



**Instituto Politécnico de Coimbra**

***Instituto Superior de Engenharia***

**Estudo da Eficiência Energética de  
Sistemas de Iluminação Pública**  
ESTUDO APLICADO AO IPARQUE - COIMBRA

Marco António dos Santos Nisa

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em  
Instalações e Equipamentos em Edifícios

COIMBRA

2011





**Instituto Politécnico de Coimbra**

***Instituto Superior de Engenharia***

# **Estudo da Eficiência Energética de Sistemas de Iluminação Pública**

**ESTUDO APLICADO AO IPARQUE - COIMBRA**

*Orientadores:*

*Instituto Superior de Engenharia de Coimbra:*

*Eng<sup>a</sup> Maria de Fátima Coelho Monteiro*

*Câmara Municipal de Coimbra:*

*Eng.<sup>o</sup> Luís Miguel Santos Costa*

**Marco António dos Santos Nisa**

**Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em  
Instalações e Equipamentos em Edifícios**

**COIMBRA**

**2011**



---

*Dedico aos meus familiares e amigos, os quais me apoiam incondicionalmente nas  
minhas conquistas.*



## Agradecimentos

*Agradeço aos meus familiares, os quais abdicaram do meu convívio, em prol da disponibilidade exigida para a criação deste trabalho. Agradeço igualmente aos meus orientadores, Eng<sup>a</sup>. Fátima Monteiro e Eng<sup>o</sup>. Santos Costa pelo apoio e orientação ao longo deste percurso. Gostaria ainda de agradecer às empresas Indalux (Eng<sup>o</sup> Porfírio) e Schröder (Eng<sup>o</sup>. Carvalho), pelos estudos realizados. Um agradecimento final aos colegas e amigos, em particular ao Doutor Júlio Chaves, Eng<sup>o</sup>. Victor Vaz e Eng<sup>o</sup> Hugo Soares, os quais pacientemente ouviram as minhas interrogações e às quais apontaram sempre um caminho.*





## Resumo

Estima-se que um terço de toda a iluminação artificial existente no mundo é desnecessário [1]. A iluminação pública representa cerca de 8% do consumo total de energia com iluminação. Destes, os custos relativos ao consumo de energia representam 79% ficando os custos do equipamento, instalação e manutenção responsáveis pelos restantes 21% [2].

O correcto dimensionamento dos sistemas de iluminação passa pela alocação da potência luminosa apenas necessária ao objecto. Evita-se assim o desperdício de energia, e os efeitos decorrentes da poluição luminosa sobre o meio ambiente. O ponto de equilíbrio entre a luz e escuridão promove o bem-estar do homem e da natureza.

Neste contexto, é oportuno o estudo da eficiência do sistema de iluminação dos espaços públicos do iParque, parque científico e tecnológico de Coimbra. Pela sua dimensão, correspondente consumo de energia no sistema de iluminação das áreas pública e custos inerente, é preponderante encontrar soluções inovadoras, com vantagens económicas e ambientais.

A inexistência de legislação nacional relativa a projectos de iluminação pública, remeteu para a adopção de norma europeia, EN 13201. Os resultados luminotécnicos mostram um sobredimensionamento em algumas vias e parques de estacionamento, permitindo nestes a redução quase imediata no consumo de energia com pequenos ajustes e alterações ao sistema. Cenários alternativos são apresentados, traduzindo ganhos monetários e ambientais.

Constata-se ainda a falta de regulamentação para situações concretas, como é o caso de zonas de conflito, parques de estacionamento exteriores e utilização de sistemas de controlo, ficando a cargo do bom senso do projectista estabelecer as fronteiras da aplicação.

Garantindo poupanças, melhores projectos de iluminação e simultaneamente, evitando danos nos ecossistemas, observa-se a necessidade de legislação nacional sobre esta matéria.

**Palavras-chave:** iluminação Pública, Eficiência, Iluminação Rodoviária, iParque.



# Abstract

It is estimated that one third of all artificial lighting in the world is unnecessary [1]. Public lighting accounts 8% of total energy consumption in lighting, of which 79% of the costs reflect the consumption of energy and 21% the costs of equipment, installation and maintenance [2].

The correct sizing of lighting systems passes for the allocation of power light needed to the object. This avoids energy wasting, and the effects of light pollution on the environment. The balance between light and darkness promotes the welfare of man and nature.

In this context it is appropriate the study of the efficiency of the lighting of public spaces of iParque, scientific and technological park of Coimbra. Its size, the corresponding energy consumption in lighting system of public areas and costs, is leading to innovative solutions with economic and environmental benefits.

The absence of national legislation relating to public lighting projects, referred to the adoption of European standard, EN 13201. The results show an over illuminated areas, some ways and parking areas,. Almost immediate reduction in energy consumption is possible with small adjustments and minor modifications to the system. Alternative scenarios are presented, reflecting monetary and environmental gains.

There is still a lack of regulations for specific situations, such as the conflict zones, parking and the use of external systems of control, leaving it to the common sense of the designer to establish the boundaries of the application.

Guaranteeing savings, improved lighting projects and simultaneously avoiding damage to ecosystems, there is a need for national legislation on this matter.

**Keywords:** Lighting, Efficiency, Road Lighting, iParque.



# Índice

|                                                             |             |
|-------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Agradecimentos</b>                                       | <b>iii</b>  |
| <b>Resumo</b>                                               | <b>v</b>    |
| <b>Abstract</b>                                             | <b>vii</b>  |
| <b>Índice</b>                                               | <b>ix</b>   |
| <b>Lista de Figuras</b>                                     | <b>xii</b>  |
| <b>Lista de Tabelas</b>                                     | <b>xv</b>   |
| <b>Nomenclatura</b>                                         | <b>xvii</b> |
| <b>1. Introdução</b>                                        | <b>1</b>    |
| 1.1 Objectivos                                              | 5           |
| 1.2 Organização do Relatório                                | 5           |
| <b>2. Visão e Percepção</b>                                 | <b>7</b>    |
| 2.1 A estrutura do olho humano                              | 7           |
| 2.1.1 Motores oculares                                      | 8           |
| 2.1.2 Componentes ópticos                                   | 9           |
| 2.1.3 Componentes Neurológicos                              | 9           |
| 2.1.4 Campos receptivos                                     | 10          |
| 2.1.5 Fotorreceptores                                       | 13          |
| 2.1.6 Adaptação à luz e à sua ausência                      | 14          |
| 2.1.7 Estado fotópico, escotópico e mesópico                | 15          |
| 2.2 Padrão da visão Humana                                  | 16          |
| 2.2.1 Diferenças entre observadores                         | 19          |
| 2.2.2 Limites na performance do sistema visual              | 20          |
| 2.3 Conclusão                                               | 21          |
| <b>3. Lâmpadas</b>                                          | <b>23</b>   |
| 3.1 Lâmpadas LED                                            | 23          |
| 3.2 Lâmpadas de descarga de alta intensidade                | 28          |
| 3.3 Depreciação Luminosa para lâmpadas HID                  | 28          |
| 3.4 Depreciação Luminosa, comparação das lâmpadas HID e LED | 29          |

|           |                                                                    |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5       | Reacendimento                                                      | 30        |
| 3.5.1     | Lâmpadas de Vapor de mercúrio                                      | 31        |
| 3.5.2     | Lâmpadas de iodetos metálicos                                      | 32        |
| 3.5.3     | Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão                         | 32        |
| 3.5.4     | Lâmpadas de LED                                                    | 32        |
| 3.6       | A solução LED                                                      | 33        |
| <b>4.</b> | <b>Iluminação pública</b>                                          | <b>35</b> |
| 4.1       | Classificação dos sistemas de iluminação exterior                  | 35        |
| 4.2       | Eficiência dos sistemas de Iluminação exteriores                   | 39        |
| 4.3       | Legislação                                                         | 41        |
| 4.4       | Influência das características do pavimento na iluminação exterior | 43        |
| 4.5       | Escolha do factor de manutenção                                    | 47        |
| <b>5.</b> | <b>Controlo de sistemas de iluminação</b>                          | <b>49</b> |
| 5.1       | Projecto do espaço e a sua utilização                              | 49        |
| 5.2       | Iluminação natural                                                 | 50        |
| 5.3       | Fonte de iluminação                                                | 50        |
| 5.4       | Luminárias                                                         | 51        |
| 5.5       | Controlo da iluminação                                             | 52        |
| 5.6       | Operação e manutenção                                              | 53        |
| 5.7       | Estratégias no controlo da Iluminação                              | 53        |
| 5.7.1     | Estratégias horárias                                               | 53        |
| 5.7.2     | Luz natural                                                        | 54        |
| 5.7.3     | Balanceamento do brilho no espaço                                  | 54        |
| 5.7.4     | Depreciação natural dos níveis de luminância                       | 54        |
| 5.7.5     | Níveis de iluminação                                               | 55        |
| 5.7.6     | Controlo da iluminação ornamental                                  | 55        |
| 5.8       | Técnicas de controlo dos sistemas de iluminação                    | 56        |
| 5.8.1     | Comutação, ligado/desligado ou regulação do fluxo                  | 56        |
| 5.8.2     | Controlo local ou central                                          | 56        |
| 5.8.3     | Integração dos sistemas                                            | 58        |
| 5.8.4     | Ligações e comunicações                                            | 59        |
| 5.9       | Equipamento de controlo                                            | 61        |
| 5.9.1     | Regulação de fluxo                                                 | 61        |
| 5.9.1.1   | Lâmpadas incandescentes                                            | 61        |

|           |                                                             |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------|------------|
| 5.9.1.2   | Controladores para lâmpadas fluorescentes                   | 62         |
| 5.9.1.3   | Controlo das lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID) | 63         |
| 5.10      | Limitações na utilização dos sistemas de controlo           | 64         |
| <b>6.</b> | <b>Caso de estudo</b>                                       | <b>67</b>  |
| 6.1       | Infra-estrutura eléctrica do iParque                        | 67         |
| 6.1.1     | Infra-estruturas eléctricas de alta e média tensão          | 67         |
| 6.1.2     | Postos de transformação (PTD) e posto de seccionamento (PS) | 68         |
| 6.1.3     | Infra-estruturas eléctricas de BT                           | 68         |
| 6.1.4     | Comando da IP                                               | 69         |
| 6.1.5     | Colunas e Luminárias                                        | 69         |
| 6.1.6     | Classificação das Vias                                      | 70         |
| 6.2       | Resultados Fotométricos                                     | 73         |
| 6.3       | Cruzamentos, intersecções e rotundas                        | 76         |
| 6.3.1     | Rotunda 1                                                   | 78         |
| 6.3.2     | Rotunda 2                                                   | 80         |
| 6.3.3     | Cruzamento 1                                                | 81         |
| 6.3.4     | Cruzamento 2                                                | 83         |
| 6.4       | Parques de estacionamento                                   | 85         |
| 6.4.1     | Parque de Estacionamento 1                                  | 86         |
| 6.4.2     | Parque de estacionamento 2                                  | 87         |
| 6.5       | Via Pedonal                                                 | 88         |
| 6.5.1     | Simulação do cenário instalado                              | 89         |
| 6.6       | Análise económica                                           | 93         |
| <b>7.</b> | <b>Conclusão</b>                                            | <b>97</b>  |
|           | <b>Referências</b>                                          | <b>101</b> |
|           | Anexo A – Plantas do iParque à escala 1:100                 |            |
|           | Anexo B – Análise económica                                 |            |
|           | Anexo C – Estudos Luminotécnicos vias rodoviárias           |            |
|           | Anexo D - Estudos Luminotécnicos zonas pedonais             |            |
|           | Anexo E – Estudos Luminotécnicos zonas de Conflito          |            |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Diagrama esquemático do olho. [Fonte: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8a/Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg/500px-Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg.png">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8a/Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg/500px-Schematic_diagram_of_the_human_eye_pt.svg.png</a> ] | 8  |
| Figura 2 - Anatomia do Olho. [Fonte : <a href="http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/imagepages/1094.htm">http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/imagepages/1094.htm</a> ]                                                                                                                                                                                                  | 10 |
| Figura 3 - Estrutura celular da retina, conexões entre as células neurais [Fonte: <a href="http://www.bem.fi/book/28/28.htm">http://www.bem.fi/book/28/28.htm</a> ]                                                                                                                                                                                                            | 11 |
| Figura 4 - Variação na acuidade visual em função da variação de luminância de fundo [Fonte: Lighting Handbook Reference & application – IESNA 2000]                                                                                                                                                                                                                            | 13 |
| Figura 5 - Distribuição dos cones e bastonetes ao longo da retina [Fonte: <a href="http://www.skybrary.aero/images/Vis_Fig2.jpg">http://www.skybrary.aero/images/Vis_Fig2.jpg</a> ]                                                                                                                                                                                            | 14 |
| Figura 6 - CIE Standard - Visão fotópica e escotópica - sensibilidade espectral dos cones e bastonetes respectivamente [Fonte: <a href="http://www.patmullins.com/img/scotopic-fig.gif">http://www.patmullins.com/img/scotopic-fig.gif</a> ]                                                                                                                                   | 17 |
| ]Figura 7 - Visão fotópica versus escotópica - sensibilidade espectral dos cones e bastonetes respectivamente. [Fonte: <a href="http://www.primalenceuk.com/images/luminous_%20efficacy%20graph_2714.jpg">http://www.primalenceuk.com/images/luminous_%20efficacy%20graph_2714.jpg</a> ]                                                                                       | 17 |
| Figura 8 - Visão mesópica - sensibilidade espectral. [Fonte: <a href="http://www.primalenceuk.com/images/mesopic%20graph_2716.jpg">http://www.primalenceuk.com/images/mesopic%20graph_2716.jpg</a> ]                                                                                                                                                                           | 18 |
| Figura 9 - Variação da sensibilidade ao contraste para diferentes idades para diferentes luminâncias ( $\text{cd/m}^2$ )                                                                                                                                                                                                                                                       | 19 |
| Figura 10 - Comparação da restituição da cor em duas instalações com tecnologias diferentes: do lado esquerdo utilizando a tecnologia Led, do lado direito utilizando a tecnologia HSP [Fonte: U.S. Energy Department]                                                                                                                                                         | 27 |
| Figura 11- Comparação dos espectros para diferentes tipos de luminárias [Fonte: U.S. Energy Department]                                                                                                                                                                                                                                                                        | 28 |
| Figura 12 - Depreciação Luminosa para lâmpadas HID [Fonte:- Lighting Handbook Reference & application – IESNA 2000]                                                                                                                                                                                                                                                            | 29 |
| Figura 13 - Valores típicos da depreciação luminosa para lâmpadas de HID, e para lâmpadas LED (valores estimados). [ Fonte: US Department Energy]                                                                                                                                                                                                                              | 30 |
| Figura 14 - Comparação entre o tempo de acendimento e reacendimento de lâmpadas de descarga [Fonte:- Lighting Handbook Reference & application – IESNA 2000]                                                                                                                                                                                                                   | 31 |
| Figura 15 - Parâmetros de cálculo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 45 |
| Figura 16 - Representação cromática dos valores de luminância para um coeficiente de reflexão $Q_0=0,07$                                                                                                                                                                                                                                                                       | 46 |
| Figura 17 - Representação cromática dos valores de luminância para um coeficiente de reflexão $Q_0=0,1$                                                                                                                                                                                                                                                                        | 46 |



|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 18 - Eficiência do bloco (fontes de luz mais balastro) [Fonte:- Lighting Handbook Reference & application – IESNA 2000]                                   | 51 |
| Figura 19 - Armário contendo regulador de fluxo.                                                                                                                 | 57 |
| Figura 20 – Fluxograma para escolha das tecnologias de sistema de controlo [Fonte: Schröder, Apresentação: Sustentabilidade e Gestão da Iluminação Pública]      | 59 |
| Figura 21 - Telegestão por " <i>power line carrier</i> " [Fonte : Schröder - Sistemas integrados de gestão de energia]                                           | 60 |
| Figura 22 - Telegestão por rede sem fios Fonte: Schröder Sistemas integrados de gestão de energia. [Fonte : Schröder - Sistemas integrados de gestão de energia] | 60 |
| Figura 23 - Balastro electrónico de duplo nível. [Fonte: EDP- Novas tecnologias na iluminação pública]                                                           | 63 |
| Figura 24- Manutenção do fluxo luminoso ao longo do tempo para lâmpadas HID, em função do tipo de balastro [Fonte: www.holophane.co.uk]                          | 64 |
| Figura 25- Identificação das zonas de estudo no iParque (nota: Planta à escala em anexo.)                                                                        | 70 |
| Figura 27 - Modelo tridimensional do iParque                                                                                                                     | 76 |
| Figura 28 - Identificação das zonas de conflito.                                                                                                                 | 77 |
| Figura 29 - Rotunda em análise                                                                                                                                   | 78 |
| Figura 30 - Linhas isográficas de luminância na rotunda                                                                                                          | 79 |
| Figura 31 - Rotunda em análise                                                                                                                                   | 80 |
| Figura 32 - Linhas isográficas da luminância                                                                                                                     | 80 |
| Figura 33 - Cruzamento 1 em análise                                                                                                                              | 81 |
| Figura 34 - Linhas isográficas da luminância para o Cruzamento 1, EN 13201                                                                                       | 81 |
| Figura 35 - Valores de luminância para o Cruzamento 1, com observador do lado direito                                                                            | 82 |
| Figura 36- Linhas isográficas da iluminância para o Cruzamento 1                                                                                                 | 82 |
| Figura 37 – Cruzamento 2 em análise                                                                                                                              | 83 |
| Figura 38 - Linhas isográficas da luminância para o Cruzamento 2, EN 13201                                                                                       | 83 |
| Figura 39- Valores numéricos da luminância para o Cruzamento 2, com observador do lado direito                                                                   | 84 |
| Figura 40 - Valores numéricos da luminância para o Cruzamento 2, com observador do lado esquerdo                                                                 | 84 |
| Figura 41 - Linhas isográficas da iluminância para o Cruzamento 2, EN 13201                                                                                      | 85 |
| Figura 42 - Visão do parque de estacionamento em estudo                                                                                                          | 86 |
| Figura 43 - Linhas isográficas da iluminância com lâmpadas de HSP 250W                                                                                           | 87 |
| Figura 44 - Linhas isográficas da iluminância para lâmpadas de HSP com o reóstato a 40%, aproximadamente equivalente a 100W                                      | 87 |
| Figura 45 - Visão do parque de estacionamento em estudo                                                                                                          | 88 |
| Figura 46 - Valores da iluminância presentes no parque de estacionamento 2                                                                                       | 88 |
| Figura 47 - Resultado da análise luminotécnica para o passeio, topologia 1                                                                                       | 90 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 48 - Resultado da análise luminotécnica para o passeio, topologia 2                                  | 91 |
| Figura 49 - Resultado da análise luminotécnica para o passeio, topologia 1, com factor de correcção de 0,57 | 91 |
| Figura 50 - Resultado da análise luminotécnica para o passeio, topologia 2, com factor de correcção de 0,57 | 92 |
| Figura 51- Linhas isograficas da iluminância para a via pedonal com topologia 1, estudo <i>Schröder</i>     | 93 |
| Figura 52 - Linhas isograficas da iluminância para a via pedonal com topologia 2, estudo <i>Schröder</i>    | 93 |

# Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Vantagens \ Desvantagens dos dois tipos de fabricação para led de cor branca [Fonte: Color Quality of White LEDs US Energy Department] | 24 |
| Tabela 2 - Comparação do tempo de vida entre lâmpadas de várias tecnologias                                                                      | 25 |
| Tabela 3 - Comparação dos valores fotométricos para as diferentes tecnologias, HID, HSP e LED [Fonte: U.S. Energy Department]                    | 26 |
| Tabela 4 - Valores encontrados numa instalação de demonstração de luminárias [Fonte: U.S. Energy Department]                                     | 27 |
| Tabela 5- Valores dos níveis de luminância fotópica aplicada a vias rodoviárias                                                                  | 40 |
| Tabela 6- Períodos de manutenção recomendados (Tgr) e factores de manutenção na iluminação de estradas, para luminárias com IP5x e IP6X          | 48 |
| Tabela 7 - Caracterização das vias rodoviárias                                                                                                   | 72 |
| Tabela 8 – Identificação das zonas de conflito                                                                                                   | 77 |
| Tabela 9 - Valores relativos à classe ME3b                                                                                                       | 78 |
| Tabela 10- Valores de iluminância recomendados para intersecções rodoviárias (ANSI/IESNA RP-8-00)                                                | 78 |
| Tabela 11 - Valores de iluminância para parques de estacionamento exteriores. [Fonte: The Latest Lighting Options for Parking Facilities]        | 85 |
| Tabela 12 - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para as vias rodoviárias                                            | 94 |
| Tabela 13 - - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para as vias pedonais                                             | 94 |
| Tabela 14 - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para os parques de estacionamento                                   | 95 |
| Tabela 15 - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para as zonas de conflito                                           | 95 |



# Nomenclatura

## Abreviaturas

|       |                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------|
| BT    | “Baixa Tensão”                                      |
| CIE   | “Commission Internationale de l'Éclairage”          |
| DALI  | Digital Addressable Lighting Interface              |
| EDP   | “Energias de Portugal SA”                           |
| FML   | “factor de manutenção da Luminária”                 |
| FMLL  | “Manutenção da Luminosidade da Lâmpada”             |
| FSL   | “factor de Sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz”   |
| HID   | “High Intensity Discharge”                          |
| HSP   | “High Pressure Sodium”                              |
| IESNA | “Illuminating Engineering Society of North America” |
| IP    | “Iluminação Pública”                                |
| IR    | “Infravermelhos”                                    |
| LED   | “Light-emitting diode”                              |
| MT    | “Média Tensão”                                      |
| PIR   | “sensor de infravermelho passivo”                   |
| PNAEE | "Plano Nacional de Eficiência Energética"           |
| PS    | “Posto de seccionamento”                            |
| PTC   | “Posto de transformação de cliente”                 |
| PTD   | “Posto de transformação e distribuição”             |
| PWM   | "Pulse wave modelation"                             |
| QGBT  | “Quadro geral de baixa tensão”                      |
| QS    | “Qualidade de serviço”                              |
| RNAE  | “Associação das Agências de Energia e Ambiente”     |
| SE    | “Subestação”                                        |

---

|    |                                |
|----|--------------------------------|
| TI | “Transformador de intensidade” |
| UV | “ultra-violeta”                |

# 1. Introdução

Durante milhões de anos o homem e os animais viveram ao ritmo da rotação da terra, do dia e da noite. Mas há pouco mais de 100 anos o homem começou a desequilibrar os ecossistemas com utilização inadequada da luz artificial.

*“Tentamos utilizar a luz artificial para enganar a natureza e esquecemo-nos que também fazemos parte da natureza. O mundo à nossa volta e acima de nós está a ficar cada vez mais brilhante. A nossa vida está contaminada com a luz, está em toda a parte e em qualquer momento, o tipo errado de luz à hora errada no local errado.” [3]*

Desde a invenção da lâmpada eléctrica no século IX que o senso comum “observa” a luz como sinónimo de progresso e de luxo. Apesar de não associada pela sociedade, ao conceito de perigo, no momento errado é uma forma de poluição pouco reconhecida mas muito perigosa. [3]

A luz artificial transformando a noite em dia, trás consigo vários perigos. A poluição luminosa é um dos efeitos negativos da luz artificial. O problema reside na quantidade e tipo de luz emitida, relativamente ao meio envolvente. Fotografias tiradas do espaço dão uma ideia muito clara das emissões de luz artificial, tendo esta aumentada com o passar dos anos. [4]

No céu nocturno o espectro de cor azul possui maior reflectividade do que os espectros de tonalidades vermelhas. A cor azul aumenta o brilho do céu dificultando por exemplo observar a via láctea. A poluição luminosa é mais do que uma simples ameaça para a astronomia, é uma ameaça para os homens e para os animais. [3]

Quando em excesso perturba o ritmo biológico humano com consequências por vezes fatais, como é exemplo acidentes de viação causado por adormecimento do condutor.

O programa “Relógio EU” estuda o efeito que a luz artificial tem sobre os humanos, estudando o mundo do sono e a “nova insónia”, medindo os efeitos sociais e biológicos da luz artificial. Ainda não há muito tempo, pouco mais de 100 anos, o ser humano ia para a cama quando o sol se punha. Actualmente é o ser humano que define quando é o seu dia e a sua noite. [3]

Grande parte das formas de vida é regida por processos sincronizados com presença ou a ausência de luz, o dia e a noite: Este ciclo, conhecido por “ciclo circadiano” afecta assim grande parte da vida no nosso planeta.

*“Costuma-se dizer que Luz é Vida. Isto não é bem verdade. Mais correcto seria dizer que a Vida é a alternância entre a Luz e a Escuridão”.*(Dr. Ramon San Martin Páramo)

Prof. Dr. *Christian Cajochenn*, mostra nas suas experiências que o ritmo biológico Humano é perturbado pela luz artificial, tratando-se de uma perigosa alteração do seu ritmo biológico. Alterações introduzidas na noite do ser vivo homem afectam a sua saúde. Podemos pensar na luz como um remédio, o qual apenas é benéfico quando tomado na dose correcta, tendo em atenção a sua composição no momento certo. A luz tem fortes efeitos na componente psicológica do ser humano, como é exemplo a repressão de ritmos hormonais. A produção de melatonina, a qual é produzida durante a noite, é reprimida quando o homem está exposto à luz artificial durante a noite. Acredita-se que a melatonina é um anti-oxidante, prevenindo doenças como o cancro. A sua diminuição pode levar ao aparecimento deste, de acordo com o Prof. Dr. *Christian Cajochenn*. [3]

A interacção negativa da luz artificial é transversal a todos ecossistemas, interagindo em diferentes proporções com todas as espécies vivas, alterando os seus ritmos biológicos e causando até a morte de algumas delas.

Todas as noites pequenas criaturas são vítimas da luz artificial. Insectos nocturnos, como as traças, as quais possuem um importante papel na polinização. Investigadores acreditam que quando um insecto voa perto de uma luz brilhante fica ofuscado, tentando pousar em qualquer sítio para se orientar. Quando muitos insectos se juntam perto dos candeeiros de rua, causa de desorientação, quando em contacto com superfícies quentes da lâmpada ficam chamuscados ou então morrem por cansaço e fome, devido aos incontáveis voos em redor do ponto de luz. Todos os anos morrem só na Alemanha 150 mil milhões de insectos nocturnos desta maneira. [3]. Apesar de existirem 10 quintiliões, ou o número “10” seguido por 18 zeros de insectos em todo o mundo, de acordo com o entomologista Dr. E.O. Wilson [5], muitas das espécies de insectos nocturnas estão actualmente em perigo de extinção. [3]. “A taxa de extinção natural de mamíferos (taxa de fundo) é de 90 espécies por século e das plantas de uma espécie a cada 27 anos (ou seja, cerca de 3,7 espécies por século). Entre os insectos, porém, a extinção por



acção antropogênica ocorre actualmente à velocidade de 5 mil espécies por ano. Esse número é impressionante, mesmo considerando que existem três vezes mais espécies de insectos que de plantas, e quase vinte vezes mais que de mamíferos” [6]

Os insectos fazem parte do nosso ecossistema e da nossa cadeia alimentar. Caso estes desaparecessem as aves que se alimentam destes desapareceriam, assim como os animais que se alimentam destas últimas, e assim sucessivamente ao longo da cadeia alimentar. Este impacto não seria apenas sentido na vida animal, o efeito sobre o mundo vegetal seria também muito significativo. Três quartos das plantas em flor são polinizados por insecto, sendo estes os transportadores mais importantes da terra a seguir ao vento. [3]

Numa noite sem lua a iluminação de uma estação de serviço instalada numa zona rural, consegue atrair insectos até 700 metros de distância. Em 1950 poderiam esvoaçar à volta de um candeeiro durante uma noite cerca de 50 mil traças, no ano 2000 havia apenas 22 insectos por candeeiro. Cientistas acreditam que muitos destes insectos morrem sem terem a possibilidade de se reproduzirem. A grande maioria dos seres vivos poderia desaparecer da face da terra. Sem insectos, todo o ecossistema entraria em falência. [3]

Não só os insectos são afectados pela poluição luminosa nocturna. Por exemplo as tartarugas recém-nascidas são atraídas pelo ponto mais brilhante visível, o qual durante a noite deveria ser a lua, sendo muitas das vezes, pontos de iluminação artificial criados pelo homem. A luz influencia igualmente as aves, as quais a utilizam como referência para a determinação das suas rotas de voo, particularmente nas suas migrações. A luz confunde os pássaros de duas formas: por atracção ao ponto luminoso artificial e ou encandeamento, ou porque esconde outros pontos luminosos necessários para a sua orientação, como as estrelas. Calcula-se que morrem na América do Norte mil milhões de aves, resultado de colisões com edificios em altura, ou torres eólicas, tendo como provável causa a existência de pontos de luz artificiais. [3]

Apesar de todos os problemas decorrentes da utilização da luz artificial, a nossa sociedade não está preparada para abdicar da mesma. Neste sentido resta a adaptação dos sistemas de iluminação, diminuindo o seu impacto sobre a nossa vida e a do planeta.

A implementação de projectos neste sentido têm tido bons resultados, como é o caso da utilização de candeeiros *light-emitting diode* (LED) emitindo luz de espectro próximo do vermelho, a qual, não interfere com o comportamento inato das tartarugas recém-nascidas. No caso das aves, a fim de diminuir a interferência com as suas rotas de voo nos seus períodos migratórios, são desligados parcialmente ou na totalidade algumas fontes luminosas fixadas

em construções em altura, como é o caso de edifícios do tipo arranha-céus, ou é utilizada iluminação do tipo intermitente para sinalização de torres eólicas.

A consciência dos problemas ambientais é hoje um motor de mudança reconhecido globalmente e o qual abrange todos os sectores da sociedade. A comunidade científica reconhece o “efeito de estufa” como causa de algumas destas alterações, não existindo no entanto consenso sobre qual a contribuição do comportamento humano para as mesmas. [7] Apesar das divergências, grande parte dos países do mundo aceita como forte contribuição para o “efeito de estufa” a acção humana, enquanto produtora de gases de efeito de estufa, tendo estabelecido entre si um compromisso redigido sob o título “Protocolo de Quioto”.

A produção de energia eléctrica possui um contributo na geração destes mesmos gases. Apesar de actualmente se assistir a um aumento da produção de energia eléctrica com origem em fontes de energia renováveis, a maioria da produção da mesma, possui a sua génese, na queima de combustíveis fósseis, com a consequente produção de gases de efeito de estufa, estimando-se que a energia consumida na União Europeia está na origem de 80% deste tipo de gases [8].

O actual modelo energético perspectiva um aumento do consumo de energia para os próximos anos; não sendo este aumento acompanhado pelo lado da oferta. Inevitavelmente o custo de acesso á energia apresentará custos de aquisição superiores.

Estamos assim perante dois factores, os quais, colocam em causa muito mais do que apenas o conforto e a sustentabilidade da humanidade. A produção de gases de efeito de estufa e os seus efeitos indirectos na qualidade da vida quotidiana; e o alto valor monetário pago pela energia. Nesta perspectiva o consumo responsável de todas as fontes de energia, inclusive a eléctrica, é uma premissa para a sociedade actual, tendo em vista o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida nas próximas décadas e gerações.

Estima-se que um terço de toda a iluminação artificial existente no mundo é desnecessária [1], representando a iluminação pública cerca de 8% do consumo total de energia com iluminação. Destes, os custos relativos ao consumo de energia representam 79%, ficando os custos do equipamento, instalação e manutenção responsáveis pelos restantes 21% [2].

Nesta perspectiva, objectiva-se realizar um estudo sobre a eficiência do sistema de iluminação dos espaços públicos do iParque, parque científico e tecnológico de Coimbra. Esta nova infra-estrutura localizada em Antanho1, S. Martinho do Bispo, possui uma área de cerca de 298.108 m<sup>2</sup>, destinada à instalação de empresas de elevado conteúdo tecnológico, de consultadoria e de formação, orientadas para a inovação. Pela sua dimensão, correspondente

consumo de energia eléctrica no sistema de iluminação das áreas pública, e respectivos custos inerentes, é preponderante a execução de um estudo sobre o mesmo.

## 1.1 Objectivos

Os principais objectivos do estágio são:

- Levantamento das “ boas práticas ” nesta área,
- Levantamento da legislação em vigor,
- Estudo comparativo das soluções técnicas existentes no mercado para iluminação de áreas públicas,
- Análise da eficiência energética e a análise económica de exploração do sistema de iluminação pública instalada no iParque.

## 1.2 Organização do Relatório

O presente trabalho, aborda os vários aspectos associados ao estudo da iluminação exterior, com foco nos sistemas de iluminação pública.

A generalidade dos estudos luminotécnicos tem como objectivo principal a adequação da luz ao sistema óptico do ser humano. A existência de normas define uma linha orientadora para projectos e estudos sobre o tema. O entendimento profundo do sistema visual permite adequar melhor as escolhas do projectista ao contexto do projecto e simultaneamente conhecer alguns dos fundamentos base à elaboração das normas.

Torna-se assim imprescindível compreender a visão humana para melhor dimensionar um sistema de iluminação, pelo que o capítulo dois apresenta o estudo da fisionomia, do funcionamento do olho humano, e das suas respostas aos estímulos luminosos.

No **terceiro** capítulo foram abordados e comparados os vários tipos de lâmpadas. Incidiu-se sobretudo nos tipos de lâmpadas comumente utilizados na iluminação exterior e referidas na literatura relacionada com a temática em análise, nomeadamente lâmpadas de descarga e as novas lâmpadas de led.

O mercado apresenta inúmeras soluções de iluminação, podendo estas ser agrupadas nas suas mais variadas formas (ex: tipo de lâmpada, tipo de aplicação, tipo de local, etc). O **quarto** capítulo apresenta soluções aplicadas aos sistemas de iluminação pública, resultado da

análise quer à literatura, quer a algumas marcas de referência presentes no mercado, identificando a actual classificação dos tipos de iluminação e sua aplicação.

Independente da solução técnica, esta deve cumprir um conjunto de regras estabelecidas por entidades reconhecidas em cada país para o efeito. Nesta perspectiva foi abordada neste capítulo a legislação em vigor. São abordados igualmente alguns projectos europeus, os quais servem de base a futuras recomendações ou normalizações, e estudos dedicados à eficiência dos sistemas de iluminação pública.

No final deste **quarto** capítulo são evidenciados os pontos mais importantes a ser considerados no estudo e projecto de um sistema de iluminação exterior, assim como a influência prática da correcta escolha do factor de manutenção para uma luminária.

