,53 m.

Por conseguinte, para examinar os efeitos da iluminação, especialmente durante o período noturno, entre pedestres perante “juízos”, estimou-se que 15 m é uma boa referência, para uma duração da observação de fixação média de 500 ms (Fotios, Yang & Uttley, 2015). Outros investigadores também recorreram ao limiar de tempo de fixação de 500 ms, como por exemplo Willis, Palermo & Burke (2011).

2.3 Estradas

As luminárias para as estradas são usadas para a iluminação do tráfego motorizado. Normalmente, incorporam um sistema de controlo ótico preciso para atender a requisitos técnicos visuais e de luz para iluminar as estradas (Narisada & Kawakami, 1998). Segundo os mesmos investigadores, a emissão de fluxo ascendente é cuidadosamente controlada para evitar desperdícios energéticos.

Os sinais luminosos também existem nas estradas para atrair a atenção dos passageiros. Normalmente, estes têm um alto brilho e emitem um fluxo luminoso “ascendente”. Nas estradas, durante o período da noite, temos de contar ainda com os faróis dos automóveis (fluxo de luz ascendente) que circulam ligados quando escurece. Este facto indica que além da iluminação da estrada (iluminação rodoviária fixa) existem ainda os faróis das viaturas em circulação. Portanto, referiu-se essencial considerar também as luzes das viaturas (Narisada & Kawakami, 1998).

Na estrada, o motorista de um veículo circula entre uma pequena faixa de altura acima da pista, e a sua linha de visão é quase sempre direcionada para a frente e ligeiramente para baixo, olhando, para ter visão na sua frente, a estrada onde circula, percecionando o alvo, o obstáculo e o tráfego (Keck, 1989). Segundo o investigador, aumentar o nível de luz pode facilitar ao condutor o avistamento de um alvo de pequeno tamanho.

2.4 Iluminação: luminância e iluminância

A iluminação artificial tornou-se uma ferramenta indispensável para melhorar a aparência das cidades e um elemento essencial na qualidade de vida dos habitantes (Remande, 2001). Os indicadores para a distribuição de iluminação são a uniformidade de iluminância e a distribuição de luminância (Gentile, Dubois, Osterhaus, Stoffer, Amorim, Geisler-Moroder & Jakobiak, 2016).

O único equipamento comum a todas as formas de iluminação é a fonte de luz (Pollard, (1997). O investigador Pollard refere ainda que, com a iluminação do período noturno pretende-se simular o mais fielmente possível a luz do dia, tanto na aparência de cor e na rendição de cores. A iluminação pública deve garantir a passagem segura de pedestres (Iwata & Uchida, 2011).

Geralmente, apenas a iluminância, a luminância e a temperatura de cor correlacionada são consideradas na iluminação dinâmica, ou seja, são consideradas na qualidade da luz (Gentile, et al., 2016).

A iluminação exterior artificial excessiva, como por exemplo as lâmpadas de rua, podem afetar o ambiente natural e o ecossistema (Pun, So, Leung & Wong, 2014). Segundo os mesmos investigadores, se a iluminação for mal projetada não apenas desperdiça energia, dinheiro e valiosos recursos da Terra, mas também retira o sentido da imagem do céu no período noturno. A modo de exemplo, o céu noturno urbano, pode ser em média 15 vezes mais brilhante do que o rural, devido aos efeitos que as fontes de iluminação artificiais provocam no céu (Pun, So, Leung & Wong, 2014).

A luminância é uma função da iluminância e das propriedades de reflexão da superfície da estrada (Jägerbrand, 2016). Para o investigador, a influência da superfície da estrada nos valores de luminância pode ser minimizada pela realização de medições de campo durante o tempo seco e pela escolha de estradas em uso há alguns anos.

A luminância está diretamente relacionada com a iluminância na retina e com a percepção visual humana do brilho (Marty, Fontoynt, Christoffersen, Dubois, Wienold, Osterhaus & Carco (2003). A luminância incorpora a luz que atinge o espectador.

A iluminação exterior é um elemento indispensável nas sociedades modernas civilizadas para fins de segurança, recreação e decoração (Pun, So, Leung & Wong, 2014). Para os investigadores, o excesso de iluminação artificial representa tanto o desperdício de

energia e dinheiro como dos recursos naturais. Esse desperdício pode ser monitorizado através de imagens de satélite noturnas (Pun, et al., 2014).

Os pontos brilhantes vistos do céu (vistos pelas fotografias aéreas) durante o período da noite podem estar a desperdiçar luz e energia elétrica no espaço vazio. Por este motivo, convém verificar onde estão esses “pontos” brilhantes, muitas vezes distribuídos ao longo das estradas principais que ligam as grandes cidades do país (Narisada & Kawakami, 1998).

Muitas vezes a iluminação é mais intensa nas vias de circulação próximas de áreas comerciais do que, por exemplo, nas estradas.

Em relação à dependência do brilho da iluminação exterior na distribuição da intensidade luminosa da saída de luz descendente, a luz na direção horizontal afetava especialmente o brilho (Iwata & Uchida, 2011, cit in Kohko et al., 2007).

2.5 Luminárias de iluminação rodoviária

É verdade que é necessária luz para conduzir um veículo com segurança, tornando eficaz o sistema visual humano. Portanto, somos da opinião de que a quantidade de luz e a qualidade da iluminação têm que ser suficientes para tornar as coisas visíveis (Keck, 1989). As luminárias não só protegem fisicamente a lâmpada ou lâmpadas, mas, mais importante, permitem controlar a luz emitida (Pollard, 1997). Segundo o mesmo autor, a luminária reduz significativamente tanto o brilho do céu como a poluição luminosa geral.

O contraste entre a luminância do objeto que provavelmente é produzida por uma luminária diferente da maioria das luminâncias de pavimento, pode ser controlado pelo projetista do sistema de iluminação (Keck, 1989). O pavimento e o objeto possuem propriedades distintas de relutância de luz direcional. Quanto maior for o desempenho das luminárias menos poluição luminosa existe (Remande, 2001).

Afirmou-se que sob um sistema de iluminação fixa, o nível de adaptação pode ser suficientemente alto para que a mesma quantidade de luz dos faróis que se aproximam tenha pouco efeito sobre a pequena visibilidade do alvo, como o exemplo de um pedestre, (Keck, 1989).

A relação entre a altura do espaçamento e a montagem e a distribuição da luminária são fundamentais para determinar a localização e a nitidez da área de inversão de contraste entre as luminárias numa estrada (Keck, 1989). Ainda, de acordo com o mesmo

investigador a relação entre o espaçamento da luminária e a saída de luz vertical deve ser coordenada. Para otimizar a visibilidade do “alvo” é essencial escolher a combinação de locais de luminária e distribuição de luz.

As distribuições de luz da luminária devem ser flexíveis ao ponto de, em termos de um ângulo máximo vertical, causar boa visibilidade aos condutores (Keck, 1989).

Os critérios existentes na Comissão Internacional de Iluminação (CIE) são muito restritivos relativamente à quantidade da luz refletida (Remande, 2001). Este facto causa o brilho do céu, que corresponde à extensa faixa de luz difusa durante o período da noite que é visível no céu sobre cidades (Remande, 2001).

É particularmente no ambiente urbano que encontramos todas as formas de iluminação (Remande, 2001): a pública, funcional e decorativa, em estradas e para a segurança; a iluminação ambiente em áreas de pedonais; e os holofotes, com mastros altos, em âmbitos rodoviários, ferroviários e alguns estacionamentos.

2.6 Projetores

Os projetores normalmente possuem um bom controlo ótico. A quantidade de fluxo ascendente emitida varia com a direção do feixe que projetam, tendo em conta o ajuste das direções dos feixes (Narisada & Kawakami, 1998).

Os projetores estão muitas vezes colocados em áreas de estacionamentos, iluminação de estátuas na praça pública, placas publicitárias, canteiros de obras, áreas de trabalho, praças, por citar apenas estes exemplos.

O projetista de rodovias pode ter algum controlo sobre as refletâncias, ao especificar os materiais utilizados para o pavimento, como por exemplo os marcadores da pista, os sinais, e os tipos de material adjacente usado ao pavimento (Keck, 1989). É importante relembrar que a refletância de todos os materiais é uma função do ângulo em que a luz atinge o material contra o ângulo da linha de visão do observador (Keck, 1989).

2.7 Holofotes

O projetista de iluminação pode contribuir para a eficiência energética e para as questões de poluição luminosa pela seleção apropriada no posicionamento e direção do equipamento, tendo em conta o objeto a iluminar (Skarżyński, 2017). Segundo o investigador, como a potência total do equipamento instalado para iluminação é baixa, o

holofote não gera grande desperdício de energia. No entanto, existindo diversos holofotes, a quantidade de energia desperdiçada pode ser significativa.

Os holofotes durante a noite permitem uma melhor iluminação dos objetos. Além do aumento da atratividade de uma estrutura à noite. Outra vantagem do holofote é o aumento da segurança ao redor da estrutura iluminada (Słomiński & Krupiński, 2018).

O efeito do holofote consiste numa combinação de distribuições de luminância provenientes de luminárias individuais (Słomiński & Krupiński, 2018). Portanto, a imagem de iluminação em comparação com a obtida pelo método planar é de maior contraste e focaliza a atenção de um observador nos detalhes luminosos destacados ou nos detalhes arquitetônicos iluminados (Słomiński & Krupiński, 2018). O método de iluminação que apresente mais brilho é aquele que contribui mais para a poluição luminosa. Quer os holofotes quer as iluminarias devem ser dimensionados por forma a proteger o meio ambiente contra a poluição luminosa.

O recurso ao holofote por meio da projeção contribui para a manutenção do sistema significativamente simplificado, isto é, não há problema de “contaminação” de superfícies de luminárias com folhas de árvores, poeira ou excrementos de pássaros, que podem alterar o efeito de iluminação pretendido (Słomiński & Krupiński, 2018).

2.8 LED's

A iluminação rodoviária LED, por díodos emissores de luz, tem regulamentação mínima em termos de segurança rodoviária, atendendo aos requisitos para pedestres e ciclistas, devendo ainda, se possível, melhorar a eficiência energética, ou seja, sem afetar o desempenho visual ou a segurança do tráfego (Jägerbrand, 2016).

As fontes de luz LED apresentam uma eficácia fotópica de 140 lm/W e uma eficácia escotópica (na ausência de luz) de 200 lm/W, valores superiores a qualquer outra fonte luminosa, comparativamente às de vapor de sódio de alta pressão, vapor de sódio de baixa pressão e iodetos metálicos (EDP, 2016).

A questão do brilho (claridade) relativamente a LED's ainda não foi resolvida comparativamente às luminárias tradicionais (Słomiński & Krupiński, 2018). De acordo com o investigador, isso está relacionado com a alta luminância dos chips de LED em um nível de 15 milhões de cd / m².

O Índice de Eficiência Energética (IEE) para as vias rodoviárias é classificado em função da largura das mesmas, podendo ser medida em metros. Neste domínio, para vias largas (> 6 m), o IEE superior a 40 para a classificação energética A até $IEE \leq 15$ para a classificação energética G. No mesmo sentido, para vias ≤ 6 m, o IEE superior a 30 para a classificação energética A e $IEE \leq 15$ para a classificação energética G (EDP, 2016).

O díodo emissor de luz LED transforma a energia elétrica em luz num cristal de semicondutor (chip). Essa transformação é diferente da encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução). Esta é denominada iluminação em estado sólido/ Solid State Lighting (SSL).

O funcionamento do LED só é possível através de uma fonte de alimentação especial, o *driver* (todo o circuito controlador), que converte a tensão alternada da rede em tensão contínua. Para além do rendimento/qualidade da eletrónica associada ao LED, o seu desempenho também depende da temperatura. Quer o fluxo luminoso quer o tempo de vida diminuirão com temperaturas mais elevadas a que o LED é sujeito (EDP, 2016).

O fluxo direcionado é extremamente útil em IP, diminuindo a poluição luminosa e aumentando a eficiência da instalação. O tempo de vida e eficácia luminosa são os mais elevados. O acendimento é imediato (EDP, 2016).

Os LED podem ser de dois tipos: os de corrente constante, que necessitam de uma corrente de saída fixa e de uma gama de tensões de saída, e os LED de tensão constante que necessitam de uma tensão de saída fixa com uma corrente de saída máxima.

O rendimento dos *drivers* pode variar desde 74 % (*driver* de baixa potência do tipo corrente constante) até ao valor máximo possível na prática de 95 % (*driver* do tipo tensão constante).

A maioria dos *drivers* apresenta um rendimento na casa dos 80-90%, sendo que a maior parte das suas perdas verifica-se nos semicondutores de potência, cujo desempenho tem vindo a melhorar (EDP, 2016).

Um *driver* de LED atual para IP tem um tempo de vida de pelo menos 50 000 a 65 000 horas, de modo a corresponder com o tempo de vida atual do LED (EDP, 2016; Saavedra et al., 2016). O tempo de vida do *driver* depende da temperatura máxima de funcionamento (Saavedra et al., 2016). De acordo com os mesmos investigadores, quanto mais elevada for a temperatura de funcionamento menor será o tempo de vida dos componentes críticos (nomeadamente dos condensadores eletrolíticos e dos

semicondutores de potência). Os *drivers* mais eficientes e com menores perdas são mais fiáveis, desde que trabalhem a uma menor temperatura de funcionamento controlada (EDP, 2016).

Para reduzir esses custos de energia e cumprir as alterações obrigatórias no mercado de iluminação detetadas pelos regulamentos de Ecodesign da União Europeia, interessa para as tecnologias de iluminação atuais, particularmente se não apresentarem risco comprometendo a qualidade da luz (Jägerbrand, 2016).

2.9 Balastros

Os balastros são dispositivos que têm por função assegurar o arranque e limitação da corrente das lâmpadas de descarga. De forma a garantir o arranque, o balastro eleva a tensão de modo a estabelecer uma diferença de potencial suficientemente elevada entre os elétrodos para dar origem ao aparecimento de um arco elétrico que provocará a descarga na lâmpada. O desenvolvimento dos balastros eletrónicos deu lugar ao aparecimento de novas tecnologias e a melhor eficácia obtida nas lâmpadas de descarga. Por norma, são constituídos por um andar de filtragem, um retificador, um ondulator e um circuito de deteção de falhas (monitorização). Os balastros eletrónicos convencionais convertem uma linha de tensão de 50 Hz numa linha de alta frequência, aumentando assim a eficiência da lâmpada. Um modelo de diagrama de montagem de um balastro eletrónico, aparelhos de iluminação elétrica e acessórios, com luminárias e respetivos balastros, modelo obtido da EDP, DMA-C71-200/N, representa-se na Figura 2.8, onde se distinguem as luminárias para montagem de rede subterrânea para montagem de rede aérea.

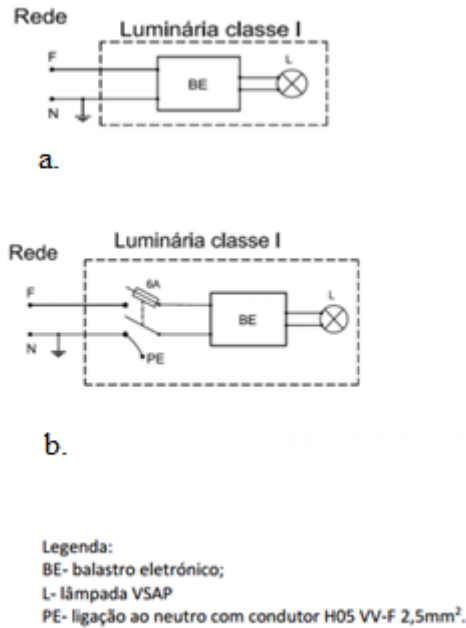


Figura 2.8 – Esquema elétrico: a. luminárias para montagem de rede subterrânea; b. luminárias para montagem de rede aérea (EDP, 2016).

