



# MANUAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

—  
REVISÃO

OUTUBRO 2016



distribuição



**Manual de Iluminação Pública** | Revisão

Outubro | 2016

EDP Distribuição | ISR-UC

## JOÃO JOSÉ SARAIVA TORRES

### PRESIDENTE DO CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

A eletrificação nacional é reconhecida como a inovação tecnológica que marcou a história Portuguesa nas últimas décadas e a EDP, nos últimos 40 anos, fez parte da agenda do seu desenvolvimento e modernização. A eletricidade passou a fazer parte do desenvolvimento tecnológico e da modernização do país, permitindo alterar hábitos e costumes.

Parte da transformação está associada à iluminação pública, que foi sempre acompanhando a eletrificação em superfície, valorizando as cidades, os seus espaços e o seu património cultural e arquitetónico, assim como um fator de desenvolvimento social, de conforto e de segurança para os cidadãos.

A luz natural é a forma mais sustentável e ecológica de iluminar. A luz artificial, nomeadamente em espaços públicos, depende de uma infraestrutura complexa de redes e aparelhos que permite a orientação no espaço fora dos seus limites, sendo consumidora de recursos que importa regular e controlar.

A EDP Distribuição reconhece as suas responsabilidades na gestão da rede de iluminação pública nacional, executando um papel de facilitador com todos os seus intervenientes.

O percurso da EDP Distribuição foca-se na normalização de equipamentos, na operação da rede, em articulação com os Municípios, e na sua manutenção como resposta às necessidades da sociedade envolvente.

A modernização na área técnica foi marcada pela inovação, nomeadamente na adoção de novas soluções sucessivamente da lâmpada incandescente para a de vapor de mercúrio, vapor de sódio de baixa e alta pressão. Ultimamente, a promoção de pilotos de eficiência energética na iluminação pública, que levaram à criação da primeira especificação da luminária LED da Europa, o desenvolvimento de projetos inovadores e pioneiros como a incorporação de inteligência artificial e sensorização nas luminárias e o desenvolvimento de sistemas abertos e pioneiros de gestão do fluxo de luminárias LED, ilustram o caminho que a EDP Distribuição tem percorrido para responder às necessidades concretas da rede de iluminação pública.

De igual importância são as atualizações constantes das especificações de equipamentos, os processos exigentes de qualificação e a seleção de equipamentos, bem como as campanhas diárias na rede de iluminação pública, sendo exemplo a telecontagem PTD + IP, a instalação de EDP Box IP e a solução Smart-IP que, incorporados no conceito do InovGrid, permitirão ir ao encontro das aspirações das redes e cidades inteligentes. É essa busca constante de novas soluções que leva a construir estas parcerias com as academias.

Assim, este guia, contributo da EDP Distribuição, em parceria com o Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra, pretende ser uma referência para a iluminação pública em Portugal.”





**PROF. ANIBAL TRAÇA DE ALMEIDA**

INSTITUTO DE SISTEMAS E ROBÓTICA - UNIVERSIDADE DE COIMBRA

As novas tecnologias de iluminação pública permitem proporcionar condições de conforto visual, segurança de pessoas e de bens, e reduzidas necessidades de manutenção, de forma crescentemente sustentável. A revolução na área da iluminação de estado sólido (LED) apresenta um enorme potencial para reduzir drasticamente os consumos, estando previsto uma redução de custos e uma duplicação do rendimento que permite atingir 200 lm/W (lumen/Watt) nas luminárias em 2025.

Estas tecnologias permitem o controlo do fluxo luminoso em função das necessidades em cada momento, assim como melhoram o direcionamento desse fluxo minimizando o desperdício e a poluição luminosa. Outro aspecto relevante tem a ver com a resposta fisiológica à luz, para proporcionar bem-estar e minimizar os impactos da luz artificial na saúde humana. Existem soluções eficientes de tecnologia LED com uma temperatura de cor, que permite assegurar não só uma boa restituição cromática, mas também evitar efeitos negativos na saúde.