O capítulo quinto aborda as diferentes variáveis inerentes ao controlo dos sistemas de iluminação, nomeadamente, o controlo da luminária (local ou central), estratégias horárias, interacção com a iluminação natural, ganhos de eficiência devido à actuação sobre o fluxo luminoso, integração e comunicação com outros sistemas e regulação de fluxos.

O caso de estudo do presente relatório é apresentado no capítulo sexto, no qual são descritas as infra-estruturas do iParque, classificadas as suas vias e realizada a análise luminotécnica das mesmas.

Finalmente no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões do presente trabalho e propostos para trabalhos futuros.

## **2. Visão e Percepção**

Fisiologicamente o olho humano está preparado para responder às diferentes tarefas visuais necessárias à adaptação do ser humano ao meio envolvente, adaptando-se constantemente a novos estímulos.

O olho humano contém dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes, apresentando cada um deles sensibilidades espectrais diferentes. Para os níveis de iluminação normalmente utilizados na via pública, ambos os tipos de fotorreceptores são estimulados. No entanto a actuação do tipo de fotorreceptor está directamente relacionado com o tipo da tarefa visual realizada.

São pelo menos 4, os tipos de tarefas visuais realizadas pelo utilizador de uma via. Detecção e reconhecimento de um objecto contido na sua linha de vista, percepção espacial do brilho, aquisição de informação e detecção de objectos contidos fora da sua linha de vista e finalmente a detecção de movimento. [9]

Para a detecção e reconhecimento de um objecto contido na linha de vista, apenas os cones são relevantes. Nesta caso a análise do sistema visual tem por base a utilização da função fotópica. Apesar de os bastonetes, não contribuírem no reconhecimento directo, contribuem parcialmente em outros âmbitos da tarefa visual, nomeadamente na percepção do brilho espacial e detecção periférica, ou seja, de objectos não contidos na linha de vista.

Nestas tarefas devido à contribuição de ambos os receptores, tanto a função fotópica como a escotópica são utilizados para uma correcta caracterização da afectação da luz sobre a visão.

### **2.1 A estrutura do olho humano.**

O olho é um sistema sensorial complexo, o qual mantém um relacionamento espaço - temporal dos objectos presentes no seu campo visual convertendo a energia luminosa recebida em sinais eléctricos para processamento no cérebro.

A estrutura do olho pode ser dividida em 3 componentes distintas. “Motores” oculares constituídos pelos músculos do olho, a componente óptica (córnea, cristalino, pupila e humor aquoso<sup>1</sup>) e a componente neurológica (retina e nervo óptico.)

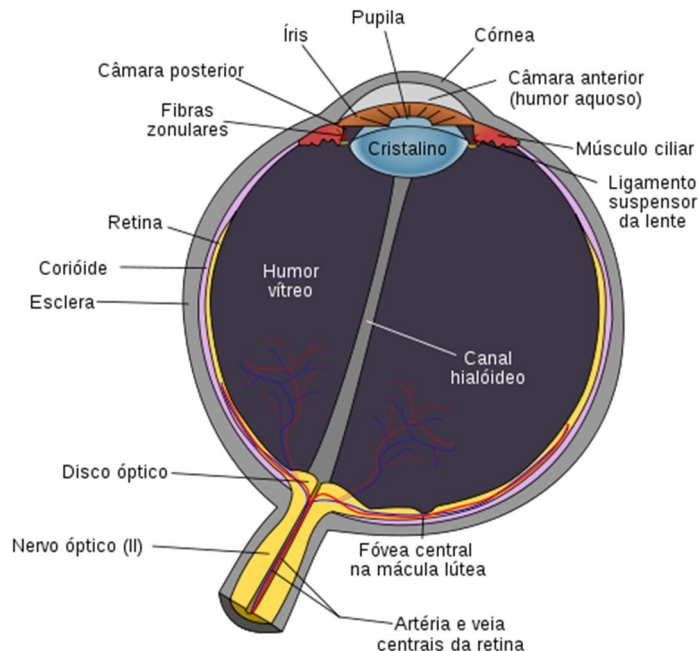


Figura 1- Diagrama esquemático do olho

### 2.1.1 Motores oculares

Os motores oculares são constituídos por três pares de músculos. Estes são responsáveis pelo posicionamento da linha de visão dos olhos

O movimento dos olhos pode adoptar diferentes formas, principalmente movimentos de alta velocidade, movimentos ligeiros para seguir o movimento de alvos em baixa velocidade, movimentos de ambos os olhos na fixação de objectos a diferentes distâncias, etc.

O processo de focagem de determinado objecto depende da distância deste ao observador. Os músculos ciliares são responsáveis pela curvatura do cristalino ajustando a

---

<sup>1</sup> O **humor aquoso** é o líquido incolor, constituído por água (98%) e sais dissolvidos (2%) - predominantemente cloreto de sódio - que preenche as câmaras oculares (cavidade do olho, entre a córnea e o cristalino) – Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Humor\\_aquoso](http://pt.wikipedia.org/wiki/Humor_aquoso)

focagem do olho em resposta a esta mudança ou algum tipo de erro proveniente do processo de refacção óptica. Esta capacidade de ajuste é designada de acomodação.

### **2.1.2 Componentes ópticos**

A função dos componentes ópticos do olho consiste na formação da imagem de um objecto observado na retina. Para que isto ocorra é necessário que a luz observada atravesse o olho sem que exista absorção excessiva e ou espalhamento da mesma, e com foco no objecto.

Existem 3 componentes ópticos envolvidos na capacidade de focagem de uma imagem na retina. A fina camada de lágrimas responsável pela limpeza da superfície do olho, é a primeira componente. A córnea, parte anterior transparente e protectora do olho, segunda componente, a qual juntamente com a fina camada de lágrimas forma a maior componente refractiva do olho, cerca de 70%. Os outros 30% cabem ao cristalino, terceira componente. O cristalino situado entre a íris e o humor vítreo, é a lente do olho. Participa juntamente com a fina camada de lágrimas e a córnea no processo total de refacção óptica, sendo capaz de se adaptar com o auxílio dos músculos ciliares no processo de acomodação.

### **2.1.3 Componentes Neurológicos**

A componente exterior, 80% do globo ocular, é envolta por 3 camadas de tecido. Estas, colectivamente, protegem e nutrem o olho sendo ainda responsáveis pela tradução dos estímulos luminosos em sinais eléctricos.

O tecido exterior, a esclera, é a continuação da córnea e têm como objectivo proteger o conteúdo do olho e definir a sua forma. A coróide, situada entre a esclera e a retina, absorve a luz que chega à retina, evitando assim a reflexão da mesma. Intensamente vascularizada tem ainda a função de nutrir a retina. Finalmente a retina, o tecido mais interior, é responsável pela conversão da energia radiante em sinais eléctricos.

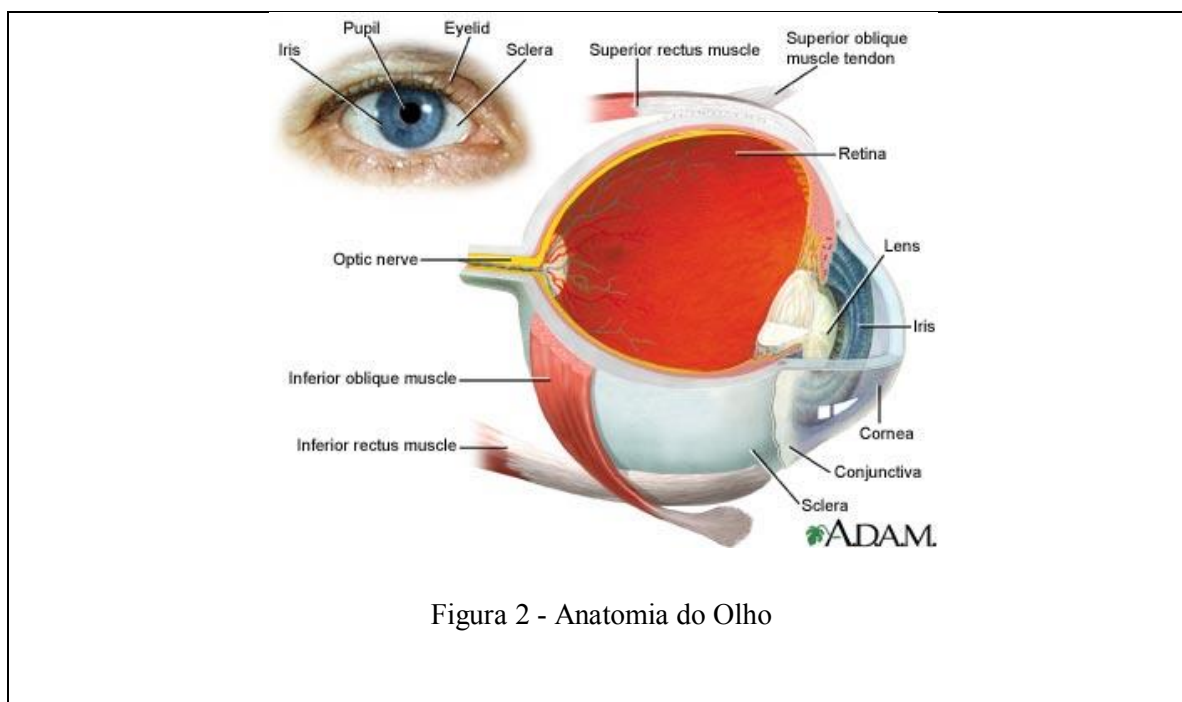


Figura 2 - Anatomia do Olho

A radiação recebida é absorvida pelos fotopigmentos localizados no segmento exterior dos seus receptores, bastonetes e cones. Esta é depois convertida, através de um processo electroquímico, em sinais eléctricos que são depois enviados para os neurónios para serem processados.

#### 2.1.4 Campos receptivos

Os fotorreceptores, cones e bastonetes, não enviam a sua informação directamente para o cérebro. Esta é enviada para outras células também presentes na retina, as quais por sua vez a enviam para as células ganglionares, cujos axónios constituem o terminal óptico.

Desta forma, a luz recebida por um número de receptores é "comum" para fornecer um sinal forte, o suficiente para estimular um gânglio. A área da retina que estimula uma célula ganglionar é chamada de campo receptivo. Apesar de os fotorreceptores serem os transdutores primários da luz em sinais eléctricos, são os campos receptivos que tornam útil a luz, providenciando informação acerca do ambiente visual.

Os campos receptivos são unidades neurais primárias do sistema visual humano. Existem cerca de 1 milhão de células ganglionares sendo os seus axónios os constituintes do nervo óptico. Cada célula ganglionar recebe sinais de um «campo receptivo» na retina, aproximadamente circular e que abrange milhares de fotorreceptores. [10]



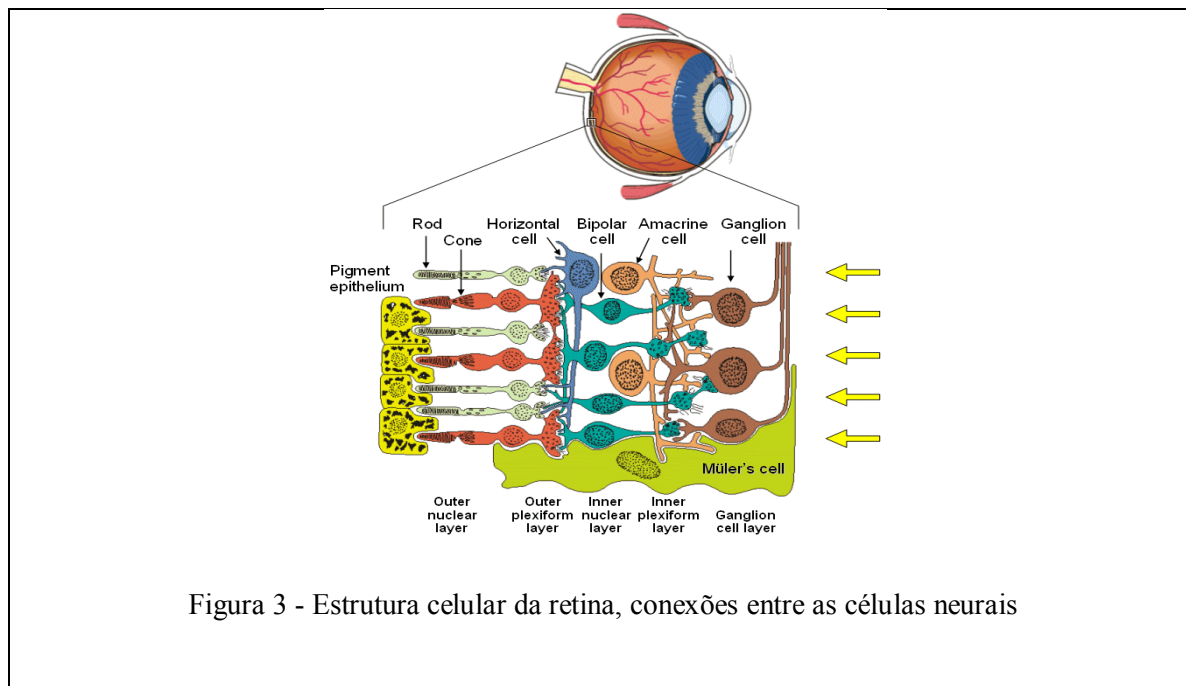


Figura 3 - Estrutura celular da retina, conexões entre as células neurais

Uma camada de células horizontais, situadas entre os fotorreceptores e as células bipolares, ligadas a estas e ligadas entre si, interagem neste campo receptivo, proporcionando um sinal médio pesada em relação às suas vizinhas (sendo o peso das mais próximas maior).

Cada célula bipolar produz um sinal proporcional à diferença entre os sinais logarítmicos recebidos por esta e produzidos pelas células horizontais e fotorreceptores. Esta diferença logarítmica origina um sinal com muito menor gama dinâmica, pois é a razão entre a intensidade local e a iluminação de fundo na vizinhança, e logo independente, do nível absoluto de iluminação. Desta forma grandes áreas da retina com iluminação uniforme produzem sinais muito fracos, enquanto áreas de maior variação, contraste, como é o caso dos contornos dos objectos, resulta em sinais fortes. Ou seja, a retina detecta essencialmente variações de luminosidade.

O sistema de fotorreceptores está fisiologicamente adaptado para responder a variações de iluminação de 1 para 1 milhão. Constituído por bastonetes, apenas sensíveis a baixos níveis de iluminação e pelos cones, sensíveis a altos níveis de iluminação, respondem dentro de uma gama de intensidades de acordo com a iluminação média do objecto observado. Deste modo ocorre o sentido de ofuscamento quando ocorre uma rápida variação da intensidade luminosa.

As células bipolares, ao contrário do sistema de fotorreceptores, possui uma gama dinâmica muito mais baixa, pois apenas necessita de responder a um sinal proporcional à razão entre a intensidade local e a iluminação de fundo, resultando assim um grande efeito de adaptação.

Quando um fotorreceptor detecta um objecto em movimento, a resposta lenta das células horizontais a este ligado, permite obter informação relativa ao movimento. Esta informação sobre a situação temporalmente anterior faz com que o sinal de saída das células bipolares, que passa depois através da camada das células amacrinas para as células ganglionares, contenha informação útil para a detecção de movimento. [10]

Os campos receptivos de células ganglionares são compostos por duas áreas justapostas: um centro circular e um anel envolvente. Estas duas áreas recebem sinais de diferentes indivíduos, células bipolares, que por sua vez tenham recebido informações de fotorreceptores diferentes. [11]

Um determinado campo receptivo representa sempre a actividade de um conjunto de receptores, reflectindo geralmente o estímulo das diferentes classes de cones e bastonetes. As características dos campos receptivos dependem maioritariamente da quantidade e luz incidente na retina e da localização do estímulo visual na retina.

A sensibilidade de um campo receptivo à luz é primariamente determinada pela sua área. Dado que todas as células dos gânglios requerem um sinal eléctrico mínimo para a sua estimulação, um campo receptivo, o qual receba sinais de um grande número de receptores pode ser estimulado por pequenos níveis de iluminância, acontecendo o inverso a um campo receptivo o qual recebe sinais eléctricos de um pequeno número de receptores. O tamanho de um campo receptor é directamente proporcional ao número de receptores que lhe enviam o sinal. Deste modo, campos receptores mais pequenos são menos sensíveis à iluminância.

O relacionamento entre o tamanho do campo receptivo e a sua sensibilidade pode ser expressa através da luminância do estímulo e a área projectada pelo estímulo, conhecida pela lei de Ricco's.

Enquanto a sensibilidade é sinónimo de grandes campos receptivos, a resolução ou acuidade, ou seja a capacidade de discriminar pequenos detalhes, requer campos receptivos pequenos. Consequentemente existe um compromisso entre a capacidade em “ver” com pequenos níveis de iluminância e “ver” detalhes ou pequenos objectos.

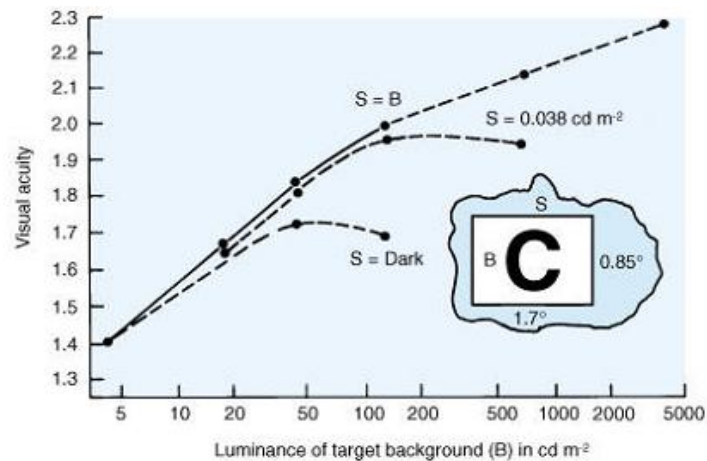


Figura 4-Variação na acuidade visual em função da variação de luminância de fundo

É importante observar que o tamanho do campo receptivo não é constante, em vez disso muda o seu tamanho com o nível de luz. O aumento do nível de luz aumenta igualmente o campo receptivo, à medida que este recolhe sinais através das suas ligações laterais de pontos mais distantes na retina. Com efeito, esta maior inibição do campo envolvente torna o centro do campo receptivo funcionalmente menor. Na verdade, o centro de um campo receptivo na fóvea pode-se tornar menor que o diâmetro de um único cone para elevados níveis de luz. Esta redução no tamanho do centro do campo receptivo permite-nos melhorar a acuidade visual com o aumento do nível de luz, conforme pode ser observado na ilustração anterior.

### 2.1.5 Fotorreceptores

O olho humano contém dois tipos de fotorreceptores sensíveis à luz, ambos situados na retina, os quais se diferenciam pela sua morfologia e sensibilidade espectral dos seus fotopigmentos constituintes.

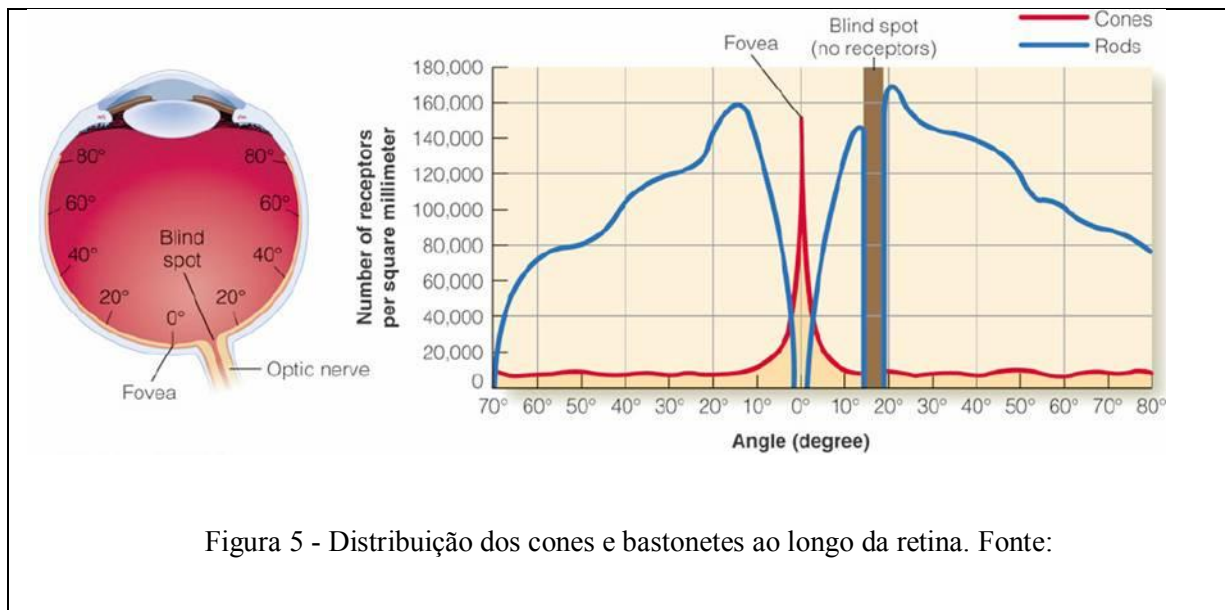


Figura 5 - Distribuição dos cones e bastonetes ao longo da retina. Fonte:

Os bastonetes, inexistentes na fóvea, aumentam o seu número até ao máximo de 20° de excentricidade, decrescendo gradualmente até à extremidade da retina. Os bastonetes contêm todo o mesmo fotopigmento, com uma sensibilidade máxima espectral aproximada aos 507 nm.

Os cones, divididos em três classes, são categorizados em função do seu tipo de pigmento. Conhecidos por tipo L, M e S, sensíveis a comprimentos de onda longos, médios e curtos respectivamente. Concentrados no fóvea, existem também em todos os pontos da retina, embora em menor número. Os três tipos actuam conjuntamente, possuindo a sua máxima sensibilidade espectral aproximadamente aos 555nm. A discriminação das cores, é possível graças aos diferentes tipos de fotopigmentos existentes nos cones. [11]

### 2.1.6 Adaptação à luz e à sua ausência

O tempo de adaptação da retina à variação da iluminação depende da magnitude desta mesma variação. Devido à interacção de diferentes tipos de fotorreceptores, este tempo pode sofrer variações significativas em diferentes situações. [9]

A variação do estímulo luminoso pode ser do tipo temporal, (aumento homogêneo da iluminação para um olho adaptado ao escuro), ou espacial, (aparecimento de um ponto de luz na escuridão). A distinção temporal entre dois estímulos da mesma intensidade estará condicionada pela capacidade de um fotorreceptor recuperar a sua capacidade de resposta ao

primeiro, o que corresponde um período de latência. Em termos espaciais, faz-se a distinção pela descontinuidade entre campos receptivos estimulados. [12]

Para variações na iluminação da retina aproximadamente 2 a 3 unidades logarítmicas a adaptação neural é suficiente e ocorre em menos de um segundo. Quando a retina está perante maiores variações na iluminação é necessária uma adaptação fotoquímica. Caso esta variação se encontre dentro da faixa de operação dos fotorreceptores do tipo cone, alguns minutos são suficientes para que a adaptação ocorra. No entanto se a variação activar os fotorreceptores do tipo cone e do tipo bastonetes pode ser necessário, algumas dezenas de minutos para que esta ocorra completamente. [11]

Quando o sistema visual não está completamente adaptado aos níveis de iluminação presentes na retina as suas capacidades ficam limitadas. Este estado de adaptação é designado de adaptação transitória, sendo mais perceptível em mudanças bruscas de iluminação do meio envolvente, como é o caso de túneis, ou zonas de fronteira entre espaços sem iluminação e com iluminação, como é exemplo alguns tipos de cruzamentos em vias semi-urbanas.

Este processo de adaptação obriga o sistema visual a trabalhar em 3 estados distintos, conhecidos como visão fotópica, escotópica e mesópica

### **2.1.7 Estado fotópico, escotópico e mesópico".**

O olho humano é um sistema óptico formado por um componente fotorreceptor, a retina, e um obturador, a pupila. A retina possui dois tipos de fotorreceptores. Cones, os quais ficam activos com altos níveis de luminosidade, estando associados à visão diurna, colorida e à percepção de finos detalhes; e os bastonetes, activos em baixos níveis de luminosidade e associados à visão nocturna.

Cones e bastonetes possuem sensibilidades espectrais diferentes, sendo diferenciados de acordo com o seu estado, activos ou desactivos. Define-se visão fotópica quando os cones estão activos e os bastonetes desactivos e visão escotópica na situação inversa. [13]

Existem, no entanto, momentos do dia no qual não estão presentes altos níveis de luminosidade, não se podendo considerar que a visão humana está a trabalhar na zona fotópica, mas também os níveis de luminosidade não são tão baixos que a visão se encontra a trabalhar na zona escotópica.

Nestas situações, como é exemplo os crepúsculos, ou zonas urbanas fortemente iluminadas, a visão humana trabalha numa zona intermédia, denominada visão mesópica, na qual existe contributo na recepção da luz do meio, quer dos cones como dos bastonetes.

Numericamente a função da eficiência espectral no modo de visão fotópica é aplicada para valores aproximadamente superiores às 3 cd/m<sup>2</sup>, fotorreceptores do tipo cone activos, situados na fóvea no centro visual do olho.

Para níveis de luminância aproximadamente inferiores a 0,001 cd/m<sup>2</sup>, é aplicada a função de eficiência espectral no modo de visão escotópica, com os fotorreceptores bastonetes activos situados no exterior à fóvea, ficando esta inoperacional. A percepção de cor é inexistente e qualquer resolução dos detalhes observados ocorre na periferia desta. [11]

No estado mesópico ambos os cones e os bastonetes estão activos. À medida que os níveis de luminância vão diminuindo, a fóvea vai perdendo sensibilidade, sem no entanto perder sensibilidade espectral, até que, devido à cada vez maior diminuição dos níveis de luminância, é activado o estado escotópica, no qual a fóvea fica praticamente inoperacional. Na fronteira desta, os fotorreceptores do tipo bastonetes vão gradualmente tomando o lugar do fotorreceptores do tipo cone, ocorrendo uma deterioração da cor e resolução e a troca da sensibilidade aos comprimentos de onda, com favorecimento para os comprimentos mais pequenos.

## 2.2 Padrão da visão Humana

O padrão da visão humana foi definido nas experiências realizadas na década de 20 [13]. Estas experiências determinaram a sensibilidade espectral característica do sistema visual humano, definindo a curva  $V(\delta)$ , a qual representa a resposta espectral de um indivíduo sob condições fotópicas.

A sensibilidade espectral do sistema visual em modo fotópico e escotópica foi definida pela “*Commission Internationale de l'Éclairage*” (CIE), figura 6. As duas funções representadas são usadas na fundamentação da definição de luz na conversão de quantidades radiométricas para fotométricas [11]

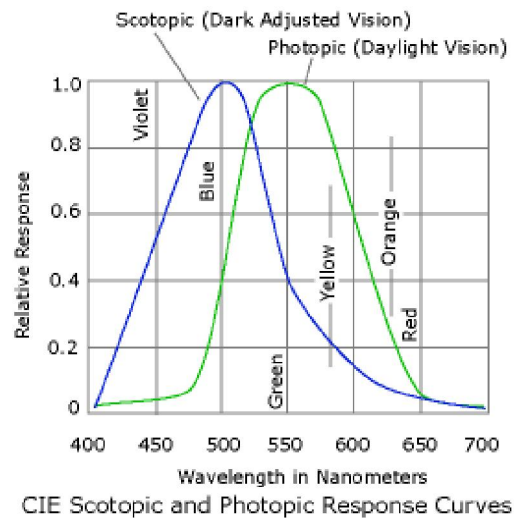


Figura 6 - CIE Standard - Visão fotópica e escotópica - sensibilidade espectral dos cones e bastonetes respectivamente

A visão escotópica é desprezada nos estudos luminotécnicos, uma vez que qualquer instalação de iluminação consegue criar luz suficiente para que a visão se encontre pelo menos no estado mesópico. A prática corrente em projectos de sistemas de iluminação exterior considera que o sistema visual trabalha na fronteira entre os modos de visão fotópica e mesópica.

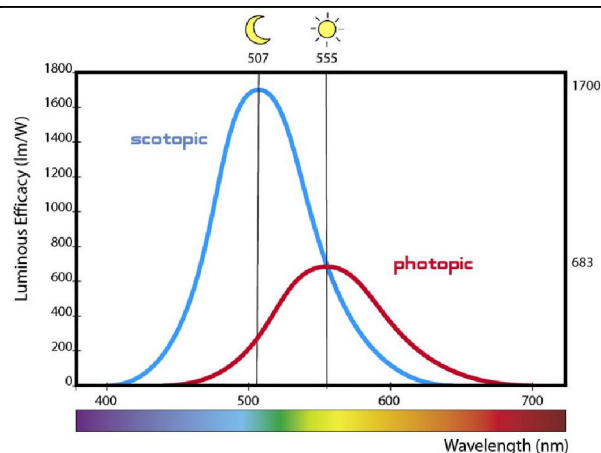


Figura 7 - Visão fotópica versus escotópica - sensibilidade espectral dos cones e bastonetes respectivamente.

Apesar de existirem trabalhos no sentido da quantificação do estado mesópico [14], ainda não foram criados documentos normativos finais. [15]

Uma vez que a visão escotópica é irrelevante e a visão mesópica não está ainda normalizada, virtualmente todas as quantidades fotométricas utilizadas na prática aplicada a sistema de iluminação são “pesadas” de acordo com o standard “*CIE Photopic Observer*”, inclusive a iluminação exterior onde o sistema visual pode estar operacional no estado mesópico. [11]

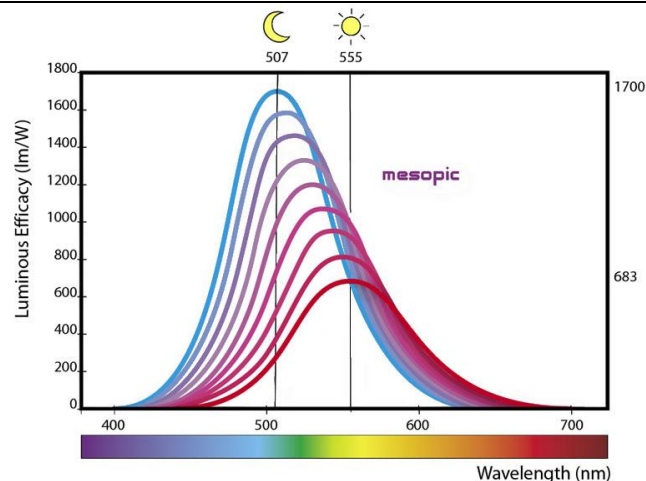


Figura 8 - Visão mesópica - sensibilidade espectral.

Este standard pode no entanto originar discrepâncias entre as quantidades fotópicas medidas no espaço e a percepção de brilho no espaço. Estudos mostram que mesmo com o sistema visual a operar no modo fotópico, o standard “*CIE Photopic Observer*”, subestima ligeiramente a influência dos comprimentos de onda mais curtos na região do espectro visível no brilho, até 2 ° no campo de visão, sendo a subestimação maior para 10°, uma vez que este campo de vista se estende além da mácula lútea<sup>2</sup>. [11]

A discrepância entre estas quantidades fotométricas e a percepção do brilho é ligeira para fontes de luz com distribuição do conteúdo espectral em todo espectro visível. No entanto

---

<sup>2</sup> fr. (*macula lutea*; ing. *macula lutea retinae*). Superfície ovalar com grande eixo horizontal, situada na retina do lado temporal do nervo óptico. O centro da mácula lútea ou fóvea central não contém vasos e é constituído unicamente por cones retinianos; é a este nível que as impressões visuais têm o máximo de precisão e de nitidez. Ling.: O nome mácula lútea ou mancha amarela vem do facto de ela apresentar uma coloração amarelada devida à presença de um pigmento amarelo. Sin. de mancha amarela. Fonte: [http://medicosdeportugal.saude.sapo.pt/glossario/macula\\_lutea](http://medicosdeportugal.saude.sapo.pt/glossario/macula_lutea)



quando a fonte de luz contém uma distribuição espectral discreta, por comparação, as limitações do CIE podem tornar-se significativas. [11] Este facto assume particular importância para sinais luminosos, onde o objectivo reside no brilho.

### 2.2.1 Diferenças entre observadores

Apesar de o sistema visual em todos os indivíduos humanos possuir a mesma estrutura básica existem diferenças de pessoa para pessoa. Este facto é particularmente relevante quando comparamos indivíduos jovens e indivíduos com idades avançadas.

Existe um declínio na sensibilidade ao contraste relacionado com o processo de envelhecimento. Nos idosos a sensibilidade diminui para frequências angulares médias e altas, em comparação com os jovens. No entanto a sensibilidade ao contraste nos idosos para frequências angulares baixas é melhor que nos jovens., [16]

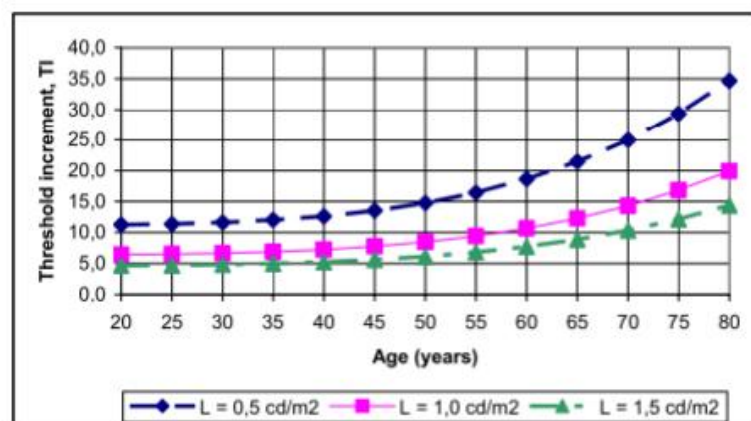


Figura 9 - Variação da sensibilidade ao contraste para diferentes idades para diferentes luminâncias ( $\text{cd/m}^2$ )

A redução da capacidade visual com a idade ocorre como resultado de 3 efeitos;

Primeiramente, a diminuição na transmissão no sistema ocular, a qual é apenas de 28% em indivíduos com 70 anos de idade, quando comparada há existentes aos 25 anos.

O segundo efeito é resultado do aumento do espalhamento da luz com a idade, o que resulta numa diminuição do contraste aparente de um objecto. Resultado destes dois efeitos, um incremento no contraste é necessário na percepção de alvos para pessoas em idade avançada.

O terceiro efeito deve-se à diminuição da densidade de receptores na retina com a idade, reduzindo assim a capacidade de o olho na distinção de detalhes. Um indivíduo com 70 anos possui apenas 66% da acuidade visual de um indivíduo com 25 anos.

Para cenários onde a maioria da população apresenta idade avançada, deve ser ponderado o aumento da classe de iluminação.