2.10 Legislação aplicável - a EN 13201

A norma europeia EN13201, *Road lighting*, desenvolvida pela Comissão Europeia de Normalização (CEN) encontra-se dividida em quatro partes: EN 13201-1 (apresenta a metodologia de seleção da situação e a classe de iluminação em função de cada tipo de área exterior), EN13201-2 (define quais os valores fotométricos para cada classe de iluminação), EN13201-3 (define como se desenvolve um método de rede de cálculo com base na área e como se medem os parâmetros fotométricos presentes nessa mesma área) e EN13201-4 (sugere métodos de medição do desempenho da iluminação nos sistemas instalados).

A cada tipo de via de circulação rodoviária e/ou pedonal a ser iluminada está associado mais do que uma classe de iluminação. Uma classe de iluminação define-se tendo em conta um conjunto de requisitos fotométricos que indicam as necessidades de visibilidade dos utilizadores dos vários tipos de vias e áreas frequentadas (Machado, 2017).

Para o caso concreto português, as classes a ter em conta num projeto de IP podem ser classificadas em três categorias de estradas: rápido (R), misto (M) e lento (L) que abordam o tipo de tráfego e sua velocidade e que compreenderão as classes de iluminação da norma EN 13201-2:2003 (Machado, 2017).

Para pedestres e ciclovias, os padrões estabelecem que as classes de iluminação da série S e da série CE podem ser aplicadas, mas a Norma Europeia (EN 13201-2) também declara que as classes CE são destinadas principalmente ao uso em convenções da superfície da estrada (Jägerbrand, 2016). Os cálculos de luminância não se aplicam ou são impraticáveis. No entanto, isso pode ocorrer quando as distâncias de visão são menores de 60 m tendo em conta as posições do observador (European Committee for Standardisation (2003). As classes de iluminação da série CE destinam-se principalmente a áreas de conflito, mas podem ser utilizadas para estradas de tráfego de veículos e para outras utilizações rodoviárias (Jägerbrand, 2016). As classes de iluminação da série S destinam-se a pedestres ou ciclistas em estradas separadas daquelas com tráfego motorizado ou outras áreas, por exemplo, estradas com estacionamento ou ruas para pedestres (Jägerbrand, 2016).

A economia de energia pode ser alcançada através da adaptação aos níveis mínimos da classe M ou diminuindo para uma classe inferior nas estradas de tráfego de veículos e implementando um cronograma regulável de acordo com a intensidade do tráfego, em função da hora durante o período noturno (Jägerbrand, 2016). O investigador referiu que se a uniformidade fosse melhorada na iluminação rodoviária através de LED, seria possível diminuir o consumo de energia também para pedestres e ciclovias, devido a que a uniformidade é muitas vezes a variável limitante na escolha de uma classe mais baixa (mais próxima).

Existem investigadores que chamam cronograma de escurecimento à evolução do horário noturno, o que pode contribuir para a minimização do gasto energético, se este for controlado (Jägerbrand, 2016). O investigador concluiu que, embora a adaptação ao nível mínimo para a classe de iluminação provavelmente não afetaria a segurança do tráfego, a queda de uma ou duas classes de iluminação viária poderia aumentar o risco de acidentes de trânsito devido à redução da visibilidade. Um cronograma de escurecimento pode ser adaptado à intensidade do tráfego e assim minimizar o risco de afetar a segurança (Jägerbrand, 2016). No entanto, para pedestres e ciclovias, parece haver pouco espaço para reduções de energia. No entanto, um cronograma de escurecimento pode ser implementado para períodos em que essas estradas são usadas com pouca frequência, por exemplo, durante a noite, sendo baseado nas preferências do usuário (Jägerbrand, 2016).

A EN 13201 defende que as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão não são indicadas na norma, pelo facto deste tipo de lâmpadas terem performances energéticas

insuficientes. Então, explica o porquê: o objetivo energético da lâmpada e respetiva aparelhagem auxiliar implica um rendimento superior a 80 lm/W, para lâmpadas de potência superior a 70 W.

Além disso, o fluxo emitido pelas armaduras, dirigido para o hemisfério superior (o céu), deve ser limitado a:

- 1) 3 % do fluxo emitido pela lâmpada, nas armaduras funcionais de iluminação das vias de circulação;
- 2) 20 %, nas armaduras urbanas do tipo decorativo (iluminação ambiente).

Os níveis de iluminação exterior a considerar no cálculo luminotécnico são os mencionados na norma EN 12464-2. Contudo, uma vez que a norma não prevê os vários tipos de iluminação exterior que poderão existir, a modo de exemplo referiremos uma escola, em que deverão considerar-se os valores seguintes:

- Controlo da periferia da Escola - 1 lux, no mínimo,
- Zonas de circulação - 10 lux, média.

De modo geral, pretende-se que os níveis de iluminação referidos sejam cumpridos com o menor número possível de luminárias. Os valores de desconforto visual (“GRL – Glare Rating”) mencionados na Tabela 2.6 são valores máximos. Sendo que, U_0 (uniformidade da iluminação) é a razão entre o valor mínimo de iluminação e o valor médio de iluminação. As lâmpadas a incorporar nas luminárias deverão ter uma restituição da cor (“Ra – Colour Rendering”) no mínimo de 20 (máximo 100), com uma eficiência mínima de 80 lm/W. O quadro que segue é um extrato dos itens aplicáveis da norma EN 12464-2.

Tabela 2.6 – Tipologia de espaço/atividade e iluminância (EN 12464-2).

Espaço/ atividade	Nível médio de iluminação (lux)	U_0	GR_0
Área exclusiva para peões	5	0,25	50
Áreas de tráfego de veículos para velocidades máximas	10	0,40	50
Tráfego regular de veículos (velocidade máxima 40 km/h)	20	0,40	42
Tráfego intensivo em áreas de estacionamento escolas	20	0,25	50

A questão do brilho das fontes de luz utilizada nos holofotes deve ser considerada com precisão para tornar o design criado pelo projetista seguro para os destinatários. O

problema do brilho da luz, que contribui para a poluição luminosa, ainda não foi objeto de qualquer regulamentação técnica ou jurídica destinadas a sistemas de iluminação como os holofotes (Skarżyński, 2017).

2.11 O papel da EDP Distribuição

A EDP interfere em quase tudo: desde à disponibilização da energia, das luminárias e seus suportes e acessórios, à certificação do material e dos fornecedores, no apoio à economia de escala aquando da contratação pública e na standardização, normalização, teste elétrico e mecânico, certificação da instalação e no processo de manutenção (Pereira, 2015). No entanto, as Câmaras Municipais podem escolher o material mais conveniente, pagando a diferença do custo e assumindo a sua operacionalidade. Exemplo disso são projetos de arquitetura especialmente emblemáticos, como o de um centro urbano que se pretende caracterizar adequadamente.

2.12 Modelo de controlo da eficiência energética pública

As tecnologias energeticamente eficientes não devem, sob nenhuma hipótese, prejudicar o conforto e a satisfação dos utilizadores (Oliveira Pinto, 2016). Para a construção de um modelo de controlo de IP, uma das primeiras coisas a fazer ao nível da gestão municipal, passa pela elaboração do cadastro de IP, ou seja, fazer um levantamento de todos os componentes de IP instalados, como: os números de circuitos, luminárias, tipo de lâmpadas, consumos, balastos e sensores (Pinto, 2016).

Quanto a modelos de controlo da eficiência energética, apresenta-se um modelo matemático aplicado por investigadores, que considera inter-relações de parâmetros, tais como população (evolução), consumo energético e fazendo estimativas a longo prazo das poupanças energética, ambiental e económica, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (Patrício et al., 2016).

Para os investigadores, para o parâmetro população recorre-se à seguinte expressão (2.13), para conhecer a taxa de crescimento:

$$Q_n = Q_{n-1} \exp \left[(\ln 2) (\Delta t_n) (w_n) \frac{1}{\theta_{q0}} \right] \quad (2.13)$$

Em que:

$Q_n =$ população no ano n

Q_{n-1} = população no ano anterior $n - 1$

$\Delta t = t_n - t_{n-1}$

w_n = modificador de crescimento populacional no intervalo de tempo Δt , ou seja $w_n = \frac{\theta_{q0}}{\theta_{qn}}$, sendo no ano n .

θ_{q0} = tempo de dobramento inicial para a população local, valor que pode ser obtido pela taxa média geométrica de crescimento anual da população.

O valor de θ_{q0} mundial pode ser obtido pela evolução de crescimento populacional durante os vinte anos antecessores ao ano considerado no modelo, tendo em conta uma taxa média geométrica de 1,16 % (Patrício et al., 2016).

Os gastos energéticos aumentam com o crescimento populacional devido à necessidade de melhoria da qualidade de vida (Patrício et al., 2016). Logo, estas duas variáveis estão relacionadas. Assim, o crescimento energético, θ_{et} pode ser expresso conforme a expressão (2.14).

$$\frac{1}{\theta_{eq}} = \frac{1}{\theta_e} + \frac{1}{\theta_q} \quad (2.14)$$

Em que,

θ_{eq} é o tempo que demora a duplicar a procura do consumo energético.

θ_e é o tempo que demorou a duplicação da procura do consumo energético.

θ_q é o tempo que demorou a duplicação da população.

Espera-se que o consumo energético seja influenciado pelo crescimento populacional. A relação do consumo de energia no ano tn , En , e no ano $tn-1$, $En-1$ pode ser expressa conforme (2.15).

$$E_n = E_{n-1} \cdot \exp \left[(\ln 2)(\Delta t_n)(w_n) \frac{1}{\theta_{q0}V_{qn}} + \frac{1}{\theta_{e0}V_{en}} \right] \quad (2.15)$$

Em que,

En e $En-1$ correspondem à procura energética total para os anos n e $n-1$ respetivamente. As variáveis V_{qn} e V_{en} são os modificadores adimensionais para os tempos de duplicação θ_q e θ_e respetivamente. $V_{qn} = (Q_{rn})^x$, sendo que x é assumido como $\leq 0,1$. o modificador $e V$ pode ser expresso, por $\frac{C_{rn}R_{rn}}{r_{qn}}$, C_{rn} é a razão entre os preços dos combustíveis utilizados para a produção da anergia, ($R_{rn} = R_n/R_0$) é a razão entre recursos

de combustível fóssil e $Erqn = (EnQ0/E0Qn)$ é a procura energética normalizada em relação ao seu valor inicial. Os expoentes y , z e v possuem valores menores ou iguais a 0,1 (Patrício et al., 2016).

A relação apresentada, em que defende que a necessidade do consumo energético aumentou com o crescimento da população (Patrício et al, 2016), pode aproximar-se mais da realidade quando se acrescentar a variável evolução do edificado contruído, como no exemplo das vias de circulação, em que é necessário iluminar durante o período “escuro”. Portanto, no capítulo três deste trabalho, para o estudo de caso do Concelho de Loures, faremos referência ao modelo utilizados pelos referidos investigadores.

2.13 Barreiras e incentivos à implementação de projetos de eficiência energética

Os investimentos para uma maior eficiência energética, se forem rentáveis, devem ser aplicados independentemente das barreiras. Todavia, se uma IP for mal concebida o resultado será o desperdício de energia, um gasto energético desnecessário e custos elevados (Machado, 2017). As barreiras existentes podem ser identificadas tendo em conta os seguintes aspetos:

- A regulamentação e a contratação pública,
- Administradores “dos consumos de energia”,
- Políticas públicas funcionando de acordo com ciclos eleitorais,
- Empresas de equipamentos,
- Entidades financeiras que não aplicam o financiamento correto.

As barreiras apontadas têm de ser clarificadas para demonstrar que existem evidências concretas para casos concretos e estas devem ser ultrapassadas para benefício de todos, daí a necessidade de investigar as diversas alternativas de melhoria.

Ao longo dos anos, foram surgindo políticas de melhoria da eficiência energética, que proporcionam uma diminuição no consumo energético da rede de IP, diminuindo assim os custos para os municípios, sem provocar alterações no nível do estilo de vida das populações, ou seja, perda da qualidade de vida em termos de iluminação de vias públicas. Apesar do que se possa pensar, eliminar serviços não é uma medida de eficiência energética (Machado, 2017). No Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (2017), a eficiência energética faz parte de uma das cinco dimensões da estratégia-quadro para a União da Energia. Para o horizonte 2020, Portugal perspetiva ainda o cumprimento da meta assumida pela UE, com o objetivo

específico para a Administração Pública de uma redução de 30 %. Estas metas estão enquadradas no âmbito do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética e do Compromisso para o Crescimento Verde (Ministério dos Negócios Estrangeiros, 2017). Segundo o mesmo relatório, a eficiência energética faz parte do Plano Estratégico Europeu para as Tecnologias Energéticas em áreas da tecnologia hipocarbónica.

2.14 Aspetos organizativos do Poder Local/ Autarquia

As autarquias criaram departamentos próprios para desenvolver projetos de melhoria da eficiência energética. Entre as diversas tipologias, convém relembrar a classificação das rodovias pela EN 13201. Destaca-se o trabalho desenvolvido pelo Departamento de Ambiente, no âmbito da Sustentabilidade Ambiental para:

- a) Apoiar a definição e execução de políticas, planos e programas em matéria de ambiente e desenvolvimento sustentável.
- b) Criar e manter um sistema de monitorização e caracterização da qualidade ambiental do Concelho.
- c) Definir ou colaborar na definição e implementação de medidas de prevenção e controlo e, sempre que necessário, medidas de redução de poluição energética;
- d) Realizar avaliações do estado dos equipamentos.
- e) Promover a eficiência energética no Concelho.
- f) Apoiar e promover atividades de interesse público na área da energia.
- g) Estudo de parcerias e protocolos na área da eficiência da energética.
- h) Promover uma adequada gestão da energia no âmbito das atividades, serviços e equipamentos municipais.
- i) Em cumprimento da Política Ambiental da Câmara Municipal, promover uma reação proactiva, em matéria de identificação de problemas e de oportunidades nos serviços municipais, de modo a minimizar os impactos ambientais, elaborando as recomendações necessárias.
- j) Desenvolver e implementar estratégias de informação, sensibilização e educação ambiental para a população e comunidade escolar.
- k) Gestão do Centro de Educação Ambiental.

l) Dinamizar os Parques sob gestão municipal.

m) Exercer as demais competências atribuídas por lei ao Município, no âmbito do ambiente.

Com base na EN 13201, a escolha do fator de manutenção da instalação depende principalmente do:

- a) Fator de depreciação das luminárias,
- b) Fator de depreciação do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas.

Portanto, ainda com base na EN 13201, os valores indicativos do fator de manutenção da instalação em função de:

- a) Ciclo de manutenção (8000 horas e 12000 horas);
- b) O grau de poluição do ambiente (fraco ou forte);
- c) As características mecânicas da luminária utilizada (material da tampa e índice de proteção IP);
- d) Do fator de depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas utilizadas.

O Poder Local conta também com a colaboração das Agências de Energia, criadas através do Programa *Specific Action on Vigorous Energy Efficiency* (SAVE), a partir do ano de 1991. Estas têm contribuído nas ações municipais de eficiência energética, cujo âmbito tem tido uma maior incidência na substituição das lâmpadas tradicionais pelas lâmpadas LED. As indicações de intervenção no setor da energia são as descritas no Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública, DREEIP (2012/2018).