Os novos sistemas de iluminação pública podem ainda proporcionar novos serviços, em que cada luminária tem uma identificação única e se encontra integrada numa rede inteligente para fazer a gestão da iluminação (variação do fluxo luminoso, deteção de avarias, manutenção preditiva, e controlo biodinâmico da temperatura de cor). Vai ser possível também implementar redes de comunicação de alta velocidade sem fio (LiFi), que vão servir de suporte a sistemas de localização com desempenho mais preciso que o GPS e que vão viabilizar numerosos serviços nas cidades do futuro ("Smart cities), tais como redes distribuídas para monitorização da qualidade do ambiente e do tráfego.

*Anibal T. de Almeida*



# Índice

Abreviaturas.....	6
Síntese do Manual.....	8
1. Enquadramento .....	9
2. A EDP Distribuição como operador de rede de distribuição em baixa tensão com responsabilidades relativas à Iluminação Pública .....	9
3. Caracterização da IP .....	10
4. Conceitos.....	12
4.1. Captação da luz.....	12
4.2. Noções básicas de Luminotecnia.....	15
4.3. Visão.....	19
4.4. Parâmetros de uma instalação de IP.....	20
4.5. Medição e representação da informação fotométrica .....	30
5. Tecnologias.....	34
5.1. Fontes de Luz.....	34
5.2. Luminárias .....	37
5.2.1. Constituição.....	37
5.2.2. Eficiência.....	38
5.2.3. Classificação.....	38
5.2.4. Tipos de Luminárias.....	40
5.2.5. Tipos de Apoios.....	40
5.3. Componentes de luminárias.....	42
5.3.1. Condensador .....	42
5.3.2. Ignitor .....	42
5.3.3. Balastro .....	42
5.3.4. Drivers de LED .....	44
5.4. Sistemas de controlo e gestão .....	45
5.4.1. Relógio Astronómico .....	45
5.4.2. Tecnologias de Regulação de Fluxo.....	47
5.4.3. Sistemas de Telegestão .....	49
5.4.4. Solução de Telegestão Integrada na Arquitetura Inovgrid .....	50
6. Critérios de Projeto.....	52
6.1. Classes de iluminação .....	52
6.2. Estabelecimento dos requisitos fotométricos.....	53
6.3. Regulação de fluxo .....	57
6.4. Arquitetura de uma instalação de IP.....	57
6.5. Manutenção de uma instalação de IP .....	59
6.6. Fatores de Manutenção para Projeto .....	60
7. Aspetos psicossociais.....	62
8. Exemplos Práticos .....	64
8.1. Projeto de uma nova rede de IP .....	64
8.2. Substituições em Redes Existentes.....	74
8.3. Conclusão.....	75
9. Tramitação Processual.....	76
9.1. Enquadramento de materiais e aparelhos .....	76
9.2. Regras de comparticipação .....	76
9.3. Processo IP.....	82
10. Documentação a incluir em fase de projeto.....	87
Apêndice 1   Fórmulas e Unidades .....	88
11. Referências .....	89

## Abreviaturas

<b>AC</b>	Alternate Current (Corrente Alternada)
<b>ANMP</b>	Associação Nacional de Municípios Portugueses
<b>AT</b>	Alta Tensão
<b>BT</b>	Baixa Tensão
<b>CIE</b>	Commission Internationale de L'éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)
<b>CL</b>	Controlador da Luminária
<b>CS</b>	Controlador de Segmento
<b>DALI</b>	Digital Addressable Lighting Interface (Interface de Comunicação Digital para Iluminação)
<b>DC</b>	Direct Current (Corrente Contínua)
<b>DFT</b>	Documento de materiais e aparelhos - Fichas Técnicas
<b>DIT</b>	Documento de Instalações Tipo
<b>DLOR</b>	Downward Light Output Ratio (rácio de saída do fluxo luminoso para baixo)
<b>DMA</b>	Documento de materiais e aparelhos - características e ensaios
<b>DRE</b>	Documento de Regras de Execução
<b>DSI</b>	Digital Serial Interface (Interface Serial Digital)
<b>DTC</b>	Distribution Transformer Controller
<b>DTT</b>	Documento de Tabelas Técnicas
<b>EDP</b>	Energias de Portugal
<b>EN</b>	European Norm (Norma Europeia)
<b>ENE</b>	Estratégia Nacional para a Energia
<b>ERSE</b>	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
<b>FM</b>	Fator de Manutenção
<b>FML</b>	Fator de Manutenção da Luminária
<b>FMLL</b>	Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada
<b>FSL</b>	Fator de Sobrevivência da Lâmpada
<b>FU</b>	Fator de Utilização
<b>GEE</b>	Gases com Efeito de Estufa
<b>HDI</b>	High Discharge Intensity (Descarga de Elevada Intensidade)
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission (Comissão Internacional de Eletrotécnica)
<b>IEE</b>	Índice de Eficiência Energética
<b>IP</b>	Iluminação Pública
<b>IRC</b>	Índice de Restituição de Cor
<b>LED</b>	Light Emitting Diode (Díodo Emissor de Luz)
<b>lm</b>	Lumen
<b>LOR</b>	Light Output Ratio (rácio de saída do fluxo luminoso)
<b>lx</b>	Lux
<b>MEID</b>	Ministério da Economia, Inovação e Desenvolvimento
<b>MT</b>	Média Tensão