### 2.2.2 Limites na performance do sistema visual

A performance visual<sup>3</sup>, ou seja a capacidade de perceber detalhes e realizar tarefas visuais [17] está relacionada e logo condicionada pelos limites na capacidade do sistema visual.

Convencionou-se designar limiar de contraste da luminância à situação na qual um objecto é identificado com sucesso 50% das vezes perante um determinado nível de contraste entre o objecto e o seu fundo. [11]

Os limites na performance do sistema visual podem ser medidos em função da capacidade do sistema visual resolver detalhes, detectar diferentes níveis de luminância, distintas cores e alterações da luminância no tempo. Todos estes níveis limitativos dependem grandemente das características da iluminação, da tarefa e do sistema visual do observador. Entre as variáveis referidas são consideradas, como as mais importantes [11]:

- Iluminação da retina, à qual o sistema visual está adaptado.
- Conteúdo espectral da iluminação.
- Distribuição da luz na envolvente do objecto alvo.
- Tamanho visual o objecto alvo.
- Luminância do alvo.
- Luminância do fundo imediatamente a seguir ao objecto alvo.
- Contraste da luminância do objecto alvo.
- Cor do objecto alvo.
- Cor do fundo.
- Diferença de cores entre o alvo e o fundo.
- Duração da exposição.

---

<sup>3</sup> **Visual performance** : The ability to perceive detail and carry out the visual tasks. (Fonte: [http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res\\_glos\\_light\\_terms\\_f.htm?redirURL=http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res\\_glos\\_light\\_terms.htm](http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res_glos_light_terms_f.htm?redirURL=http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res_glos_light_terms.htm))

- Frequências características no tempo.
- Localização do alvo relativamente à linha de vista.

## 2.3 Conclusão

A iluminação artificial está na sua generalidade ao serviço do “Homem”. O desenvolvimento desta e a sua aplicação deve ir ao encontro das características do olho humano. A melhor percepção do seu comportamento em repostas a estímulos promove linhas orientadoras na área de investigação e melhores escolhas na área de projecto.



### 3. Lâmpadas

Como Ser racional o homem sempre descobriu formas de ultrapassar desafios colocados pelo meio que o rodeia. A iluminação artificial não foi uma excepção. A falta de luz natural em locais onde esta tinha dificuldades em chegar, e nos quais a sua ausência dificultava a adaptação do ser humano ao meio envolvente, suscitou o seu engenho na criação de formas artificiais de gerar luz.

A primeira forma conhecida para a criação de luz foi através do fogo, o qual produz calor e luz, resultado de um processo designado de combustão. Lâmpadas antigas utilizavam o pavio, o qual era embebido em óleo permitindo que a chama existisse por longos períodos de tempo. [18] Com o aparecimento do petróleo o gás passou a ser a fonte de energia utilizada. As primeiras lâmpadas a utilizarem a electricidade foram as lâmpadas de arco voltaico, aparecendo no fim do século XIX, por intermédio de *Thomas Edison* as primeiras lâmpadas incandescentes. O processo evolutivo das fontes de iluminação não parou desde de então, passando pelas lâmpadas de descarga, de indução, culminando actualmente na tecnologia led.

A gama de lâmpadas presente no mercado é extensa, tendo cada tipo uma aplicação específica em determinadas condições. Nos sistemas de iluminação pública, são utilizados essencialmente dois grupos de lâmpadas: as lâmpadas de descarga de alta intensidade, e lâmpadas com tecnologia LED. Deste modo apenas estes dois tipos de lâmpadas serão abordados neste capítulo, mencionando características assim como comparações entre elas.

#### 3.1 Lâmpadas LED

As lâmpadas de led diferenciam-se na forma de produção de energia luminosa, relativamente às restantes tecnologias utilizadas em sistemas de iluminação. O led é constituído por materiais semicondutores, criando uma junção do tipo positiva - negativa (P-N). Quando conectado a uma fonte de energia, uma corrente flui do cátodo (lado P), para o ânodo (lado N), fluindo os electrões para a junção do eléctrodo. Quando um electrão encontra uma lacuna, ocupa-a, baixando um nível energético e libertando energia na forma de um fóton.

O comprimento de onda emitido pelo led depende do material utilizado no fabrico da sua junção P-N. O led com emissões nos espectros vermelhos utiliza alumínio, gálio e arsénio (AlGaAs), nos espectros azuis, índio gálio e nitrato (InGaN) e nos verdes, alumínio, gálio e fósforo (AlGaP). Os led de emissão de cor branca são criados utilizando uma combinação das propriedades dos led vermelho, verde e azul, ou revestindo o led azul com fósforo amarelo. A qualidade da cor é no entanto um dos maiores desafios, particularmente para os led de cor branca. [19]

Ao contrário das restantes lâmpadas, nas quais a cor aproximadamente branca é o somatório de vários espectros, o led emite luz apenas num determinado comprimento de onda. Ambas as técnicas utilizadas na fabricação de led de cor branca apresentam vantagens e desvantagens, as quais se encontram sumariadas na tabela 1:

Tabela 1- Vantagens \ Desvantagens dos dois tipos de fabricação para led de cor branca

|                              | <b>Vantagens</b>                                                                                                                                                                                                      | <b>Desvantagens</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Conversão por fósforo</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia mais madura</li> <li>• Elevado volume de produção</li> <li>• Elevado fluxo luminoso relativo</li> <li>• Relativamente eficaz</li> <li>• Custo inferior</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada correlação entre a temperatura de cor (frio / aparência azul)</li> <li>• Temperatura de cor mais quente pode não estar disponível ou ser mais cara</li> <li>• Limitação na variedade de cores num determinado espectro</li> </ul>                                                                       |
| <b>RGB</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidade da cor, para monitores a cores e diferentes sombras de branco</li> </ul>                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cores individuais de cada led não uniformes; respondem de forma diferente à corrente de condução; elevada temperatura de operação; variação do fluxo luminoso e tempo de operação.</li> <li>• O controlo necessário para a consistência das cores é dispendioso</li> <li>• Fraca restituição da cor,</li> </ul> |

Quando falamos do tempo de vida de uma lâmpada do tipo led, recorresse a alguns critérios para referência. Estes, dependem muito das características da lâmpada ou do objectivo da aplicação da mesma. Para a iluminação utilizando fontes de luz convencionais é aceitável 30% na depreciação do seu fluxo luminoso. Para os led são referenciados 50% quando estes são utilizados com fins decorativos. [20] Trabalhos têm sido realizados, no sentido de identificar factores relevantes, os quais serviram de base aos fabricantes, para uma melhor definição do tempo de vida útil. De acordo com estes trabalhos [21], para além do

critério da depreciação luminosa, critérios relativos à “falha” catastrófica e relativos ao tempo máximo de “falhas”, também devem ser avaliados.

Considerando a vida útil teórica de um led, aproximadamente 50 000 horas, torna-se inviável realizar testes absolutos. Mesmo considerando praticável este tipo de análise, seriam necessários 5,7 anos para a sua conclusão, altura na qual, e devido à velocidade a que a tecnologia led tem apresentado resultados, qualquer conclusão retirada da experiência referenciaria uma tecnologia já obsoleta.

Existem no entanto procedimentos para a determinação da depreciação luminosa das lâmpadas led, (IES LM-80), embora com algumas limitações, como é exemplo o tempo de análise, limitado às 6000 horas. Apesar das dificuldades na obtenção de dados concretos, os resultados conhecidos são extrapolados permitindo obter algum tipo de informação deste tipo de tecnologia. [20]

Por comparação com as restantes tecnologias, a tabela 2 sumariza o tempo de vida esperado para uma lâmpada led quando comparado com outras tecnologias

Tabela 2 - Comparação do tempo de vida entre lâmpadas de várias tecnologias

|                                     | <b>Tempo de vida típico<br/>(depende do tipo de lâmpada)<br/>[horas]</b> | <b>Tempo de vida [horas] *<br/>Tempo de vida útil estimado<br/>(L70)</b> |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Incandescent</b>                 | 750-2,000                                                                | -                                                                        |
| <b>Halógeno</b>                     | 3,000-4,000                                                              | -                                                                        |
| <b>Compactas Florescentes (CFL)</b> | 8,000-10,000                                                             | -                                                                        |
| <b>Iodetos metálicos</b>            | 7,500-20,000                                                             | -                                                                        |
| <b>Florescentes Lineares</b>        | 20,000-30,000                                                            | -                                                                        |
| <b>Led Brancos de alta potência</b> | -                                                                        | 35,000-50,000**                                                          |

\*Fonte: dados do fabricante da lâmpada.

\*\*Depende da corrente em funcionamento, temperatura de operação, etc. Alguns fabricantes (L70) reclamam um tempo de vida superior às 100,000 horas.

A vida útil do led, assim como a quantidade de fluxo luminoso são afectadas essencialmente por factores eléctricos e térmicos. A corrente de funcionamento a que um led é sujeito, quando superior à recomendada, permite aumentar o seu fluxo luminoso, no entanto tem efeitos significativos na redução da sua vida útil. A temperatura de operação influencia igualmente a sua longevidade, sendo muito importante um desenho cuidado da luminária com o objectivo de manter a temperatura de funcionamento dentro de limites aceitáveis. A maioria dos fabricantes dos led de alta potência de cor branca estima o tempo de vida dos seus

produtos, em cerca das 30 000 horas, com uma depreciação luminosa de 30%, assumindo uma corrente constante de condução por volta dos 350 miliamperes (mA), e uma temperatura na junção inferior a 90 °C. Os valores apresentados são apenas indicativos, uma vez que muito frequentemente são apresentados novos desenvolvimentos, excedendo limites anteriormente conseguidos. [20]

A iluminação de zonas exteriores (ex: ruas, parques, zonas pedonais), é realizada predominantemente por fontes de luz com tecnologia HID ou HPS. Este tipo de tecnologia, já utilizada há alguns anos, tem demonstrado boas características com particular incidência no seu rendimento luminoso e tempo de vida. A introdução de tecnologia led, e os seus recentes desenvolvimentos, colocam novas questões sobre a abordagem utilizada até à data na iluminação de espaços públicos.

Luminárias com tecnologia led, projectadas propositadamente para o exterior, conseguem fornecer a iluminância necessária utilizando menos energia e garantindo maior uniformidade, quando comparadas com as luminárias do tipo HID ou HSP. Devido ao tipo de feixe luminoso emitido pelo led, é possível projectar luminárias (sistemas ópticos) que originam baixos níveis de ofuscamento. Acresce ainda o tempo de vida das fontes de luz do tipo led, que pode ultrapassar as 50 000 horas e menores níveis de depreciação luminosa. Ambientalmente sustentáveis, devido à ausência de mercúrio ou outro tipo de substância poluente, possuem ainda tempos de reacendimento instantâneos [22] permitindo a sua fácil integração nos sistemas de controlo.

As tecnologias, HID, HSP e LED continuam a evoluir, sendo que a tecnologia led melhoramentos significativos na eficiência luminosa (tabela 1 e 2), na qualidade da cor (figura 10 e 11), no desenho óptico, nas temperaturas de funcionamento e no seu custo. As tabelas 3 e 4 comparam as diferentes tecnologias nas suas diversas vertentes.

Tabela 3 - Comparação dos valores fotométricos para as diferentes tecnologias, HID, HSP e LED

|                                                         | 150W HPS | 150W CMH | LED     |
|---------------------------------------------------------|----------|----------|---------|
| <b>Luminária, consumo watts</b>                         | 183 W    | 167 W    | 153 W   |
| <b>CCT</b>                                              | 2000 K   | 3000 K   | 6000 K  |
| <b>CRI</b>                                              | 22       | 80       | 75      |
| <b>Lúmenes iniciais da Lâmpada medidos</b>              | 16000    | 11900    | n/a     |
| <b>Eficiência da Luminária (fluxo descendente)</b>      | 70%      | 81%      | n/a     |
| <b>Lúmenes iniciais, Luminária, (fluxo descendente)</b> | 11200    | 9639     | 10200   |
| <b>Eficácia da luminária</b>                            | 61 lm\W  | 58 lm\W  | 67 lm\W |



Tabela 4 - Valores encontrados numa instalação de demonstração de luminárias

|                                            | 70W HPS    | Luminária LED3-array | Luminária LED2 array |
|--------------------------------------------|------------|----------------------|----------------------|
| <b>Potencia consumida Total</b>            | 97W        | 72W                  | 48W                  |
| <b>Níveis médios de luminância</b>         | 3.54 fc    | 3.63 fc              | 2.42fc               |
| <b>Máxima iluminância</b>                  | 7.55fc     | 5.09 fc              | 3.40 fc              |
| <b>Mínima iluminância *</b>                | 1.25 fc    | 1.90 fc              | 1.27 fc**            |
| <b>Uniformidade</b>                        | 6.04:1     | 2.68:1               | 2.68:1               |
| <b>Energia consumida por luminária ***</b> | 425 KWh/yr | 311 KWh/yr           | 210 KWh/yr           |
| <b>Poupanças de energia por luminária</b>  | **         | 114h/yr (26.8%)      | 215 KWh/yr (50.6%)   |

\*O mais baixo resultado medido ou simulado para cada luminária. (IESNA exige pelo menos 0.5 foot-candle(fc)).

\*\* Resultados simulados

\*\*\* O consumo de energia para os sistemas HPS é baseado nos níveis de potência medidos pelo fabricante, e inclui a lâmpada e balastro, multiplicado por 4380 horas por ano. O consumo de energia para o sistema unitário “3-bar LED” é baseado nas medidas obtidas em laboratório, multiplicando por 4380 horas por ano. O consumo do sistema unitário “2-bar” é baseado nas medições do fabricante, multiplicando por 4380 horas por ano.

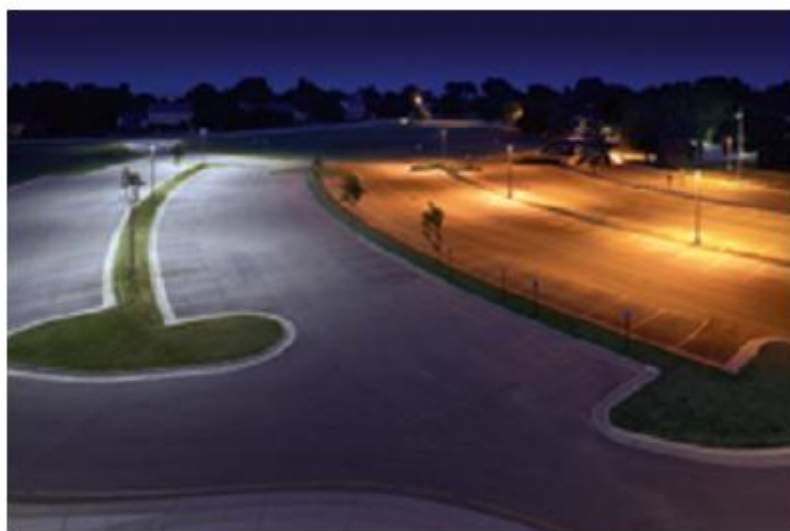


Figura 10 - Comparação da restituição da cor em duas instalações com tecnologias diferentes: do lado esquerdo utilizando a tecnologia Led, do lado direito utilizando a tecnologia HSP

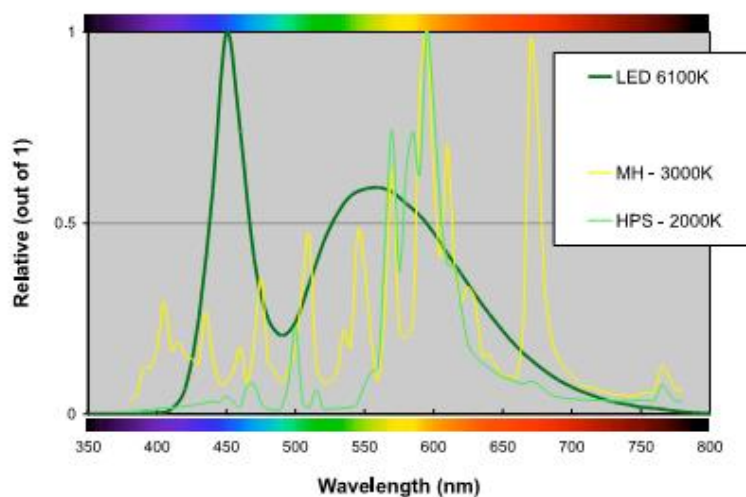


Figura 11- Comparação dos espectros para diferentes tipos de luminárias

### 3.2 Lâmpadas de descarga de alta intensidade

As lâmpadas de mercúrio, iodetos metálicos e sódio de alta pressão pertencem ao grupo das lâmpadas de descarga. A luz produzida por este tipo de lâmpadas tem origem num arco eléctrico contínuo e controlado, o qual ocorre no interior de um tubo contendo um gás fácil de ionizar à temperatura ambiente e a baixa pressão, contido por um bolbo. O tubo contém eléctrodos geralmente de tungsténio, entre os quais ocorre o arco eléctrico.

### 3.3 Depreciação Luminosa para lâmpadas HID

A definição de critérios quer para tipos de lâmpadas quer para tipos de aplicação, permite quantificar e verificar se determinadas grandezas cumprem objectivos pré-definidos. A vida de uma lâmpada de descarga, por exemplo, é quantificada pelo tempo após o qual 50% do grupo à qual ela pertence ainda se encontra em funcionamento. Outros critérios, como a variação do índice cromático ou depreciação luminosa, são aplicados.

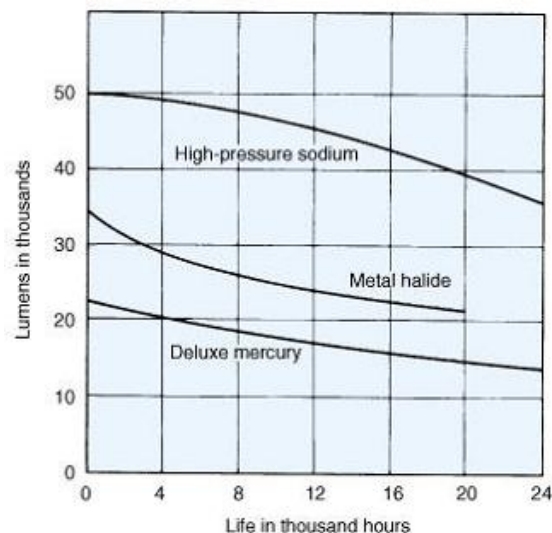


Figura 12 - Depreciação Luminosa para lâmpadas HID

O tempo de vida e a depreciação luminosa das lâmpadas de descarga são afectados pelo seu ciclo de funcionamento. Apesar da vida das lâmpadas de vapor de sódio ser limitada pela subida da tensão de funcionamento ao longo do tempo, estas possuem por comparação, pequena depreciação do seu fluxo luminoso, tal como se mostra na figura 12.

As lâmpadas de iodetos metálicos, conhecidas pelo seu bom índice de restituição de cor, podem atingir o seu tempo de vida útil um pouco antes da falha total das mesmas. Esta situação ocorre quando o critério definido para estas se baseia no seu índice de restituição cromática.

### 3.4 Depreciação Luminosa, comparação das lâmpadas HID e LED

A rápida evolução da tecnologia LED, carrega alguns problemas na quantificação do tempo de vida útil de uma lâmpada led e na sua depreciação luminosa. Apesar de estimativas, os fabricantes definem a sua vida útil com base na percentagem da depreciação luminosa, a qual é limitada aos 70% do seu fluxo inicial. Em regra geral estima-se 50 000 horas de funcionamento para luminárias interiores, chegando as exteriores às 100 000 ou 150 000 horas. Os fabricantes determinam tipicamente a corrente de condução máxima no semicondutor, assim como a temperatura de junção. Caso a corrente de funcionamento seja inferior à máxima, e ou a junção seja mantida a baixas temperatura, a depreciação luminosa acontece mais lentamente, pelo que o tempo de vida do LED aumenta. Com base nestas

premissas é preponderante um bom desenho da luminária, evitando falhas neste tipo de lâmpada. [23]

Como pode ser observado na figura 13, nas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, a média dos lúmenes, considerando toda a vida útil da lâmpada, é de cerca de 90% dos lumens iniciais, sendo de 75% para as lâmpadas de iodetos metálicos com ignição por pulso, e 80% para as lâmpadas de iodetos metálicos cerâmicas. Na mesma figura é possível comparar a depreciação das lâmpadas do tipo de descarga, com dois tipos de luminárias LED. Mesmo dentro da mesma tecnologia vários fabricantes reclamam resultados distintos relativos à depreciação da sua fonte luminosa. [24] Neste contexto, sem resultados obtidos experimentalmente por entidades independentes torna-se menos fácil encontrar a solução correcta.

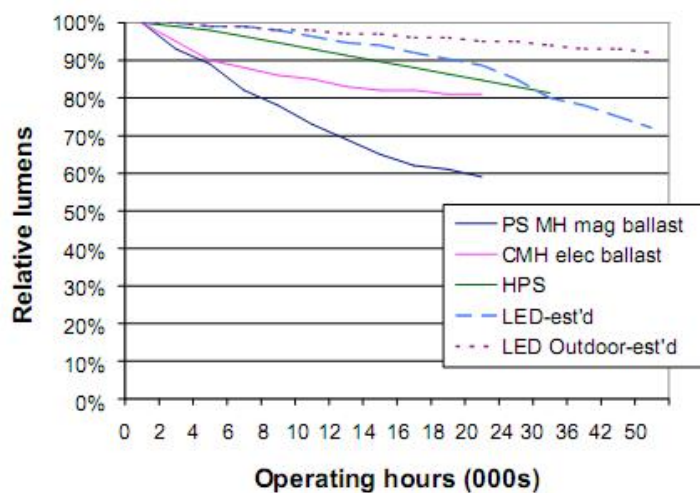


Figura 13 - Valores típicos da depreciação luminosa para lâmpadas de HID, e para lâmpadas LED (valores estimados)

### 3.5 Reacendimento

Em função das características do tipo de lâmpada, o modo de ignição, tempo de “aquecimento”, e tempo máximo de reacendimento, apresentam variações que se apresentam na figura 14. Durante a fase de acendimento “aquecimento”, ocorre ainda variação da temperatura de cor assim como do seu fluxo luminoso.

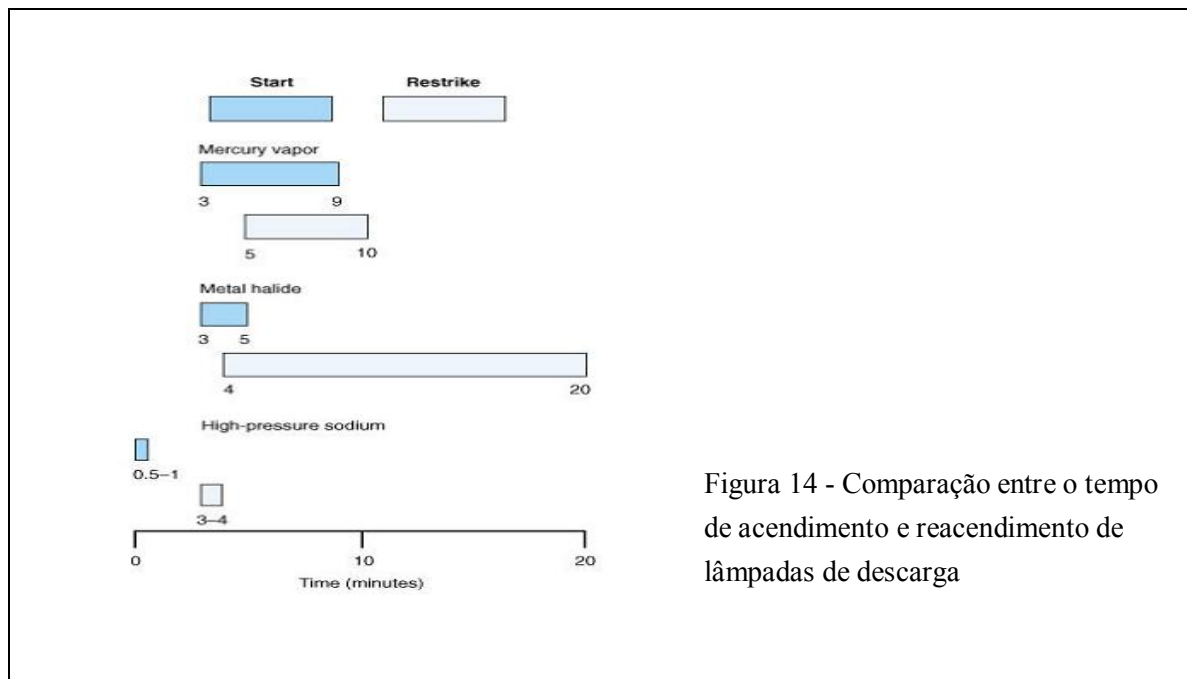


Figura 14 - Comparação entre o tempo de acendimento e reacendimento de lâmpadas de descarga

O reacendimento possui elevada relevância quando associada ao controlo da iluminação, uma vez que o tempo de resposta de um sistema a um “input” está condicionado pela tecnologia inerente a esse mesmo sistema, tema abordado no capítulo 5.

### 3.5.1 Lâmpadas de Vapor de mercúrio.

Algumas lâmpadas de mercúrio de eléctrodos necessitam de uma elevada tensão de arranque para a ionização do gás no seu interior (lâmpadas com 2 eléctrodos). Lâmpadas com 3 eléctrodos são mais comuns, funcionando um deles como auxiliar na ignição, possibilitando o arranque com tensões mais baixas.

Depois do gás ionizado, ocorre um fluxo de electrões entre os dois eléctrodos principais, o qual interage com o mercúrio contido na lâmpada, libertando luz no espectro não visível. O mercúrio no estado inicial, essencialmente no estado líquido, vaporiza-se gradualmente, resultado do aquecimento devido ao arco e ao fluxo de corrente entre os dois eléctrodos principais. O funcionamento normal atinge-se após um período de alguns minutos, tempo suficiente para que o mercúrio seja completamente evaporado.

Após a extinção do arco, o reacendimento deste tipo de lâmpada não é imediato, sendo necessário decorrer o tempo necessário (entre 3 a 7 minutos) para a diminuição da pressão do vapor de mercúrio, de modo a ser possível ocorrer de novo o processo de ignição.

### **3.5.2 Lâmpadas de iodetos metálicos**

A ignição das lâmpadas de iodetos metálicos, com potência superiores a 150 W, é em tudo semelhante às lâmpadas de vapor de mercúrio. O tipo de gás utilizado, (iodetos metálicos) obriga a que a tensão de ignição seja superior à utilizada nas lâmpadas de mercúrio. Devido a este facto as lâmpadas de iodetos metálicos, de um modo geral, não funcionam com balastros projectados para as lâmpadas de vapor de mercúrio.

Dependendo do tamanho do bolbo, nem sempre é possível incluir no mesmo, o eléctrodo de ignição, sendo obrigatório recorrer a um dispositivo externo de controlo para o efeito, sendo esta configuração utilizada em lâmpadas com potências inferiores a 150 W.

As lâmpadas de iodetos metálicos não produzem instantaneamente a máxima potência luminosa, passando por um período de aquecimento de vários minutos, sendo este tempo directamente proporcional à potência luminosa nominal da lâmpada. Neste período, há semelhança do que acontece com as lâmpadas de vapor de mercúrio, o gás de iodetos metálicos evapora. No entanto, o tempo de reacendimento da lâmpada de iodetos metálicos (aproximadamente 15 minutos) é superior às lâmpadas de mercúrio (3 a 7 minutos). Tal facto é uma consequência do tamanho do bolbo da lâmpada, o qual, sendo mais pequeno, atinge naturalmente temperaturas de funcionamento mais altas, demorando igualmente mais tempo o seu arrefecimento.

### **3.5.3 Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão**

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão não contêm eléctrodos de arranque. Em alternativa, utilizam um pulso de alta frequência e grande amplitude de tensão na ionização do gás, demorando cerca de 10 minutos a atingir o seu fluxo luminoso máximo. Uma vez que a pressão de funcionamento das lâmpadas de sódio de alta pressão é inferior às de mercúrio, também o seu tempo de reacendimento é mais curto (aproximadamente 1 minuto).

### **3.5.4 Lâmpadas de LED**

A tecnologia led, devido às suas características de semicondutor, não apresenta os problemas dos restantes tipos de lâmpadas, apresentando tempo aproximadamente nulo de arranque inicial e reacendimento.

### 3.6 A solução LED

As luminárias utilizando tecnologia led, têm sido apresentadas como solução para novas instalações ou para reconversão das já existentes. Vários argumentos (vantagens já abordadas no capítulo 3.1) são utilizados pelas empresas que as comercializam ou produzem, sendo o argumento “melhor solução técnica e económica” comum a todas elas.

A National Lighting Product Information Program (NLPIP) publicou o resultado de um estudo, intitulado “Streetlights for Local Roads” (iluminação de estradas locais), o qual pretendeu comparar entre outros factores, os custos associados à utilização de cada uma das luminárias em estudo.

O procedimento adoptado, pretendeu contabilizar o número de luminárias necessárias, para iluminar 1,6 km, de uma estrada local numa zona residencial urbana, cumprindo os critérios definidos pela, American National Standards Institute (ANSI)/ Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), RP-8-00, American National Standard Practice for Roadway Lighting. Posteriormente foi realizada uma análise económica com base na potência consumida e ciclo de vida de cada dos sistemas testados. Foram requeridas aos fabricantes luminárias equivalentes à de referência (luminária com 100 W, tecnologia HPS, tipo 2, full cutoff, cobra head) no estudo, mas com independência da tecnologia utilizada.

Das seis luminárias presentes no estudo, sendo uma delas a referência, foram, ainda apresentadas, uma luminária utilizando uma lâmpada de indução e outras 4 utilizando módulos constituídos por tecnologia led. O resultado do estudo referiu entre outras conclusões, as seguintes:

- Quando utilizadas luminárias com tecnologia LED, o número de postes de fixação necessários são superiores em, 3% até 92%, relativamente ao número de postes utilizados com a tecnologia de referência.
- A potência consumida varia entre 41% menos até 15% mais, por comparação à tecnologia de referência.
- O ciclo de vida, o qual considera os custos de aquisição e instalação das luminárias LED, varia entre os 98% até aos 248%, relativamente à tecnologia de referência.

O estudo associou os valores apresentados à necessidade na diminuição do espaçamento entre postes de fixação, de modo a cumprir os critérios luminotécnicos definidos pela norma

RP-8-00, o que aumentou a necessidade de mais postes e consequentemente mais luminárias e maior potência consumida.

Conforme demonstrado neste estudo, a implementação de uma qualquer luminária led não se apresenta logo à partida como a situação mais vantajosa, quer para instalações novas quer para reestruturações. Assim a instalação de luminárias com tecnologia led deve resultar de um estudo luminotécnica e económico aplicado a cada situação concreta.

A rápida evolução sentida no desenvolvimento da tecnologia LED permite prever novos desenvolvimentos nesta área, estando já previsto no espaço de dois anos colocar no mercado tecnologia led com potência de 231 lúmenes por watt [25]. Nesta perspectiva evolutiva em termos tecnológicos e respectivo amadurecimento da tecnologia já existente, acrescentando o facto de o tempo de vida de uma instalação de iluminação pública ser de 20 a 30 anos, a aplicação deste tipo de tecnologia só deve ocorrer, quando apresentar vantagens quer económicas quer sociais evidentes.



## **4. Iluminação pública**

A iluminação pública assume um papel importante nas sociedades modernas. Considerada como parte integrante dos meios urbanos, por vezes esquecida pela sua constante integração e presença, muitas das vezes em excesso, escasseia em algumas zonas rurais, onde a sua existência já foi associada ao desenvolvimento local.

Independentemente do local onde se encontra, traz consigo benefícios inquestionáveis, com particular incidência na segurança, quer esta seja real (capacidade de tomar decisões em função do aparecimento de obstáculos), quer seja aparente (um cidadão considera-se mais seguro quando o nível de iluminação que o envolvente é suficiente). Proporciona ainda convívio e “bem-estar”, permitindo ao ser humano “expandir o dia” muito além do proporcionado pela natureza.

Apesar de pouco perceptível, a iluminação pública, quando mal dimensionada, traz também consigo um conjunto de problemas, quer para o homem quer para os animais, nos quais interfere sobre os seus ciclos biológicos, como referido no capítulo “1-Introdução”.

Todos estes benefícios e malefícios, não podem estar desassociados do factor custo, quer da instalação dos sistemas de iluminação pública, quer da exploração da mesma. Em Portugal, a iluminação pública é responsável por 3% do consumo eléctrico total, sendo que os respectivos custos energéticos constituem, em alguns casos, mais de 50% nas despesas dos Municípios com energia. [2]

A iluminação pública pode ser considerada um subgrupo da iluminação para espaços exteriores. Apesar de ambas possuírem objectivos e necessidades semelhantes, a primeira diferencia-se da segunda pelo local da instalação, o qual por regra geral acontece em espaços públicos, e pelos custos serem pagos em regra pelo Município onde a mesma se encontra instalada.

### **4.1 Classificação dos sistemas de iluminação exterior**

Um sistema (palavra com origem na língua Grega “sietemiun”) é um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado, ou ainda:

*Um sistema é alguma coisa, que em alguma coisa, para alguma coisa, faz alguma coisa, a alguma coisa, através de alguma coisa, que se transforma no tempo”(in, João Álvaro Carvalho, Professor Catedrático).*

Podemos então definir um sistema de iluminação como um conjunto de elementos interconectados e organizados, com o objectivo de iluminar.

Os sistemas de iluminação exteriores criam ambientes nos quais os utilizadores se sentem confortáveis, permitindo ainda, a rápida e precisa identificação dos elementos presentes na via pública com o intuito de originar a mais correcta tomada de decisão por parte de todos, transeuntes e automobilistas.

A iluminação das vias promove a segurança rodoviária e a eficiência da utilização das mesmas, facilitando de um modo geral a sua utilização, quer durante os períodos nocturnos, quer em condições ambientais adversas. [9].

A iluminação própria dos veículos e gerada por estes é complementada pelos sistemas de iluminação fixa das rodovias. Permite assim aos motoristas visualizar, localizar e reagir com maior rapidez ao aparecimento de obstáculos.

Os transeuntes devem identificar com facilidade outros utilizadores e obstáculos, tendo em vista o processo de decisão ou negociação de movimentos, conforme seja o caso.