A IP tem sido uma das necessidades básicas das sociedades modernas. Devido a este facto, a Administração Pública, incluindo o Poder Local, tem investido bastante neste setor (Amaral, 2013). A implantação das redes de abastecimento elétrica, transporte e comunicação, influenciaram de maneira essencial na estrutura das regiões e das áreas metropolitanas, construídas por múltiplos agentes públicos e privados (Sáez & Costa, 2013). O desenvolvimento desigual em extensão de área iluminada num determinado território, deu lugar a um maior investimento, à conquista de novos mercados de trabalho e, de modo geral, a consequente modernização (Sáez & Costa, 2013). “O crescimento urbano verificado no século XIX, (...), trouxe consigo problemas de circulação de pessoas e bens, obrigados a deslocar-se numa área de maiores dimensões” (Matos, 2012, p. 13).

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO. ILUMINAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS NO CONCELHO DE LOURES

3.1. Caraterização geral

O município de Loures é uma cidade portuguesa do Distrito de Lisboa. Conta com uma área de 167,24 km² e 205054 habitantes. Este concelho está subdividido em 10 Freguesias/União de Freguesias (Figura 3.1, Figura 3.2 e Tabela 3.1), conforme os Censos (INE, 2011) e a Carta Administrativa Oficial de Portugal (2015).

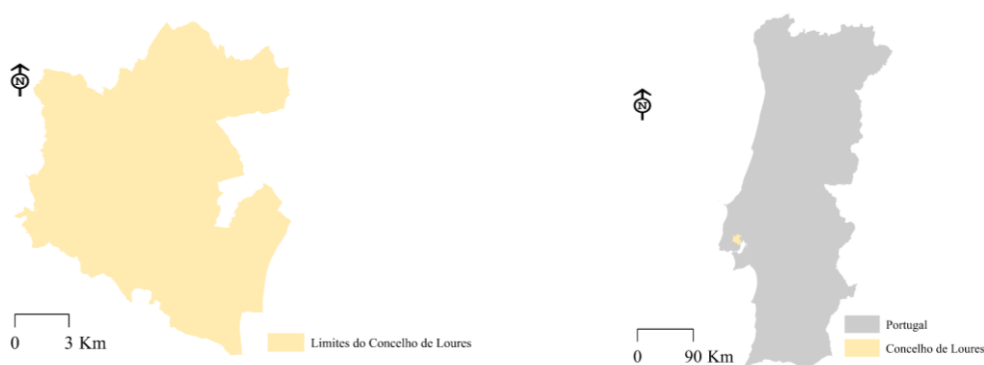


Figura 3.1– Enquadramento geográfico do Concelho de Loures, obtido na Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) em <http://www.dgterritorio.pt/>.

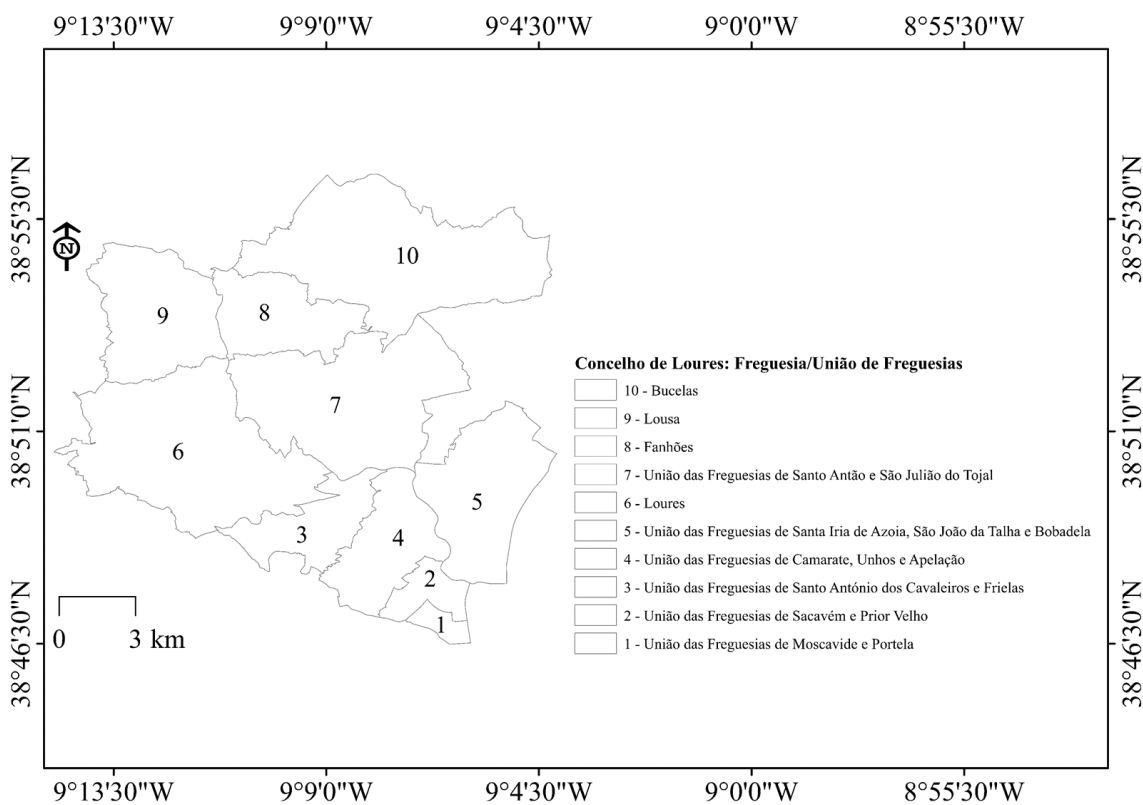


Figura 3.2 – Freguesias e União de Freguesias do Município de Loures.

Tabela 3.1 – Freguesia/União de Freguesias e respetiva área.

Freguesia/União de Freguesias	Área (km²)
União das Freguesias de Moscavide e Portela	1,66
União das Freguesias de Sacavém e Prior Velho	3,89
União das Freguesias de Santo António dos Cavaleiros e Frielas	9,20
União das Freguesias de Camarate, Unhos e Apelação	11,57
União das Freguesias de Santa Iria de Azoia, São João da Talha e Bobadela	17,59
Freguesia de Loures	32,82
União das Freguesias de Santo Antão e São Julião do Tojal	28,41
Freguesia de Fanhões	11,63
Freguesia Lousa	16,52
Freguesia Bucelas	33,97
Total	167,24

A densidade populacional no Concelho de Loures em 1970 era de 993,58 habitantes / km², enquanto em 2011 foi de 1226,11 habitantes/km², verificando-se um aumento conforme os dados do INE (1970/2011).

As Freguesias/União de Freguesias do Concelho de Loures mais populosas são as localizadas na parte sul e centro, sendo as localizadas a norte as que apresentam um índice de população menor (INE, 2011), ver Figura 3.3.

Considerando os dados dos Censos 2001 e 2011, verificou-se que a taxa de variação da população presente por Freguesias/União de Freguesias foi positiva maioritariamente, verificando-se valores negativos em quatro delas: União das freguesias de Moscavide (com o valor de - 0,05) e Portela, União das freguesias de Camarate, Unhos e Apelação (- 0,02), Freguesia Lousa (com o valor de - 0,07) e Freguesia Bucelas (com o valor de - 0,02), ver Tabela 3.2.

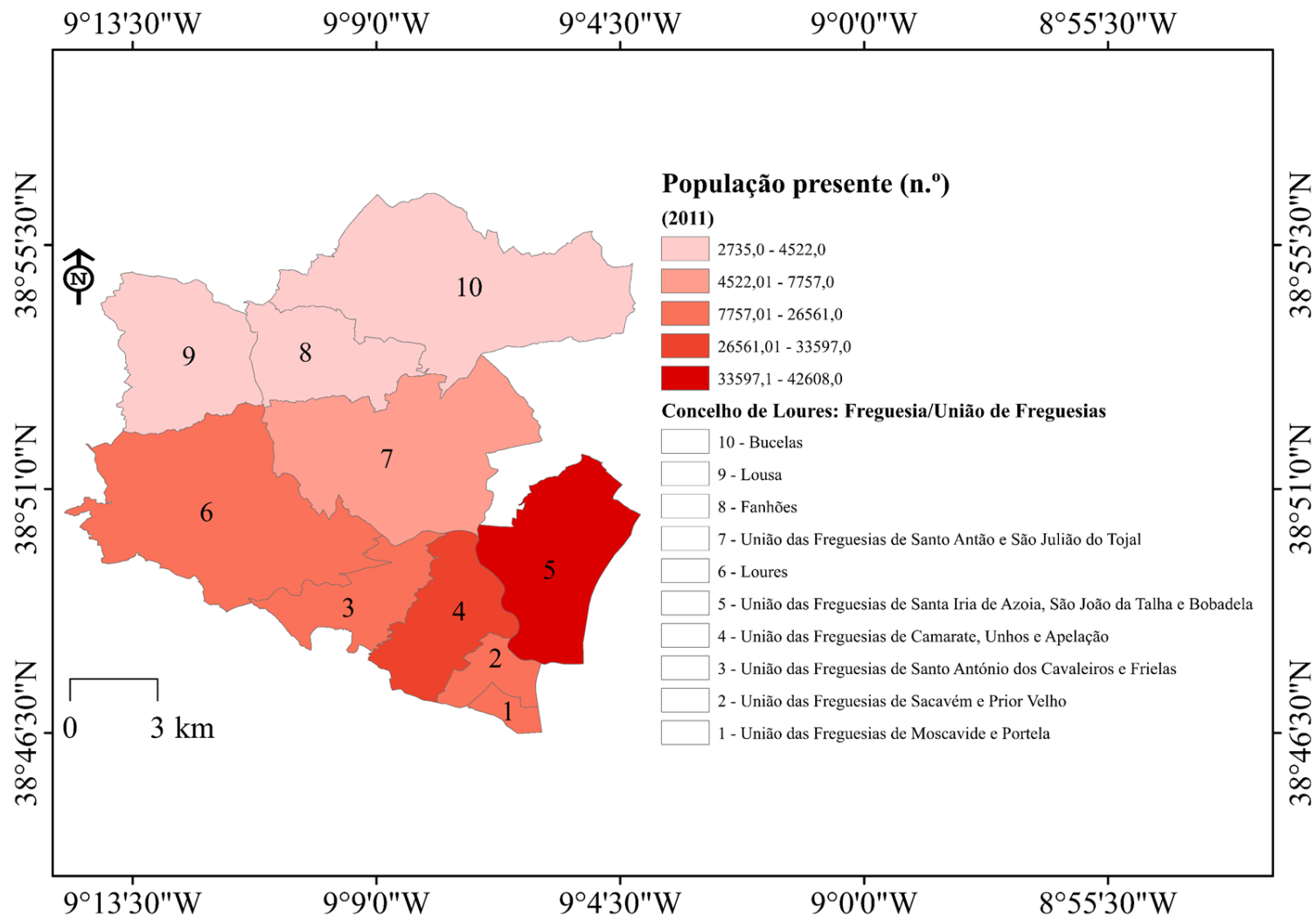


Figura 3.3 – População presente por Freguesia/união de Freguesias (INE, 2011; CAOP, 2015).

Tabela 3.2 – Características populacionais (população presente) no Concelho de Loures (INE, 2001, 2011).

Freguesias/União de Freguesias do Concelho de Loures	Ano 2001 (n.º)	Ano 2011 (n.º)	Densidade populacional 2011 (hab/km²)	Taxa de variação
União das Freguesias de Moscavide e Portela	26335	25035	15081,3	-0,05
União das Freguesias de Sacavém e Prior Velho	23653	24563	6314,4	0,04
União das Freguesias de Santo António dos Cavaleiros e Frielas	23266	26561	2887,1	0,14
União das Freguesias de Camarate, Unhos e Apelação	34232	33597	2903,8	-0,02
União das Freguesias de Santa Iria de Azoia, São João da Talha e Bobadela	42068	42608	2422,3	0,01
Freguesia de Loures	23160	26242	799,6	0,13
União das Freguesias de Santo Antão e São Julião do Tojal	7659	7757	273,0	0,01
Freguesia de Fanhões	2696	2735	235,2	0,01
Freguesia Lousa	3305	3062	185,4	-0,07
Freguesia Bucelas	4634	4522	133,1	-0,02

3.2 Investimento em iluminação nas vias públicas

Com base na informação cedida pela EDP para o Concelho de Loures, existiam em 2017, 32613 pontos de iluminação pública (PIP), ou seja, 195 pontos de luz/km², constituídos essencialmente pelo cabo, a coluna, o mastro, a luminária e os acessórios. No entanto, com base na informação cedida pela Câmara Municipal de Loures (2017), o número de PIP perfaz 33000, sendo que 28000 estão providos de lâmpadas de Sódio, 1100 com mercúrio (os quais serão substituídos a curto prazo), quase todos com balastos de ferro magnético convencionais, para os dois tipos de lâmpadas. Ainda, segundo a mesma fonte, já existem algumas lâmpadas com tecnologia LED, contabilizando-se 130 lâmpadas desta tipologia. Além destas, existem ainda outros tipos de lâmpadas, as ilustradas nas Tabela 3.3 e Tabela 3.4.

A substituição de lâmpadas tradicionais por tecnologia LED e os respetivos balastos fazem parte de um projeto do município de Loures a curto prazo. Avaliar os resultados com a tecnologia LED é necessário para testar um modelo de eficiência energética que responda às necessidades locais. Tendo em conta o referido em fontes bibliográfica, é importante incentivar a instalação de dimerização inteligente, balastos eletrônicos, que além de outras funções detetem falhas de iluminação de lâmpadas, minimizando, por exemplo, os custos de manutenção (Gil-de-Castro et al., 2013). Portanto, os investigadores apontaram algumas medidas recomendadas para a diminuição do custo de iluminação pública, como por exemplo a redução do nível de luminância durante as horas com menor densidade de tráfego.





Tabela 3.3 - Tipologia de lâmpadas no Concelho de Loures (EDP, 2017).

Fluorescente (W)		Indução (W)	Iodetos metálicos (W)				LED (W)			
50	70	50	100	150	50	70	24	40	47	70

Mercúrio (W)			Sódio (W)								
125	50	80	100	125	150	150+70	250	2x 150	50	70	80

Quanto aos modelos de estruturas das luminárias do Município de Loures representam-se nas Tabela 3.4/Tabela 3.6, alguns dos modelos instalados entre 2015 e 2016. Reconhece-se que em meio urbano a Câmara Municipal de Loures colocou luminárias com mais luz, o que se poderá justificar por uma maior afluência de circulação rodoviária e pedonal.

Tabela 3.4 – Luminárias rurais fixas com diâmetro 42 mm, de consumo corrente, horizontal (H) e com Fusível (F), contrato para vigorar em 2015/2016, Loures (CML, 30 de janeiro, 2015).

Código	Potência (w)	Modelo	Fornecedor	Foto
329228	50	SHP-MG	Sonares	
284188	70			
317819	100			
329228	50	R9	Sulnor	
	70			
	100			
317820	150	Ródio	Sonares	
317820	150	Bancara	Sulnor	

3.5 – Luminárias urbanas fixas com diâmetro 60 mm, de consumo corrente, horizontal (L) e sem Fusível (X), contrato para vigorar em 2015/2016, Loures (CML, 30 de janeiro, 2015).