<b>ORD</b>	Operador de Rede de Distribuição
<b>PPEC</b>	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica
<b>PT</b>	Posto de Transformação
<b>RESP</b>	Rede Elétrica de Serviço Público
<b>RFL</b>	Regulador de Fluxo Luminoso
<b>RNAE</b>	Rede Nacional de Agências de Energia
<b>RND</b>	Rede Nacional de Distribuição
<b>RNT</b>	Rede Nacional de Transporte
<b>RQS</b>	Regulamento da Qualidade de Serviço
<b>RRC</b>	Regulamento de Relações Comerciais
<b>RRD</b>	Regulamento da Rede de Distribuição
<b>RT</b>	Regulamento Tarifário
<b>RYGB</b>	Red, Yellow, Green and Blue (Vermelho, Amarelo, Verde, Azul)
<b>SGC</b>	Sistema de Gestão Central
<b>SHR</b>	Space Height Ratio (Rácio entre o espaçamento e a altura dos postes de iluminação)
<b>(REA)</b>	
<b>SLI</b>	Specific Luminaire Index (Índice Específico da Luminária)
<b>SR</b>	Surrounding Ratio (Rácio Envolvente)
<b>SSL</b>	Solid State Lighting (Iluminação de Estado Sólido)
<b>RSRDEBT</b>	Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão
<b>TI</b>	Threshold Increment (Incremento Limite)
<b>UC</b>	Universidade de Coimbra
<b>ULOR</b>	Upward Light Output Ratio (rácio de saída do fluxo luminoso para cima)
<b>VSAP</b>	Vapor de Sódio de Alta Pressão
<b>W</b>	Watt

## Síntese do Manual

O Manual de Iluminação Pública (IP) visa apresentar todo um conjunto de informação relevante, no que concerne às regras existentes para projeto de uma rede de IP e aos valores exigidos para os vários parâmetros luminotécnicos, passando pela caracterização técnica dos vários componentes de um conjunto funcional (lâmpadas, luminárias, balastros e sistemas de controlo).

É um documento destinado aos diversos agentes que participam no processo desde o projeto, execução, operação manutenção. A tramitação necessária, bem como as responsabilidades e boas práticas a ter em conta, tanto na renovação de uma rede de IP existente, como na criação de uma nova rede de IP, serão abordadas de forma estruturada e simples.

Com o objetivo de tornar a IP mais eficiente e segura, tendo em vista as preocupações psicossociais (e.g. visibilidade e interação social), de eficiência energética, das tecnologias usadas e do projeto em si, foram adotadas normas e recomendações internacionais da CIE<sup>1</sup> e estudos recentes sobre esta temática.

---

<sup>1</sup> Commission Internationale de L'éclairage (Comissão Internacional de Iluminação)

# 1. Enquadramento

A iluminação consome cerca de 15% de toda a eletricidade a nível mundial e assume um papel primordial nas nossas vidas, quer a nível de iluminação de edifícios do setor dos serviços e das habitações, quer a nível da iluminação industrial, quer a nível da iluminação decorativa, especial e de sinalização, quer a nível da Iluminação Pública (também designada por “IP”).