Quando os princípios e técnicas da iluminação exterior são correctamente aplicados, estão reunidas as condições óptimas de visibilidade para a promoção de benefícios sociais e económicos para os seus utilizadores. Entre estes, é possível salientar a redução de acidentes durante os períodos nocturnos, sentimento de segurança, melhor gestão rodoviária, promoção de comércio e indústria durante a noite, inspiração do espírito de comunidade e respectivo crescimento. [9]

A escolha de um tipo ou tipos de sistema de iluminação, para aplicação num determinado espaço é condicionada pelas suas próprias características, nomeadamente pela sua categoria. Para facilitar a escolha, os espaços públicos foram classificados segundo Pedro Brandão [26] em: “parques urbanos, jardins públicos e áreas ajardinadas de enquadramento; avenidas e ruas; praças, largos, pracetas, terreiros e recintos multifuncionais; espaços canais – vias-férreas, auto-estradas e vias rápidas; parques de estacionamento e margens fluviais e marítimas”. A sua classificação teve por base os “tipos de espaços que constituem mais vulgarmente o objecto dos projectos de espaços públicos”.

O objectivo do sistema de iluminação assim como a tipologia do espaço, determinam igualmente a escolha do sistema. De acordo com a tipologia dos espaços a iluminar [26] Brandão distingue ainda diferentes tipos de iluminação:

- Iluminação funcional de circulação de pessoas e veículos (estrutura viária e sistema urbano),
- Iluminação de edifícios,
- Iluminação de espaços de transição interior/exterior,
- Iluminação de espaços verdes, elementos de água e elementos artísticos/patrimoniais,
- Iluminação de pontes, viadutos e túneis, como sistemas de continuidade ou ruptura.

Este tipo de classificação, com maior grau de especificidade é igualmente seguido por empresas especializadas em sistemas de iluminação. A *Schröder* classifica os espaços de aplicação em 26 grupos:

- |                                      |                                                   |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| • Vias principais – Urbana;          | • Grandes Áreas,                                  |
| • Vias secundárias – Urbana,         | • Estacionamento exterior,                        |
| • Sinalização – Urbana,              | • Sinalização - Não-Urbana,                       |
| • Zonas pedonais,                    | • Túneis rodoviários,                             |
| • Parques,                           | • Túneis ferroviários,                            |
| • Largos e Praças,                   | • Galerias de evacuação,                          |
| • Montagem em suspensão axial,       | • Estações de comboio e metro,                    |
| • Montagem em fachadas,              | • Recintos desportivos interiores,                |
| • Ciclovias,                         | • Recintos desportivos exteriores,                |
| • Monumentos e fachadas,             | • Edifícios industriais,                          |
| • Iluminação de pontes,              | • Edifícios industriais, Acessos e estacionamento |
| • Estradas principais - Não-Urbana,  | • Centros Comerciais, Acessos e estacionamento.   |
| • Estradas secundárias - Não-Urbana, |                                                   |
| • Cruzamentos e Rotundas,            |                                                   |

A *Philips* classifica os espaços a iluminar em nove grandes grupos de aplicação: [27]

- Escritórios,
- “retail”,
- hotelaria,
- indústria,
- urbana,
- rodoviária,
- áreas desportivas,
- horticultura,
- iluminação de postos de abastecimento.

No contexto deste trabalho, são apenas referidas as subcategorias definidas pela *Philips*, referentes ao grupo iluminação urbana e iluminação rodoviária, por serem estas, as abrangidas pelo iParque.

○ A iluminação rodoviária, é subdividida em 3 tipos:

- Estradas,
- Tráfego,
- Túneis.

○ A Iluminação urbana, é subdividida em 5 tipos:

- Edifícios,
- Pontes e estruturas,
- Monumentos e estátuas,
- Parques, jardins e água,
- Áreas comerciais e centros de cidade.

Este tipo de agrupamento permite orientar o projectista na imensa gama de soluções oferecidas pelo mercado e responder às mais variadas necessidades e especificidades de cada aplicação.

## 4.2 Eficiência dos sistemas de Iluminação exteriores

No sentido da implementação de sistemas mais eficientes, com vantagens monetárias e ambientais, têm sido criados diversos projectos e implementados vários programas, quer a nível europeu, quer a nível nacional. Por exemplo, o ESOLi (Energy Saving Outdoor Lighting), um projecto fundado pelo “Intelligent Energy Europe program” o qual têm como objectivo fomentar a utilização em larga escala de sistemas inteligentes na iluminação exterior, com o intuito de garantir poupanças energéticas. Este consórcio possui 16 parcerias (empresas ou entidades ligadas ao sector) das quais 14 fazem parte da comunidade europeia [28], não estando Portugal representado. A nível nacional o PNAEE (Plano Nacional de Eficiência Energética), compromete-se a alcançar 20% de eficiência energética até 2020, através da implementação de um conjunto de medidas com vista à redução dos consumos de energia, mantendo o nível de satisfação do consumidor.

Programas operacionais de apoio à modernização e implementação de soluções mais eficientes na Iluminação Pública decorrem para diferentes zonas de país, estando a zona centro inserido no Eixo 1 – “Energia – Eficiência Energética na Iluminação Pública (Centro-ENE-2011-07)” O apoio inerente a esta candidatura aborda as seguintes áreas de actuação:

1. Equipamentos e/ou soluções mais eficientes que visem a melhoria da eficiência energética das instalações, em consonância com o documento de referência “Eficiência Energética na Iluminação Pública” [8], nomeadamente para:
  - a. Instalação de sistemas de regulação do fluxo luminoso;
  - b. Substituição de luminárias ineficientes ou com mais de 10 anos de utilização, por equipamentos com melhor capacidade de reflexão e/ou necessidade de fontes de luz de menor potência, bem como, substituição de balastros ineficientes ou com mais de 10 anos;
  - c. Substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por fontes de luz mais eficientes
  - d. Instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da Iluminação

2. Substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões (instalações semaforicas) por tecnologia LED

Simultaneamente têm sido desenvolvidos estudos, no sentido de criar linhas orientadoras para a obtenção de sistemas de iluminação mais eficientes. Miomir Kostic, recomenda para este fim a análise de 9 pontos:

1. As reconstruções devem ser implementadas com base em cálculos luminotécnicos, não estando restritas ao equipamento existente e respectiva localização.
2. Deve ser dada especial atenção à classificação da iluminação.
3. Recomenda-se a determinação dos coeficientes de reflexão da superfície da rua.
4. Caso sejam utilizadas lâmpadas do tipo HPS, estas devem possuir parâmetros técnicos e fotométricos melhorados.
5. Recomenda-se a utilização de luminárias eficientes, fáceis de manusear e com graus de protecção mínimos IP65.
6. É importante o uso do correcto valor de manutenção no projecto.
7. São recomendadas luminárias caracterizadas por elevados factores de potência (pelo menos de 95%).
8. Recomenda-se a utilização de variadores de fluxo.
9. Quando usadas lâmpadas de iodetos metálicos, recomenda-se a utilização dos níveis de luminância fotópticos definidos na tabela 1.

Tabela 5- Valores dos níveis de luminância fotópica aplicada a vias rodoviárias

| Classe de Iluminação viária | ME3  | ME4  | ME5  | ME6  |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| $L_{av}HPS(cd/m^2)$         | 1.00 | 0.75 | 0.5  | 0.3  |
| $L_{av}MH(cd/m^2)$          | 0.74 | 0.52 | 0.32 | 0.18 |

A actuação sobre a eficiência da iluminação pública, não deve, e de acordo com o PNAEE, diminuir os níveis de satisfação do consumidor. Neste sentido estudos [29] apresentam as seguintes recomendações:

- Locais onde as pessoas se juntam ou locais com elevada actividade pedestre devem ser iluminadas com fontes de luz brancas, caracterizadas por um bom índice de restituição de cor.
- Áreas escuras, ou seja com pouca iluminação relativamente à envolvente devem ser evitadas.
- Efeitos obstrutivos criados pela fonte de luz devem ser minimizados, como é exemplo o brilho.
- Posição, tamanho e estilo arquitectónico das colunas de suporte e das luminárias devem estar de acordo como o meio envolvente.
- Colunas completamente galvanizadas devem ter preferência relativamente às pintadas.

### 4.3 Legislação

A iluminação dos espaços públicos gera um maior sentimento de segurança, promove o convívio e a socialização, difunde edifícios e mensagens, garante conforto na condução e diminui o número de acidentes, quer com veículos quer com pessoas.

A iluminação de espaços públicos, com fins decorativos ou objectivos funcionais está inevitavelmente associada ao factor custo, o qual deve ser ponderado em função do benefício prestado pela mesma. Se por um lado temos o custo da instalação e exploração da mesma, por outro lado possuímos os benefícios sociais e ou económicos (promoção de espaço, sociabilização, diminuição do numero de acidentes, etc).

A inexistência de legislação nacional direccionada ao projecto luminotécnico remete o projectista para a adopção de normas internacionais. Existe no entanto documentação, que resultou de uma proposta apresentada pela Associação das Agências de Energia e Ambiente (RNAE) - Rede Nacional, em parceria com o Centro Português de Iluminação (CPI) e a Ordem dos Engenheiros à Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da

Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (SEEI/MEID), a qual não sendo vinculativa, exprime linhas orientadoras defendidas por entidades relacionadas directa ou indirectamente com a área em estudo.

Internacionalmente existem associações ou grupos com trabalhos reconhecidos na área da iluminação, entre as quais a Ordem dos Engenheiros salienta na sua página [30] as seguintes como as mais importantes:

- Illuminating Engineering Society of North America – IESNA – Organização fundada em 1906, possui mais de 10.000 membros, é responsável por mais de 100 publicações. A sua colaboração estende-se à formação, indústria, R&D. Publica regularmente, por cada década, um manual – Lighting Handbook – que é uma referência em todo o mundo.
- The International Commission on Illumination - CIE – Fundada em 1913, é a organização internacional por excelência na iluminação, sendo reconhecida pela ISO como uma entidade de normalização. Fazem parte desta organização 38 países (sendo 24 europeus), não estando Portugal representado. Todos os Estados-membros possuem uma entidade nacional que coordena as actividades relacionadas com a luminotecnia. Exemplos: CEI (Comité Espanhol de Iluminação), AFE (Associação Francesa de Iluminação), FGL (German lighting cooperative), ILE (Institution of *Lighting* Engineers) em Inglaterra, HIC (Hellenic Illumination Committee) na Grécia etc.
- International Energy Agency – IEA – organização internacional que supervisiona toda a política energética mundial, da qual fazem parte 27 países. Publicou recentemente um extenso relatório, de mais de 600 páginas, sobre a utilização eficiente da iluminação no mundo. É, além disso, a entidade que superintende todas as diligências actuais no sentido de tornar os edifícios mais eficientes.
- European Lighting Designers' Association – ELDA e a International Association of Lighting Designers – IALD – são duas organizações profissionais respectivamente situadas na Europa e nos Estados Unidos que se destinam a promover a técnica e a arte de iluminar.



Normas específicas relativamente aos sistemas de iluminação exterior têm sido publicadas pelas várias entidades, sendo usual a utilização em Portugal das publicações do CIE e da Comissão Europeia EN (Norma Europeia).

A Norma Europeia sobre Iluminação Pública: EN 13201, está subdividida em 4 partes, abordando cada uma delas vertentes específicas da iluminação exterior, nomeadamente:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos
- EN 13201-4: Métodos de medida das performances fotométricas

O CIE, publicou a CIE 115 de 2010, uma actualização da anterior norma CIE 115 de 2005 “*Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic*”. Este por sua vez tem por base a Norma CIE 154:2003, a qual aborda os níveis de manutenção do fluxo luminoso e a qualidade da luz [31].

A utilização do método simplificado preconizado na CIE 115:2010 é defendida [2] com base na utilização de um reduzido número de parâmetros necessários evitando interpretações diversificadas a que a aplicação directa da norma EN13201 pode conduzir.

Qualquer uma das normas define atributos para a classificação do espaço a iluminar, valores de luminância bem como as definições e regras para a medição de grandezas luminotécnicas.

#### **4.4 Influência das características do pavimento na iluminação exterior**

Por definição, a grandeza luminância pressupõe a existência de uma superfície na qual a luz é reflectida. Na iluminação exterior, independentemente da topologia de aplicação, o pavimento é uma superfície comum a todas as instalações.

Nos países mais desenvolvidos praticamente toda a rede rodoviária é constituída por piso de alcatrão ou concreto. Sendo esta uma variável presente em todos os sistemas de iluminação

pública, as suas características não podem ser negligenciadas, uma vez que estas contribuem para a eficiência do sistema de iluminação.

O pavimento das vias rodoviárias possui características reflectivas próprias em função do seu tipo e constituintes. Para uma mesma rodovia, estes valores variam ao longo do espaço e tempo devido à intensidade, frequência e tipos de agressões, sendo a sua influência significativa [32] [33].

A medição continuada, da reflectividade de um pavimento não se apresenta no actual estado da tecnologia como tarefa prática. Apesar de útil, a obtenção destes valores para efeito de projecto, não é usual. A leitura destes dados em tempo real e ao longo do tempo, permitiria possuir um input (informação) para a actuação dos reguladores de fluxo sobre a lâmpada, adaptando o emissão luminosa da mesma ao estado do piso.

Apesar da imprevisibilidade do tipo e período das agressões sofridas pelas superfícies, foram realizados trabalhos no sentido de encontrar padrões para os valores da reflectividade característicos dos diferentes tipos de pavimento das vias [34].

A maioria dos cálculos luminotécnicos baseia-se nas classificações teóricas de revestimentos R1, R2, R3 e R4 definidos pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação), conhecidas por “*r-tables*”.

- R1 corresponde a um revestimento em betão,
- R2 corresponde a um asfalto difusor,
- R3 corresponde a asfalto clássico,
- R4 corresponde a um asfalto especular.

Actualmente empresas do sector referem as “*r-tables*” clássicas como uma classificação demasiado simplista para caracterizar correctamente os inúmeros tipos de revestimentos existentes, considerando ainda que os actuais asfaltos possuem características de reflexão afastadas das classificações definidas pelo CIE [35]. Neste sentido, utilizam reflectómetro com superfície móvel, o qual permite obter os valores da reflectividade do pavimento no local.

Estudos, no sentido da optimização dos sistemas de iluminação em função do tipo de pavimento e respectiva reflectividade referem vantagens na utilização de vias em concreto em detrimento das vias em asfalto [36], as quais permitem maiores níveis de reflectividade,

possibilitando a utilização de menores potências de iluminação para níveis semelhantes de luminância.

Com o intuito de comparar a influência do coeficiente do valor da reflectividade da superfície do pavimento ( $Q_0$ ), foram realizadas duas simulações em tudo semelhantes, diferenciando-se apenas no valor  $Q_0$  utilizado. Contrapondo o valor de  $Q_0=0,7$  equivalente à tabela tipo “R3” [32], utilizou-se na segunda simulação o valor  $Q_0=0,1$ , equivalente à tabela tipo “R1”.

O cenário simulado é constituído por uma via pedonal com 10 metros de largura.. As luminárias utilizadas são as presentes no iPaque de Coimbra, tipo “Globo” Ø 450mm com refractor metálico, difusor em policarbonato transparente, tipo “IJX” 100W/VSAP, da *Indalux*, instaladas sobre suporte com 4 metros de altura.

Os parâmetros base utilizados na configuração do cenário podem ser visualizados na figura 15.

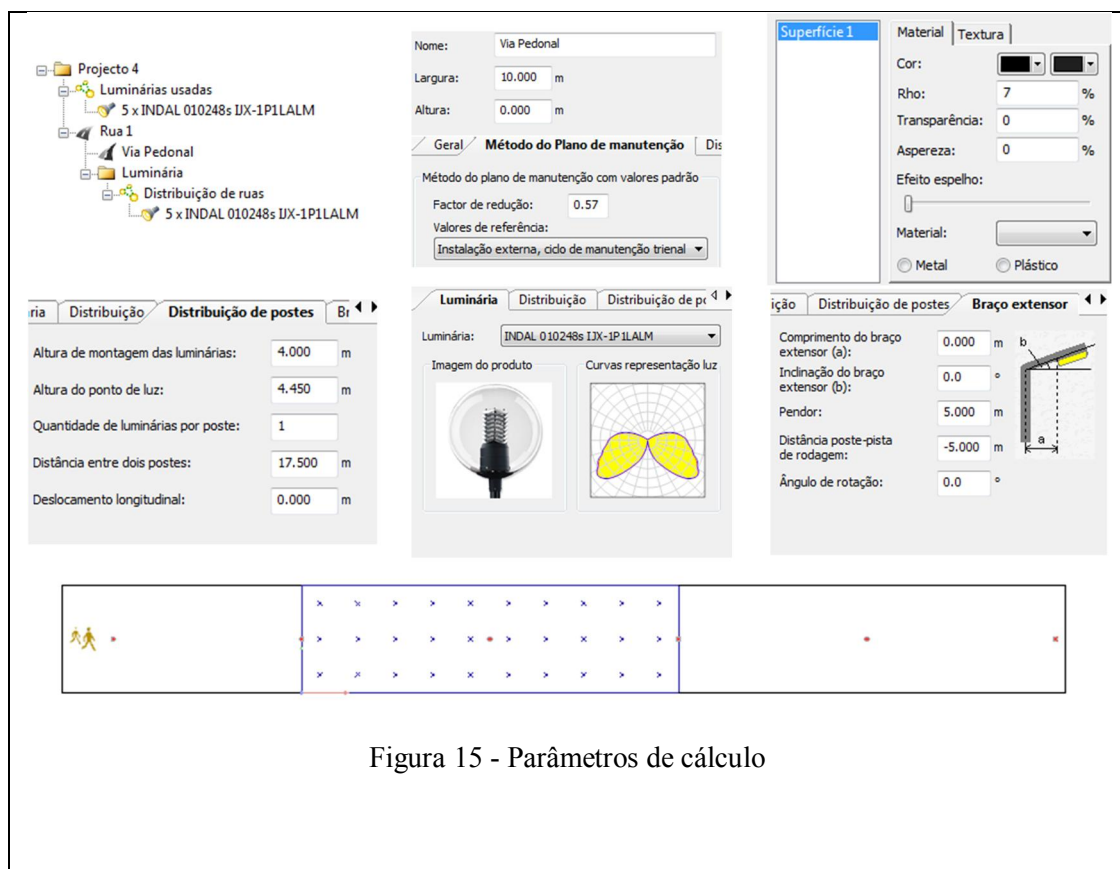


Figura 15 - Parâmetros de cálculo

Pode ser observada nas figuras 16 e 17, a representação cromática dos valores das luminâncias resultantes da simulação. É notória a influência da variação desta variável com particular incidência na uniformidade ao longo da via,

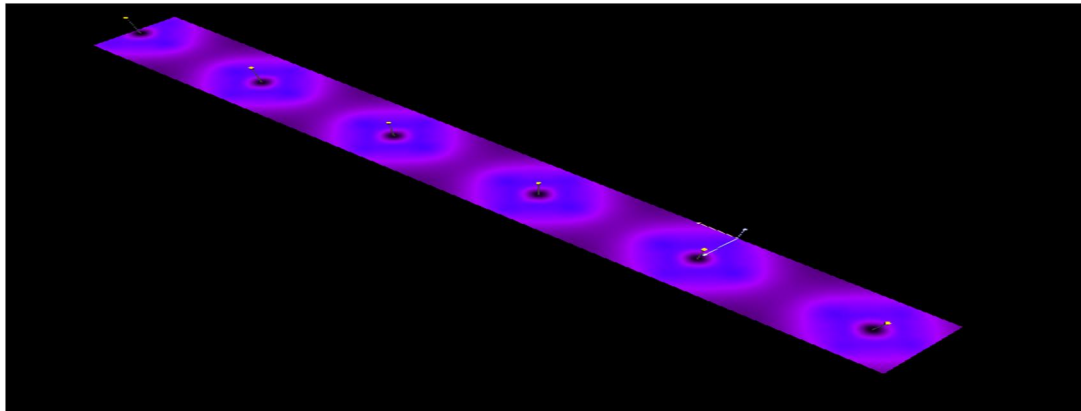


Figura 16 - Representação cromática dos valores de luminância para um coeficiente de reflexão  $Q_0=0,07$

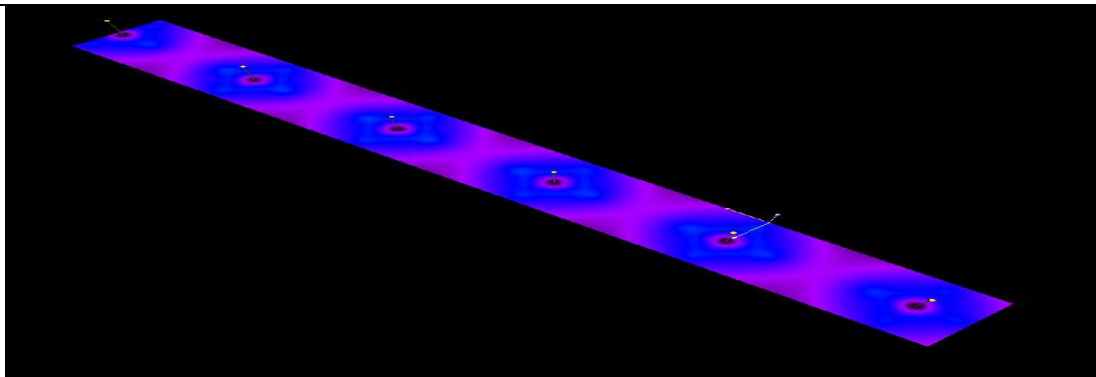
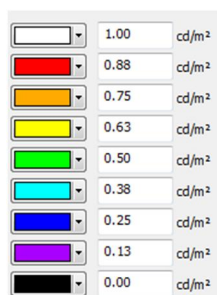


Figura 17 - Representação cromática dos valores de luminância para um coeficiente de reflexão  $Q_0=0,1$



Legenda para as figuras 16 e 17, representando os índices cromáticos representativos dos níveis de iluminação

Apesar da influência do “coeficiente de reflectividade da superfície”, não é prático os valores reais do mesmo. A principal dificuldade baseia-se na acessibilidade aos meios técnicos necessários para a aquisição dos respectivos valores, os quais além de se

apresentarem de aquisição onerosa, dificilmente garantem a sua rentabilidade em instituições não ligadas à área da iluminação. Na impossibilidade de contornar estes constrangimentos é usual optar-se pela utilização da classificação R3, a qual é característica do tipo de asfalto clássico, normalmente utilizado nas estradas Portuguesas.

## 4.5 Escolha do factor de manutenção

Um sistema de iluminação é projectado para garantir na situação mais desfavorável, o fluxo luminoso suficiente para o objectivo previamente definido. Por situação mais desfavorável, entende-se a situação resultante da interacção negativa de vários factores, os quais contribuem ao longo do tempo para a depreciação do fluxo luminoso na luminária. Esta depreciação está directamente associada a um factor de manutenção. Este é uma variável considerada na análise das condições económicas ideais para a manutenção do fluxo luminoso mínimo aceitável. Assim, um correcto plano de manutenção permite otimizar os vários factores inerentes a uma instalação.

O fluxo luminoso de uma fonte luminosa diminui ao longo da sua vida útil. A manutenção do fluxo luminoso considera a redução do fluxo devido à depreciação da fonte luminosa (luminária mais fonte de luz). Este pode ser calculado pelo rácio do fluxo luminoso emitido para um tempo  $t_i$ , pelo fluxo luminoso emitido inicialmente, tempo  $t_0$ , considerando que o tempo total da vida da lâmpada é dado por  $\sum_{i=0}^n t_i$ . Estes dados, em fase de projecto, são normalmente obtidos através de informação disponibilizada pelos fabricantes. Estes definem uma “vida de serviço” (usualmente 0,7; 0,8 ou 0,9) a qual é resultado da multiplicação do factor de manutenção do fluxo luminoso da lâmpada pelo tempo de vida expectável para esta. O tempo de vida de uma lâmpada é normalmente encontrado para a situação de falha de 50% das lâmpadas pertencentes a um grupo considerável.

Na prática as equipas de manutenção substituem uma lâmpada fundida passados alguns dias da detecção da avaria. Deste modo, considerar o tempo de vida médio de uma lâmpada como variável do factor de manutenção não é a melhor abordagem. [29]. Abordagem contrária é defendida [2], a qual observa que o cálculo do factor de manutenção global deve ser resultado da multiplicação do factor de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL), do factor de Sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz (FSL) e do factor de Manutenção da Luminária (FML)

Alternativas podem ser consideradas com o intuito de encontrar valores para os factores de manutenção mais próximos da realidade. A análise gráfica das funções representativas dos

níveis de manutenção do fluxo luminoso e do tempo de vida expectável da lâmpada permitiu [29] chegar à tabela 6, a qual relaciona períodos e factores de manutenção, índices IP, níveis de poluição e tipos de lâmpada.

Tabela 6- Períodos de manutenção recomendados (Tgr) e factores de manutenção na iluminação de estradas, para luminárias com IP5x e IP6X

| Categoria de Poluição Atmosférica<br>Tipo de lâmpada:<br>Período de manutenção (Tgr) | Alto |      | Médio |      | Baixo |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------|------|-------|------|
|                                                                                      | IP5x | IP6x | IP5x  | IP6x | IP5x  | IP6x |
| Lâmpada HPS convencional Tgr= 36 meses                                               | 0.67 | 0.73 | 0.72  | 0.77 | 0.77  | 0.79 |
| Lâmpada HPS com propriedades melhoradas Tgr= 48 meses                                | -    | 0.74 | -     | 0.81 | -     | 0.85 |
| Lâmpada HPM convencional Tgr= 24 meses                                               | 0.67 | 0.71 | 0.69  | 0.71 | 0.72  | 0.72 |
| Lâmpada HPM com vida prolongada Tgr= 48 meses                                        | 0.72 | 0.75 | 0.73  | 0.76 | 0.76  | 0.76 |
| Lâmpada MH Convencional (250W e 400W) Tgr= 18 meses                                  | 0.71 | 0.74 | 0.72  | 0.75 | 0.75  | 0.76 |
| Lâmpada MH com tubos cerâmicos de descarga Tgr= 18 meses                             | 0.69 | 0.71 | 0.7   | 0.72 | 0.72  | 0.73 |
| Lâmpada CFLs para iluminação exterior Tgr= 42 meses                                  | -    | 0.72 | -     | 0.77 | 0.77  | 0.80 |

A escolha do correcto período de manutenção permite encontrar o equilíbrio entre a potência luminosa a instalar e a manutenção dos valores mínimos da mesma, numa perspectiva económica.

Numa perspectiva pessoal a inexistência de informação sobre os custos inerentes à variável factor de manutenção e a sua influência na performance dos sistemas de iluminação, aplicada à situação económica portuguesa, limita a escolha de um valor adequado. Esta variável é influenciada pelos preços dos combustíveis, custo da mão-de-obra e outras despesas que devem ser considerados para a situação concreta do país onde ocorre o serviço de manutenção.

## 5. Controlo de sistemas de iluminação

A gestão de energia tornou-se significativamente importante desde os inícios dos anos 70, estimulada pelas consecutivas escaladas do custo a mesma, quer devido à escassez de recursos primários, quer por preocupações ambientais. A utilização responsável da energia tornou-se uma preocupação de carácter público, motivando a criação de nova legislação, códigos e standards, nomeadamente para estabelecer níveis mínimos de eficiência energética.

No passado, os métodos de controlo utilizados tinham como objectivo ligar e desligar as fontes de iluminação, ou eram utilizados com propósitos específicos como salas de teatro, de conferência, etc. Mais recentemente, a utilização de métodos de controlo tornou-se elemento essencial de um bom sistema de iluminação, tornando-se parte integrante dos programas de gestão.

Várias estratégias e técnicas têm sido desenvolvidas no controlo e gestão, quer das fontes de iluminação, quer na gestão do seu próprio consumo.

A gestão e consequente controlo dos sistemas de iluminação, resume-se em 6 factores: [11]

- Projecto do espaço e utilização do mesmo.
- Luz do dia.
- Fontes de iluminação.
- Luminárias.
- Controlo da iluminação.
- Operação e manutenção.

### 5.1 Projecto do espaço e a sua utilização

O espaço e as características do mesmo são geralmente projectados antes do sistema de iluminação ser considerado. Apresenta-se como uma mais-valia, o aparecimento do espaço em harmonia com os sistemas nele integrados, como é exemplo a iluminação. Num espaço, as tarefas com necessidades luminotécnicas semelhantes devem estar juntas sempre que possível, de modo a otimizar a energia utilizada. Se a este espaço for acrescido um nível de

iluminação ambiente, estão reunidas as condições para adicionais graus de flexibilidade, nos quais é possível redistribuir iluminação quando a função do espaço se altera.

Estas alterações, previamente detectadas e aplicadas na fase de projecto, originam horários para determinado espaço em função da sua utilização. Por exemplo os horários de ocupação de um espaço ao serem planeados previamente, optimizam a eficiência do sistema de iluminação nele presente. Assim, devem ser pré-determinados os padrões de utilização de um espaço, os quais servem de base ao sistema de controlo, podendo recorrer-se a sensores de ocupação ou outros sistemas de detecção.

## **5.2 Iluminação natural**

A iluminação natural é por excelência a fonte de iluminação ideal. O potencial desta fonte deve ser avaliado na fase de projecto. A utilização efectiva das horas em que esta ainda está presente permite impactos positivos na gestão energética da mesma. Em fase de exploração, a luz emitida pelos sistemas de iluminação, deve ser coordenado com a disponibilidade da “iluminação natural”. Por norma, e sempre que o tecnologicamente viável, são utilizados controladores de fluxo manuais ou automáticos com ajustamento contínuo, diminuindo assim os valores da potência eléctrica consumida.

## **5.3 Fonte de iluminação**

As fontes de luz devem ser seleccionadas considerando os níveis de eficiência ao longo da sua vida útil. O factor “eficiência” é influenciado por vários constituintes da luminária, nomeadamente o balastro, como elemento de controlo da alimentação energética da lâmpada entre outros parâmetros (frequências, transitórios, etc). O seu contributo significativo para a eficiência do bloco luminária torna-o como um dos elementos fundamentais do sistema. O mercado apresenta muitas e variadas ofertas para este componente, desde o mais simples balastro analógico aos electrónicos com vários níveis de controlo. Esta variedade está no entanto sempre condicionada ao tipo de lâmpada a controlar. A figura 18 ilustra seguinte compara a eficiência energética do conjunto lâmpada-balastro, para os vários tipos de tecnologia utilizada na fonte de luz.



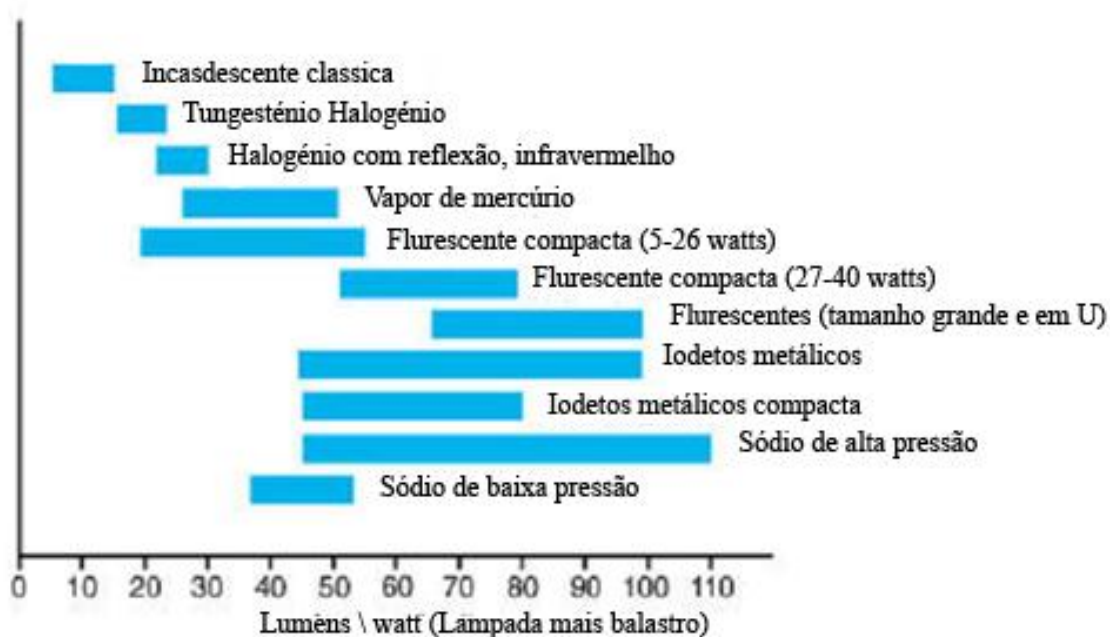


Figura 18 - Eficiência do bloco (fontes de luz mais balastro)

Apesar de o balastro ser considerado por excelência o equipamento responsável pelo controlo da alimentação à lâmpada, outros equipamentos podem ser utilizados para complemento destes. Exemplo, são os reguladores e ou estabilizadores de tensão. Este tipo de equipamento montado a montante da rede permite estabilizar a tensão aplicada à instalação, reduzindo o consumo de energia das luminárias e aumentando a longevidade dos consumíveis (lâmpadas, balastros). [37]. A escolha de um ou vários equipamentos para regular a alimentação estão sempre condicionados pela tecnologia existente, ou a implementar, depende sempre do caso concreto em estudo.

## 5.4 Luminárias

A luminária é constituída por um conjunto de componentes individuais conectados quer mecanicamente, quer electricamente entre si. Inclui a lâmpada, o balastro, os suportes, os fios, componentes ópticos (reflectores), grelhas e lentes. A eficiência da luminária é afectada pelo contributo de cada um destes componentes individuais, os quais são projectados com

objectivos específicos em função do tipo de aplicação. Condicionantes, como a temperatura ambiente, temperatura e requisitos da cor, acessibilidade e encadeamento, definem a escolha de cada um dos componentes.

Existem ainda outros factores decisivos para que a luminária mantenha bons níveis de eficiência, como é exemplo o seu factor de manutenção. Ao longo da sua vida útil a realização de limpezas periódicas, permite manter os níveis luminotécnicos esperados. Este factor é de crucial importância para luminárias situadas em ambientes muito poluídos, como é o caso das luminárias utilizadas no exterior, iluminação pública, e caracterizadas por baixos níveis de índices de protecção “IP”.

Tipos de luminárias específicos possuem ainda características singulares e únicas para a manutenção de bons níveis de eficiência energética na mesma. Exemplo disso são as luminárias com fonte de luz do tipo LED, as quais, de modo a garantir uma temperatura de funcionamento interior adequada ao máximo rendimento da sua fonte de luz, possuem sistemas alhetados exteriores.

Dados do fabricante são úteis para determinar o quão eficiente é a luminária, e a sua adequação às necessidades do projecto. No entanto, a eficiência da luminária não fornece indicação relativa à qualidade da iluminação, quando não percepcionada em função do tipo de aplicação, não devendo ser factor determinante de selecção quando analisada fora do contexto.