Código	Potência (w)	Modelo	Fornecedor	Foto
317817	70	R9	Sulnor	
271695	100			
271695	100	Ródio	Soneres	
276009	150			
276010	250			
276009	150	Bracara	Soneres	

Tabela 3.6 – Luminárias de jardim, bola com 500 mm, PC Cristal texturado, Capot com base de alumínio, de consumo corrente, Vertical (V) e sem Fusível (X), contrato para vigorar em 2015/2016, Loures (CML, 30 de janeiro, 2015).

Código	Potência (w)	Modelo	Fornecedor	Foto
289112	70	Reflex	Soneres	
278412	100			

A IP representa para a Câmara Municipal de Loures (CML) cerca de 2,5 milhões de Euros/ano, sendo que o valor se tem mantido estabilizado, apesar do aumento constante do preço unitário da energia e do incremento de PIPs. Os valores gastos com a IP pelo município, entre 2012 e 2016, estão representados na Tabela 3.7, mantendo-se sempre acima dos 2 milhões de Euros/ano. Portanto, para uma área do Concelho de Loures de 167,24 km², verificaram-se gastos em iluminação pública em 2016, de 12874,15 €/km².

Tabela 3.7 - Custos de PIPs anuais Loures (CML, 2017).

PIP no Concelho de Loures e respetivos custos em €/ano								
Ano	Energia (€)	Acesso às Redes	Potência Contratada	Total Sem IVA (€)	IVA (€)	Total (€)	Consumos [kWh] 1 kilo [k] = 1E-06 giga [G]	Preço Unitário [€/kWh]
2016*	891.816,22	737.186,6	92.646,11	1.752.827,66	400.245,96	2.153.073,62	14.088.504	0,1528 €
2015	1.380.265,3	572.342,	80.746,60	2.068.766,47	472.626,85	2.541.393,32	16.653.296	0,1526 €
2014	1.888.406,6	5.776,92	96.062,41	2.025.093,46	462.574,01	2.487.667,47	16.001.523	0,1555 €
2013	1.807.283,2	-	116.281,36	1.955.473,19	447.139,36	2.402.612,55	16.633.401	0,1444 €
2012	1.971.561,4	-	72.077,11	2.076.410,46	474.532,36	2.550.942,82	18.619.153	0,1370 €

*Ano incompleto.

De entre as diversas medias relacionadas com a Iluminação Pública da Câmara Municipal de Loures em conjunto com a EDP, destacam-se algumas tendo em conta estudos já efetuados por outros autores (Salvador, 2016), ver Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Iluminação pública e algumas das medidas no Concelho de Loures (Salvador, 2016, p. 61-62)

Tipologia da medida	Local	Observações
Substituição de luminárias em 2015	Rua da República	-
Planeadas a partir de 2016 diversas ações que se descrevem nos itens seguintes.	-	-
Substituição de cerca de 100 lâmpadas de vapor de sódio (VSAP) de 100 W e lâmpadas de iodetos metálicos (VM) de 80 W por equivalentes LED	Bairro das Queimadas em Frielas, no Bairro de Santa Maria e no Bairro da Vitória em Pinheiro de Loures.	Substituição por iniciativa da EDP (2017) de luminárias VM de 80/125 W e VSAP de 70/100 W por LED's de 39 e 55 W.
Estimou-se que fossem substituídas 1 000 luminárias.	-	Contribuirá para uma redução energética anual de 240 MWh/ano, correspondente a uma redução de 38 000.00 €/ano
Substituição de 830 balastros ferromagnéticos por eletrónicos.	-	Traduz em menos 208 MWh de energia elétrica consumida/ano e uma redução de custos equivalente a 32 000.00 €/ano.
Substituição de 2 000 balastros ferromagnéticos por eletrónicos.	Moscavide, Portela, Sacavém e Bobadela.	A autarquia prevê realizar um investimento de cerca de 100000,00 € em 2 fases, sendo que a medida permitirá uma poupança energética anual de 560 MWh/ano (88 700 €/ano).
Adjudicação à EDP da substituição de mais 37 luminárias.	Rua da República.	Investimento de 18 000.00€. Estima-se uma redução nos consumos de 14.8 MWh/ano, o que corresponde a menos 2 343 €/ano.
Adjudicação à EDP da substituição de mais 37 luminárias.	Rua da República.	Investimento de 18 000.00€. Estima-se uma redução nos consumos de 14.8 MWh/ano, o que corresponde a menos 2 343 €/ano.
Substituição de 350 focos por tecnologia LED	Eixos principais que ligam a cidade de Loures ao Infantado.	Esta medida terá um investimento aproximado de 100 000.00 € e contribuirá para uma redução nos consumos de 240 MWh/ano, o que corresponde a uma redução das despesas de energia de 38 000 €/ano.

De acordo com o autor referido (Salvador, 2016), tendo em conta o investimento e a poupança financeira e de emissão de CO₂, relativos à iluminação pública de vias, o período de retorno do investimento ronda 1 ano. As poupanças resultaram evidentes na Tabela 3.9. Estes resultados exibem a necessidade de novas intervenções em outros locais do Concelho.

Tabela 3.9 – Alguns exemplos de ações/poupanças para alguns dos locais do Concelho de Loures (Salvador, 2016).

Ação	Investimento (€)	Poupança económica (€/ano)	Poupança energética (MWh/ano)	Redução das emissões de CO2 (ton/ano)
Iniciativa da EDP		38000	240	88,56
Balastros eletrónicos	141,500	120700	768	283,39
Rua da República	18000	2343	14,8	5,45
Ligações Loures-Infantado	100000	38000	240	88,56
TOTAL	-	196700	1262,8	465,96

Apresenta-se outro exemplo, sobre análise económica disponibilizado pela Câmara Municipal de Loures (2017). Segundo os dados, a CML com a substituição dos balastros ferromagnéticos por balastros eletrónicos, previu uma redução de 31 641,61 €/ano, um investimento de 74 700,00 € e um retorno em 2,4 anos (Tabela 3.10). Estes dados vão ao encontro do estudo efetuado por outros investigadores (Salvador, 2016), prevendo-se benefícios com o investimento em nova tecnologia relacionada com a iluminação pública: reduções de despesas económicas e energéticas.

Tabela 3.10 - Projeto-piloto para o município de Loures – análise económica (valores sem IVA), CML (2017).

Balastros ferromagnéticos									
Luminárias (n.º)	Potência (W)	Reatância (W)	Consumo (W)	Horas/dia	Dias/ano	Horas/ano	kWh ano	€/kWh	Total/ano (€)
830	150	15	165	11	365	4015	549854	0,1266	69611,55
Balastros eletrónicos									
Luminárias (n.º)	Potência (W)	Reatância (W)	Consumo (W)	Horas/dia	Dias/ano	Horas/ano	kWh ano	€/kWh	Total/ano (€)
830	150		90	11	365	4015	299921	0,1266	37969,94
Poupança anual (kWh):									249934
Poupança anual (€/ano):									31641,61
Investimento (€):									74700
Retorno (anos):									2,4

O modelo de eficiência da iluminação pública em Loures, à semelhança de outros locais o globo terrestre, como o apresentado em outros trabalhos (Patrício et al., 2016), incorpora a perspetiva da taxa de crescimento populacional local, além de outras variáveis que poderiam ser adicionadas e estudadas, como os exemplos que foram destacados nesta investigação: número de veículos em circulação, tipologia da área (rural/urbana), estados do tempo, por citar apenas estes exemplos.

A sustentabilidade é um aspeto importante na escolha de uma solução de iluminação pública, para se manter com a mesma eficiência ou melhorar. Não só por minimizar o impacto ambiental, como também por permitir economizar energia. Atualizar sistemas de iluminação diminui o consumo de energia, os custos operacionais e o impacto ambiental negativo associado às instalações mais antigas. Utilizar lâmpadas, luminárias e sistemas de controle certos, torna possível otimizar a eficiência do sistema.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

3.3 Resultados

Com base nos dados do PORDATA (2016) entre 1970 e 2014, os gastos em iluminação nas vias públicas, medidos em quilowatt-hora por ano, e referentes ao Concelho de Loures, foram variando anualmente (Tabela 4.1), com um valor mínimo em 1970 de 2020711 kWh/ano e máximo em 2011 de 26500434 kWh/ano.

Tabela 4.1 - Consumo de energia elétrica em iluminação de vias públicas (kWh) entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016)

Ano	Iluminação das vias públicas (kWh/ ano)
1970	2020711
1981	3822483
1994	16844238
2001	14535467
2009	16133041
2010	17432911
2011	26500434
2012	19662107
2013	17749405
2014	16925012

Para os dados referidos constatou-se que seguem a normalidade, segundo o teste de Shapiro-Wilk, para um nível de significância de $p = 0,080 > 0,05$, sendo $N = 10$. Este teste efetuou-se para medir a qualidade dos dados/tendência. Ao aplicar aos dados o gráfico de dispersão/pontos, obtivemos a equação de reta que indica a tendência linear dos dados, com um coeficiente de ajustamento, $R^2 = 76,9 \%$.

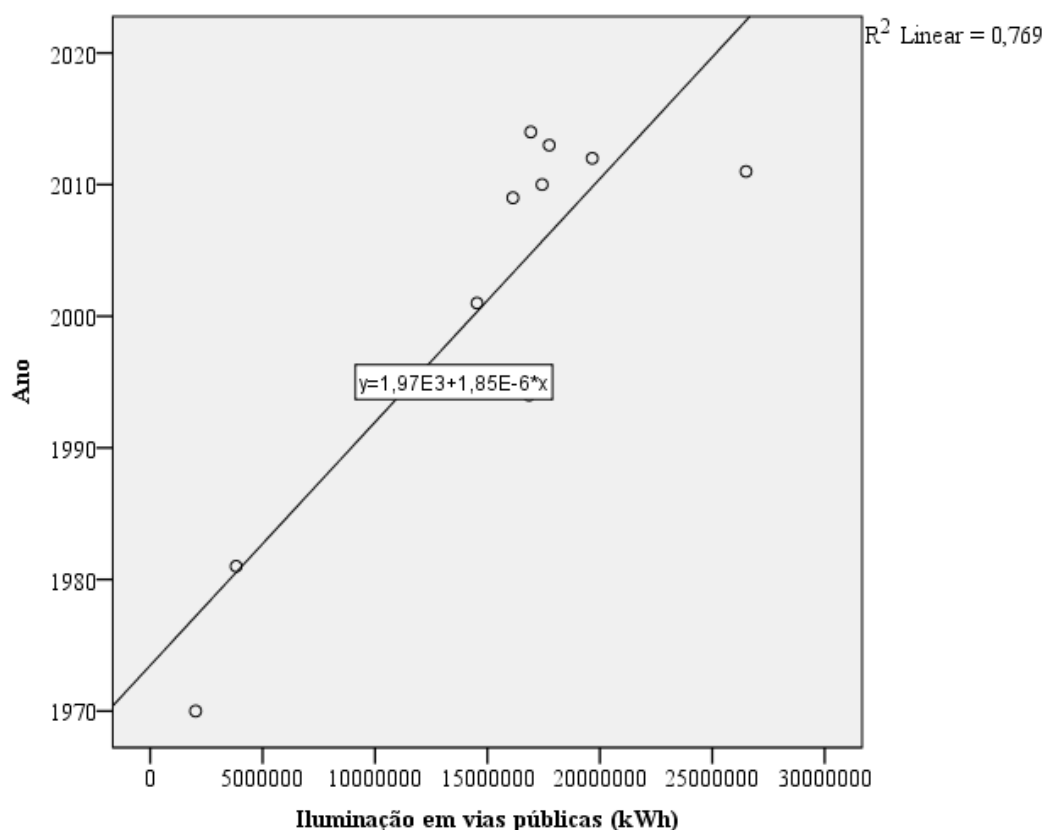


Figura 4.1 – Tendência linear dos gastos em energia elétrica em iluminação de vias públicas (kWh) entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016).

Testou-se ainda a correlação de Pearson, entre as variáveis ano e iluminação em vias públicas, e obteve-se um valor de $r = 87,7 \%$, que segundo fontes bibliográficas (Faul, Erdfelder, Buchner & Lang, 2009), é uma correlação alta, significativa, com $p = 0,001$ (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Correlação de Pearson *versus* significância entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016).

Correlação de Pearson <i>versus</i> significância		Ano
Ano	Correlação de Pearson	
	Sig. (bilateral)	
Iluminação em vias públicas	Correlação de Pearson	0,877**
	Sig. (bilateral)	0,001
	N	10

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Analisando a tendência dos gastos energéticos para o período estudado, verificou-se um valor mais elevado no ano de 2011, com 26500434 kWh/ano, sendo que a partir deste ponto os valores começaram a diminuir (Figura 4.2), dado já referido num dos parágrafos anteriores. Portanto, poderemos antever que algumas medidas foram tomadas para que

essa diminuição se verificasse, podendo já adiantar que talvez tivesse sido o início da substituição das lâmpadas tradicionais pelas lâmpadas LED. Conforme ficou demonstrado nas diversas referências bibliográficas utilizadas, a tendência da necessidade de iluminação aumentou devido ao crescimento urbano (Tabela 4.3 e Figura 4.3) e, por este motivo, só a adoção de tecnologias mais eficientes justificam a tendência da diminuição dos gastos energéticos a partir do ano de 2011, como acontece no caso do Concelho de Loures.

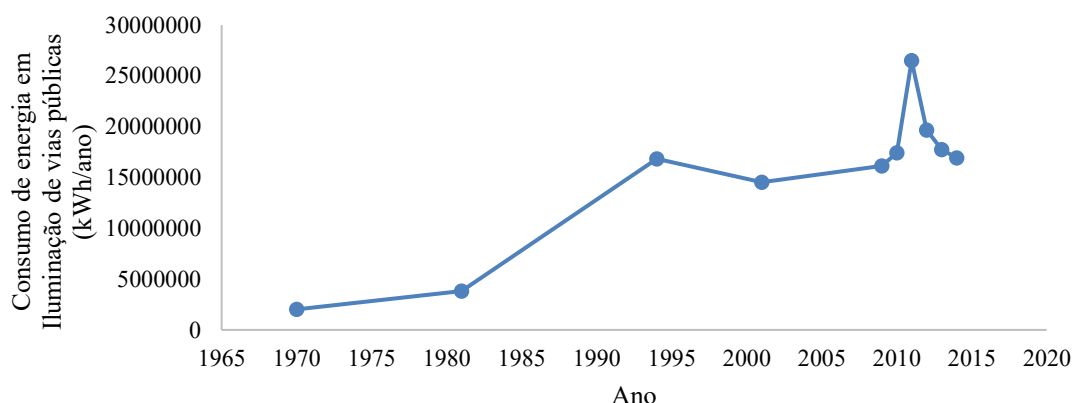


Figura 4.2 – Tendência dos gastos em energia elétrica em iluminação de vias públicas entre 1970 e 2014, Loures (PORDATA, 2016).

Tabela 4.3 – Habitantes residentes (INE, 1970/2011).

Ano	Residentes
1970	166167
1981	276467
2001	199059
2011	205054

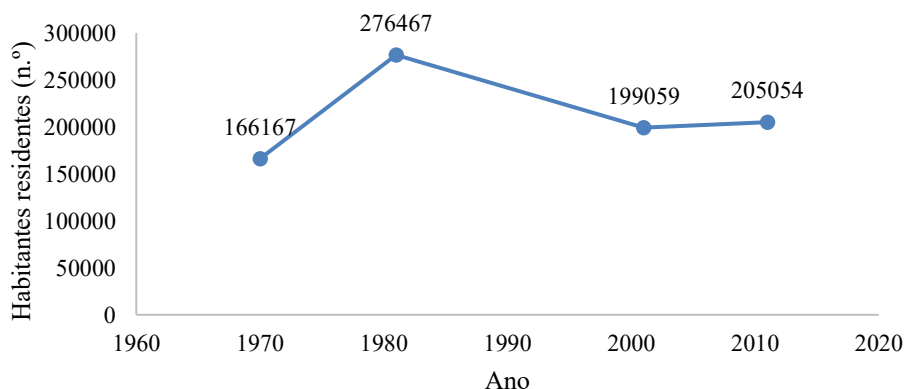


Figura 4.3 – Evolução do número de habitantes residentes no Concelho de Loures entre 1970 e 2011 (INE, 1970/2011).