A União Europeia definiu em 2014 a “Estratégia 40-27-27” com o objetivo de, até 2030, e relativamente aos valores de 1990, reduzir 40% das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE), reduzir 27% do consumo de energia e lograr que 27% da energia consumida é de fonte renovável.

Nesse sentido, Portugal enquadrou medidas e orientações na Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) e no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), sendo que um novo período se aproxima onde terão de ser considerados os novos objetivos definidos, com eventuais medidas a adotar ao nível da Iluminação Pública.

Deverá considerar-se Iluminação Pública a iluminação instalada nos termos dos contratos de concessão da distribuição de energia elétrica em baixa tensão em vigor, nas vias públicas, com função de proporcionar os níveis mínimos de iluminância, luminância e uniformidade necessários à circulação e segurança de pessoas e bens.

Os níveis mínimos de iluminância, luminância e uniformidade são definidos de acordo com o tipo de iluminação em questão, designadamente consoante esteja em causa iluminação de vias circulação automóvel, de percursos pedonais ou de jardins.

Por outro lado, deverá considerar-se iluminação particular toda a iluminação que não deva ser considerada Iluminação Pública, designadamente a iluminação exterior de espaços privados, a iluminação decorativa, a iluminação monumental, a iluminação semafórica e para sinalética viária, a iluminação para MUPIS e outros suportes publicitários, as iluminações festivas, etc..

## 2. A EDP Distribuição como operador de rede de distribuição em baixa tensão com responsabilidades relativas à Iluminação Pública

A EDP Distribuição é a empresa concessionária da distribuição de energia elétrica em baixa tensão nos 278 municípios de Portugal Continental, em regime de exclusividade.

As redes de Iluminação Pública integram as concessões municipais de distribuição de energia elétrica, competindo à EDP DISTRIBUIÇÃO, na qualidade de concessionária, o estabelecimento e conservação das aludidas redes, as quais devem assumir o desenvolvimento necessário e apresentar as características convenientes para a eletrificação e iluminação dos aglomerados populacionais a servir, com sujeição à regulação económica estabelecida pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

A EDP Distribuição e os municípios podem, porém, acordar na transferência da responsabilidade pela conservação das instalações de Iluminação Pública.

No que se refere à gestão da Iluminação Pública, esta é da inteira responsabilidade dos municípios, em particular no que respeita a níveis e horários de iluminação e ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço.