## **5.5 Controlo da iluminação**

A eficiência de um sistema pode ser melhorada, pela integração de métodos de controlo sobre os sistemas de iluminação. Estes melhoram a adaptabilidade do sistema, possibilitando futuras adaptações sem aumento significativo nos custos.

As estratégias de controlo podem ser implementadas centralmente ou localmente, sendo possível a integração destes dois tipos em vários níveis, sendo esta integração comum.

O controlo central permite activar o sistema de iluminação de acordo com um horário pré estabelecido. Possibilita ainda a monitorização e medição da energia utilizada. Os sistemas centrais podem ainda possuir uma interface com outros tipos de sistemas, como é exemplo sistemas de segurança.

Um espaço pode ser dividido em áreas com diferentes necessidades de iluminação, requerendo deste modo diferentes abordagens. Estas estão intimamente ligadas com a

utilização do espaço. É essencial entender e coordenar a utilização dos espaços, definindo perímetros de zona.

A flexibilidade do sistema é provavelmente a sua maior vantagem. Este deve permitir activar as luminárias efectivamente necessárias. Alguns princípios devem no entanto ser respeitados. Por exemplo, um sistema de controlo horário não se deve sobrepor ao controlo local, permitindo deste modo a utilização útil do espaço fora do horário habitual.

## **5.6 Operação e manutenção**

Todos os sistemas de iluminação requerem manutenção depois de instalados. A correcta planificação e execução do programa de manutenção mantêm os níveis de eficiência inicialmente definidos em projecto. A manutenção deve incluir procedimentos para as lâmpadas, balastros, luminárias, controlo, isolamentos e inspecção das superfícies. A troca de lâmpadas em grupos de luminárias, e manutenção regular são recomendados para manter a máxima eficiência.

Um plano de manutenção bem definido e esquematizado diminui os custos de funcionamento ao longo da vida útil do sistema de iluminação. A sua previsão na fase inicial do projecto do sistema de iluminação aumenta a probabilidade de poupanças significativas nos custos, com particular incidência na utilização de um menor número de equipamentos.

## **5.7 Estratégias no controlo da Iluminação**

Existem 3 grandes objectivos na aplicação de sistemas de controlo: gestão de energia, gestão estética e cumprimento de regras ou normas. Estes objectivos podem ser integrados, permitindo obter um equilíbrio do fluxo luminoso no espaço. A gestão energética pode melhorar significativamente a qualidade do espaço, da mesma forma que o controlo, com objectivos estéticos, pode diminuir os consumos energéticos.

### **5.7.1 Estratégias horárias**

Os movimentos dos utilizadores podem, em certas situações, criar rotinas que podem ser associadas a um horário. Com base nesta informação é possível traçar estratégias de controlo para o sistema de iluminação, sendo estas particularmente eficientes quando os horários que

descrevem as rotinas estão bem definidos para determinada área. Este tipo de estratégia pode poupar cerca de 40%<sup>4</sup> da energia consumida.

Existem no entanto situações nas quais não é possível definir rotinas, pelo que não é possível definir uma estratégia horária nestes casos. Nesta situação, a utilização de sensores de presença pode levar a poupanças energéticas da ordem do 60%<sup>4</sup>. Para alcançar estes benefícios é importante determinar a proporção de tempo e espaço utilizado.

A definição de áreas e perímetros de actuação obriga à existência de áreas adjacentes e contíguas, as quais se afectam mutuamente quando a iluminação utiliza sensores de presença. Nesta perspectiva é usual recorrer à redução da luminosidade em vez da aplicação de controlo total (liga/desliga) da iluminação melhorando assim a segurança, o resultado da estética e a aceitação dos utilizadores.

### **5.7.2 Luz natural**

A luz natural pode reduzir significativamente os custos energéticos. A utilização de sensores crepusculares integrados no sistema de iluminação, permite que esta apenas se active quando a luz natural atinge baixos níveis.

### **5.7.3 Balanceamento do brilho no espaço**

A qualidade visual do ambiente está intimamente relacionada com o balanceamento do brilho no espaço. Os sistemas de iluminação estão recorrentemente limitados a uma gama de valores relativos ao brilho no espaço iluminado. Assim, dos objectivos de um sistema de iluminação bem conseguido é o balanceamento dos diferentes níveis de brilho, diminuindo pontos brilhantes e sombras. O balanceamento do brilho pode ser alcançado com base no sistema de controlo, o qual deve garantir uma transição adequada entre dois espaços com diferentes níveis de iluminação.

### **5.7.4 Depreciação natural dos níveis de luminância**

A natural diminuição do fluxo luminoso da fonte luminosa pode ser compensada pela actuação sobre esta, por exemplo através de variadores de tensão. A utilização de

---

<sup>4</sup> As poupanças energéticas referidas, são respeitantes à aplicação de estratégias em edifícios, servindo apenas como exemplo quantitativo das possíveis poupanças, num sistema de iluminação exterior.

controladores de fluxo permite compensar a natural depreciação dos níveis de fluxo luminoso da fonte de luz, mantendo os mesmos dentro de uma gama aceitável durante o tempo de vida útil desta. O projecto na sua fase inicial deve contemplar esta situação, prevendo fluxos 20 a 30% superiores aos nominais.

A fonte de luz, no início da sua vida e através do regulador de fluxo, é sujeita a uma tensão ou corrente de funcionamento inferior à nominal. Esta vai aumentando ao longo da vida útil do ponto luminoso de um modo inversamente proporcional à sua depreciação luminosa. A potência máxima é aplicada no final da vida útil da lâmpada, exactamente na altura em que a depreciação da mesma é máxima. Este tipo de controlo permite ao longo do tempo reduções significativas no gasto energético. Do ponto de vista do fluxo emitido, este registará valores aproximadamente constantes ao longo do tempo.

O fluxo da luminária pode ser obtido utilizando sensores colocados estrategicamente. Esta informação serve de base à regulação dos controladores de fluxo, permitindo ao sistema reajustar-se e manter constantes os níveis de lúmenes ao longo da sua vida. Este tipo de controlo encontra maior viabilidade económica quando aplicado a blocos de luminárias, em vez da aplicação individual a cada luminária.

#### **5.7.5 Níveis de iluminação**

Ocasionalmente são necessários níveis de iluminação específicos para determinada tarefa, mas deve ocorrer uma redução dos mesmos, sempre que a mesma tarefa deixa de ser realizada nesse espaço. Este tipo de controlo pode ser manual ou automático.

A variação dos níveis de iluminação com base nas actividades realizadas por zona pode ser aplicada a passeadeiras para peões. Na presença ou aproximação dos peões à passeadeira os níveis de iluminação devem aumentar, evidenciando o perímetro da zona relativamente à sua vizinhança. Estes níveis podem ser depois diminuídos, na ausência ou afastamento dos peões.

Por sua vez o domínio de aplicação deve ser bem definido, tendo por base os perímetros e áreas de utilização. Diferentes zonas possuem diferentes tempos de utilização, gerando igualmente diferentes níveis de depreciação por zona.

#### **5.7.6 Controlo da iluminação ornamental**

No seio de espaço público é muitas vezes necessário criar ambientes aprazíveis para os utilizadores, ou evidenciar determinado monumento. Na presença destas situações é

conveniente conjugar a energia luminosa utilizada com fins decorativos, com a restante iluminação envolvente, obtendo assim menores custos energéticos totais da iluminação geral.

## **5.8 Técnicas de controlo dos sistemas de iluminação**

A selecção da técnica de controlo é de particular importância na redução dos consumos energéticos. A comutação liga \ desliga, regulação de fluxo, controlo local ou centralizado, e o grau da automatização são as principais escolhas a ter em conta na fase de projecto.

### **5.8.1 Comutação, ligado/desligado ou regulação do fluxo**

A comutação simples entre os estados, ligado e desligado, pode ser realizada através da simples utilização de um circuito comutador manual, ou via circuito electrónico de comutação (relé). No contexto da iluminação pública, este tipo de controlo é por regra accionado por um sensor.

Uma outra forma de variar os níveis de iluminação é recorrer ao controlo por regulação de fluxo. O controlo da regulação de fluxo permite a variação suave e contínua em função dos requisitos visuais. A eficácia na poupança de energia é mais evidente quando o objectivo é manter o fluxo constante ao longo do tempo de vida da luminária.

A instalação de sistemas centrais de comutação são mais económicos por unidade de área, quando comparados com a regulação do fluxo. São igualmente mais adequados para estratégias de controlo horário, durante os quais é possível desligar a iluminação em locais isentos de público. No entanto, este tipo de controlo deve ser projectado com algum cuidado, de modo a evitar que locais ocupados fiquem sem iluminação.

Quando o sistema de controlo é realizado sobre o balastro, e é possível a utilização de vários balastros para um mesmo ponto de luz, a comutação liga desliga, é mais eficaz se uma luminária for alimentada por pontos separados [11].

### **5.8.2 Controlo local ou central**

O sistema de controlo pode ser implementado utilizando uma perspectiva local, global ou o conjunto das duas.

O controlo local é dividido em zonas de controlo independentes, com tamanhos e formas definidas pela geometria do espaço ou de acordo com as necessidades de determinadas tarefas. O controlo está ligado directamente à luminária local em vez de estar ligado a um

sistema central. Deste modo cada módulo é independente dos restantes. A utilização de sensores de ocupação pode ser especialmente eficaz para este tipo de situações.

A empresa *Schröder* apresenta como vantagens para este tipo de controlo “ponto a ponto”, a sua fácil instalação, dimensionamento simples, poupanças até 70% (contra os 35% nos sistemas centralizados), com a possibilidade de aplicação aos sistemas ferromagnéticos ou electrónicos. Em contrapartida apresenta um retorno do investimento mais elevado, aproximadamente de 6 anos, e um maior investimento inicial, comparando com os sistemas centralizados [37].

Os sistemas centrais combinam geralmente muitas zonas, permitindo a interligação dos vários controladores e assim possibilitando uma monitorização e controlo integrado.

A Energias de Portugal SA (EDP) aplicou em fase piloto a regulação de fluxo luminoso centralizada, considerando que esta poderá ser uma solução para situações específicas apesar de conter algumas particularidades. Esta solução apresenta alguns pontos fracos, como é exemplo o custo elevado, quer na fase inicial quer durante o funcionamento, a difícil optimização da corrente do circuito à potência do regulador, a obrigatoriedade de circuitos com o mesma tecnologia das lâmpadas, a necessidade de uma vigilância qualificada permanente, não eliminar as perdas do equipamento eléctrico da luminária e dificuldades acrescidas com as quedas de tensão na parte final do circuito e ciclo de vida da lâmpada. Como pontos forte salientou a estabilização de tensão, o aumento da vida útil média das lâmpadas, a não necessidade da substituição da luminária, sendo ideal para redes existentes e independentes (ex. nós rodoviários).



Figura 19 - Armário contendo regulador de fluxo

A empresa *Schröder* apresenta igualmente para sistemas reguladores centralizados, outras vantagens, como é exemplo, instalação mais simples e económica<sup>5</sup>, retornos de investimento mais rápidos (inferiores a 4 anos) e poupanças médias de 35%. Algumas desvantagens estão presentes, como a complexidade do dimensionamento e dependência do mesmo, difícil comissionamento e apenas é passível de aplicar a sistema ferromagnéticos [37].

### 5.8.3 Integração dos sistemas

A maior vantagem da integração do controlo na iluminação consiste na adaptação dos níveis de iluminância às actividades desenvolvidas no local. A utilização de sensores e sistemas programados permite a integração de várias tecnologias (reguladores de fluxo, telegestão, sensores de ocupação, etc.), optimizando a gestão energética, combinando a entrada e saída de dados de todos os sistemas.

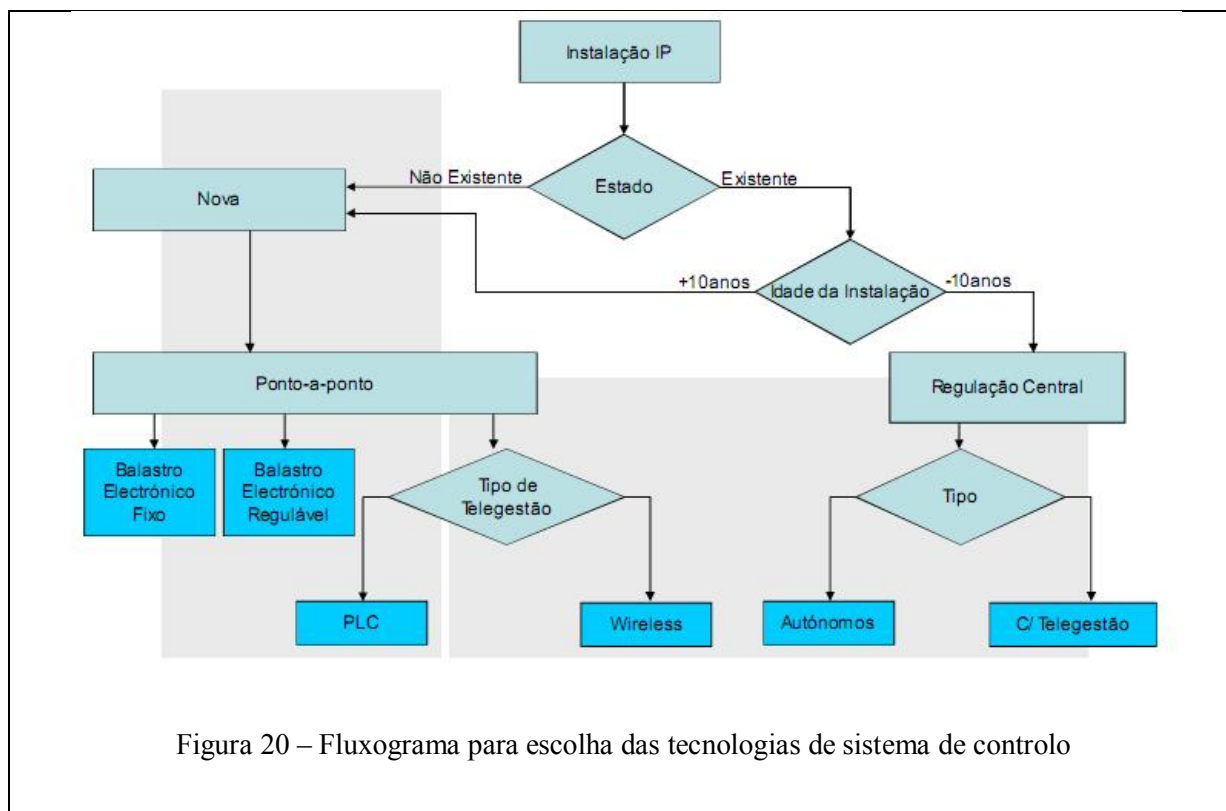
O sistema envolve 3 componentes: o controlador de potência, o circuito lógico e o sistema de sensores. Estes componentes estão, na maioria das vezes, integrados num único componente. No entanto o nível de integração está muito dependente da estratégia de controlo aplicado, podendo-se afirmar a existência de vários níveis de integração.

A empresa *Schröder* apresenta no mercado um “sistema integrado de gestão de energia” (SIGE). Tal como já foi referido no parágrafo anterior, a integração depende muito da abordagem ao problema, estando esta última condicionada pelas variáveis iniciais do projecto (instalação nova, já existente, parcialmente existente, etc.) A *Schröder* apresenta um fluxograma no qual esquematiza a solução aconselhada para cada tipo de instalação, figura 21.

---

<sup>5</sup> A EDP e *Schröder* possuem observações opostas relativamente aos custos de instalação. Como não foi possível conhecer as premissas na base da conclusão de cada entidade, não se observa qualquer opinião sobre este ponto.





O sistema de telegestão utilizado pode comunicar quer por cabos de energia quer por rede sem fios, permitindo uma gestão quer centralizada quer gestão ponto a ponto e suportada por software, com alertas de vários tipos (ex: alerta de defeitos, luminária fora de serviços, etc).

#### 5.8.4 Ligações e comunicações

A comunicação entre os diferentes sistemas de controlo e as luminárias pode ser realizado de várias formas. De um modo geral, prevalece a utilização de ligações com fios à opção sem fios. Tal facto reside na necessidade da existência de cabos de energia para alimentação das luminárias, os quais são aproveitados como meio transmissor nos processos de comunicação “*power line carrier*”. Para que estas comunicações possam ser realizadas com sucesso, um bom factor na “qualidade da energia” é necessário.

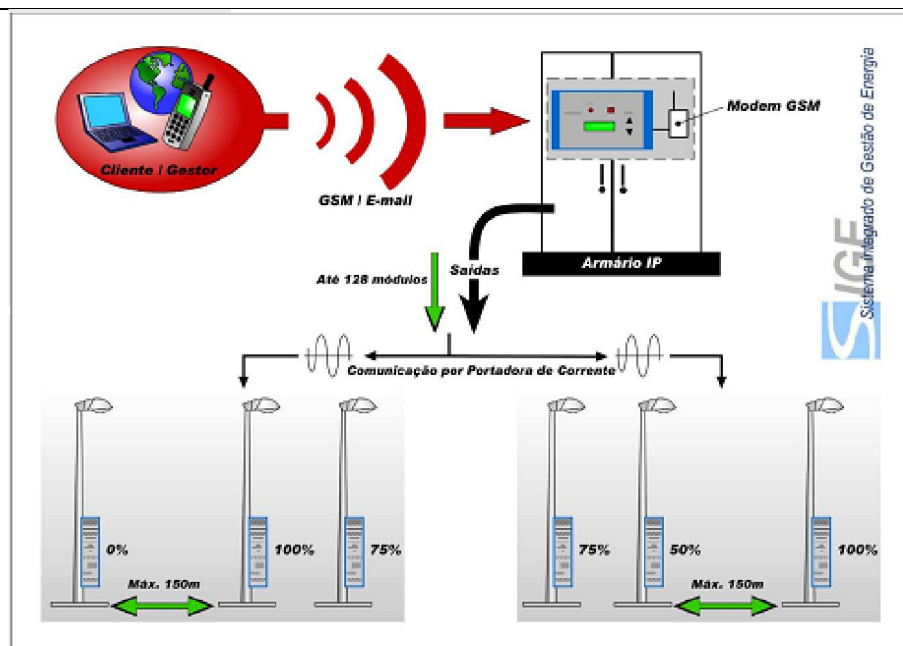


Figura 21 - Telegestão por "power line carrier"

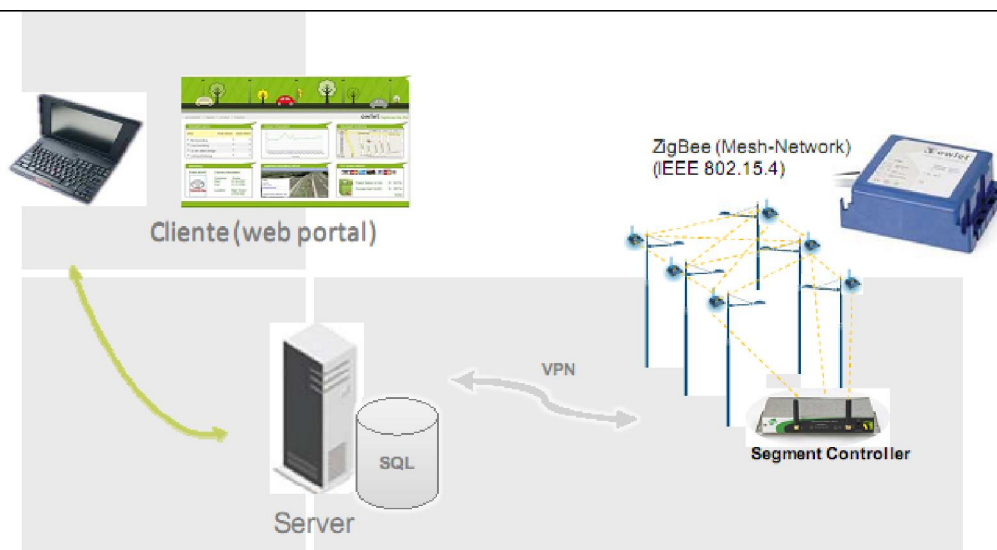


Figura 22 - Telegestão por rede sem fios Fonte: Schröder Sistemas integrados de gestão de energia.

Podem no entanto existir situações nas quais não é possível utilizar este meio, como exemplo, conjuntos de luminárias alimentadas por ramais diferentes, ou luminárias instaladas em locais com difíceis acessos, situação na qual é possível aplicar comunicações por rádio-

frequência. Estas, apesar dos altos custos de instalação e permeabilidade às interferências de sinais rádio, podem ser a situação acertada em situações concretas.

## **5.9 Equipamento de controlo**

Vários tipos de equipamentos estão inerentes ao controlo dos sistemas de iluminação. O mais simples consiste no processo de comutação manual, utilizando comutadores binários (ligado/desligado). Apesar de simples, este processo não é utilizado em sistemas de iluminação pública. Normalmente estes são controlados por relógios electrónicos parametrizados em termos horários. A variedade de funcionalidades deste tipo de equipamento pode ir desde um simples contador com uma saída binária, até sistemas com microprocessadores integrados, permitindo parametrizações para vários anos ou para eventos específicos.

A comutação dos sistemas de IP pode também ser activada por foto sensores sensíveis à radiação visível, sendo esta posteriormente traduzida num sinal eléctrico para controlo. A orientação do fotossensor, normalmente para norte (hemisfério norte), assegura uma iluminação constante no sensor. É prática comum a utilização deste tipo de sensor conjuntamente com relógios.

Sensores de ocupação do tipo ultra-som ou sensor de infravermelhos passivo (PIR) são também usados. Este tipo de equipamento tem como objectivo a detecção de objectos ou indivíduos em movimento. No entanto, da utilização dos equipamentos do tipo PIR decorrem algumas limitações, como são exemplo as fontes de calor de origem não humana. A resolução deste problema passa pela aplicação de sensores com dupla tecnologia, os quais utilizam sinais UV (ultra-violeta) e IR (infra-vermelhos)

### **5.9.1 Regulação de fluxo**

A regulação do fluxo luminoso consiste num processo de controlo da energia fornecida à lâmpada. A tecnologia empregue na regulação é fortemente condicionado pelo tipo de lâmpada e respectivo princípio de funcionamento.

#### **5.9.1.1 Lâmpadas incandescentes.**

Equipamento para o controlo do fluxo luminoso nas lâmpadas de tungsténio e halogéneo está amplamente disponível no mercado. Este método de regulação utiliza a introdução de

resistências variáveis para o efeito. Apresentando níveis de ineficiência muito grandes, resultado da dissipação de energia na própria resistência sobe a forma de calor. A utilização de auto-transformadores apresenta melhores índices de eficiência, no entanto o peso destes desencoraja a sua utilização. Actualmente são utilizados dispositivos electrónicos de comutação com elevados níveis de eficiência, utilizando transístores, tiristores, etc. No entanto estes geram ruído magnético e distorção harmónica afectando a qualidade de energia da rede eléctrica. A implementação de andares de filtragem neste tipo de equipamento electrónico, permite diminuir os efeitos sobre a rede.

#### 5.9.1.2 Controlador para lâmpadas fluorescentes

Na generalidade, os balastros aplicados às lâmpadas fluorescentes permitem variações de fluxo entre os 10 a 20 % da potência máxima de saída. Equipamentos mais dispendiosos permitem variações de fluxo inferior a 1% da potência total luminosa, sem produzir cintilação. [38]

Existem vários tipos de balastros no mercado. Estes diferenciam-se relativamente ao método de controlo utilizado, podendo ser um de três tipos: controlo de fase, pulso por modulação (PWM) e controlador de baixa tensão. O controlo PWM, tecnologicamente mais recente e mais utilizado [11], produz um sinal de controlo com onda quadrada de alta frequência, permitindo diminuir o fluxo até 10% do fluxo total. A sua principal vantagem reside na quantidade de balastros que consegue controlar simultaneamente.

A variação do fluxo luminoso está igualmente dependente do tipo de tecnologia utilizada nas lâmpadas fluorescentes, apresentando, por exemplo, as de cátodo “quente” limitações relativamente aos níveis mínimos de fluxo possível. [20]

Empresas como a “*Universal Lighting Technologies*” oferecem 3 gamas de balastros. Os convencionais, os quais permitem um ajuste de 100% e 50% ou 100%, 60% e 30%, da potência máxima luminosa da lâmpada, balastros com variação analógica de 0 a 10V, e balastros com sistema *Digital Addressable Lighting Interface (DALI)*, para controlo digital.

Genericamente, a utilização de balastros electrónicos, possui ainda outras vantagens, como a elevada eficiência, perdas reduzidas, elevado controlo do fluxo luminoso, elevado factor de potência, incremento do tempo de vida útil das lâmpadas e imunidade à variação da tensão de rede [37].

### 5.9.1.3 Controlo das lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID)

As lâmpadas de descarga podem ser controladas utilizando equipamento semelhante às lâmpadas fluorescentes. Apresentam no entanto algumas limitação relativos à sua aplicação, como é exemplo o elevado tempo de aquecimento, o longo período entre reacendimentos e o desfasamento da cor.

O controlo do tipo liga/desliga, é o mais utilizado, particularmente em locais onde os períodos de funcionamento (iluminação ligada, desligada) são longos. É exemplo os sistema da iluminação pública, onde a comutação ocorre apenas duas vezes por dia.

O mercado oferece também balastros multi-nível, os quais variam o fluxo luminoso da fonte de luz por níveis. No entanto o desfasamento da cor limita a sua aplicação [11]. A EDP partilhou algumas das conclusão relativas à utilização destes, na sua apresentação intitulada “EDP- Novas tecnologias na iluminação pública”, como um meio para reduzir consumos na ordem dos 30%. Aos balastros electrónicos de duplo nível apresentados (figura 24), identificou pontos fracos e pontos fortes. O preço de instalação, a temperatura de funcionamento da luminária, a incerteza da fiabilidade/durabilidade do equipamento electrónico quando este é exposto à intempérie, são os pontos fracos apontados.



Figura 23 - Balastro electrónico de duplo nível.

Inversamente, apresenta um baixo consumo, absorve variações da tensão da rede (entre 190V e 253V), aumenta a vida útil da lâmpada, permite a redução da potência em 40%, aumenta o factor de potência e substitui o arrancador e condensador.

Como observado na figura 26, dados da empresa “*Holophane*”, depois de 16000 horas de funcionamento, as lâmpadas HID quando utilizam balastros electrónicos apresentam uma redução de apenas 10% no fluxo luminoso típico, contra os 30% quando os balastros são magnéticos. [39]

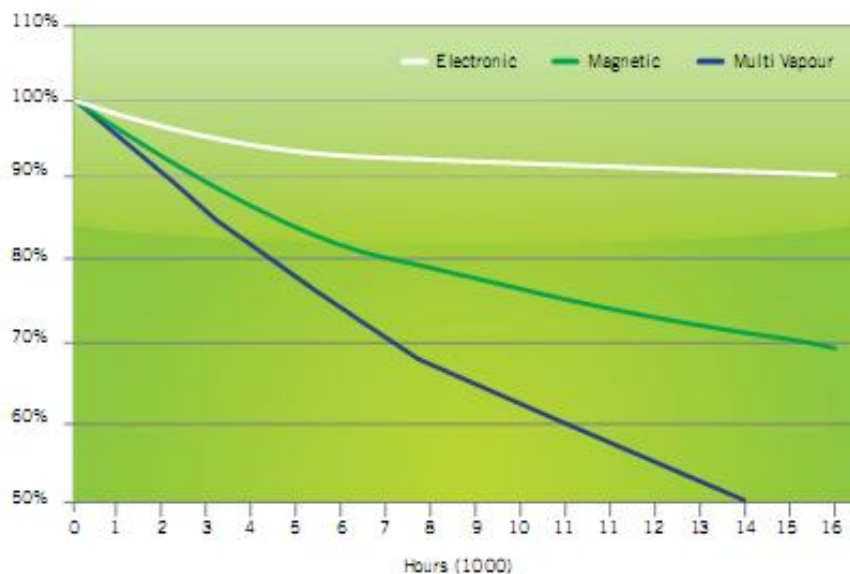


Figura 24- Manutenção do fluxo luminoso ao longo do tempo para lâmpadas HID, em função do tipo de balastro

Apesar de evidentes as vantagens decorrentes da utilização de balastros electrónicos em detrimento dos analógicos, o custo é ainda hoje um factor preponderante na escolha final do equipamento.

## 5.10 Limitações na utilização dos sistemas de controlo

A poupança obtida, decorrente da utilização de equipamentos e soluções energeticamente mais eficientes, pode ser beneficiada pela implementação de projectos de controlo sobre a iluminação existente. Actualmente, o baixo custo dos semicondutores, respectiva capacidade de cálculo e custos de desenvolvimento controlados, torna previsível a curto prazo uma maior integração nos sistemas de iluminação. Como tal, os equipamentos e soluções comerciais apresentados ao longo deste capítulo são muitas e variadas, tendo como objectivo comum garantir a existência de luz artificial apenas na presença de seres humanos ou veículos, ou seja apenas quando esta é necessária. Esta integração tecnológica possibilita a interacção do estado da luminária com o contexto instantâneo da sua envolvente. Os ganhos energéticos decorrentes desta solução permitem contributos significativos para a eficiência total do sistema.

Apesar deste tipo de solução apresentar vantagens evidentes, a sua aplicação está comprometida pela inexistência de documentação jurídica que a suporte.

A garantia dos níveis de iluminação mínimos com vista à salvaguarda do cidadão é da responsabilidade das entidades públicas, gestoras dos espaços. Os níveis de iluminação, na ausência de legislação nacional, são regidos por normas Europeias ou por documentação emanada por outras entidades reconhecidas como é o caso do CIE. A legislação ou normas actuais não contemplam cenários nos quais é permissível a redução da iluminação para níveis inferiores aos legais, mesmo decorrendo da ausência do objecto a iluminar. Esta situação levanta questões do foro jurídico. A instalação ou criação de condições de iluminação deficientes têm consequências, as quais em última análise resultam na responsabilização das entidades responsáveis pela falta de zelo no serviço ao cidadão.

Nesta situação, quase toda a capacidade, resultado da interacção e integração dos sistemas de controlo com vista à redução do fluxo luminoso ou mesmo a sua ausência, não resulta em vantagens significativas da sua aplicação. Resta assim ao projectista, mesmo que integrando sistemas de controlo, utilizar as suas vantagens, estando sempre restringido pelos níveis de iluminação mínimos definidos pelas normas.





## **6. Caso de estudo**

### **6.1 Infra-estrutura eléctrica do iParque**

O empreendimento iParque, o qual se encontra na primeira de 2 fases de construção, alberga infra-estruturas básicas, as quais servem de suporte para dois tipos de edifícios com objectivos distintos. Edifícios empresariais, para os quais serão construídas as infra-estruturas na 1ª e 2ª fase, e edifícios destinados a habitação, para os quais as infra-estruturas serão apenas criadas na 2ª fase.

As infra-estruturas relativas ao fornecimento de energia eléctricas são uma das infra-estruturas básicas implementadas. Estas podem ser classificadas em 3 grandes grupos; rede de energia eléctrica em alta tensão, a qual já se encontra totalmente implementada, rede de energia eléctrica em média tensão e rede de energia eléctrica em baixa tensão, as quais se encontram parcialmente implementadas.

O projecto do iParque caracteriza-se pela divisão da área total em grandes lotes, e subdivisão destes em pequenos lotes. A cada um deles é fornecida energia eléctrica em função das suas características, podendo estes ser alimentados pela rede de média tensão (MT) ou baixa tensão (BT).

#### **6.1.1 Infra-estruturas eléctricas de alta e média tensão**

O abastecimento eléctrico do empreendimento é garantido por intermédio de uma Subestação (SE) 60/15kV, equipada com um transformador de 20 MVA. Esta SE está inserida no anel de distribuição da empresa EDP - Distribuição, SA, constituída por uma dupla linha eléctrica aérea de 60 kV.

As infra-estruturas eléctricas internas ao empreendimento são constituídas por uma rede subterrânea de média tensão a 15 kV, com postos de seccionamento (PS) de 15 kV e postos de transformação e distribuição (PTD) 0,4 kV, rede de telecomando do PS/PTD, rede de distribuição em baixa tensão e rede de iluminação pública.

De acordo com a potência total prevista para as duas fases foram dimensionadas três saídas a 15 kV da SE, constituídas por cabos do tipo LXHIOV de 240 mm<sup>2</sup> (8,7/15kV), tendo sido prevista uma potência individual de cada uma, não superior a 5 MVA.

Garantindo a qualidade de serviço (QS) no empreendimento, o projecto foi elaborado para que a cada uma das saídas previstas não estivesse associado uma potência superior a 5 MVA. No entanto cada saída está projectada para uma potência de 10 MVA, com o intuito de, em caso de necessidade, se proceder à transferência total de cargas, entre saídas. Para tanto foi também previsto no PS/PTD a transição entre duas saídas distintas, o equipamento de telecomando e celas motorizadas.

### **6.1.2 Postos de transformação (PTD) e posto de seccionamento (PS)**

Os PTD estão equipados com transformadores de potência trifásicos, com uma potência nominal de 400 KVA e 630 KVA/15 kV, 50 Hz obedecendo às especificações da norma EDP/DMAC52125/N. Estes são protegidos contra curto-circuitos por meio de grupos tripolares de fusíveis do tipo “apc”, de acordo com a norma DIN 43 625.

A protecção dos transformadores de potência é feita através de relés térmicos indirectos, montados nos quadros gerais de baixa tensão (QGBT), ligados aos transformadores de intensidade (TI), os quais possuem uma relação 1000/5A, e comandam a bobina de disparo.

O posto de transformação e seccionamento possui celas de corte e protecção, modulares em SF6 e preparadas para ligação por terminais.

O circuito da terra de protecção no interior dos PTS é executado em vareta de cobre nu de 16mm<sup>2</sup> de secção, pintada a preto até ao borne do terminal amovível, e em cobre nu de 35 mm<sup>2</sup> de secção, até ao eléctrodo de terra.

A terra de serviço é constituída por condutor monopolar do tipo VV com secção de 35 mm<sup>2</sup>, bainha azul, o qual está ligado ao barrento do neutro de distribuição até ao eléctrodo da terra de serviço.

Os eléctrodos de terra utilizados são do tipo “*Copperweld*” com 2 m de comprimento, 0,15 cm de diâmetro e espessura de cobre não inferior a 0,75 mm.