Para os dados referentes à população residente no Concelho de Loures, obtidos no INE, constatou-se que seguem a normalidade, segundo o teste de Shapiro-Wilk, para um nível de significância de $p = 0,490 > 0,05$, sendo $N = 4$. A estatística descritiva dos dados ilustra-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Estatísticas descritivas dos dados populacionais entre 1970 e 2011 (INE, 1970/2011).

		Estatística	Erro Padrão
Residentes	Média	211686,8	23223,5
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior 137779,1	
		Limite superior 285594,4	
	5% da média aparada	210616,7	
	Mediana	202056,5	
	Variância	2157327290,9	
	Desvio Padrão	46447,0	
	Mínimo	166167	
	Máximo	276467	
	Amplitude	110300	
	Amplitude interquartil	84223,8	
	Assimetria	1,2	1,0
	Curtose	2,2	2,6

Comparando a evolução da iluminação das vias públicas no Concelho de Loures com o modelo de Patrício et al (2016) referido no capítulo dois deste trabalho, verificou-se que o aumento da iluminação gasta nas vias públicas, entre 1970 a 2011, nem sempre correspondeu ao aumento populacional. Obtivemos um valor máximo populacional em 1981 de 276467 habitantes e um valor máximo de gasto energético em 2011 de 26500434 kWh/ano. Portanto, embora seja uma comparação algo simplista, podemos afirmar que existem outras variáveis que devem ser consideradas para a melhoria do modelo, sugerindo-se a inserção das variáveis: evolução do aumento das infraestruturas, nomeadamente as vias de circulação públicas e ainda incluir o efeito da introdução da tecnologia de iluminação mais eficiente, a LED; ou mesmo o aumento da circulação de veículos nas vias públicas. O aumento de novas vias públicas pode não estar relacionado apenas com o número de habitantes, mas sim, com a evolução económica do país e com a necessidade que as pessoas têm de deslocar-se (o aumento da utilização da viatura por parte dos privados). Este facto também pode ser medido pelo aumento do número de veículos a circular, o que pode ser observado na Tabela 4.5, tendo como fonte de dados

os disponíveis na Autoinforma (2018): <http://www.autoinforma.pt/estatisticas>. Observou-se que entre 1974 a 2014 o aumento da frota automóvel em Portugal foi de 580 %, com valor máximo atingido em 2013, com 5 873 000 veículos. A este propósito, estes valores sugerem que o número de acidentes rodoviários pode estar relacionado com o aumento do número de veículos a circular, além do fator iluminação em vias públicas.

Tabela 4.5 – Parque automóvel em Portugal, entre 1974 e 2014 (Autoinforma, 2018).

Anos	Parque automóvel em Portugal: ligeiros de passageiros; veículos comerciais ligeiros; veículos pesados (n.º/ano)
1974	844 000
1975	911 000
1976	993 000
1977	1 060 000
1978	1 102 000
1979	1 144 000
1980	1 205 000
1981	1 288 000
1982	1 370 000
1983	1 433 000
1984	1 482 000
1985	1 541 000
1986	1 605 000
1987	1 684 000
1988	1 849 000
1989	1 907 000
1990	2 198 000
1991	2 444 000
1992	2 707 000
1993	2 965 000
1994	3 237 000
1995	3 435 000
1996	3 676 000
1997	3 944 000
1998	4 236 000
1999	4 535 000
2000	4 750 000
2001	4 957 000
2002	5 138 000
2003	5 241 100
2004	5 405 700
2005	5 523 270
2006	5 625 000
2007	5 727 100
2008	5 757 400
2009	5 809 500
2010	5 832 600
2011	5 873 000
2012	5 807 100
2013	5 753 200
2014	5 747 500

N = 41

O número total de automóveis ligeiros em 31/12/2014, em Portugal continental era de 5391652 carros e no Distrito de Lisboa 1 244 216 carros (Autoinforma, 2018).

Pelos dados que temos vindo a recolher, verificou-se que, de modo geral, as necessidades de gastos energéticos em vias públicas aumentaram e o número de veículos em circulação também aumentou. Segundo os dados do Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2018) a taxa média de crescimento do número de veículos entre 2010 e 2016 foi de 0,37 %. O número de quilómetros em vias públicas tem aumentando ao longo dos anos. Esta informação pode ser consultada em diversas fontes, citando apenas duas (Sousa & Fernandes, 2011; Carta Oficial de Estradas de Portugal Continental, 2014), produzida pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes em parceria com o Instituto Geográfico do Exército (IGeoE). A este propósito, o aumento do número de quilómetros de vias públicas em Portugal também valida o aumento da necessidade de iluminação artificial durante o período “escuro”.

4.1 Análise

A função da iluminação de vias públicas é iluminar para garantir a segurança rodoviária, de pessoas e bens (Peña-García, Hurtado & Aguilar-Luzón, 2015). O número de vítimas mortais em vias públicas, no Concelho de Lisboa e no Concelho de Loures, foi identificado principalmente durante o período “escuro” (entre as 18 h e as 9 h do dia seguinte), o que permite estabelecer alguma analogia com a qualidade da iluminação das vias públicas. Este é um facto que nos permite dizer que a qualidade da iluminação em vias públicas é um fator importante para os condutores e para os pedestres, embora sejam necessários mais estudos de investigação para confirmar isso mesmo.

A freguesia do Concelho de Lisboa em que existiram mais vítimas morais em acidentes rodoviários foi Santa Maria dos Olivais, com 67 perdas de vidas (em 7024 acidentes), entre o período 2000 e 2015. Existiram ainda freguesias que apenas registaram uma vítima mortal: Alto do Pina, Anjos, Mercês e Santa Isabel. Constatou-se que existem Freguesias/União de Freguesias mais propícias a acidentes em vias públicas, tendo ocorrido várias vítimas morais. Estas unidades político-administrativas com mais acidentes/mortes são aquelas em que o número de habitantes é mais elevado, devido ao maior número de concentração de pessoas.

Para o Concelho de Loures identificou-se o maior número de mortes na Freguesia de Loures (50 vítimas; numa área = 16,52 km²). Existiram ainda Freguesias/União de

Freguesias que registaram apenas uma vítima mortal: Fanhões (numa área de 11,63 km²). Na União de Freguesias de Moscavide identificaram-se 7 vítimas mortais (numa área de 1,66 km²), observar a Tabela 4.1. Constatou-se que não existe uma relação entre o número de mortes em acidentes na via pública e a área das Freguesias/União de Freguesias (correlação de Pearson $r = 16 \%$, sendo não significativo com $p > 0,05$). Tendo em conta estes resultados, pensa-se que a relação pontos de iluminação pública (pontos de luz) e o número de acidentes em período “escuro” pode ser significativa, embora nesta investigação, por falta de informação georreferenciada e para a série de dados entre 2000 a 2016 (com um sistema Hayford-Gauss de coordenadas militares para Portugal) que facilitasse o seu tratamento, impossibilitou a constatação dos resultados sobre a relação.

Tabela 4.6 – Comparação das variáveis em três das Freguesias/União de Freguesias do Concelho de Loures, com o valor máximo e mínimo de mortes/acidentes (ANSR, 2015; CAOP, 2015).

Freguesias União de Freguesias	Ano 2001 Habitantes (n.º)	Ano 2011 Habitantes (n.º)	Mortes (n.º/ano)	Área (km²)
União das Freguesias de Moscavide e Portela	26335	25035	7	1,66
Freguesia de Loures	23160	26242	50	32,82
Freguesia de Fanhões	2696	2735	1	11,63

Como o maior número de vítimas morais em acidentes obteve-se para a tipologia “arruamentos” (com 526 vítimas no Concelho de Lisboa). Vê-se como imperativo que a iluminação deste tipo de vias seja de máxima qualidade, contribuindo desta forma para evitar este tipo de perdas humanas.

O número de mortes em acidentes nas vias públicas durante o período “escuro” (durante a noite e madrugada) diminuiu de 2000 (com 26 vítimas mortais) para 2014 (com 5 vítimas mortais), o que pode estar relacionado, em parte, com as melhorias na eficiência energética. Em 2015 o número de mortes em período “escuro” foi nulo. Desde 2006 o número de mortes máximo/ano foi de 12 (entre 2008 e 2010) e mínimo de 2 vítimas mortais (em 2011). Foi a partir de 1993 que surgiram em Portugal as primeiras Agências de Energia (nacionais, regionais e municipais), contribuindo para incentivar a gestão deste setor, juntamente com o Poder Local e mesmo a EDP (Bustorff, & Domingues, 2018). O trabalho mais relevante das Agências de Energia pode ter aflorado a partir dos anos 2000, podendo estabelecer-se alguma relação positiva com a diminuição do número de mortes em acidentes em vias públicas e uma maior eficiência energética.

Quanto à tipologia da situação em que se deram mais acidentes que provocaram mortes foi em “marcha normal”, quer para o Concelho de Lisboa quer para o Concelho de Loures.

Contatou-se que os acidentes se deram, na sua maioria, na tipologia referente aos fatores atmosféricos “bom tempo”, podendo afirmar-se que o “mau tempo”, como a “chuva” não significou mais acidentes na via pública e/ou mais vítimas mortais.

A validação dos dados sobre acidentes rodoviários no Concelho de Loures realizou-se com a comparação dos resultados obtidos para o Concelho de Lisboa, obtendo-se o mesmo padrão para as variáveis: período “escuro”; “marcha normal”; “bom tempo”; condutores maioritariamente do sexo “masculino”.

Uma das boas medidas na eficiência da iluminação pública no Concelho de Loures foi a substituição dos balastros convencionais ferromagnéticos por balastros eletrónicos, além das ações para a substituição das lâmpadas convencionais por LED.

Revê-se neste trabalho a importância de intensificar os esforços para diversificar as suas fontes de luz em vias públicas, desenvolver e promover normas de segurança energética, coordenar a prevenção e melhorar a gestão dos perigos e riscos. Portanto, também se validou que a eficiência energética passou por um aumento do investimento no setor. A modo de exemplo citamos as ações humanas para a introdução da tecnologia LED nos municípios.

4.2 Discussão

Na investigação sobre a iluminação de vias públicas fez-se uma análise aos dados sobre a necessidade dos investimentos no setor, devido aos seguintes factos: contribuir para a eficiência energética e a segurança rodoviária. Constatou-se que para o período estudado, entre 2000 e 2015, a grande maioria dos acidentes rodoviários em vias públicas foram durante a noite, o que mereceu a nossa atenção relativamente às abordagens da qualidade da iluminação das vias, podendo ser um dos fatores importantes para evitar perdas de vidas.

Uma outra questão que se pretendeu analisar foi a eficiência energética na iluminação das vias públicas, constatando-se que as ações humanas de substituição de balastros e lâmpadas por uma tecnologia mais eficiente e atualizada é um desafio obrigatório para os municípios, em especial para o município de Loures. Assim, identificaram-se as vantagens: a poupança económica com um período de retorno dos investimentos muito curto (2,4 anos), a redução das emissões do CO₂ associadas à produção de energia maior qualidade de iluminação com menores custos.

Os projetos de substituição de tecnologias tradicionais por mais atualizada, como a LED, contribuem para a Eficiência Energética, além de uma adaptação dos territórios às alterações climáticas, nomeadamente garantindo a gestão dos riscos associados. Estes factos contribuem para as metas definidas no Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020-2030 descritas pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), disponível em <https://www.apambiente.pt/>.

CONCLUSÕES

O modelo atual de iluminação das vias públicas do município de Loures permite uma redução económica do valor de 31641,61 €/ano e uma maior eficiência energética (poupança energética de 249934 kWh). Esta informação considera-se uma ferramenta útil que facilita o ordenamento do território e a política integrada de iluminação em vias pública. Assim, evita-se o desperdício de energia que ocorre na maior parte das iniciativas relacionadas com a luz artificial (Alves, 2004) sem colocar em causa a qualidade de vida das populações.

Estradas de pedestres e ciclistas foram incluídas neste estudo, mas tais estradas são normalmente avaliadas por medidas de iluminância e não por variáveis de uniformidade baseadas em luminância.

As luminárias colocadas nas estradas incorporam normalmente um sistema de controlo ótico preciso para atender a requisitos técnicos visuais e de luz estritos para a iluminação das mesmas (Narisada & Kawakami, 1998). Os investigadores referem ainda, como primeira consequência, a sua emissão de fluxo ascendente é cuidadosamente controlada.

Em anexo encontra-se o início do estudo da relação entre o número de acidentes rodoviários com as vítimas mortais no período de dia e no período “escuro”. A principal fonte de dados sobre acidentes foi a da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), para o período entre 2000 e 2015. Os resultados sobre acidentes rodoviários e mortes obtidos para o Concelho de Loures foram validados com os obtidos para o Concelho de Lisboa. Constatou-se que a maioria dos acidentes com vítimas morais ocorreram durante o período “escuro”. A identificação dos pedestres durante a noite é essencial para a segurança. A distância média interpessoal para baixo conforto a 1,5 lux, ou seja, uma baixa iluminação, é de 1,17 m, e para uma boa iluminação a distância é de 0,53 m (Adams & Zuckerman, 1991). Os efeitos da iluminação, especialmente durante o período noturno, entre os 15 m para pedestres perante “juízos”, são uma boa referência, para uma duração da observação de fixação (média) de 500 ms (Fotios, Yang & Uttley, 2015). Outros investigadores também recorreram ao limiar de tempo de fixação de 500 ms (Willis, Palermo & Burke, 2011). Aumentar o nível de luz nas estradas pode facilitar ao condutor para o avistamento de um alvo de pequeno tamanho (Keck, 1989).

LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Como limitações do estudo destacam-se algumas: as fontes de dados da EDP apenas dizem respeito ao ano de 2017, evitando comparação evolutiva da instalação de equipamento com tecnologia mais eficiente.

A avaliação das vias para circulação rodoviária, pedestres e ciclistas, pode ser pela medida da iluminância e não da variável de uniformidade da luminância (Jägerbrand, 2016).

O mesmo autor concluiu que, adaptando a iluminação rodoviária LED à classe M de iluminação e combinando-a com um esquema de regulação de intensidade, poderá ser obtida uma grande poupança de energia nas estradas para o tráfego de veículos. Ainda segundo o mesmo autor, para a iluminação de pedestres e ciclovias, no entanto, há pouco potencial para a redução de energia, exceto pela implementação de um cronograma de escurecimento.

A fonte de dados fornecida pela Câmara Municipal de Loures também limitada aos anos das ações humanas de intervenção na iluminação pública. Um período de dados mais alargados permitiria uma investigação com mais detalhe.

Os resultados obtidos sobre a relação entre o número de vítimas morais em acidentes rodoviários durante o período “escuro” e a iluminação das vias públicas carecem de mais testes de investigação para certificar o quanto a iluminação pode evitar acidentes e perdas de vidas, em consonância com o conjunto dos principais fatores situacionais, como por exemplo: o número de veículos a circular ou a idade dos condutores.

Ainda, como limitações do estudo considerou-se que o número de pontos de luz por Freguesia/União de Freguesias, sendo indispensável para fazer a relação entre estes e o número de acidentes com mortes em vias públicas.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de trabalhos futuros pretende-se continuar a acompanhar o desenvolvimento das ações efetuadas no Concelho de Loures sobre as melhorias na eficiência da iluminação de vias públicas, por forma a obter mais dados que permitam avaliar de uma forma mais eficiente as diversas vantagens, quer económicas, energéticas e/ou ambientais (redução da poluição).

Esta metodologia pode ser aplicada para os restantes concelhos do país.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, L. & Zuckerman, D. (1991). The Effect of Lighting Conditions on Personal Space Requirements. *The Journal of General Psychology*, 118(4), 335–340. <<https://doi.org/10.1080/00221309.1991.9917794>>, (Consulta a 01/06/2018).
- ADENE - Agência para a Energia. <https://www.adene.pt/>, (Consulta a 13 de setembro de 2018).
- Agência Portuguesa do Ambiente (2018). Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030 (PNAC 2020/2030). <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=117&sub3ref=1376>, (Consulta a 14 de setembro de 2018).
- Alves, T. (2004). Geografias da Noite: fazer geografia através da luz. Apresentado na *Congresso da ASSO*.
- Amaral, C. (2013). Para uma análise do tema electricidade na revista da Associação dos Engenheiros Cívicos Portugueses:(1870-1945). *CEM: Cultura, Espaço & Memória: revista do CITCEM, Nº 2, 2011, p. 193-218*.
- Autoinforma (2018). Homologações estatísticas, Estudos e Serviços do Setor Automóvel. <http://www.autoinforma.pt/estatisticas/estatisticas.html?MIT=36458>, (Consulta a 19 de setembro de 2018).
- Bustorff, José & Domingues, Nuno Soares (2018). Review of the role of energy agencies in energy efficiency of public lighting. Case study involving three agencies in the Lisbon region (Portugal). *Asian Journal of Applied Sciences*.
- Castañeda, D., Sáenz, G. & Cárdenas, H. (2012). Estudio comparativo de características eléctricas y fotométricas de LEDs de iluminación de estado sólido y CFLs para iluminación interior. *Tekhnê*, 9, 79–90.
- Chraïbi, S., Crommentuijn, L., van Loenen, E. & Rosemann, A. (2017). Influence of wall luminance and uniformity on preferred task illuminance. *Building and Environment*, 117, 24-35.
- Cinzano, P. (2003). Light pollution by luminaires in roadway lighting. *CIE Division TC4*, 21, 1-8.
- Clark, B. A. (2002). Outdoor lighting and crime, Part 1: little or no benefit. *Victoria, Australia: Astronomical Society of Victoria*. <http://www.asv.org.au/>, (Consulta a 27 de junho de 2018).
- Costa, J. A. F. (2015). Relações segurança pública e desenvolvimento urbano. *CEDIS Working Papers | Direito, Segurança e Democracia*, (14).
- Oliveira Pinto, D. M. (2016). Sistemas de Controlo de Iluminação Pública. <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/40438/1/Sistemas%20de%20controlo%20de%20iluminacao%20publica.pdf>, (Consulta a 5 de junho de 2018).
- Dias, Patrícia Malta (2016). *Projetos de Eficiência Energética em Serviços e Instituições*. Energia Lateral - Apresentação 06-12-2016 CM Loures. <https://www.cm-loures.pt/noticia.aspx?displayid=2531>, (Consulta a 12 de agosto de 2018).

- Dravitzki, V., Cleland, B. S., Walton, D. & Laing, J. N. (2003). Measuring commuting pedestrians' concerns for personal safety and the influence of lighting on these concerns. In *26th Australasian Transport Research Forum* (pp. 1-14). <http://atrf.info/papers/2003/2003_Dravitzki_Cleland_Walton_Laing.pdf>, (Consulta a 01/06/2018).
- DREEIP. (2018). Eficiência energética na iluminação pública. Documento de referência. PARTE II - Projeto de Iluminação Pública – Especificações. Associação Nacional de Municípios Portuguesa; Centro Português de Iluminação; Ordem dos Engenheiros; Ordem dos Engenheiros Técnicos; Direção Geral de Energia e Geologia.
- EDP (2013) Luminárias de Iluminação Pública LFQ - Luminarias IP (Compras) Direção de Negociação e Compras Departamento de Gestão e Qualificação de Fornecedores EDP 10 dezembro 2013.
- EDP (2016). Manual de Iluminação Pública 2016. <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/EDP%20Documents/Manual%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20P%C3%BAblica.pdf>, (Consulta a 12 de dezembro de 2017).
- EDP (2017). DMA-C71-200/N aparelhos de iluminação elétrica e acessórios JAN 2017. www.edpdistribuicao.pt/pt/.../Lists/EDPDocumentosNormativos/.../DMA-C71-200.pdf, (Consulta a 10 de setembro de 2018).
- European Committee for Standardisation (2003). RoadLighting-Part2: Performance Requirements; EN13201-2; CEN: Brussels, Belgium. <https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2015/i.s.en13201-2-2015.pdf?sku=1843911>, (Consulta a 10 de setembro de 2018).
- Field, A. (2005). *Discovering Statistics Using SPSS: (and sex and drugs and rock 'n' roll)*.
- Fillipo Rugeles, V. H., Cano Garzón, H. B. & Chaves Osorio, J. A. (2010). Aplicaciones de iluminación con leds. *Scientia et Technica*, 16(45).
- Fotios, S. & Castleton, H. (2016). Specifying enough light to feel reassured on pedestrian footpaths. *Leukos*, 12(4), 235-243. <<https://doi.org/10.1080/15502724.2016.1169931>>, (Consulta a 01/06/2018).
- Fotios, S., Yang, B. & Uttley, J. (2015). Observing other pedestrians: Investigating the typical distance and duration of fixation. *Lighting Research & Technology*, 47(5), 548-564. <<https://doi.org/10.1177/1477153514529299>>, (Consulta a 01/06/2018).
- Gentile, N., Dubois, M. C., Osterhaus, W., Stoffer, S., Amorim, C. N. D., Geisler-Moroder, D., & Jakobiak, R. (2016). A toolbox to evaluate non-residential lighting and daylighting retrofit in practice. *Energy and Buildings*, 123, 151-161. (Consulta a 28 de junho de 2018).
- Gil-de-Castro, A., Moreno-Munoz, A., Larsson, A., de la Rosa, J., & Bollen, M. (2013). LED street lighting: A power quality comparison among street light technologies. *Lighting Research & Technology*, 45(6), 710–728.
- Gomes, A. F. T. (2014). Desenvolvimento de procedimento de análise técnico-económico às tarefas dos prestadores de serviços externos da rede elétrica de distribuição. (Dissertação de Mestrado). <https://repositorio->

- aberto.up.pt/bitstream/10216/89171/2/31781.pdf, (Consulta a 10 de maio de 2018).
- Gomes, T. A. F. (2012). *Plano Diretor da iluminação pública do município de Matosinhos* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/65546/1/000154202.pdf>, (Consulta a 12 de setembro de 2018).
- Guide to Protocols for Describing Lighting. (2014). Vienna, Austria <http://www.cie.co.at/publications/guide-protocols-describing-lighting>, (Consulta a 15 de julho de 2018).
- Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2014). Carta Oficial de Estradas de Portugal Continental. Edição 2014. http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/RedeRodoviaria/Paginas/CartaMapadeEstradas_Cons.aspx#instrucoes, (Consulta a 19 de setembro de 2018).
- Instituto da Mobilidade e dos Transportes (2018). Outras Informações. <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Observatorio/Estatisticas/OutrasInformacoes/Paginas/OutrasInformacoes.aspx>, (Consulta a 19 de setembro de 2018).
- Iwata, M. & Uchida, S. (2011). Experiment to Evaluate Visibility with Street Luminaires with Different Upward Light Output Ratios and the Use of Calculated Veiling Luminance to Determine Contrast Performance. *Journal of Light & Visual Environment*, 35(1), 42-54. < <https://doi.org/10.2150/jlve.35.42>>, (Consulta a 20 de junho de 2018).
- Jägerbrand, A. K. (2016). LED (Light-emitting diode) road lighting in practice: An evaluation of compliance with regulations and improvements for further energy savings. *Energies*, 9(5), 357.
- Jin, D., Hannon, C., Li, Z., Cortes, P., Ramaraju, S., Burgess, P. & Shahidehpour, M. (2016). Smart street lighting system: A platform for innovative smart city applications and a new frontier for cyber-security. *The Electricity Journal*, 29(10), 28–35.
- Kalthoum, K. M. (2016). *Distorção harmónica causada pelos LEDs em iluminação pública-análise e proposta de soluções* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto Departamento de Engenharia Mecânica <http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/10417>, (Consulta a 12 de setembro de 2018).
- Keck, M. E. (1989). Effect of Luminaire Arrangement on Object Visibility. *Transportation Research Record*, (1247). < <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1989/1247/1247-003.pdf>>, (Consulta a 20 de junho de 2018).
- Kruisselbrink, T., Dangol, R., & Rosemann, A. (2018). Photometric measurements of lighting quality: An overview. *Building and Environment*. < <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.028>>, (Consulta a 28 de junho de 2018).
- Louçano, N. R. (2009). *Eficiência energética em edifícios: Gestão do sistema iluminação* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Aveiro. Obtido de <http://hdl.handle.net/10773/3707>.

- Luymes, D. T. & Tamminga, K. (1995). Integrating public safety and use into planning urban greenways. *Landscape and urban planning*, 33(1-3), 391-400. <[https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)02030-J](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)02030-J)>, (Consulta a 01 de junho de 2018).
- Luz, A., Scheffer, C., Krzyzaniak, P. & Cadore, W. (2015). A evolução da iluminação: o LED. *III Semana das Engenharias 3ª Mostra Científica*, 26–31.
- Machado, A. M. Q. (2017) Gestão e eficiência energética em redes de iluminação pública. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Available online: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12295> (Consulta a 16 julho de 2018).
- Magalhães, J. M. L. (2014). *Eficiência energética na iluminação pública* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica. <http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/6106>, (Consulta a 12 de setembro de 2018).
- Marty, C., Fontoynt, M., Christoffersen, J., Dubois, M. C., Wienold, J., Osterhaus, W., ... & Carco, R. F. (2003). User assessment of visual comfort: Review of existing methods. *ECCO-build project*. <<https://www.researchgate.net/publication/283497394>>, (Consulta a 28 de junho de 2018).
- Matos, A. C. de. (2012). Tecnologia, engenharia e electricidade nas redes urbanas de iluminação e transporte. Portugal 1880-1926. <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/22025>, (Consulta a 10 de setembro de 2018).
- Matos, A. C. (2012). Tecnologia, engenharia e electricidade nas redes urbanas de iluminação e transporte. Portugal 1880-1926.
- Milan, B. F. & Creutzig, F. (2016). Municipal policies accelerated urban sprawl and public debts in Spain. *Land Use Policy*, 54, 103–115.
- Ministério dos Negócios Estrangeiros (2017). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. O Relatório nacional sobre a implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Relatório Voluntário Nacional – Portugal. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15771Portugal2017_PT_REV_FINAL_28_06_2017.pdf, Consulta a 15 de setembro de 2018).
- Murray, A. T. & Feng, X. (2016). Public street lighting service standard assessment and achievement. *Socio-Economic Planning Sciences*, 53, 14–22.
- Narisada, K. & Kawakami, K. (1998). Field survey of outdoor lighting in Japan. In *Preserving The Astronomical Windows* (Vol. 139, p. 21). <<http://adsabs.harvard.edu/full/1998asp..139...21n>>, (Consulta a 19 de junho de 2018).
- Novicki, J. M. & Martinez, R. (2008). Leds para iluminação pública. *Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR*. Obtido de http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Pesquisa/leds_para_iluminacao_publica.pdf

- Patrício, R. A., Batista, N. E., Sousa, T. D. C., Sales, A. D., do Sacramento, E. M. & de Lima, L. C. (2016a). O Modelo do sistema energético de hidrogênio solar e o Estado do Ceará. *Revista Tecnologia*, 35(1/2), 7–35.
- Peña-García, A., Hurtado, A. & Aguilar-Luzón, M. (2015). Considerations about the impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being. *Safety science*, 89, 315–318.
- Pereira, T. D. (2015). *Gestão de projeto e contratação de empreitadas de obras*, 2ª edição. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Perko, J., Topić, D. & Šljivac, D. (2016). Exploitation of public lighting infrastructural possibilities (pp. 55–59). Apresentado na Smart Systems and Technologies (SST), International Conference on, IEEE. DOI: 10.1109/SST.2016.7765632.
- Perko, J., Topić, D. & Šljivac, D. (2016). Exploitation of public lighting infrastructural possibilities (pp. 55–59). Apresentado na Smart Systems and Technologies (SST), International Conference on, IEEE.
- Plitnick, B., Figueiro, M. G., Wood, B. & Rea, M. S. (2010). The effects of red and blue light on alertness and mood at night. *Lighting Research & Technology*, 42(4), 449-458. < <https://doi.org/10.1177/1477153509360887>>, (Consulta a 5 de maio de 2018).
- Pollard, N. (1997). Techniques and limitations of outdoor lighting. *The Observatory*, 117, 31-33. < <http://adsabs.harvard.edu/full/1997Obs...117...31P>>, (Consulta a 20 de junho de 2018).
- Pun, C. S. J., So, C. W., Leung, W. Y. & Wong, C. F. (2014). Contributions of artificial lighting sources on light pollution in Hong Kong measured through a night sky brightness monitoring network. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 139, 90-108. <DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.12.014>, (Consulta a 5 de maio de 2018).
- Remande, C. (2001). Light Pollution: How High-Performance Luminaires Can Reduce It. In *Symposium-International Astronomical Union* (Vol. 196, pp. 49-59). Cambridge University Press. <<https://doi.org/10.1017/S007418090016382X>>, (Consulta a 27 de junho de 2018).
- Ribeiro, A. C. C., Rosa, H. C. P., da Silva Correa, J. D. & da Silva, A. V. (2012). O emprego da tecnologia LED na iluminação pública. *e-xacta*, 5(1).
- Saavedra, E., Rey, F. J. & Luyo, J. (2016). Sistemas de Iluminación, situación actual y perspectivas. *Revista Científica TECNIA*, 26(2), 44. <http://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v26i2.57>
- Sáez, H. C. & Costa, V. C. (2013). *Capitalismo e história da eletrificação, 1890-1930* (Vol. 61). Ediciones del Serbal, SA.
- Sáez, H. C. & Costa, V. C. (2013). *Capitalismo e história da eletrificação, 1890-1930* (Vol. 61). Ediciones del Serbal, SA.
- Salvador, J. A. F. (2018). *Plano de ação para a energia sustentável do município de Loures: análise de progressos* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. <http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/32756/1/ulfc124130_tm_J%C3%A9ssica_Salvador.pdf>, (consulta a 18/06/2018).