### **6.1.3 Infra-estruturas eléctricas de BT**

Para os lotes com área igual ou inferior a 6 000 m<sup>2</sup> foi prevista a alimentação de energia eléctrica em baixa tensão a partir do PTD, podendo em cada um deles e de acordo com

estudos técnico-económicos, ser construído um posto de transformação do cliente (PTC) anexo a um PS. Nos lotes com área superior a 6 000 m<sup>2</sup> foi previsto, e apenas na 1ª fase, a construção de um PS, o qual no futuro alimentará um PTC. Foi ainda prevista a possibilidade da construção de um PTD, caso estes lotes sejam objecto de subdivisão em lotes mais pequenos, os quais possuirão uma área mínima de 1 000 m<sup>2</sup>, equivalendo a uma potência de 70KVA de acordo com os pressupostos iniciais do projecto. A rede de BT, projectada com base nas especificações destes lotes é constituída por cabos do tipo LVAV 3x185+95 mm<sup>2</sup>, os quais são protegidos por fusíveis APC tamanho II, com calibre para 315 A e situados nas saídas do QGBT.

A inexistência da divisão em lotes pequenos (uma área mínima de 1 000 m<sup>2</sup>), não permitirá a utilização da rede de BT. Alternativamente, serão montados a partir dos PTD, circuitos directos para cada um dos lotes (inferiores a 6000 m<sup>2</sup>), utilizando-se cabos do tipo LSVV 1x380 mm<sup>2</sup>.

Na eventualidade dos lotes com áreas superiores a 6 000 m<sup>2</sup>, para os quais não foram previstos PTD, nem as correspondentes redes de BT, sofrerem operações de subdivisão, a rede de BT de distribuição pública a eles inerente será circunscrita ao lote respectivo e prevista para cada caso.

O QGBT utilizado é do tipo “CA2”, seccionado com interruptor tetrapolar de 1000 A, e dotado de interruptor astronómico para comando da IP.

#### **6.1.4 Comando da IP**

A comutação binária dos circuitos da IP pública é realizada por contactores, caracterizados por uma  $I_n=40A$ , os quais são accionados por meio de interruptor horário digital astronómico, no qual é possível efectuar correcções horárias (até 90 minutos) e cortes nocturnos alternados

#### **6.1.5 Colunas e Luminárias**

A rede de iluminação pública é constituída por colunas metálicas, tronco-piramidais octogonais, com fixação por enterramento cumprindo as características técnicas prescritas pela DMA-C71-510/E.

Possuem alturas úteis de 10 e 12 metros, com braço de 1,25m de comprimento e inclinação de 15°, sendo equipadas com luminária IVH-6 da *Indalux* com lâmpada tubular de vapor de sódio de alta pressão (1x250 W).

Foram ainda instaladas nas zona pedonal, colunas com 4 metros, sem braço, equipada com luminária IJX – 1P1LALM da *Indalux*, com lâmpada tubular de vapor de sódio de alta pressão (1x100W), globo em policarbonato opalino com diâmetro de 450mm e reflector interior.

### 6.1.6 Classificação das Vias

As vias rodoviárias no iParque (figura 26) são classificadas em função do tipo de utilização, em: vias de circulação rodoviária (evidenciadas a cor de laranja), as quais incluem os estacionamento ao longo das mesmas; passeios que acompanham as vias (evidenciadas a cor azul claro); parques de estacionamento (evidenciados por linhas violeta); zonas de conflito (rotundas, cruzamentos) (evidenciadas a cor vermelha); e zonas pedonais (evidenciadas a cor azul-escuro).

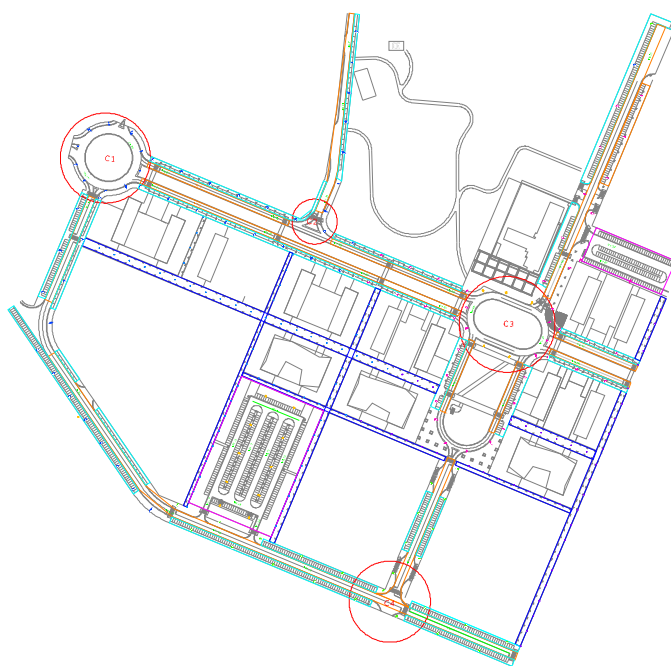


Figura 25- Identificação das zonas de estudo no iParque (nota: Planta à escala em anexo.)

O tipo de utilização das vias é um dos factores definidos na EN 13201 relativos à sua classificação. Variáveis como a velocidade de circulação, iluminação envolvente, entre outras, permitem enquadrar as vias de circulação num dos grupos propostos pela norma.

A tabela 7 apresenta as características das vias, nomeadamente o nome, características da mesma, como é exemplo a largura, comprimento, topologia da instalação das colunas (unilateralmente do lado direito (UD), unilateralmente do lado esquerdo (UE), bilateralmente frente a frente (BFF), bilateralmente intercaladas (BI), não uniformizadas (NU) ou centralizadas (C), existência ou não de estacionamento e passeios em cada um dos lados com as respectivas larguras, distância das colunas à estrada e entre elas, e altura das mesmas.

São também apresentadas as classes estabelecidas pela EN 13201, nas quais se enquadra cada uma das situações. A primeira classe, recorrendo à informação do utilizador da via, procura apurar as exigências fotométricas básicas para o planeamento da iluminação da rua. A segunda, através da recolha de mais alguns parâmetros característicos da via, permite classificar o campo de avaliação, permitindo assim determinar as exigências fotométricas específicas.

Devido à semelhança entre algumas vias, cada via foi enumerada com uma topologia de estudo, a qual serve de base à análise realizada no software *Dialux*.

De acordo com informações recolhidas, quer no site do software *Dialux*, quer em vários fóruns da especialidade, o software apenas permite avaliar no modo “automático” a iluminância apenas num dos sentidos de circulação (da direita para a esquerda). A existência de vias com luminárias instaladas unilateralmente cria situações distintas para os utilizadores da via. Os que se deslocam num sentido possuem ângulos de reflexão diferentes dos que se deslocam no sentido inverso. Partindo desta premissa foi realizado o estudo inverso para as vias que se encontravam nesta situação, estando igualmente este ponto referenciado na tabela seguinte.

Tabela 7 - Caracterização das vias rodoviárias

| Numero da Via | Largura da via [m] | Comprimento [m] | Topologia da instalação | Estacionamento lado direito [m] | Passeio lado direito [m] | Distancia columnas à estrada | Estacionamento lado esquerdo | Passeio lado esquerdo | Distancia columnas à estrada | Distância entre columnas | Altura das columnas | Classificação Fotométrica Base | Classificação Fotométrica Específica | Topologia de estudo | Cálculo da Inversa |
|---------------|--------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------|
| 1             | 6,5                | 215             | UD                      | 2,5                             | 3                        | 3,25                         | -                            | -                     | -                            | 33                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | A                   | sim                |
| 2             | 7                  | 163             | UD                      | 2,5                             | 3                        | 3,5                          | -                            | -                     | -                            | 33                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | B                   | Não                |
| 3             | 7                  | 156             | UD                      | 2,5                             | 3                        | 3,5                          | -                            | -                     | -                            | 33                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | B                   | Não                |
| 4             | 7                  | 367             | UD                      | 2,5                             | 3                        | 3,5                          | -                            | -                     | -                            | 33                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | B                   | Não                |
| 5             | 9                  | Oval            | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 10 e 12             | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 6             | 9                  | 117             | BI                      | 5                               | 2                        | 5,75                         | 5                            | 2                     | 5,75                         | 47,5                     | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | C                   | Não                |
| 7             | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 8             | 7                  | 93              | UD                      | 2,5                             | 3                        | 3,5                          | -                            | -                     | -                            | 33                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | B                   | Não                |
| 9             | 7                  | 93              | UD                      | 2,5                             | 3                        | 3,5                          | -                            | -                     | -                            | 33                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | B                   | Não                |
| 10            | 9                  | 83              | UD                      | 5                               | 5                        | 6,75                         | -                            | -                     | -                            | 30                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | D                   | Não                |
| 11            | 9                  | 83              | UD                      | 5                               | 5                        | 6,75                         | -                            | -                     | -                            | 30                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | D                   | Não                |
| 12            | 9                  | 158             | BI                      | 5                               | 2                        | 5,75                         | 5                            | 2                     | 5,75                         | 35                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | E                   | Não                |
| 13            | 9                  | 125             | BI                      | 5                               | 2                        | 5,75                         | 5                            | 2                     | 5,75                         | 47,5                     | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | F                   | Não                |
| 14            | 9                  | 179             | BI                      | 5                               | 2                        | 5,75                         | 5                            | 2                     | 5,75                         | 47,5                     | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | F                   | Não                |
| 15            | 9                  | 57              | BI                      | 0                               | 0                        | 5,75                         | 5                            | 2                     | 5,75                         | 47,5                     | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | F                   | Não                |
| 16            | 9                  | 64              | BI                      | 0                               | 7                        | 5,75                         | 0                            | 7                     | 5,75                         | 47,5                     | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | F                   | Não                |
| 17            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 18            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 19            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 20            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 21            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 22            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 23            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 24            | -                  | -               | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 12                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 25            | 9                  | 174             | UD                      | 5                               | 2                        | 5,75                         | 2,5                          | 3                     | -                            | 30                       | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | G                   | Sim                |
| 26            | 9                  | 120             | BI                      | 2,5                             | 3                        | 3,5                          | 5                            | 2                     | 5,75                         | 47,5                     | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | H                   | Sim                |
| 27            | 9                  | Circ R=25       | NU                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | 10                  | -                              | -                                    | -                   | -                  |
| 28            | 9                  | 195             | BI                      | 5                               | 5                        | 5,75                         | 5                            | 5                     | 5,75                         | 47,5                     | 10                  | B2                             | ME3C (3)                             | C                   | Não                |
| 29            | 10                 | Variado         | CC                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | -                   | -                              | -                                    | I                   | -                  |
| 30            | 10                 | Variado         | UD                      | -                               | -                        | -                            | -                            | -                     | -                            | -                        | -                   | -                              | -                                    | J                   | -                  |

## 6.2 Resultados Fotométricos

O iParque é constituído por um conjunto de infra-estruturas recentes pelo que apresenta toda a sua rede de distribuição eléctrica e iluminação pública em óptimas condições de utilização. Neste contexto, e apontando-se como improvável a reutilização em outros locais da maioria dos equipamentos já utilizados (luminárias), ou em alternativa o seu arquivamento em armazém com provável depreciação, é considerada linha orientadora para os cenários a simular, a redução das potências luminosas mantendo a topologia e tecnologia já existente.

Posteriormente são realizadas simulações com outras tecnologias, com particular ênfase aos sistemas que utilizam lâmpadas tipo led. Esta componente apenas foi possível graças à colaboração de empresas da área da iluminação, uma vez que os dados fotométricos das luminárias não estão disponíveis ao projectista independente.

Deste modo, o procedimento é iniciado com a verificação da actual instalação, particularmente no que concerne aos seus requisitos luminotécnicos<sup>6</sup> definidos em norma. O cumprimento destes valores obriga a novas avaliações, tendo por base a diminuição ou aumento da variável “factor de manutenção”. O cumprimento dos valores normalizado para um “factor de manutenção” igual ou maior que 0,60 resulta em novas simulações com potências luminosas cada vez menores.

### Topologia A

As ruas, caracterizadas pela topologia A, cumprem os requisitos luminotécnicos considerando um factor de manutenção mínimo de 0,5. Seguindo a metodologia traçada, equacionou-se a diminuição do fluxo luminoso da luminária. Uma vez que a *indalux* para a gama IVH6 não apresenta luminárias com lâmpadas instaladas de potência inferior a 250 W, optou-se pela utilização de uma luminária da mesma família, IVH1, a qual utiliza lâmpada de

---

<sup>6</sup> Os parâmetros utilizados podem ser observados no ficheiro de simulação, o qual acompanha o relatório em formato digital.

vapor de sódio de alta pressão com 150 W. Da análise desta configuração, concluiu-se que esta não cumpre os requisitos, aproximando-se no entanto muito dos mesmos.

Esta aproximação quase tangencial, a qual pode ser observada no ficheiro de simulação, equacionou outra hipótese: considerando que instalações de iluminação emitindo espectros mais brancos conseguem, com menor potência luminosa instalada manter os níveis de percepção do olho humano, “visão mesópica”, foi simulado o mesmo cenário, utilizando luminárias IVH1 com lâmpadas de iodetos metálicos. Apesar de não existirem normas, que permitam avaliar os resultados, é aceite por alguns autores [29] uma redução dos níveis de luminância de  $0,3 \text{ cd/m}^2$ . Os valores obtidos permitem a adopção deste tipo de solução considerando factores de manutenção de pelo menos 90%. Deve, no entanto, ser salientado que apesar de já existirem estudos de suporte no meio académico, esta situação não é contemplada por qualquer norma.

### **Topologia B**

Os resultados para esta topologia apresentaram as mesmas tendências encontradas na topologia A. As luminárias IVH6 com lâmpadas instaladas de vapor de sódio de alta pressão e 250W, são as únicas que cumprem os valores pré-estabelecidos. Também neste cenário, devido à proximidade dos resultados luminotécnicos relativamente aos normalizados resultado da simulação utilizando luminárias IVH1 com lâmpadas instaladas de vapor de sódio de alta pressão e 150 W, foi realizada nova simulação utilizando lâmpadas de iodetos metálicos, com 150 W.

À semelhança do resultado obtido na tipologia anterior, esta última simulação cumpre os requisitos, desde que cumpra um factor de manutenção de 0,95.

### **Topologia C**

As ruas caracterizadas com a topologia C, cumprem os requisitos luminotécnicos quer na utilização das actuais luminárias, quer pela utilização de luminárias tipo IVH1 com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 150 W, desde que cumpra um factor de manutenção de 0,95.



## **Topologia D**

Para as ruas caracterizadas por esta topologia, tendo em conta o actual equipamento instalado, não existe cumprimento dos requisitos luminotécnicos, mais concretamente na avaliação do passeio quer acompanha a via rodoviária, mesmo quando considerado um factor de manutenção unitário.

Após alteração de algumas variáveis, como a distância da luminária à estrada, alteração da inclinação e variação do factor de manutenção, duas soluções são compatíveis com os valores normalizados. A primeira passa pela recolocação das colunas de suporte das luminárias dos 6,75 metros para os 9,5 metros, que não é uma escolha adequada devido aos custos inerentes.

A segunda alternativa passa pela alteração da inclinação do braço da luminária dos 15° para os 10°, permitindo assim o cumprimento dos valores luminotécnicos legais, considerando um factor de manutenção igual ou superior a 0,6.

## **Topologia Tipo E**

A via caracterizada com esta topologia e na actual situação garante os níveis luminotécnicos desde que cumpra um factor de manutenção de 0,5. A utilização de luminárias tipo IVH1 com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão com 150W ou de iodetos metálicos com a mesma potência, cumprem igualmente as normas, desde que mantenham um factor de manutenção superior a 0,7 e 0,9 respectivamente.

## **Topologia F**

A via caracterizada com esta topologia e na actual situação cumpre os requisitos luminotécnicos, desde que mantenha um factor de manutenção superior aos 0,7. O mesmo comportamento se obtém pela utilização das luminárias tipo IVH1 com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão com 150W, desde que o seu factor de manutenção seja igual ou superior a 0,95.

## Topologia G

A rua com esta topologia, cumpre os requisitos mantendo as luminárias e lâmpadas originais, desde que cumpra um factor de manutenção igual ou superior a 0,6. A redução desta potência para o mesmo tipo de lâmpada não cumpre os valores normalizados.

## Topologia H

A rua caracterizada com esta topologia, cumpre os valores normalizados quer utilizando as luminárias actuais, quer utilizando as luminárias do tipo IVH1 com lâmpada de vapor de sódio de alta pressão com 150W, desde que mantenha um factor de manutenção superior a 0,9.

### 6.3 Cruzamentos, intersecções e rotundas

A avaliação dos cruzamentos e intercepções passou pela modelação tridimensional do iParque, tal com se mostra na figura 27. A adopção desta abordagem é reflexo da existência de zonas (cruzamento, intercepções, rotundas), que não possuem padrões na instalação das luminárias. Um dos exemplos desta situação é a zona circular na zona da praça, na qual foram instaladas luminárias com o objectivo de servir a via rodoviária e os passeios e zonas envolventes. As várias zonas de conflito são identificadas na figura 28 e na tabela 8.

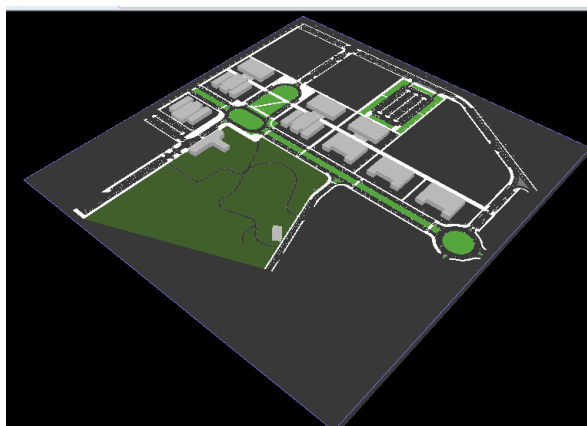


Figura 26 - Modelo tridimensional do iParque

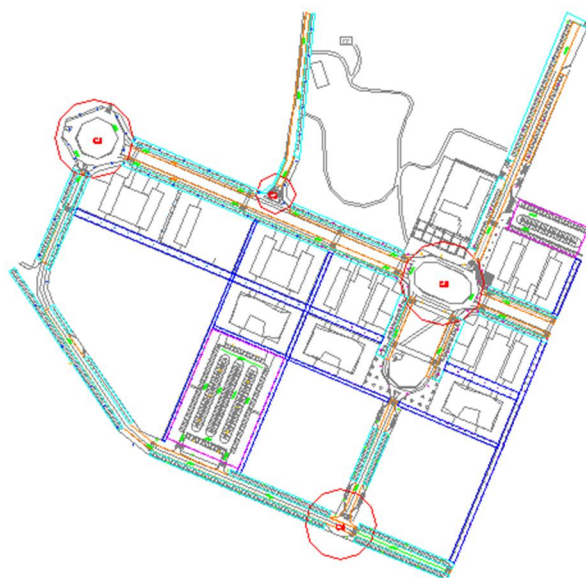


Figura 27 - Identificação das zonas de conflito.

Tabela 8 – Identificação das zonas de conflito

| Áreas de Conflito | Tipo de Zona de conflito | Num. Luminárias | Tipo | Potencia [W] | Altura da coluna [m] |
|-------------------|--------------------------|-----------------|------|--------------|----------------------|
| <b>C1</b>         | Rotunda Pequena          | 11              | IVH6 | 250          | 10                   |
| <b>C2</b>         | Cruzamento               | 3               | IVH6 | 250          | 10                   |
| <b>C3</b>         | Rotunda Grande           | 6               | IVH6 | 250          | 10                   |
| <b>C3</b>         | Rotunda Grande           | 10              | IVH6 | 250          | 12                   |
| <b>C4</b>         | Cruzamento               | 3               | IVH6 | 250          | 10                   |

Para os cruzamentos foram adoptados os níveis de luminância referentes à classificação superior (ME2) às vias adjacentes, EN-13201-1. Esta escolha resulta da necessidade da identificação clara destas zonas por parte dos transeuntes.

Fica a ressalva da existência de recomendações emitidas pelo ISENA, RP-8-00, tabela 10, a qual observa valores mínimos de iluminância para intercessões. No caso concreto em análise, todas as intercessões são classificadas como locais ou colectoras locais.

Tabela 9 - Valores relativos à classe ME3b

| Classe | L in cd/m2 [mínimo] | Uo [mínimo] | UI [mínimo] | TI in % [máximo] | SR [mínimo] |
|--------|---------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|
| ME2    | 1,5                 | 0,4         | 0,7         | 10               | 0,5         |

Tabela 10- Valores de iluminância recomendados para intersecções rodoviárias (ANSI/IESNA RP-8-00)

| Average Maintained Illuminance by Pedestrian Conflict Area - lux (fc) |            |            |            |                   |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------------------|
|                                                                       | High       | Medium     | Low        | $E_{avg}/E_{min}$ |
| <b>Major / Major</b>                                                  | 34.0 (3.4) | 26.0 (2.6) | 18.0 (1.8) | 3.0               |
| <b>Major / Collector</b>                                              | 29.0 (2.9) | 22.0 (2.2) | 15.0 (1.5) | 3.0               |
| <b>Major / Local</b>                                                  | 26.0 (2.6) | 20.0 (2.0) | 13.0 (1.3) | 3.0               |
| <b>Collector / Collector</b>                                          | 24.0 (2.4) | 18.0 (1.8) | 12.0 (1.2) | 4.0               |
| <b>Collector / Local</b>                                              | 21.0 (2.1) | 16.0 (1.6) | 10.0 (1.0) | 4.0               |
| <b>Local / Local</b>                                                  | 18.0 (1.8) | 14.0 (1.4) | 8.0 (0.8)  | 6.0               |

Os resultados apresentados nos seguintes subcapítulos, são apenas excertos dos estudos realizados, os quais podem ser analisados na sua totalidade no anexo

### 6.3.1 Rotunda 1

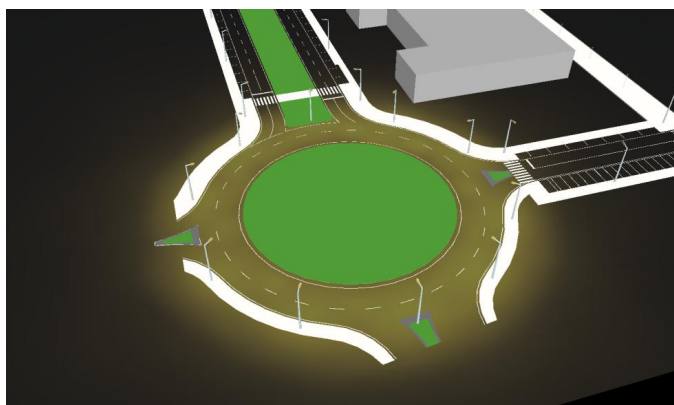


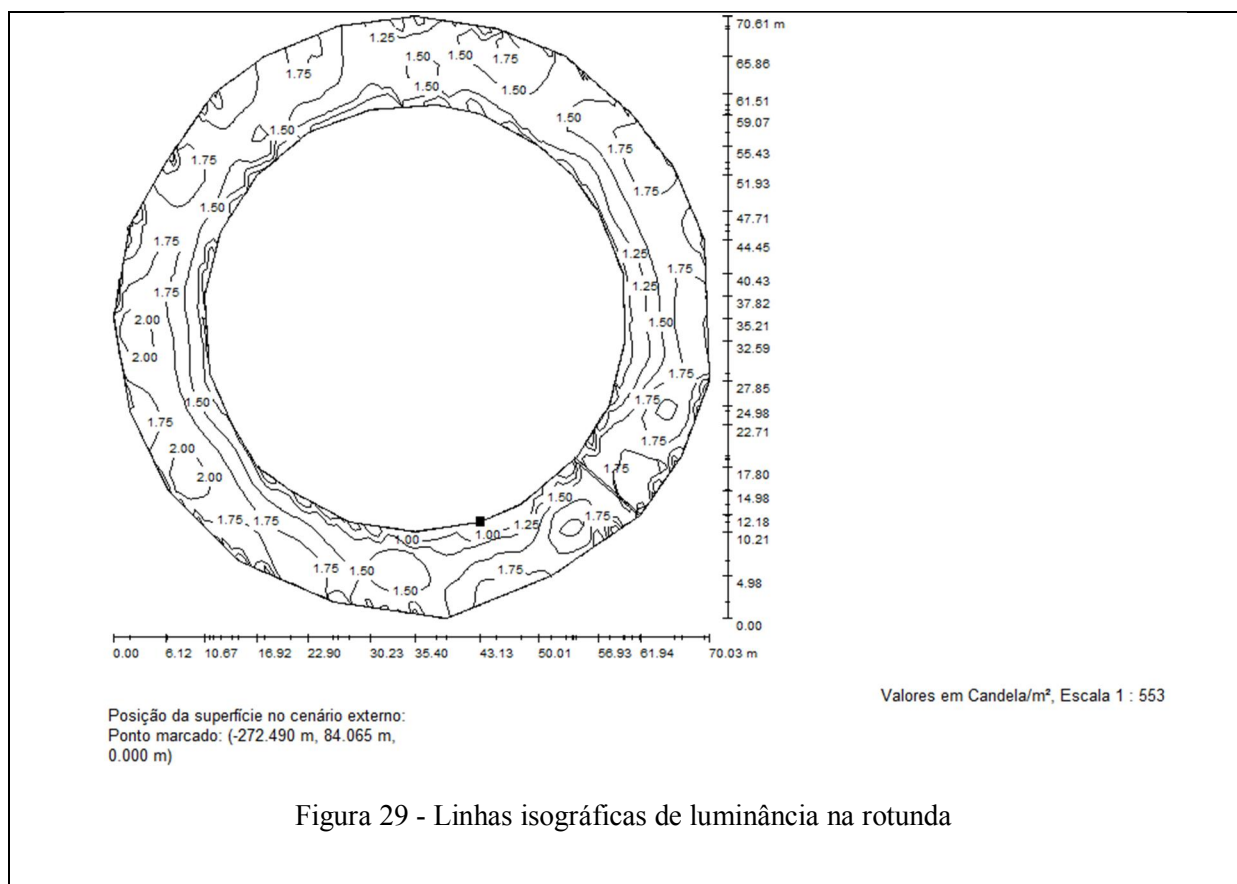
Figura 28 - Rotunda em análise

A análise luminotécnica das rotundas utiliza o método das iluminâncias, ou das luminâncias EN-13201, sendo o primeiro defendido por alguns autores [40]

Em função da classificação do tipo de intercepção, os valores das iluminâncias devem cumprir as recomendações definidas na norma ANSI/IESNA RP-8-00. A rotunda em análise (figura 29) classificada

de acordo com a ANSI/IESNA RP-8-00 como colectora local, possui iluminâncias superiores às mínimas, cumprindo igualmente um rácio da iluminância média e mínima inferior a 4.

De acordo com a EN-13201, a actual situação, possui valores de luminância mínimos para o cumprimento da classificação ME2. A redução da potência luminosa em 60% (equivalendo aproximadamente a uma lâmpada de 100 W) originou valores inferiores aos permitidos. Neste caso não existe lugar à redução de potência, permitindo o cenário actual evidenciar esta zona relativamente à sua envolvente.



### 6.3.2 Rotunda 2

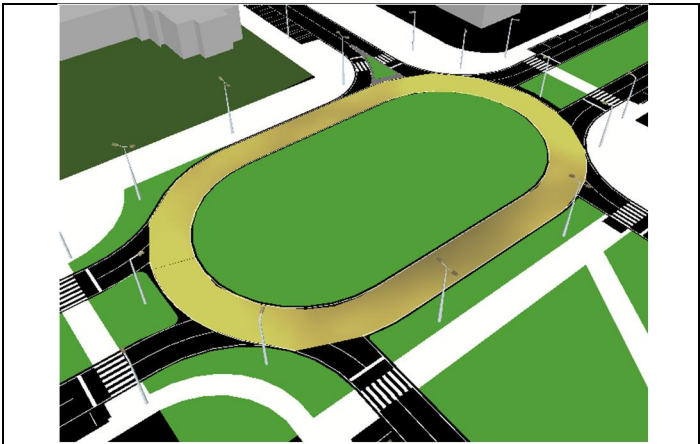


Figura 30 - Rotunda em análise

A rotunda 2, classificada como colectora local, visto ser uma zona central de passagem no interior do iParque, cumpre os valores mínimos de iluminância e luminância referentes à ANSI/IESNA RP-8-00 e EN-13201 respectivamente, podendo ser em estes últimos observados na figura 33. A redução da potência luminosa não permitiu alcançar resultados satisfatórios.

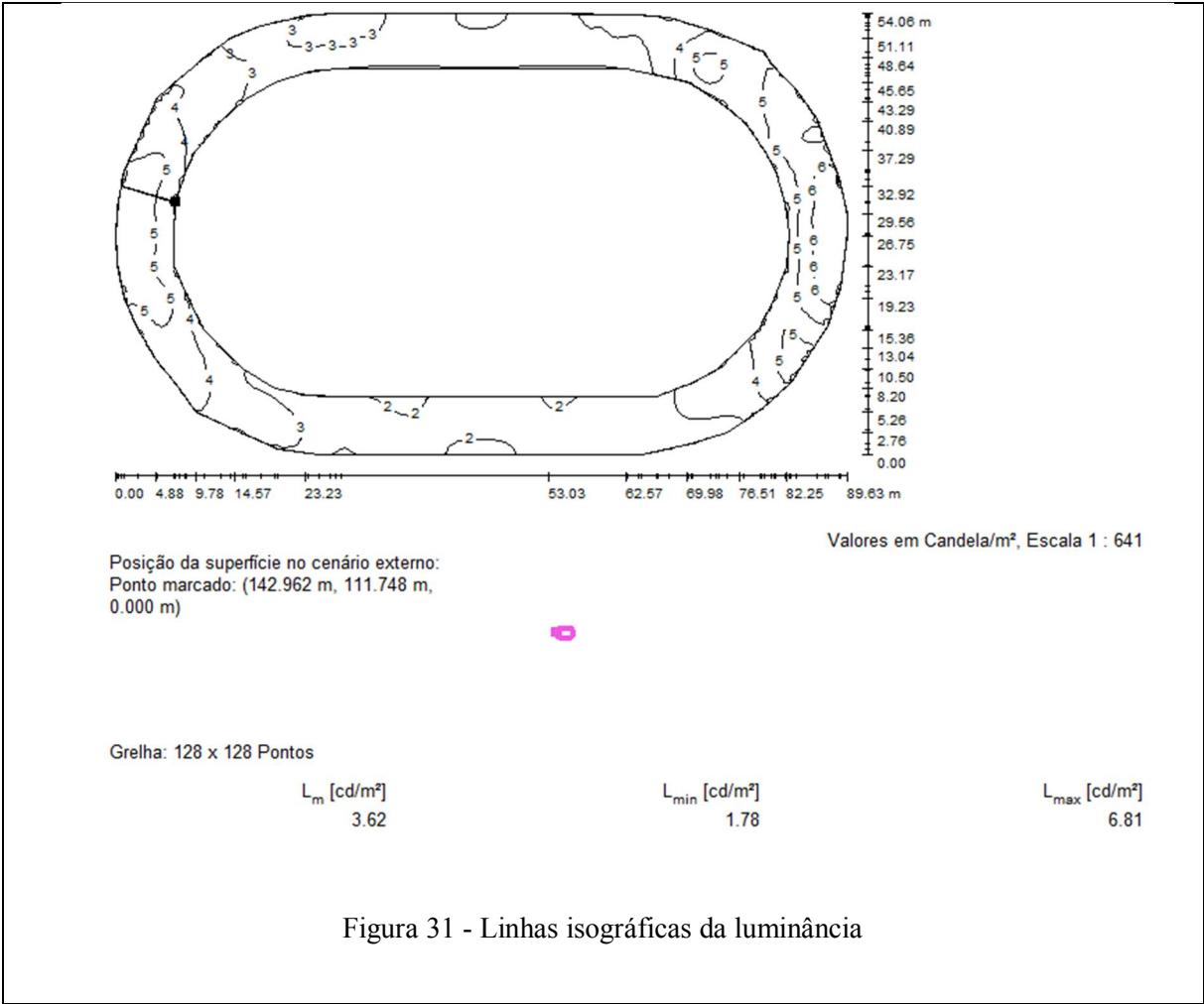


Figura 31 - Linhas isogrâficas da luminância

### 6.3.3 Cruzamento 1

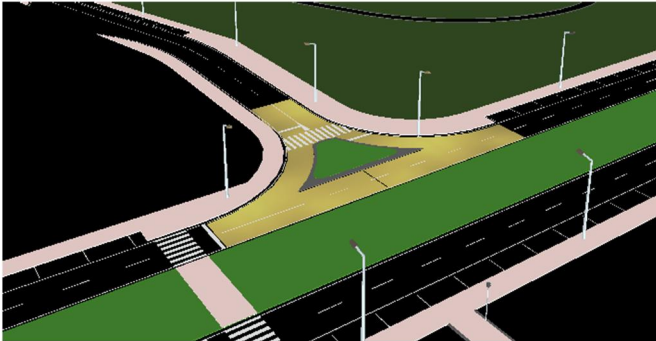


Figura 32 - Cruzamento 1 em análise

A análise ao presente cruzamento passou pela avaliação da luminância. Esta foi calculada de dois modos: de acordo com a norma EN 13201 (figura 34), e utilizando um campo de avaliação com pré-determinação da posição do observador relativamente ao campo. O observador está situado entre os 60 e os 80 metros, e possui sempre a orientação da sua linha de vista coincidente com a aproximação realizada

ao campo de avaliação. Foram ainda tidas em conta as recomendações da ANSI/IESNA RP-8-00. Os resultados obtidos mostram o cumprimento dos valores de luminância e iluminância de acordo com as normas, conforme observado nas figuras 35 e 36.