- Santos, C. R. A. S. (2011). Iluminação pública e sustentabilidade energética. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61677/1/000148456.pdf>, (Consulta a 17 de setembro de 2018).
- Silva, C. B. L. (2007). *Estudo da Eficiência Luminosa e Energética do Sistema de Iluminação* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Skarżyński, K. (2016). An attempt at controlling the utilisation factor and light pollution within the context of floodlighting. *Przeegląd Elektrotechniczny*, 92(09/2016).
- Skarżyński, K. (2017). The engineering assessment of floodlighting design. *MH*, 4000(70), 88.
- Słomiński, S., & Krupiński, R. (2018). Luminance distribution projection method for reducing glare and solving object-floodlighting certification problems. *Building and Environment*, 134, 87-101.>, (Consulta a 27 de junho de 2018).
- Sousa, J. F. D. & Fernandes, A. (2011). A Evolução dos Transportes e Acessibilidades e as Transformações na Organização do Território. Instituto de Dinâmica do Espaço. <http://hdl.handle.net/10362/11795>, (Consulta a 19 de setembro de 2018).
- Veitch, J. A. & Newsham, G. R. (1996). Determinants of lighting quality I: State of the science. In *Annual Conference of the Illuminating Engineering Society of North America, Cleveland, OH*. (Consulta a 28 de junho de 2018).
- Wilcox, L. M., Allison, R. S., Elfassy, S. & Grelik, C. (2006). Personal space in virtual reality. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 3(4), 412-428. <<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1190041>>, (Consulta a 01 de junho de 2018).
- Willis, M. L., Palermo, R. & Burke, D. (2011). Judging approachability on the face of it: The influence of face and body expressions on the perception of approachability. *Emotion*, 11(3), 514. <<http://psycnet.apa.org/buy/2011-11794-005>>, (Consulta a 01 de junho de 2018).
- Yang, B. & Fotios, S. (2015). Lighting and recognition of emotion conveyed by facial expressions. *Lighting Research & Technology*, 47(8), 964-975. <<https://doi.org/10.1177/1477153514547753>>, (Consulta a 01/06/2018).

ANEXOS

A ILUMINAÇÃO NAS VIAS PÚBLICAS E A CIRCULAÇÃO RODOVIÁRIA

1.1 Concelho de Lisboa

Tendo por base os dados da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), para o período temporal 2000 - 2015, no Concelho de Lisboa, verificou-se que o número de mortes devidas a acidentes nas vias públicas foi de 579 vítimas e o número de feridos (graves e leves) foi de 66929 indivíduos (Tabela 0.1). Acrescenta-se ainda que a amostra considerou um total de 65982 acidentes, sendo que 65403 não registaram mortes, ou seja, apenas houve vítimas.

Para estes dados, variável “número de mortes”, verificou-se que a distribuição é normal com assimetria com Z-score de 0,078, encontrando-se dentro dos parâmetros recomendados: compreendida -2 a 2, afirmação como tese de um dos teoremas fundamentais da teoria das probabilidades - teorema do limite central (valor de $N = 65982$), conforme as recomendações na bibliografia consultada (Field, 2005). Mediu-se este pressuposto para conhecer a tendência da normalidade dos dados, embora se incida em particular na frequência do número de mortes/acidente/ano/freguesia.

É de salientar que 396 mortes ocorreram no período “escuro”: da noite (horário ≥ 18 h) e no período da madrugada (horário ≤ 9 h). Portanto, 68 % das mortes/acidente tiveram lugar durante o período “escuro” (Tabela 0.2). Constatou-se ainda que o ano em que ocorreram mais mortes/acidentes foi em 2000, com 103 vítimas mortais, com uma tendência a decrescente até 2015 (Figura 0.1).

Tabela 0.1 – Mortes devidas a acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Lisboa, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Ano	Mortes (n.º)						Total (n.º)	Feridos graves	Feridos leves
	1	2	3	4	6	Total (n.º)			
2000	97	6	0	0	0	103	1068	4711	
2001	60	5	1	0	0	66	631	3916	
2002	54	2	0	0	1	57	514	3901	
2003	59	5	0	3	0	67	506	3750	
2004	35	2	1	0	0	38	501	3910	
2005	48	1	1	0	0	50	464	3840	
2006	18	13	0	0	0	31	386	3826	
2007	36	1	0	0	0	37	211	3725	
2008	10	0	0	0	0	10	178	3285	
2009	24	0	0	0	0	24	146	3630	
2010	19	0	0	0	0	19	138	4003	
2011	22	0	0	0	0	22	138	3646	
2012	15	1	0	0	0	16	106	3690	
2013	11	1	0	0	0	12	123	3716	
2014	6	0	1	0	0	7	143	3827	
2015	20	0	0	0	0	20	117	4183	
Total	534	37	4	3	1	579	5370	61559	

Tabela 0.2 – Mortes por acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Lisboa, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Ano	Mortes (n.º)							
	> 18h (noite)			<= 9h (madrugada)				Total
	1	2	Total	1	2	3	6	
2000	29	4	33	39	2	0	0	41
2001	18	0	18	17	5	1	0	23
2002	15	0	15	22	2	0	1	25
2003	16	0	16	16	1	0	0	17
2004	5	0	5	19	2	1	0	22
2005	8	1	9	22	0	1	0	23
2006	3	4	7	11	9	0	0	20
2007	24	0	24	5	1	0	0	6
2008	3	0	3	5	0	0	0	5
2009	11	0	11	3	0	0	0	3
2010	7	0	7	5	0	0	0	5
2011	2	0	2	15	0	0	0	15
2012	7	0	7	6	1	0	0	7
2013	2	1	3	5	0	0	0	5
2014	2	0	2	3	0	1	0	4
2015	3	0	3	10	0	0	0	10
Total	155	10	165	203	23	4	1	231

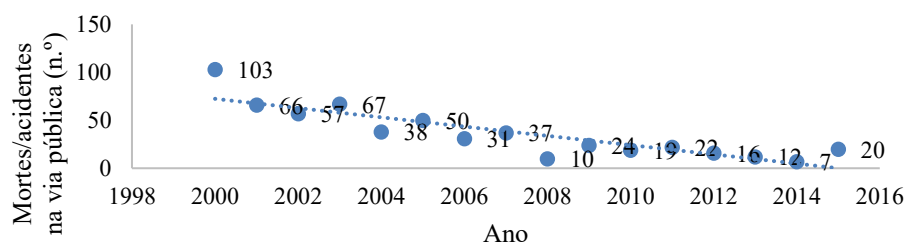


Figura 0.1 – Número total de mortos em acidentes rodoviários nas vias públicas, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Através da estatística descritiva mostra-se que o maior número de vítimas mortais ocorreu na Freguesia de Santa Maria dos Olivais (com 67 vítimas mortes/acidentes em 7024 acidentes) e as freguesias que apresentaram menor número de mortes/acidente (1 vítima mortal) foram: Alto do Pina, Anjos, Mercês e Santa Isabel (Tabela 0.3 e Tabela 3.11).

Tabela 0.3 – Freguesias do Concelho de Lisboa e respetivas mortes devidas a acidentes rodoviários, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Freguesias	mortes					Total (n.º)	Acidentes (n.º)
	1	2	3	4	6		
<Sem Freguesia>	10	0	0	0	0	10	626
Ajuda	9	0	0	0	0	9	1337
Alcântara	63	2	1	0	0	66	5052
Alto do Pina	1	0	0	0	0	1	639
Alvalade	8	0	0	0	0	8	1395
Ameixoeira	6	6	0	0	0	12	448
Anjos	1	0	0	0	0	1	541
Avenidas Novas	8	0	0	0	0	8	205
Beato	7	0	0	0	0	7	293
Belém	1	0	1	0	0	2	597
Benfca	22	1	0	0	0	23	660
Campo Grande	49	2	1	0	0	52	331
Campolide	22	0	0	0	0	22	4262
Carnide	19	0	0	0	0	19	217
Charneca	5	0	0	0	0	5	3958
Coração de Jesus	3	0	0	0	0	3	3271
Graça	4	0	0	0	0	4	2849
Lumiar	36	2	1	0	0	39	23
Madalena	3	1	0	0	0	4	403
Marvila	25	1	0	0	0	26	1403
Mercês	1	0	0	0	0	1	191
Nossa Senhora de Fátima	14	0	0	0	0	14	259
Pena	3	0	0	0	0	3	199
Penha de França	2	0	0	0	0	2	2
Prazeres	5	0	0	0	0	5	490
Santa Engrácia	10	2	0	0	0	12	4278
Santa Isabel	1	0	0	0	0	1	391
Santa Maria de Belém	33	4	0	0	0	37	53
Santa Maria dos Olivais	57	7	0	3	0	67	2644
Santo Condestável	10	0	0	0	0	10	239
Santos-o-Velho	3	0	0	0	1	4	179
São Domingos de Benfca	27	2	0	0	0	29	2295
São Francisco Xavier	16	7	0	0	0	23	214
São João	3	0	0	0	0	3	232
São João de Brito	11	0	0	0	0	11	548
São João de Deus	3	0	0	0	0	3	562
São Jorge de Arroios	13	0	0	0	0	13	50
São José	2	0	0	0	0	2	106
São Nicolau	2	0	0	0	0	2	66
São Paulo	6	0	0	0	0	6	264
São Sebastião da Pedreira	10	0	0	0	0	10	472
Total	534	37	4	3	1	579	435

Tabela 0.4 – Dados descritivos relativos ao número de mortes/acidente nas diversas freguesias do Concelho de Lisboa entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

		Estatística	Erro Padrão
Média		14,12	2,614
95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	8,84	
	Limite superior	19,40	
5% da média aparada		11,96	
Mediana		8,00	
Variância		280,110	
Desvio Padrão		16,736	
Mínimo		1	
Máximo		67	
Amplitude		66	
Amplitude interquartil		18	
Assimetria		1,952	0,369
Curtose		3,494	0,724

Relativamente à idade dos condutores, considerando ≥ 18 anos (devido a inexistência de informação em algumas células da base de dados), obtivemos um valor de $N = 39388$ e verificou-se que a idade dos condutores apresentou um valor médio de 45 anos, sendo a mediana 43 anos e a idade máxima 95 anos. Para esta variável (idade) a assimetria apresentou um valor de 0,501 (considerando-se que os dados seguem a normal).

Tendo em conta aos dados disponíveis da ANSR (2015) em que ocorreram mortes, $N = 579$, verificou-se que as viaturas que originaram um maior número de vítimas eram conduzidas por homens (454). Em contrapartida, apenas 48 viaturas com sinistralidade foram conduzidas por mulheres e 32 por condutores sem género definido.

Identificou-se ainda que a maioria das mortes/acidentes aconteceram em “marcha normal”, Tabela 0.5.

Tabela 0.5 – Tipologia de acidente com sinistralidade no Concelho de Lisboa, entre 2000 e 2015, (ANSR, 2015).

Tipologia do acidente	Mortes (n.º)					Total (n.º)
	1	2	3	4	6	
Circulação em sentido oposto ao estabelecido	4	1	0	0	0	5
Desvio brusco/ saída de fila de trânsito	9	0	1	0	0	10
Em marcha normal	390	20	2	3	0	415
Início de marcha	6	1	0	0	0	7
Marcha atrás	8	0	0	0	0	8
Mudança de direção para a direita	3	1	0	0	0	4
Mudança de direção para a esquerda	36	2	0	0	1	39
Mudança de via de trânsito para a direita	1	1	0	0	0	2
Mudança de via de trânsito para a esquerda	2	2	0	0	0	4
Não definido	23	2	1	0	0	26
Parado ou estacionado	40	7	0	0	0	47
Travagem brusca	4	0	0	0	0	4
Ultrapassagem pela direita	6	0	0	0	0	6
Ultrapassagem pela esquerda	2	0	0	0	0	2
Total	534	37	4	3	1	579

Podemos ainda acrescentar que o número de mortes em acidentes foi maior para a tipologia de via: “arruamentos” (com 526 vítimas mortais), ver Tabela 0.6.

Tabela 0.6 – Tipologia de vias em que ocorreram mortes por acidentes na via pública, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Tipologia de via	Mortes (n.º)					Total (n.º)
	1	2	3	4	6	
A - Autoestrada	25	0	1	0	0	26
Arruamento	486	35	1	3	1	526
IC - Itinerário Complementar	2	0	1	0	0	3
IP- Itinerário Principal	4	0	0	0	0	4
Outra Via	15	2	1	0	0	18
PNT - Ponte	2	0	0	0	0	2
Total	534	37	4	3	1	579

Quanto ao estado do tempo, no momento dos acidentes na via pública com vítimas mortais, constatou-se que a grande maioria se insere na tipologia “bom tempo”, com 54823 acidentes (Tabela 0.7). Tendo em conta este resultado parece poder afirma-se que o “mau tempo” não é um fator determinante para a ocorrência de acidentes.

Tabela 0.7 – Tipologia de fatores atmosféricos em que ocorreram acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Ano	Bom tempo	Chuva	Granizo	NÃO DEFINID	Neve	Nevoeiro	Nuvem de fum	Vento Forte	Total
2000	4664	866	0	9	2	12	0	3	5556
2001	3747	664	0	15	0	9	0	3	4438
2002	3564	669	1	66	0	19	0	0	4319
2003	3495	636	0	58	0	8	0	2	4199
2004	3514	646	1	153	0	13	2	7	4336
2005	3627	477	0	105	0	8	0	6	4223
2006	3318	593	0	188	0	1	0	2	4102
2007	3345	400	0	139	0	6	0	2	3892
2008	2946	438	0	22	2	0	0	4	3412
2009	3149	518	1	103	0	0	0	0	3771
2010	3265	800	1	55	0	0	0	0	4121
2011	3159	564	0	32	0	14	0	2	3771
2012	3196	539	1	40	0	13	0	1	3790
2013	3101	667	1	50	1	1	0	1	3822
2014	3002	852	2	75	0	1	0	5	3937
2015	3731	518	0	42	0	2	0	0	4293
Total	54823	9847	8	1152	5	107	2	38	65982

Quanto à influência dos fatores atmosféricos em acidentes com vítimas morais verificou-se que a maioria se deu no “bom tempo” (obtendo-se 490 vítimas mortais), podendo afirmar que a “chuva” ou mesmo o “nevoeiro” não foram os fatores que mais influenciam a ocorrência de acidentes com vítimas (Tabela 0.8).

Tabela 0.8 – Tipologia dos fatores atmosféricos que provocaram mortes por acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Fatores atmosféricos	Mortes (n.º)					Total (n.º)
	1	2	3	4	6	
Bom tempo	458	28	3	0	1	490
Chuva	64	9	1	3	0	77
Não definido	5	0	0	0	0	5
Nevoeiro	7	0	0	0	0	7
Total	534	37	4	3	1	579

1.2 Concelho de Loures

Da mesma forma como se procedeu para o Concelho de Lisboa, procedeu-se para o Concelho de Loures no estudo da relação dos acidentes rodoviários na via pública, para

verificar se existe alguma relação com a iluminação das vias. Em todo o Concelho de Loures o número de mortes em 16386 acidentes foi de 281 (Tabela 0.9). O ano em que ocorreram mais mortes foi em 2000 (com 33 vítimas mortais), sendo também o ano com mais acidentes (obtendo-se 1240 acidentes).

Tabela 0.9 – Mortes devidas a acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Loures, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Ano	Mortes (n.º)		Total de mortes (n.º)	Total de acidentes (n.º)
	1	2		
2000	26	7	33	1240
2001	18	3	21	1139
2002	24	1	25	1025
2003	28	4	32	970
2004	27	0	27	979
2005	26	2	28	1026
2006	16	0	16	1022
2007	4	0	4	869
2008	19	7	26	903
2009	9	0	9	1105
2010	15	0	15	1089
2011	10	0	10	957
2012	9	3	12	953
2013	6	0	6	1044
2014	7	0	7	991
2015	10	0	10	1074
Total	254	27	281	16386

N = 16386

De referir que para os dados, variável “número de mortes”, considerou-se que a distribuição segue a normalidade pela afirmação de um dos teoremas fundamentais da teoria das probabilidades - teorema do limite central, conforme as recomendações de fontes bibliográficas (Field, 2005). À semelhança do já efetuado para o Concelho de Lisboa, este pressuposto permitiu conhecer a tendência da normalidade dos dados, embora a frequência do número de mortes/acidentes/ano/freguesia, tem-se como fonte explicativa deste trabalho (Tabela 0.10).

Verificou-se que o número máximo de mortes/acidentes foi 2 e a média 1 morte/acidente.

Tabela 0.10 – Estatísticas descritivas da variável vítimas mortais.

Estatística descritiva	Estatística	Erro Padrão
Média	1,10	0,02
95 % Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	1,06
	Limite superior	1,13
5 % da média aparada	1,05	1,05
Mediana	1,00	
Variância	0,09	
Desvio Padrão	0,30	
Mínimo	1,00	
Máximo	2,00	
Amplitude	1,00	
Amplitude interquartil	0	0,00
Assimetria	2,76	0,15
Curtose	5,63	0,29

Verificou-se que o maior número de vítimas mortais em acidentes deu-se no período da noite, “escuro”, com 177 vítimas (63 % das mortes ocorreram durante a noite), ver Tabela 0.11. Este indicador valida-se com os dados obtidos para o Concelho de Lisboa, sendo que o Concelho de Loures apresentou a mesma tendência, mais acidentes e vítimas mortais durante o período “escuro”.

Tabela 0.11 - Mortes por acidentes rodoviários em vias públicas no Concelho de Loures, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

	Mortes (n.º)					
	> 18h (noite)			<= 9h (madrugada)		
	1	2	Total (n.º)	1	2	Total (n.º)
2000	10	0	10	9	7	16
2001	5	1	6	3	2	5
2002	8	0	8	7	1	8
2003	7	0	7	5	2	7
2004	7	0	7	14	0	14
2005	4	0	4	19	0	19
2006	4	0	4	7	0	7
2007				3	0	3
2008	2	0	2	10	0	10
2009	1	0	1	5	0	5
2010	7	0	7	5	0	5
2011				2	0	2
2012	3	0	3	4	3	7
2013	2	0	2	4	0	4
2014	1	0	1	4	0	4
Total	61	1	62	101	15	116

A tendência do número de vítimas mortais em acidentes, para o período estudado, foi de diminuição, com valores por ano máximos de 26 e mínimos de 5, conforme se ilustra na Figura 0.2.

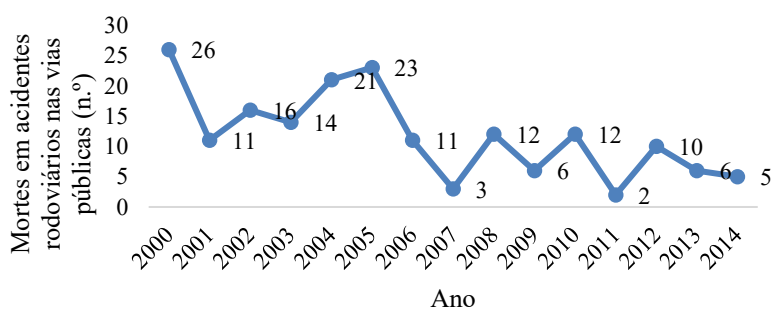


Figura 0.2 – Número de mortes em acidentes rodoviários, por ano, no período “escuro”, no Concelho de Loures, entre 200 e 2015 (ANSR, 2015).

Tendo em consideração as freguesias do Concelho de Loures verificou-se que foi na Freguesia de Loures onde ocorreram mais vítimas moais em acidentes rodoviários (com 50 perdas de vidas). Em três das freguesias deste concelho apenas morreu uma pessoa: Fanhões, Portela e Santo António dos Cavaleiros. Este facto pode dever-se a que a

Freguesia de Loures é a sede do concelho, sendo uma das maiores, com uma área de 32,82 km². No entanto, na Freguesia de Bucelas, apesar de ser a maior do Concelho (com área de 33,97 km²), apenas se identificaram 17 perdas de vidas (Tabela 0.12).

Tabela 0.12 - Freguesias do Concelho de Loures e respetivas mortes devidas a acidentes rodoviários, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Freguesias	Mortes (n.º)		Total (n.º)
	1	2	
Apelação	2	0	2
Bobadela	22	7	29
Bucelas	15	2	17
Camarate	8	0	8
Fanhões	1	0	1
Frielas	6	0	6
Loures	43	7	50
Lousa	25	1	26
Moscavide	3	3	6
Portela	1	0	1
Prior Velho	10	0	10
Sacavém	33	2	35
Santa Iria de Azoia	35	3	38
Santo Antão do Tojal	9	0	9
Santo António dos Cavaleiros	1	0	1
São João da Talha	25	2	27
São Julião do Tojal	3	0	3
Unhos	2	0	2
União das Freguesias de Camarate, Unhos e Apelação	2	0	2
União das Freguesias de Iria de Azoia, São João da Talha e Bobadela	8	0	8
Total	254	27	281

Tendo em conta a reformulação das Freguesias/União de Freguesias (2013) representa-se o número de mortes em vias públicas e a sua distribuição por estas unidades político-administrativas (Figura 0.3 e Tabela 0.13), identificando-se duas onde essa perda foi mais evidente: União das Freguesias de Santa Iria de Azoia, São João da Talha e Bobadela e Freguesia de Loures - coincidindo desta forma com as mais populosas.

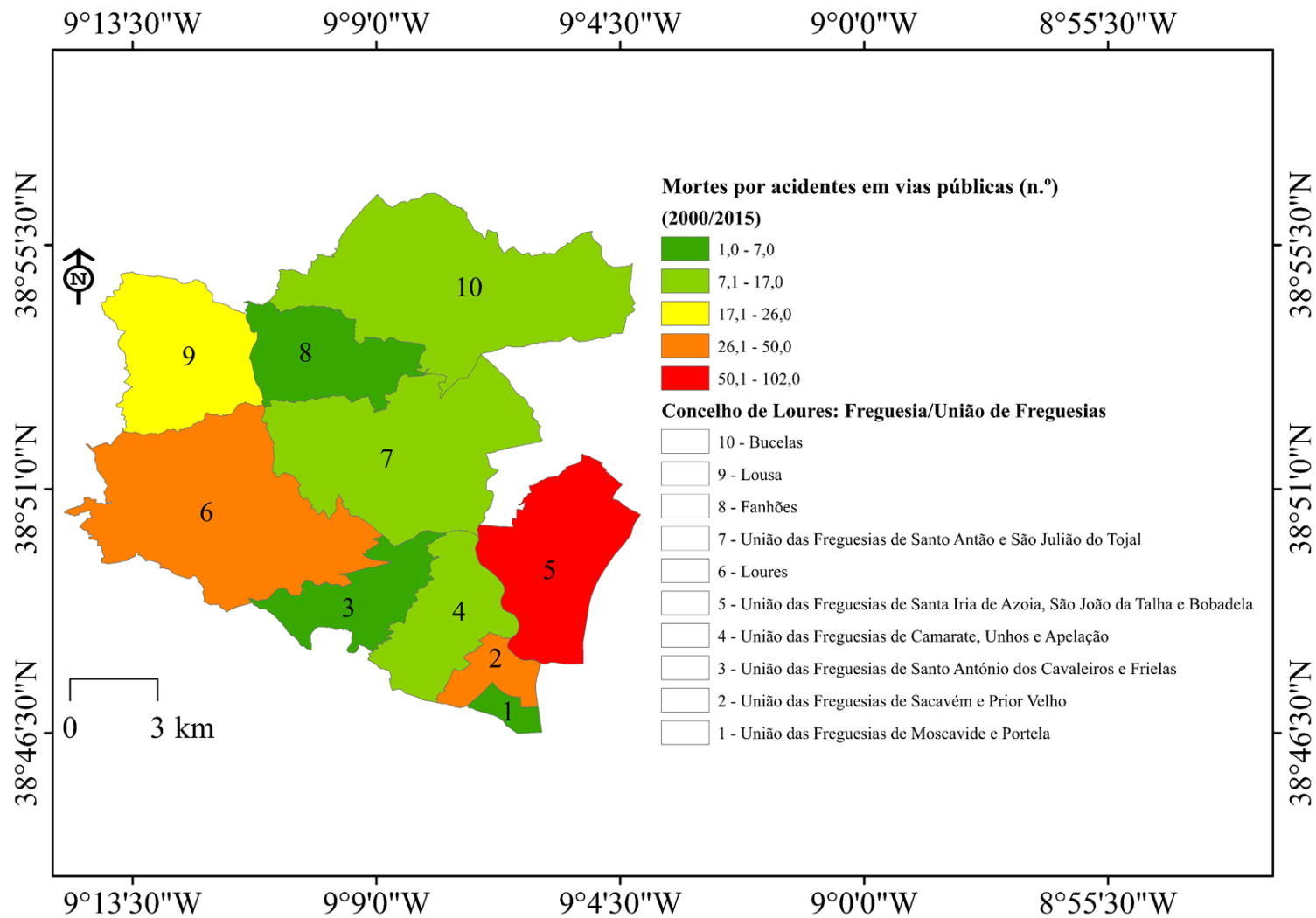


Figura 0.3 – Mortes em acidentes em vias públicas, no Concelho de Loures, entre 2001 e 2015 (ANSR, 2015; CAOP, 2015).

Tabela 0.13 – Número de mortes por Freguesia/União de Freguesias do Concelho de Loures, entre 2001 e 2015 (ANSR, 2015; CAOP, 2015)

Freguesias/União de Freguesias (nome)	Mortes (n.º)	Área (km²)
União das Freguesias de Moscavide e Portela	7	1,7
União das Freguesias de Sacavém e Prior Velho	45	3,89
União das Freguesias de Santo António dos Cavaleiros e Frielas	7	9,2
União das Freguesias de Camarate, Unhos e Apelação	14	11,57
União das Freguesias de Santa Iria de Azoia, São João da Talha e Bobadela	102	17,59
Freguesia de Loures	50	32,82
União das Freguesias de Santo Antão e São Julião do Tojal	12	28,41
Freguesia de Fanhões	1	11,63
Freguesia Lousa	26	16,52
Freguesia Bucelas	17	33,97

N = 10

Relativamente à idade dos condutores, considerando como idade mínima os 18 anos, obtivemos um N = 280 (sendo que um dos registos falhou), identificando-se que a idade dos condutores apresentou um valor médio de 38 anos, sendo a idade máxima 85 anos (Tabela 0.14).

É ainda de salientar que a maioria dos acidentes em que ocorreram vítimas morais os condutores eram homens (217 vítimas morais).

Tabela 0.14 – Estatística descritiva relativa às variáveis “idade do condutor” e “mortes”, entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Idade do condutor/mortes em acidentes em vias públicas	N	Mínimo	Máximo	Soma	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Erro Padrão
Idade	280	18	85	10530	37,61	16,13	0,41	0,15
Mortes	281	1	2	308	1,10	0,30	2,76	0,15

Constatou-se ainda que a tipologia das condições em que se verificaram os acidentes com vítimas morais foi em “marcha normal”,

Tabela 0.15.

Tabela 0.15 – Tipologia do acidente que provocou mortes no Concelho de Loures, entre 2000 e 2015, (ANSR, 2015).

Tipologia das condições do acidente	Mortes (n.º)		Total (n.º)
	1	2	
Atravessando a via	3	0	3
Circulação em sentido oposto ao estabelecido	3	0	3
Desvio brusco	1	0	1
Desvio brusco/ saída de fila de trânsito	12	0	12
Em marcha lenta	9	3	12
Em marcha normal	180	21	201
Início de marcha	5	0	5
Marcha atrás	3	0	3
Mudança de direção para a direita	2	0	2
Mudança de direção para a esquerda	5	0	5
Mudança de via de trânsito para a direita	0	1	1
Não definido	4	0	4
Parado ou estacionado	17	1	18
Saída de estacionamento ou de rua particular	1	0	1
Travagem brusca	4	0	4
Ultrapassagem pela direita	2	0	2
Ultrapassagem pela esquerda	3	1	4
Total	254	27	281

Quanto aos locais do Concelho de Loures onde se identificaram vítimas mortais em acidentes rodoviários, foram diversos, sendo os valores mais altos obtidos na A1 (com 67 vítimas mortais) e na EN 10 (com 30 vítimas mortais), ver Tabela 0.16.

Tabela 0.16 - Tipologia de vias em que ocorreram mortes em acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Localização	Mortes (n.º)		Total (n.º)
	1	2	
0.0	15	3	18
A1	58	9	67
A8	15	0	15
A9	13	10	23
Avenida Luís de Camões	1	0	1
Avenida Descobertas	2	0	2
Avenida Severino Falcão/R Salgado Zenha	1	0	1
Avenida Cidade Porto	3	0	3
Avenida 25 de Abril	2	0	2
Avenida Cidade do Porto	2	2	4
EM - Estrada Municipal	2	0	2
EM507	1	0	1
EN10	30	0	30
EN10-6	1	0	1
EN115	9	2	11
EN115-5	2	0	2
EN116	9	0	9
EN250	2	0	2
EN374	5	1	6
EN374-2	1	0	1
EN8	5	0	5
ER374	2	0	2
Estrada Militar	1	0	1
Estr. Militar	2	0	2
Estrada De Fontelas	1	0	1
IC17	8	0	8
IC2	16	0	16
Outra Via	4	0	4
PVG	2	0	2
Rua Alfredo Vitorino Costa	1	0	1
Rua Barbosa Rezende	1	0	1
Rua Capitão Abreu Salgueiro Maia	1	0	1
Rua Combatentes Ultramar	1	0	1
Rua Projetada R Funchal	1	0	1
Rua Moçambique	3	0	3
Rua 28 setembro	2	0	2
Rua Alfredo Vitorino Costa	1	0	1
Rua Comandante Carvalho Araújo	4	0	4
Rua Combatentes Ultramar	3	0	3
Rua Leiria Fernandes	2	0	2
Rua Padre António. Vieira	1	0	1
Rua 25 de Abril	1	0	1
Rua 1º de Maio	1	0	1
Rua Alfredo Dinis Alex	1	0	1
Rua António Frade	1	0	1
Rua Belo Horizonte	1	0	1
Rua Carolina Michaelis de Vasconcelos	1	0	1
Rua Cidade de Goa	1	0	1
Rua Cidade de Lobito	1	0	1
Rua D. Afonso Henriques LT 49	1	0	1
Rua da República	1	0	1
Rua de Acesso à Estação de Mercadorias	2	0	2
Rua Dom Afonso Henriques	1	0	1
Rua do Galvão	1	0	1
Rua Guerra Junqueiro	1	0	1
Rua Marechal Carmona	2	0	2
viaduto de acesso da segunda circular ao IC2	1	0	1
	254	27	281

Todos estes locais identificados são importantes para calibrar a qualidade da iluminação nestas vias públicas, podendo existir alguma relação com os acidentes e o número de vítimas mortais, além de outros fatores que poderão ter influenciado. A modo de exemplo, citamos os fatores atmosféricos e a idade do condutor (Tabela 0.17).

Tabela 0.17 – Tipologia fatores atmosféricos em que ocorreram mortes em acidentes na via pública entre 2000 e 2015 (ANSR, 2015).

Tipologia do estado do tempo	Mortes (n.º)		Total (n.º)
	1	2	
Bom tempo	220	17	237
Chuva	24	10	34
Não definido	4	0	4
Nevoeiro	4	0	4
Vento Forte	2	0	2
Total	254	27	281