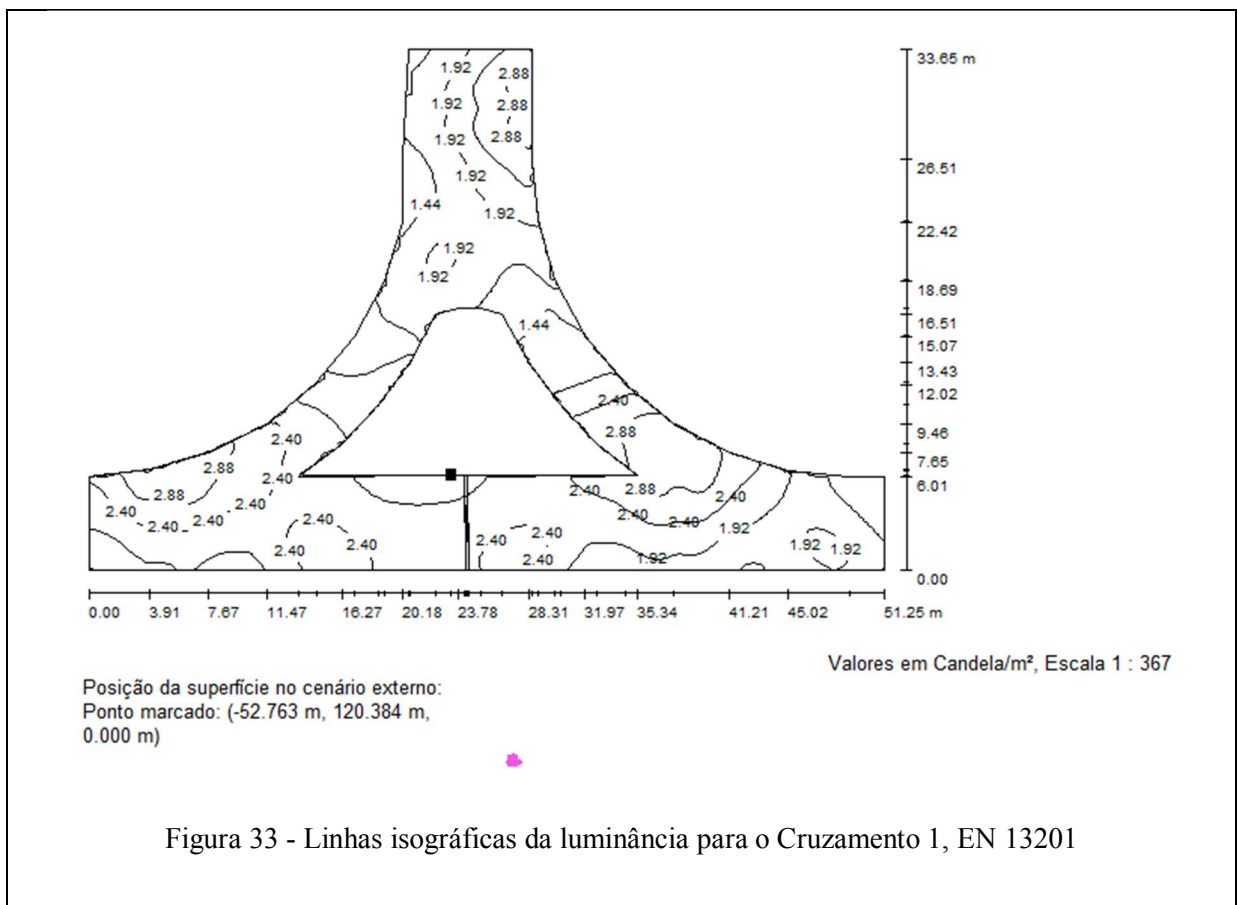
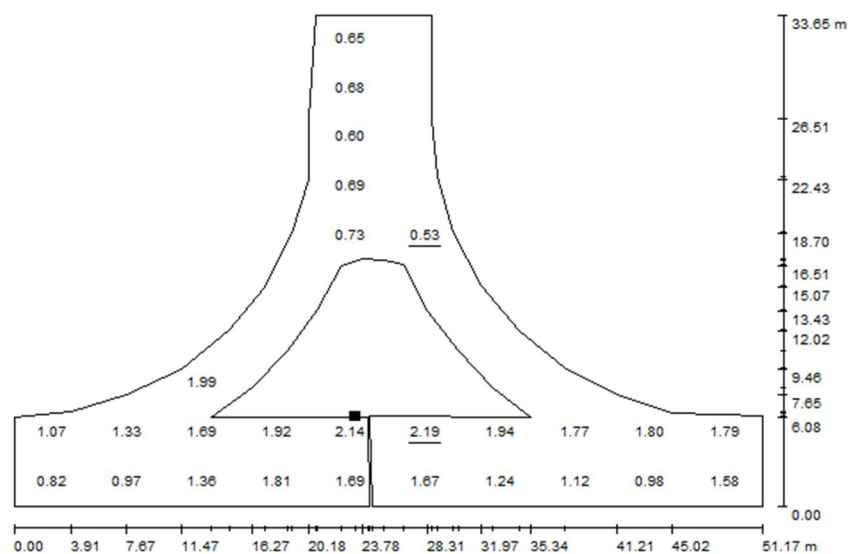


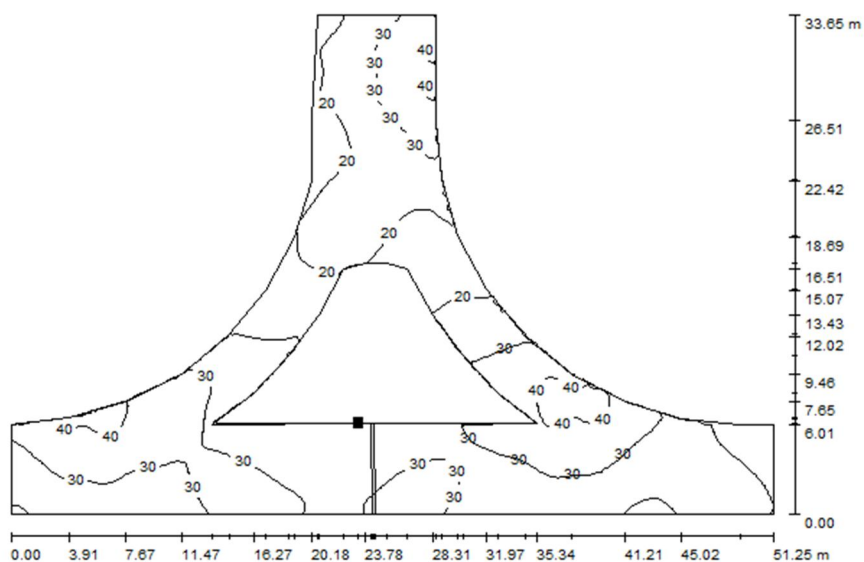
Figura 33 - Linhas isográficas da luminância para o Cruzamento 1, EN 13201



Nem todos os valores calculados podem ser representados.

Posição da superfície no cenário externo:  
Ponto marcado: (-52.763 m, 120.384 m,  
0.000 m)

Figura 34 - Valores de luminância para o Cruzamento 1, com observador do lado direito



Posição da superfície no cenário externo:  
Ponto marcado: (-52.763 m, 120.384 m,  
0.000 m)

Figura 35- Linhas isográficas da iluminância para o Cruzamento 1



### 6.3.4 Cruzamento 2

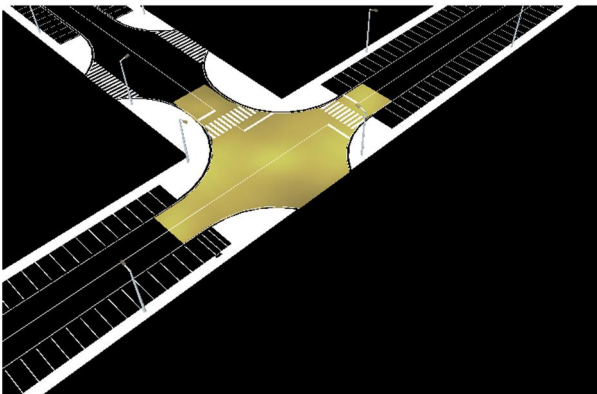


Figura 36 – Cruzamento 2 em análise

No cruzamento em estudo seguiu-se uma metodologia semelhante à análise do cruzamento 1. No entanto, devido à sua configuração característica (o cruzamento intersecta uma rua com duas vias passíveis de movimento em velocidade), obriga à análise do mesmo nos dois sentidos de circulação.

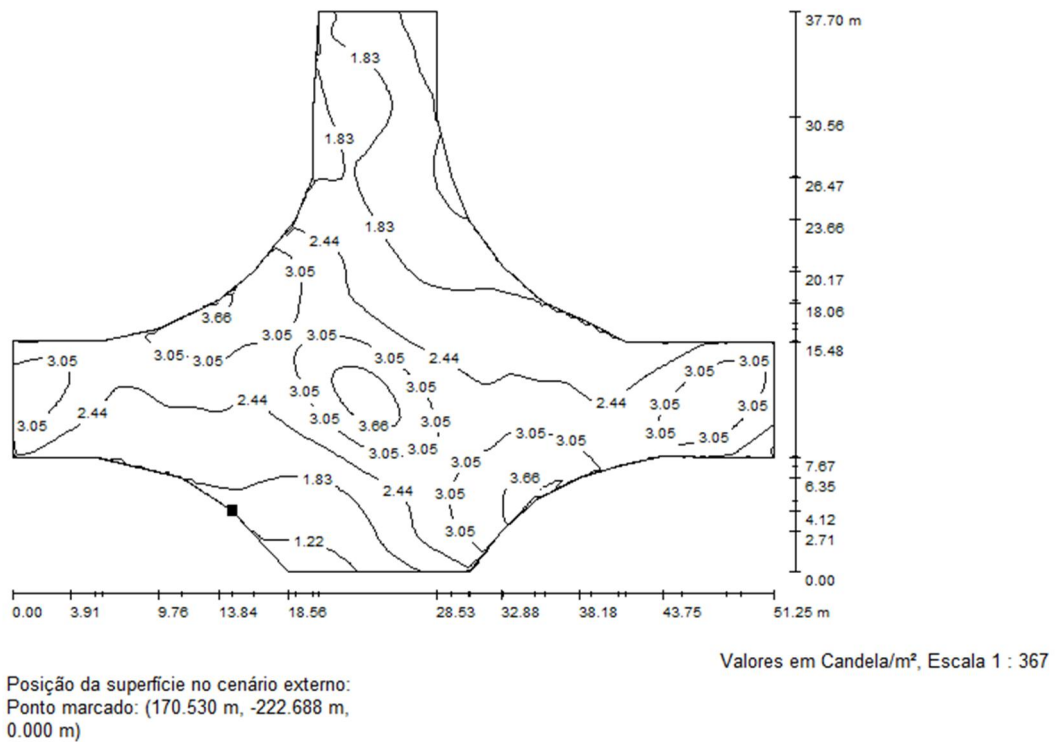


Figura 37 - Linhas isográficas da luminância para o Cruzamento 2, EN 13201

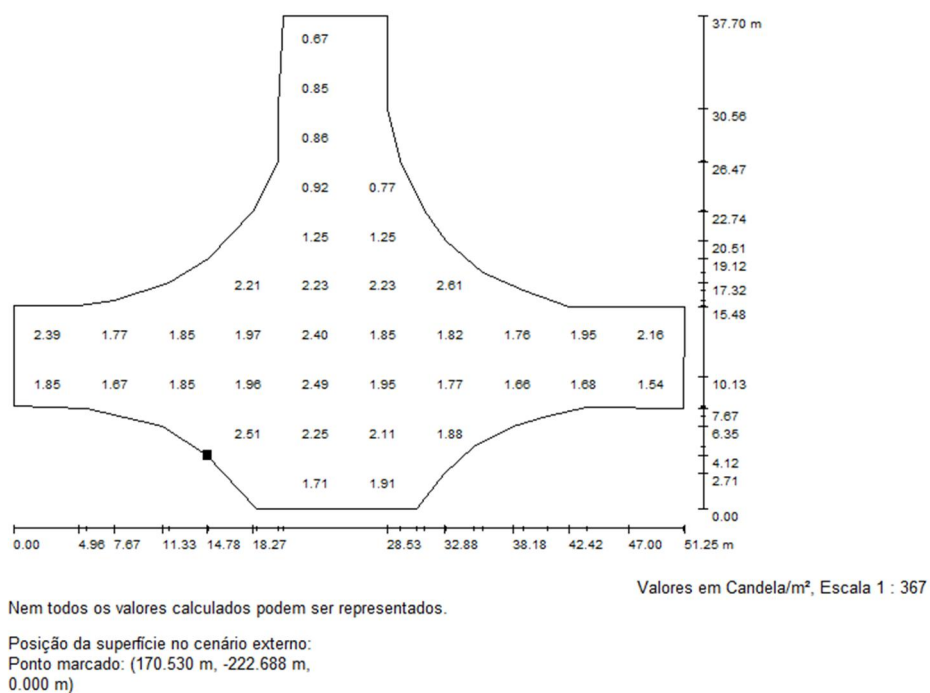


Figura 38- Valores numéricos da luminância para o Cruzamento 2, com observador do lado direito

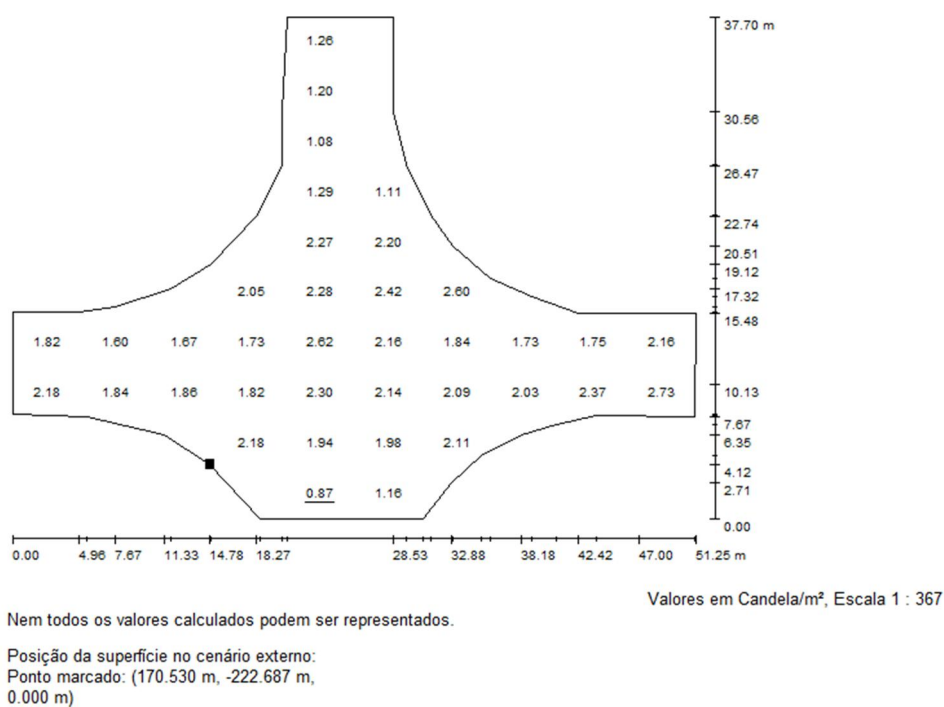
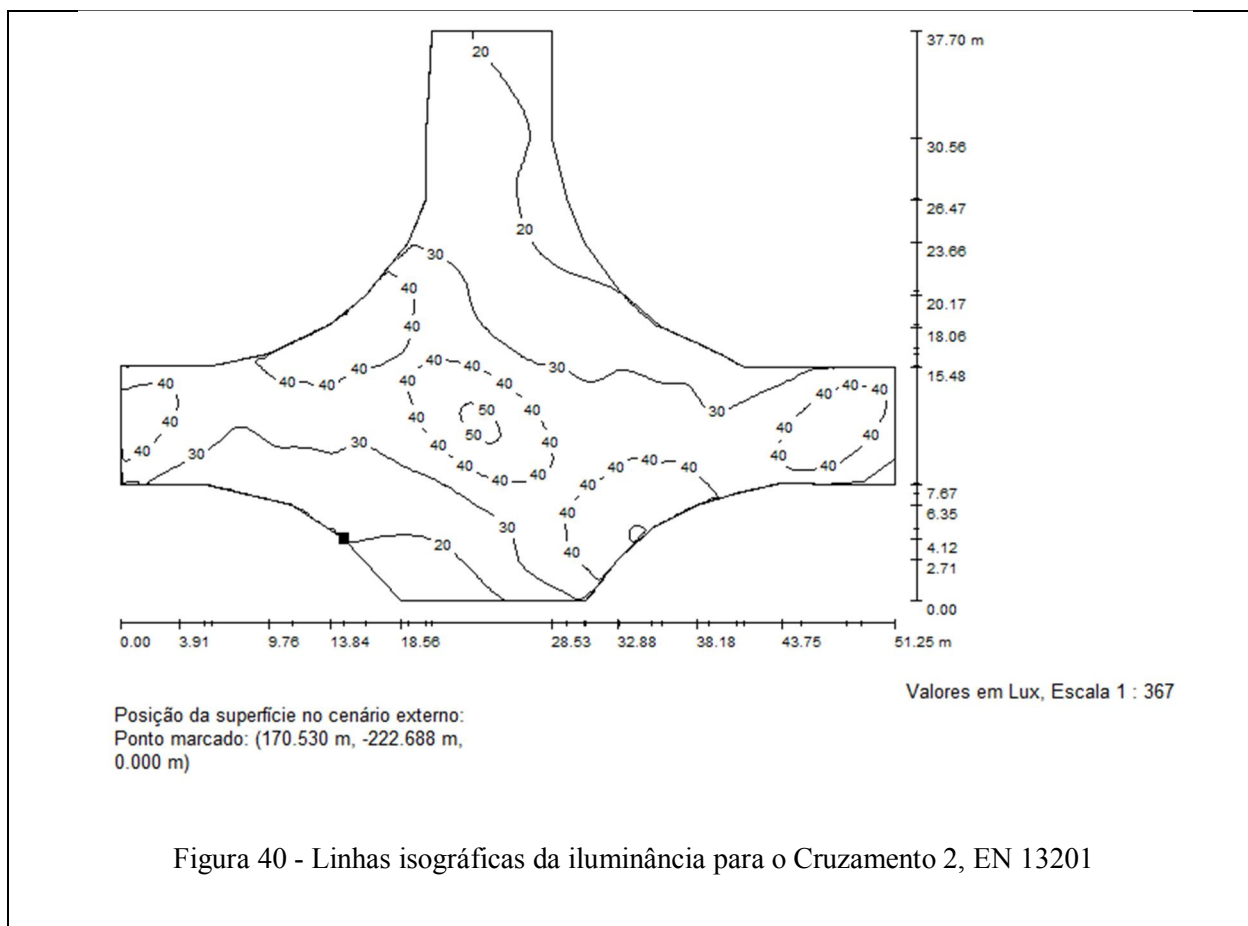


Figura 39 - Valores numéricos da luminância para o Cruzamento 2, com observador do lado esquerdo



Os resultados obtidos mostram o cumprimento dos valores de luminância e iluminância, conforme observado nas figuras 39,40,41 e 42.

## 6.4 Parques de estacionamento

A análise luminotécnica dos parques de estacionamento contempla os valores recomendados pelo ESNA RP-20-98 & LM-64-01 e apresentados na tabela 11, [41]

Tabela 11 - Valores de iluminância para parques de estacionamento exteriores. Fonte: [41]

| Valores recomendados de iluminância para parques de estacionamento |     |        |                     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|--------|---------------------|
|                                                                    |     | Básica | Segurança Acrescida |
| Iluminância horizontal mínima                                      | lux | 2      | 5                   |
| Rácio de uniformidade (máximo/ mínimo)                             |     | 20:1   | 15:1                |
| iluminância vertical mínima                                        | lux | 1      | 2.5                 |

### 6.4.1 Parque de Estacionamento 1

O parque de estacionamento 1, figura 42, é constituído por 3 docas com lugares de estacionamento bilaterais e docas com estacionamento unilateral em todo o seu perímetro. Utiliza colunas de iluminação com 12 metros e lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão com uma potência de 250 W. As colunas estão distribuídas no eixo central das duas docas externas, e nos topos do parque, nos quais possui duas colunas por topo.

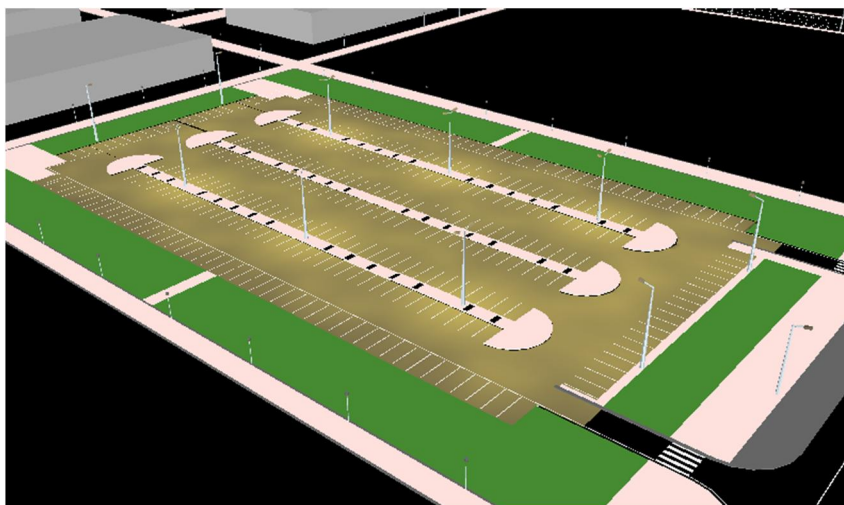
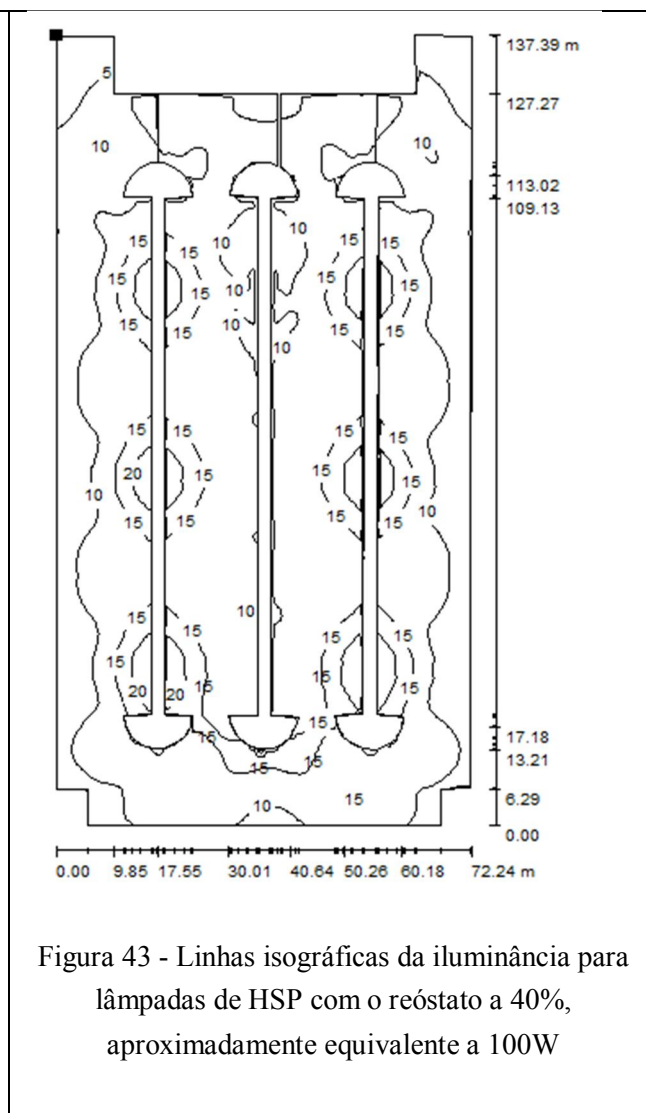
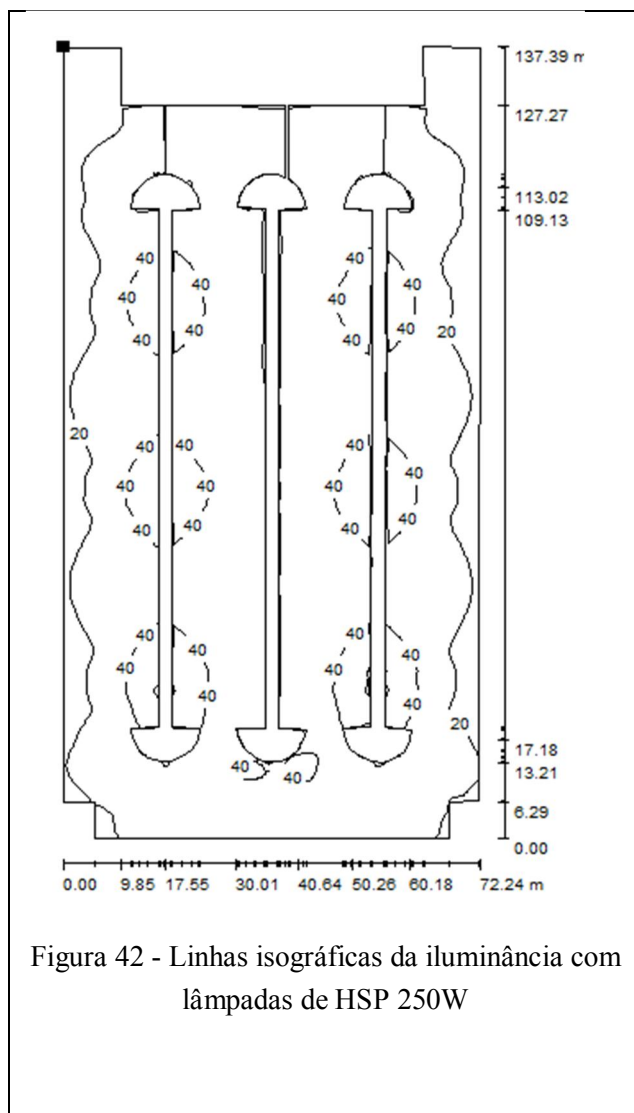


Figura 41 - Visão do parque de estacionamento em estudo

Da análise luminotécnica do parque de estacionamento pode ser observado um excesso de iluminância na actual instalação, figura 43. A realização de uma simulação com 40% da potência luminosa inicial, a qual equivale sensivelmente à utilização de lâmpadas de 100 W, permitiu encontrar valores de iluminância aceitáveis, figura 44. Os valores encontrados, (superiores a 5 lux), permitem o reconhecimento facial de acordo com a RP-20-98 e LM-64-01, garantindo assim um nível de segurança acrescido.



## 6.4.2 Parque de estacionamento 2

O parque de estacionamento 2 é constituído por uma doca central com lugares de estacionamento bilaterais, e docas de estacionamento laterais, figura 45.

Como poder ser observado na figura 46, o resultado da simulação mostra fraca homogeneidade na iluminância do iParque, existindo zonas com valores de iluminância inferiores aos recomendados.

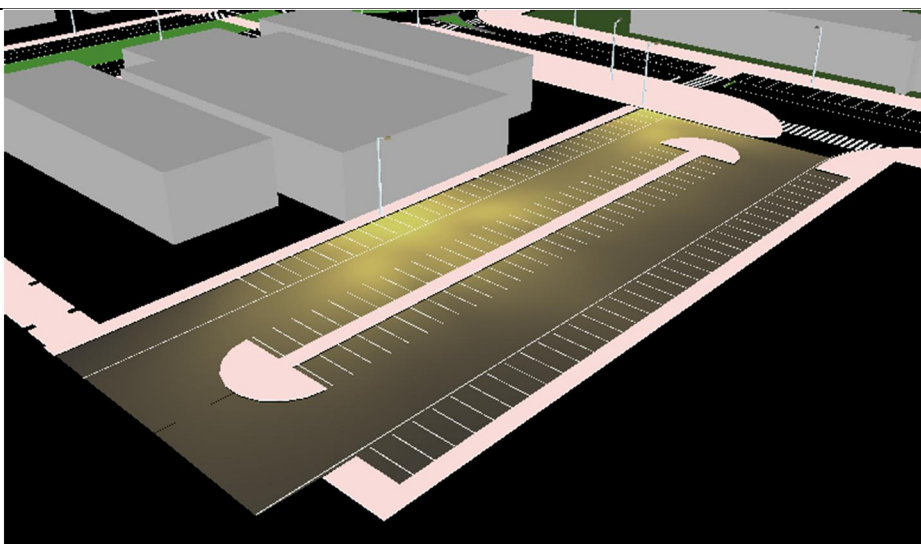
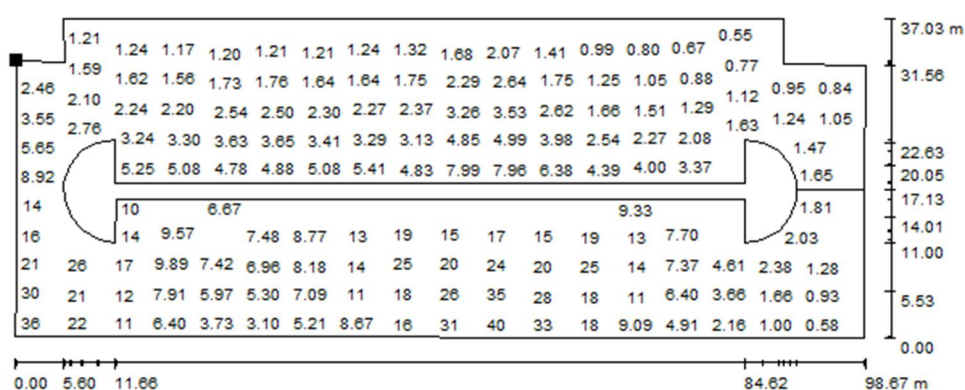


Figura 44 - Visão do parque de estacionamento em estudo



Valores em Lux, Escala 1 : 706

Figura 45 - Valores da iluminância presentes no parque de estacionamento 2

No presente caso a instalação de colunas no centro da doca, seria a medida aconselhada. Tendo o iParque uma segunda fase, poderá este parque de estacionamento ser contemplado com colunas de iluminação na sua vertente oposta. Esta situação será no entanto condicionada pelo resultado do projecto de construção para essa zona.

## 6.5 Via Pedonal

As zonas pedonais podem ser classificadas de S1 a S5, com base num conjunto de factores característicos da zona a avaliar. O software *Dialux*, permite a classificação destes

locais, quer pela introdução directa da classificação, ou através de um questionário baseado na norma CEN\TR 13201-1.

A classificação da zona pedonal resultou da aplicação dos seguintes critérios:

- Velocidade Típica do Utilizador – velocidade de passo inferior a 5 Km\h
- Utilizadores principais – Apenas Pedestre
- Risco de Criminalidade – normal
- Reconhecimento do rosto de pessoas – necessário
- Fluxo de tráfego de pedestres – normal
- Nível de luminância nos arredores – pouca, arredor campestre
- Tipo de potências luminosas a calcular – Potências luminosas Horizontais
- O cálculo apresentado na distribuição das luminárias, tem por base a classificação “S5”.

A classificação “S5” obriga a uma potência luminosa horizontal média, mínima e semicilíndrica, superior a 3; 0,6 e 0,75 lux respectivamente.

### 6.5.1 Simulação do cenário instalado

A avaliação luminotécnica da actual situação pretende definir um ponto de referência, em relação ao qual é pretendido encontrar possíveis melhorias.

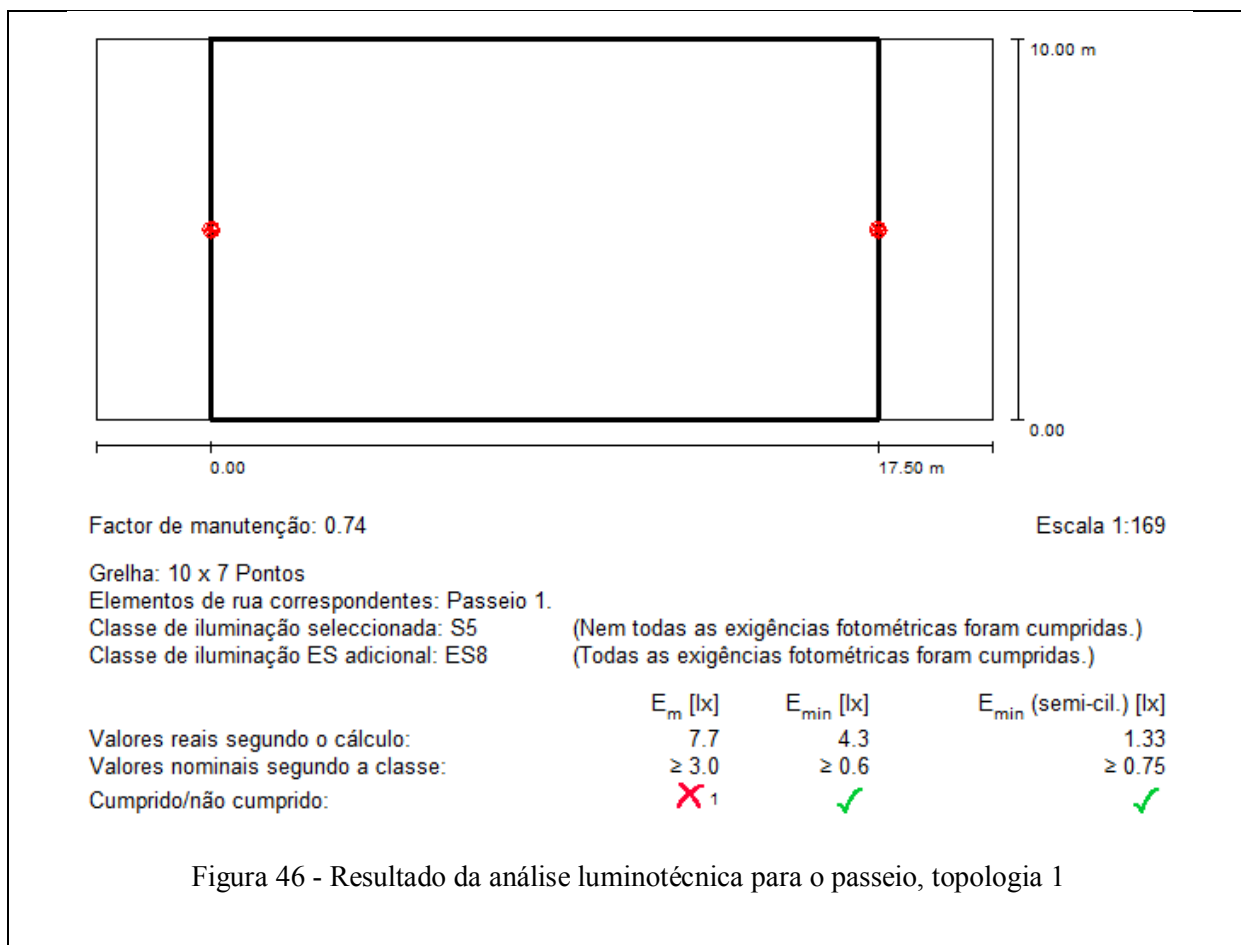
O cenário é constituído por duas topologias de via pedonal tipo, com 10 e 6 metros de largura (topologia 1 e 2 respectivamente). As luminárias utilizadas são as presentes no iParque de Coimbra, tipo “Globo”, com um diâmetro de 450mm, com refractor metálico, difusor em policarbonato transparente, tipo IJX – 1P1LALM 100W/VSAP, da *Indalux* instaladas sobre suporte com 4 metros de altura.

O resultado da simulação, figura 47 e 48, evidencia o não cumprimento dos níveis de homogeneidade requerido pela CEN\TR 13201, no qual o valor real da potência luminosa média não deve ultrapassar 1,5 vezes o valor mínimo previsto para a respectiva classe. Este problema é semelhante quando utilizadas luminárias com fluxos na ordem dos 5900, 10000 e 17000 lumens.

A implementação de um factor de correcção na ordem dos 57% (para um factor de manutenção de 0,74) colmatou o problema encontrado na simulação anterior. No entanto o

factor de correcção aplicável à instalação está limitado ao intervalo ] 55%,60% [. Acresce ainda o facto deste intervalo de valores corresponder a simulações utilizando um factor de manutenção de 0,74, ou seja ao longo da vida da luminária o intervalo relativo ao factor de correcção irá variar proporcionalmente à depreciação do fluxo luminoso da luminária.

Numa outra perspectiva, considerando um factor de manutenção de 0,9, o valor do fluxo luminoso deve rondar os 4000 lm. Nestas condições, a lâmpada eleita para a corrente situação a “Master Cosmo CPO-T White 45W/625 PGZ12” com fluxo luminoso de 4300 lm, associada a um balastro electrónico regulável, o qual reduz o fluxo da lâmpada em 7%, cumpre os valores luminotécnicos normalizados. O resultado da simulação, pode ser visualizado nas figuras 49 e 50.







Factor de manutenção: 0.74

Escala 1:169

Grelha: 10 x 4 Pontos

Elementos de rua correspondentes: Passeio 1.

Classe de iluminação seleccionada: S5

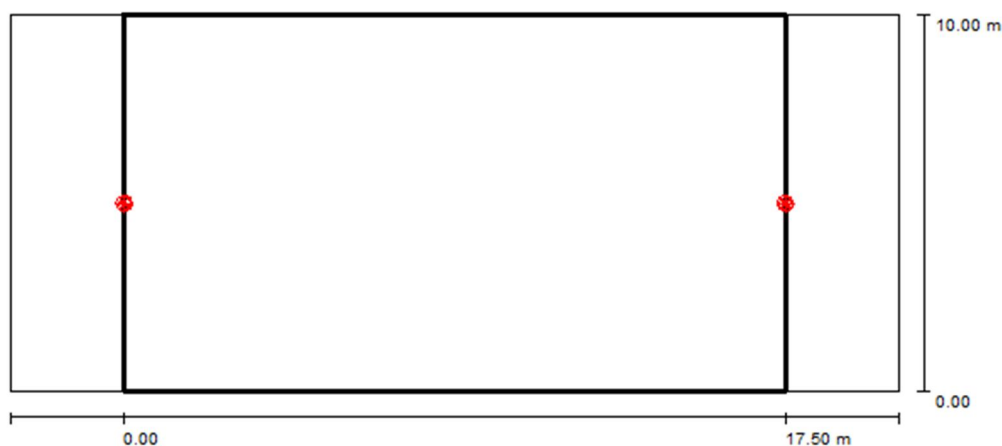
(Nem todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

Classe de iluminação ES adicional: ES8

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

|                                    | $E_m$ [lx]                           | $E_{min}$ [lx]                       | $E_{min}$ (semi-cil.) [lx]           |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Valores reais segundo o cálculo:   | 7.7                                  | 4.3                                  | 1.39                                 |
| Valores nominais segundo a classe: | $\geq 3.0$                           | $\geq 0.6$                           | $\geq 0.75$                          |
| Cumprido/não cumprido:             | <span style="color: red;">✗</span> 1 | <span style="color: green;">✓</span> | <span style="color: green;">✓</span> |

Figura 47 - Resultado da análise luminotécnica para o passeio, topologia 2



Factor de manutenção: 0.74

Escala 1:169

Grelha: 10 x 7 Pontos

Elementos de rua correspondentes: Passeio 1.

Classe de iluminação seleccionada: S5

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

Classe de iluminação ES adicional: ES8

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

|                                    | $E_m$ [lx]                           | $E_{min}$ [lx]                       | $E_{min}$ (semi-cil.) [lx]           |
|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Valores reais segundo o cálculo:   | 4.4                                  | 2.5                                  | 0.76                                 |
| Valores nominais segundo a classe: | $\geq 3.0$                           | $\geq 0.6$                           | $\geq 0.75$                          |
| Cumprido/não cumprido:             | <span style="color: green;">✓</span> | <span style="color: green;">✓</span> | <span style="color: green;">✓</span> |

Figura 48 - Resultado da análise luminotécnica para o passeio, topologia 1, com factor de correcção de 0,57

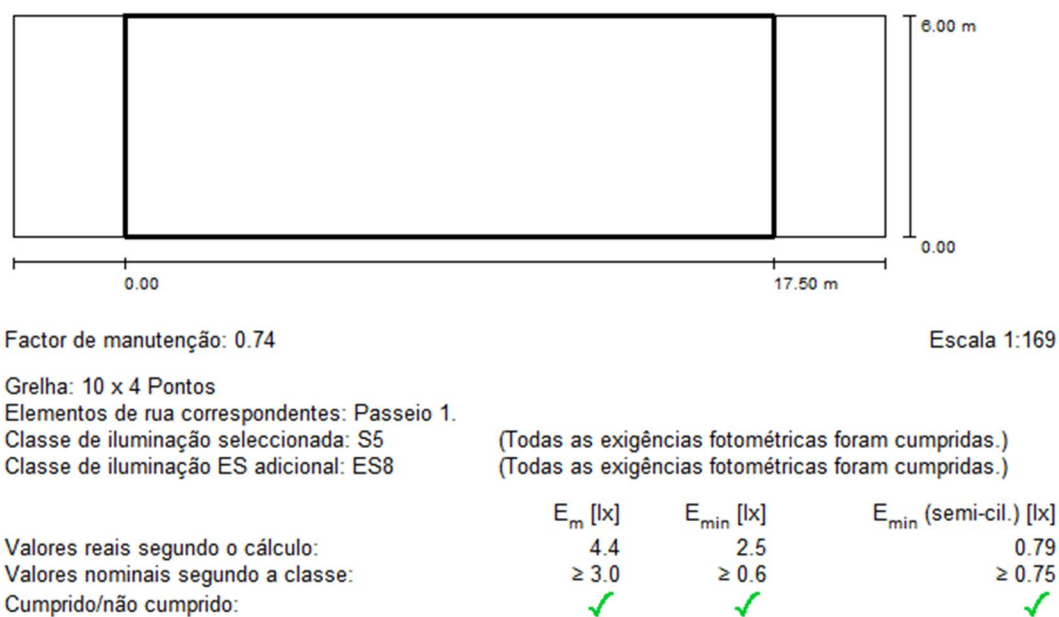


Figura 49 - Resultado da análise luminotécnica para o passeio, topologia 2, com factor de correcção de 0,57

Para as vias pedonais foi igualmente analisada a aplicação de luminárias com tecnologia led. Na impossibilidade de acesso aos dados fotométricos destas lâmpadas para simulação no software *Dialux*, foi pedida a colaboração de algumas empresas nesta área. Das várias empresas contactadas, apenas a *Schröder* respondeu em tempo oportuno tendo a *Indalux* proposto apresentar os seus estudos posteriormente (à data da elaboração da conclusão deste relatório ainda não tinham sido apresentados).

A *Schröder* apresentou a luminária Neos1 com 32LED para a via pedonal caracterizada pela topologia 1 e 2. Os valores das iluminâncias podem ser visualizados na figura 51 e 52, estando o estudo completo no anexo.

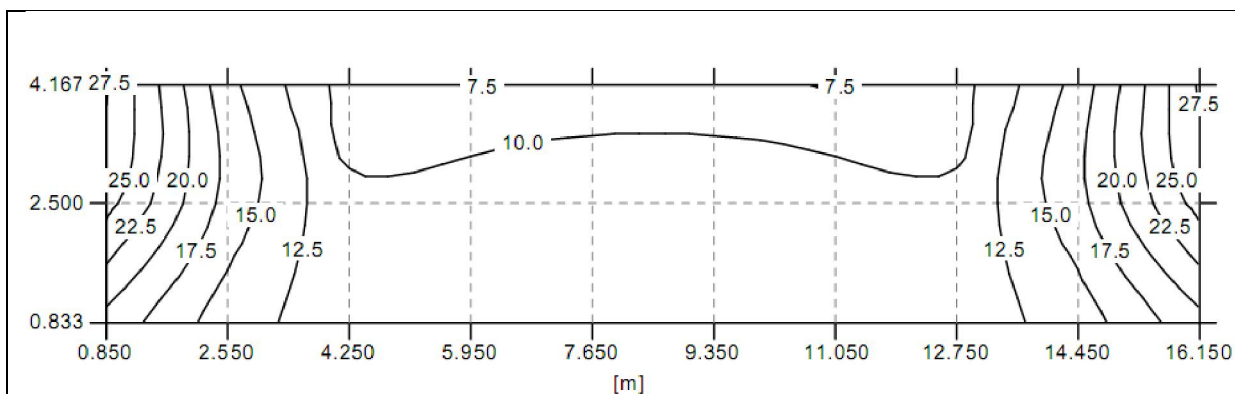


Figura 50- Linhas isograficas da iluminância para a via pedonal com topologia 1, estudo *Schröder*

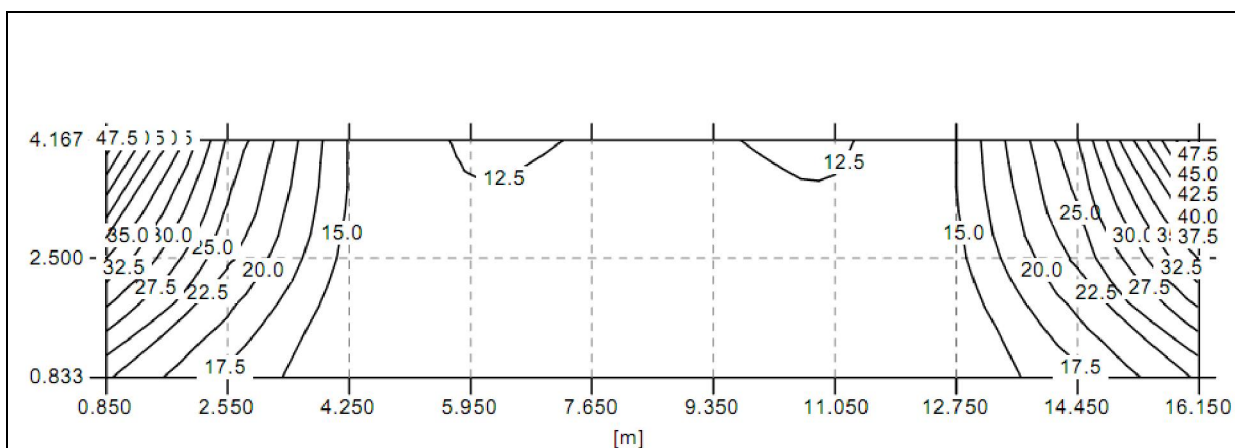


Figura 51 - Linhas isograficas da iluminância para a via pedonal com topologia 2, estudo *Schröder*

## 6.6 Análise económica

Como pode ser concluído das várias simulações efectuadas, diversas soluções são possíveis para cada um dos cenários. Seguindo a metodologia de análise inicialmente definida, os diferentes cenários são analisados numa perspectiva económica, e apresentados nas tabelas 12,13,14 e 15. As variáveis observadas podem ser visualizadas na tabela completa relativa ao estudo económico no anexo.

Tabela 12 - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para as vias rodoviárias

| Topologia | Cenário         | Custos Totais 20 anos [euros] | Custos Totais anuais [euros] | Poupança anual[euros] |
|-----------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| A         | Situação actual | 15.428,51 €                   | 771,43 €                     | 0,00 €                |
|           | Estudo 1        | 14.307,44 €                   | 715,37 €                     | 56,05 €               |
|           | Estudo3         | Requisitos não preenchidos    |                              |                       |
| B         | Situação actual | 70.530,39 €                   | 3.526,52 €                   | 0,00 €                |
|           | Estudo 1        | 64.382,07 €                   | 3.219,10 €                   | 307,42 €              |
|           | Estudo3         | Requisitos não preenchidos    |                              |                       |
| C         | Situação actual | 27.951,66 €                   | 1.397,58 €                   | 0,00 €                |
|           | Estudo 1        | 25.688,04 €                   | 1.284,40 €                   | 113,18 €              |
|           | Estudo 2        | 15.534,26 €                   | 776,71 €                     | 620,87 €              |
| D         | Estudo 1        | 18.859,68 €                   | 942,98 €                     | Correctiva            |
| E         | Situação actual | 15.428,51 €                   | 771,43 €                     | 0,00 €                |
|           | Estudo 1        | 14.307,44 €                   | 715,37 €                     | 56,05 €               |
|           | Estudo 2        | 8.648,89 €                    | 432,44 €                     | 338,98 €              |
|           | Estudo3         | Requisitos não preenchidos    |                              |                       |
| F         | Situação actual | 37.970,19 €                   | 1.898,51 €                   | 0,00 €                |
|           | Estudo 1        | 34.792,51 €                   | 1.739,63 €                   | 158,88 €              |
|           | Estudo 2        | 21.004,15 €                   | 1.050,21 €                   | 848,30 €              |
| G         | Situação actual | 17.933,14 €                   | 896,66 €                     | 0,00 €                |
|           | Estudo 1        | 16.583,56 €                   | 829,18 €                     | 67,48 €               |
| H         | Situação actual | 10.419,24 €                   | 520,96 €                     | 0,00 €                |
|           | Estudo 1        | 9.755,20 €                    | 487,76 €                     | 33,20 €               |
|           | Estudo 2        | 5.913,94 €                    | 295,70 €                     | 225,27 €              |
|           |                 | Poupança anual                |                              | 1843,496956           |

Tabela 13 - - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para as vias pedonais

| Topologia       | Cenário        | Custos Totais 20 anos [euros] | Custos Totais anuais [euros] | Poupança anual [euros] |
|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Zona Principal  | Cenário Actual | 31.517,94 €                   | 1.575,90 €                   | 0,00 €                 |
|                 | Cenário 1      | 13.634,49 €                   | 681,72 €                     | 894,17 €               |
|                 | Cenário2       | 69.256,45 €                   | 3.462,82 €                   | -1.886,93 €            |
| Zona Periférica | Cenário Actual | 72.183,11 €                   | 3.609,16 €                   | 0,00 €                 |
|                 | Cenário 1      | 30.125,11 €                   | 1.506,26 €                   | 2.102,90 €             |
|                 | Cenário2       | 79.632,92 €                   | 3.981,65 €                   | -372,49 €              |
|                 |                | Poupança anual                |                              | 2.997,07 €             |

Tabela 14 - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para os parques de estacionamento

| Topologia    | Cenário                                                                                                                                       | Custos Totais 20 anos [euros] | Custos Totais anuais [euros] | Poupança anual [euros] |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Estaciona. 1 | Cenário Actual                                                                                                                                | 40.224,82 €                   | 2.011,24 €                   | 0,00 €                 |
|              | Cenário 1                                                                                                                                     | 37.068,63 €                   | 1.853,43 €                   | 157,81 €               |
|              | Cenário 2                                                                                                                                     | 15.019,36 €                   | 750,97 €                     | 1.260,27 €             |
| Estaciona. 2 | (1)-O cenário actual não cumpre os valores mínimos luminotécnicos. A solução para este depende das infra-estruturas criadas na sua vizinhança |                               |                              |                        |
|              |                                                                                                                                               | Poupança anual                |                              | 1.260,27 €             |

Tabela 15 - Resumo da análise económica comparativa entre os vários cenários para as zonas de conflito

| Topologia       | Cenário        | Custos Totais 20 anos [euros] | Custos Totais anuais [euros] | Poupança anual [euros] |
|-----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Rotunda Pequena | Cenário Actual | 25.197,03 €                   | 1.259,85 €                   | 0,00 €                 |
|                 | Cenário 1      | 23.411,92 €                   | 1.170,60 €                   | 89,26 €                |
|                 | 0              | 0,00 €                        | 0,00 €                       | 0,00 €                 |
| Rotunda Oval    | Cenário Actual | 40.224,82 €                   | 2.011,24 €                   | 0,00 €                 |
|                 | Cenário 1      | 37.068,63 €                   | 1.853,43 €                   | 157,81 €               |
|                 | Cenário 2      | 15.019,36 €                   | 750,97 €                     | 1.260,27 €             |
| Cruzamento 1    | Cenário Actual | 40.224,82 €                   | 2.011,24 €                   | 0,00 €                 |
|                 | Cenário 1      | 37.068,63 €                   | 1.853,43 €                   | 157,81 €               |
|                 | Cenário 2      | 15.019,36 €                   | 750,97 €                     | 1.260,27 €             |
| Cruzamento 2    | Cenário Actual | 40.224,82 €                   | 2.011,24 €                   | 0,00 €                 |
|                 | Cenário 1      | 37.068,63 €                   | 1.853,43 €                   | 157,81 €               |
|                 | Cenário 2      | 15.019,36 €                   | 750,97 €                     | 1.260,27 €             |
|                 |                |                               | Poupança anual               | 3.870,07 €             |



## 7. Conclusão

A fisionomia do olho está intrinsecamente relacionada com o projecto luminotécnico, e com as opções tomadas pelos projectistas dos mesmos. Existe em quantidade e qualidade documentação relativa à fisiologia do olho e comportamento deste a alguns testes clínicos. De igual modo, existe bastante informação sobre os princípios luminotécnicos. São no entanto escassos os textos que relacionam estas duas áreas, particularmente aqueles que estudam a resposta do olho humano a estímulos em contexto de deslocamento, como é exemplo o percurso de um peão ao longo de uma via, ou a interacção de um condutor a um conjunto de variáveis. Parecem assim duas áreas de estudo com pouca afinidade, mas as quais estão intimamente ligadas.

Seria interessante determinar, e apresenta-se como trabalho futuro, identificar as várias tarefas visuais realizadas por um sujeito em contextos específicos, assim como as suas reacções, analisando ainda que tipos de receptores estão activos em função de um conjunto de variáveis, como a distância ao objecto, velocidade deste, ângulo de entrada no campo visual, luminância e iluminância ambiente, etc. Apesar de esta área de estudo não ser novidade, pois é nela que se baseia toda a teoria da visão mesópica, a necessidade de estudos complementares ou a criação de mais bibliografia sobre o tema permitirá mais dados para futuros estudos, permitindo estabelecer um melhor contacto entre as disciplinas de estudo citadas inicialmente.

Uma das grandes dificuldades sentidas no decorrer deste trabalho incidiu no acesso a informação, especificamente documentação Normativa. A presente área de estudo assenta quase na sua totalidade em normas e pareceres técnicos emanados por entidades internacionais reconhecidas, como é o caso CEN, IESNA, BS, etc. A dificuldade no acesso à informação contida nestas normas torna crescente a dificuldade no desenvolvimento dos trabalhos nesta área.

O estudo luminotécnico em vias rodoviárias, pedonais ou mistas, tem por regra a classificação dos espaços de acordo com a EN13201 ou norma equivalente. A selecção da classe é baseada na escolha de um conjunto de variáveis, que podem apresentar algum grau de subjectividade. Exemplo deste facto é a necessidade ou não de reconhecimento facial dos

transeuntes. Apenas este parâmetro é suficiente para variar a classe de iluminação, com consequências directas no cálculo luminotécnico.

O factor de manutenção é uma das importantes variáveis a considerar quando da execução de um projecto luminotécnico. Bem definido em termos luminotécnicos, ou seja apesar de conhecidos os factores contributivos para o factor de manutenção final, a utilização dos mesmos levantam algumas questões. Exemplo disso é o factor relativo à sobrevivência da lâmpada, o qual não deve ser utilizado no cálculo, por não se coadunar com o processo de substituição de lâmpadas utilizado em Portugal, conforme referido no capítulo 3. Esta perspectiva levanta questões sobre a aplicabilidade da fórmula teórica para todas as situações, podendo vários projectistas obter resultados distintos para uma mesma situação

Indubitavelmente a tecnologia futura utilizada na iluminação terá por base o led. Este apresenta incontestáveis vantagens tendo tido em muito pouco tempo um desenvolvimento tecnológico muito forte. Apesar de inquestionável a anterior premissa, luminárias utilizando tecnologia led, têm sido publicitadas como solução para novas instalações ou para reconversão das já existentes. Vários argumentos (vantagens já abordadas no capítulo 3.1) são utilizados pelas empresas que as comercializam ou produzem, sendo o argumento “melhor solução técnica e económica” comum a todas elas. Estudos (capítulo 3.6) mostram que as luminárias utilizando tecnologia led não são sempre a melhor opção. Neste contexto a instalação de luminárias com esta tecnologia, deve apenas ser escolhida com base num estudo luminotécnico e económico aplicado a cada situação concreta. Deste modo, o projecto luminotécnico não deve descartar incondicionalmente soluções mais tradicionais, como é o caso da utilização de lâmpadas de HSP. No actual caso de estudo, verificou-se, em consonância com os aspectos atrás expostos, que as luminárias com este tipo de tecnologia não apresentavam vantagens para a situação concreta do iParque, porque a sua aplicação não cumpria os requisitos luminotécnicos exigidos, ou não apresentava vantagens económicas sobre outras tecnologias.

A poupança obtida decorrente da utilização de equipamentos e soluções energeticamente mais eficientes, pode ser acrescida pela implementação de projectos de controlo sobre a iluminação existente. Apesar deste tipo de solução apresentar vantagens evidentes a sua aplicação está comprometida pela inexistência de documentação jurídica de suporte.

A legislação ou normas actuais não contemplam cenários, nos quais é permissível a redução da iluminação para níveis inferiores aos legais, mesmo decorrendo da ausência do objecto a iluminar. Esta situação levanta questões do foro jurídico. A instalação ou criação de



condições de iluminação deficientes têm consequências, as quais em última análise resultam na responsabilização das entidades responsáveis pela falta de zelo no serviço ao cidadão.

Nesta situação, quase toda a capacidade, resultado da interacção e integração dos sistemas de controlo com vista à redução do fluxo luminoso ou mesmo a sua ausência, não resulta em vantagens significativas da sua aplicação. Resta assim ao projectista, mesmo que integrando sistemas de controlo, utilizar as suas vantagens, estando sempre restringido pelos níveis de iluminação mínimos definidos pelas normas.

Estas premissas limitaram possíveis soluções para o presente caso de estudo, restringindo o mesmo apenas à análise luminotécnica simples.

A situação actual do iParque apresenta algumas situações não conformes. Como já referido no início do presente capítulo. Este resultado pode advir da subjectividade na análise das variáveis relativas à classificação das vias do iParque. Ambas as vias pedonais (topologia 1 e 2), um dos parques de estacionamento e uma das vias rodoviárias encontram-se nesta situação. Foram encontradas medidas correctivas simples, permitindo assim corrigir as situações anómalas, excepto para o parque de estacionamento, para o qual não foi passível obter resultados sem alterações de fundo (rasgos na via publica, colocação de colunas de suporte, etc). Perspectivando-se a provável criação de infra-estruturas ao lado do parque, propõem-se a sua análise luminotécnica no futuro.

Nas vias rodoviárias encontrou-se, por regra geral, um sobredimensionamento da potência luminosa necessária. Esta situação permitiu reduzir a potência luminosa instalada utilizando a mesma tecnologia, lâmpadas de HSP, uma vez que a aplicação de luminárias com tecnologia led não encontrou viabilidade luminotécnica de acordo com o estudo apresentado pela *Schröder*.

Nos parques de estacionamento, apenas foi possível apresentar cenários alternativos para um deles, razão já explicada num dos parágrafos anteriores. Para este constatou-se que a utilização de lâmpadas com 100 W de HSP é suficiente.

As zonas pedonais apresentam, no actual cenário, problemas de uniformidade nas iluminâncias, sendo esta situação independente da classe escolhida para as mesmas. Com base num fluxo luminoso estimado, seleccionou-se uma lâmpada específica de HSP associada a um regulador de fluxo. A aplicação de luminárias led não encontrou viabilidade económica para esta instalação, sendo o custo de aquisição inicial das mesmas o factor essencial para este resultado.

O estudo das zonas de conflito, cruzamentos e rotundas não originou qualquer alteração ao sistema de iluminação já existente.

Apresenta-se como trabalhos futuros uma análise pormenorizada do factor de manutenção, tendo em consideração as variáveis aplicadas ao contexto económico Português. O conhecimento destes dados permite melhorar de forma significativa os projectos luminotécnicos.

A componente relativa à automatização de sistemas de iluminação pública está a dar os primeiros passos, mesmo considerando a inexistência de legislação de suporte. Inevitavelmente, esta será criada tendo em vista a regulação de um mercado em expansão e com vantagens significativas. Neste sentido propõem-se a realização de trabalhos relativos à detecção do espaço envolvente por parte dos sistemas de iluminação pública, com a adequação desta ao correcto *input*.

Finalmente, devem ser realizados novos estudos luminotécnicos utilizando tecnologia led, sempre que tal parecer oportuno devido à comercialização de sistemas de iluminação mais eficientes, ou à diminuição dos preços da tecnologia já existente.

## Referências

- [1] Iluminação pública e o uso eficiente das fontes de luz. Carvalho, Por Jose Luiz Pimenta e Carlos. s.l. : Lume - Arquitectura, Vol. 24.
- [2] RNAE, CPI,OE. Documento de Referência de Eficiência Energética na Iluminação Pública. <http://www.lighting-living-lab.pt>. [Online] [Citação: 23 de 07 de 2011.] <http://www.lighting-living-lab.pt/documento-de-referencia-de-eficiencia-energetica-na-iluminacao-publica.aspx>.
- [3] O lado Negro da Luz - Canal Odisseia.
- [4] International Dark-Sky Association. International Dark-Sky Association. <http://en.wikipedia.org/wiki/>. [Online] [http://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Dark-Sky\\_Association](http://en.wikipedia.org/wiki/International_Dark-Sky_Association).
- [5] Department of Systematic Biology. [http://www.si.edu/Encyclopedia\\_SI/nmnh/buginfo](http://www.si.edu/Encyclopedia_SI/nmnh/buginfo). Numbers of Insects (Species and Individuals). [Online] Department of Systematic Biology, Smithsonian Institution. [Citação: 23 de 07 de 2011.] [http://www.si.edu/Encyclopedia\\_SI/nmnh/buginfo/bugnos.htm](http://www.si.edu/Encyclopedia_SI/nmnh/buginfo/bugnos.htm).
- [6] Gonçalves, Antonio Gabriel Cerqueira. [extincao.html](http://diariodoverde.blogspot.com/2009/08/extincao.html). [http://diariodoverde.blogspot.com/](http://diariodoverde.blogspot.com/2009/08/extincao.html). [Online] <http://diariodoverde.blogspot.com/2009/08/extincao.html>.
- [7] Suraje Dessai, Ricardo Trigo. A ciência das alterações climáticas. A ciência das alterações climáticas. s.l. : Finisterra, XXXXVI, 71,2001, pp 117-132, 2001.
- [8] Secretaria de Estado da Energia e da Inovação, no Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Eficiência Energética na Iluminação Pública. 2011.
- [9] America, Illuminating Engineering Society of North. Lighting Handbook, Reference & Application. s.l. : IESNA, 1993.
- [10] wikipedia.org.Retina - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Retina>. [Online] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Retina>.
- [11] America, Illuminating Engineering Society of North. Lighting Handbook Reference & application. s.l. : IESNA, 2000.
- [12] Bicas, Harley E. A. Visual acuity. Measurements and notations. <http://www.abonet.com.br/abo/653/atc65301.htm>. [Online] <http://www.abonet.com.br/abo/653/atc65301.htm>.

- [13] Visão Humana. Candura, Paulo. Lume Arquitetura.
- [14] Eloholma, Marjukka. DEVELOPMENT OF VISUAL PERFORMANCE BASED Mesopic Photometry. s.l. : Helsinki University of Technology , 2005.
- [15] TM-12\_06, IESNA. TM-12\_06. US : IESNA.
- [16] Proessamento Visual da forma em idosos: Curvas de limiar de contraste para frequências angulares e Senoidais. Natael dos Santos, Maria simas, Renata Nogueira. 2003, Psicologia: Reflexão e Crítica: 2003, 16(2),pp.271-277, pp. 271-277.
- [17] <http://www.thornlighting.co.uk>. <http://www.thornlighting.co.uk>. <http://www.thornlighting.co.uk>. [Online] [Citação: 25 de 10 de 2010.] [http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res\\_glos\\_light\\_terms\\_f.htm?redirURL=http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res\\_glos\\_light\\_terms.htm](http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res_glos_light_terms_f.htm?redirURL=http://www.thornlighting.co.uk/gb/en/res_glos_light_terms.htm).
- [18] Luminotécnica. <http://pt.wikipedia.org/>. [Online] 09 de 10 de 2010. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Luminot%C3%A9cnica>.
- [19] Department, US Energy. Color Quality of White LEDs .
- [20] Department, US. Energy. Lifetime of White LEDs.
- [21] Energy, U.S. Department of. CALiPER - Standards and Testing - 2010 Roundtable Proceedings .
- [22] Department, U.S Energy. LED Application Series: Outdoor Area Lighting.
- [23] Energy, U.S. Department of. Life and Lumen Maintenance. [http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/outdoor\\_life.html](http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/outdoor_life.html). [Online] [Citação: 23 de 04 de 2011.]
- [24] usa, iti group. <http://www.itigroupusa.com/products/iti-led.php>. ITI's Light Emitting Diodes. [Online] [Citação: 3 de 9 de 2011.] <http://www.itigroupusa.com/products/iti-led.php>.
- [25] <http://optics.org>. The pioneering LED chip and component manufacturer demonstrates world-record laboratory performance of 231lm/W with a 'neutral white' emitter. <http://optics.org>. [Online] 09 de 05 de 2011. [Citação: 3 de 09 de 2011.] <http://optics.org/news/2/5/8>.
- [26] Pedro Brandão, Miguel Carrelo e Sofia Águas. O Chão da Cidade - guia de avaliação do design de espaço público. s.l. : Edição do Centro Português de Design, 2002.
- [27] Philips Electronics N.V, ©2004-2010 Koninklijke. [http://www.lighting.philips.com/pt\\_pt/applications/urban/index.php?main=pt\\_pt&parent=1&id=pt\\_pt\\_applications&lang=pt](http://www.lighting.philips.com/pt_pt/applications/urban/index.php?main=pt_pt&parent=1&id=pt_pt_applications&lang=pt). <http://www.lighting.philips.com>. [Online] 02 de 08 de 2010.

- [28] <http://www.esoli.org/>. Welcome to the ESOLi website. <http://www.esoli.org/>. [Online] <http://www.esoli.org/>. [Citação: 30 de 06 de 2011.]
- [29] Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting. Miomir Kostic, Lidiya Djokic. Serbia : elsevier, 2009.
- [30] <http://www.ordemengenharios.pt/pt/a-ordem/especializacoes/verticais/luminotecnia/>. Luminotecnia. <http://www.ordemengenharios.pt/>. [Online] [Citação: 29 de 06 de 2011.] <http://www.ordemengenharios.pt/pt/a-ordem/especializacoes/verticais/luminotecnia/>.
- [31] CIE 115: lighting of roads for motor and pedestrian traffic. Industry Standards & Regulations. [Online] [Citação: 29 de 06 de 2011.] <http://engineers.ihs.com/document/abstract/JGGQTCAAAAAAAAAA>.
- [32] Adrian, R. Jobanputra. Influence of Pavement Reflectance on Lighting for Parking Lots. s.l. : Portland Cement Association, 2005.
- [33] S. Fotios, P. Boyce, C. Ellis. The Effect of Pavement Material on Road . UK : Sheffield Hallam University, 2005.
- [34] The Effect of Pavement Material on Road Lighting Performance. UK : Sheffield Hallam University, 2005.
- [35] SCHRÉDER, DOSSIER. O NOVO CONCEITO SCHRÉDER. Mais luz com menos Energia.
- [36] Lawrence Novak, David Bilow. Sustainable Approach to Lighting utilizing concrete pavement. s.l. : Portland Cement Association, 2009.
- [37] Renato, Schröder -. Sustentabilidade e Gestão da Iluminação Publica. Abril de 2010.
- [38] wikipedia. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Retina>. [Online]
- [39] [www.holophane.co.uk](http://www.holophane.co.uk). energy saving Retrofit Hi-Bay.
- [40] Developing Effective Standards and Guidelines for Roundabout Lighting . John Beery, P. E., PTOE Andrew Rodewald, EI, Noblesville, IN. Anaheim, CA : s.n., 2008. ITE Annual Conference .
- [41] The Latest Lighting Options for Parking Facilities. Knisley, Joe. 2004, ECM.
- [42] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria\\_das\\_cores](http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_das_cores). [http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria\\_das\\_cores](http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_das_cores). [http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria\\_das\\_cores](http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_das_cores). [Online] [Citação: 20 de 10 de 2010.] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria\\_das\\_cores](http://pt.wikipedia.org/wiki/Teoria_das_cores).

- [43] EDP, António Amorim -. Novas tecnologias na iluminação publica. Workshop - Eficiência Energética na iluminação publica. 16 de Fevereiro de 2009.
- [44] André, Lucas,Ronaldo. ANALISE SOBRE ATECNOLOGIA PLC. s.l. : SENAI/SC.
- [45] Simas, Natanael António dos Santos \_ Maria Lúcia de Bustamante. Processamento visual da forma em idosos: curvas de limiar de contraste para frequências angulares e senoides. Psicologia e Reflexão e Crítica - vol 16 numero 002. 2003, pp. 271-277.
- [46] Josefowicz, Dr. Jack e Ha, Ms. Debbie. Vision and exterior lighting Shining Some Light on Scotopic and Photopic Lumens in Roadway Conditions. Led Roadway Lighting. Novembro, 2008.
- [47] Technical and economic analysis of road lighting solutions based on mesopic vision. Miomir Kostic a, Lidija Djokic b, Dejan Pojatar, Natasa Strbac-Hadzibegovic. Building and Environment, s.l. : Elsevier, 2008.
- [48] <http://www.lighting-living-lab.pt>. Documento de Referência de Eficiência Energética na Iluminação Pública. <http://www.lighting-living-lab.pt>. [Online] [Citação: 23 de 07 de 2011.] <http://www.lighting-living-lab.pt/documento-de-referencia-de-eficiencia-energetica-na-iluminacao-publica.aspx>.
- [49] Dimmable differences between hot and cold cathode fluorescent bulbs. [www.litetronics.com](http://www.litetronics.com). [Online] <http://www.litetronics.com/lighting-technology/dimmable-differences-between-hot-and-cold-cathode-fluorescent-bulbs.html>.