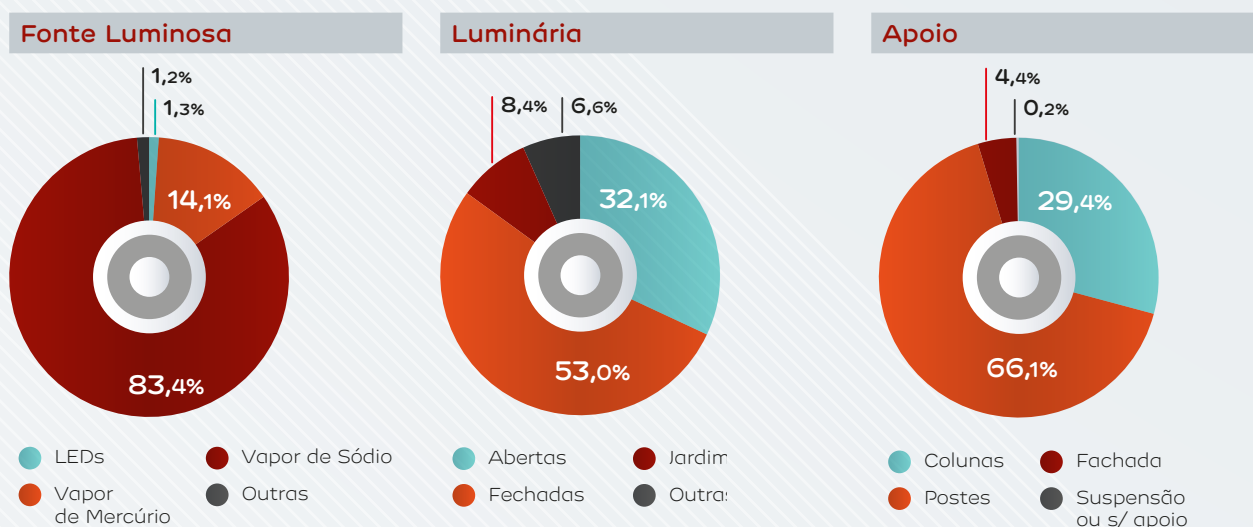
### 3. Caracterização da IP

Existem cerca de 3 milhões de pontos de luz de Iluminação Pública em Portugal continental<sup>2</sup>, com um consumo global a rondar os 1,3 TWh em 2015, ou seja correspondente a 3% da energia saída da rede de distribuição. Na tabela e figuras seguintes é apresentado o resultado do cadastro Nacional de Iluminação Pública.

Tabela 3.1 - Elementos do cadastro Nacional de IP

Fonte Luminosa	Luminária	Apoio
Fluorescente Indução Iodetos Metálicos LED Vapor de Mercúrio Vapor de Sódio	Rural aberta Rural fechada Urbana aberta Urbana fechada Tipo jardim Decorativa Especial Estilizada	Coluna de betão Coluna metálica Coluna estilizada Coluna de fibra Coluna de madeira Coluna de marmorite Fachada Postalete Poste de betão Poste de madeira Suspensão - catenária

Tabela 3.2 – Resumo da distribuição de postes, luminárias e fontes de luz na IP nacional



A grande fatia do número total de pontos de luz de Iluminação Pública é constituída por lâmpadas de vapor de sódio (VSAP), as quais, com exceção dos iodetos metálicos, representam a tecnologia de fonte luminosa com potência média mais elevada por lâmpada instalada.

Os iodetos metálicos, com um consumo na Iluminação Pública 40% acima do consumo das luminárias com tecnologia LED e com quatro vezes mais pontos de luz que as lâmpadas fluorescentes, representam a maior fatia da categoria "Outras". Esta categoria é ainda composta pelas lâmpadas de indução, com uma representação marginal.

As luminárias com tecnologia LED representam à data uma pequena parcela no parque nacional de Iluminação Pública, embora com elevado potencial de crescimento.

O tipo "luminárias fechadas" domina claramente o parque nacional de Iluminação Pública, com especial evidência nas zonas urbanas. Já nas zonas rurais observamos uma distribuição mais equilibrada entre luminárias abertas e fechadas.

<sup>2</sup> Não foram considerados os pontos de luz de Iluminação Pública dos concelhos de Oeiras e Lisboa

A categoria “Outras” é composta por luminárias decorativas, especiais e estilizadas, com destaque para as últimas que representam mais de metade da categoria.

Relativamente aos apoios, estes são maioritariamente constituídos por postes de betão.

A EDP Distribuição, assumindo um papel de agente facilitador do desenvolvimento do setor elétrico e da relação dos clientes com o consumo de energia, tem vindo a promover várias iniciativas, tais como de implementação de redes inteligentes, de execução de pilotos de eficiência energética na Iluminação Pública e de implementação da telecontagem na iluminação pública.

A propósito da promoção da eficiência energética, importa referir que, no total, foram já instaladas em projetos-piloto mais de 6.600 unidades de luminárias com tecnologia LED em toda a área geográfica de Portugal continental, o que permitiu à EDP Distribuição e aos municípios aferirem do comportamento desta tecnologia, bem como avaliarem a reação da sociedade em geral à alteração da tecnologia tradicional de sódio.

Neste domínio, deve relevar-se a campanha que a EDP Distribuição irá executar de substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio, maioritariamente para a tecnologia LED, tendo presentes as preocupações ambientais vertidas na legislação europeia e nacional.

Ainda relativamente à tecnologia LED, deve salientar-se o importante passo dado recentemente pela EDP Distribuição e pela Associação Nacional de Municípios Portugueses, ao formalizarem um Protocolo para a alteração ao Anexo I ao contrato-tipo de concessão da distribuição de energia elétrica em baixa tensão aprovado pela Portaria nº 454/2001, de 5 maio, por forma a consagrar as luminárias com tecnologia LED como equipamentos correntes a instalar nos municípios num conjunto significativo de casos.

Por fim, devem ser destacadas também as candidaturas da EDP Distribuição ao Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC) e as iniciativas de instalação de relógios astronómicos, entre outras.

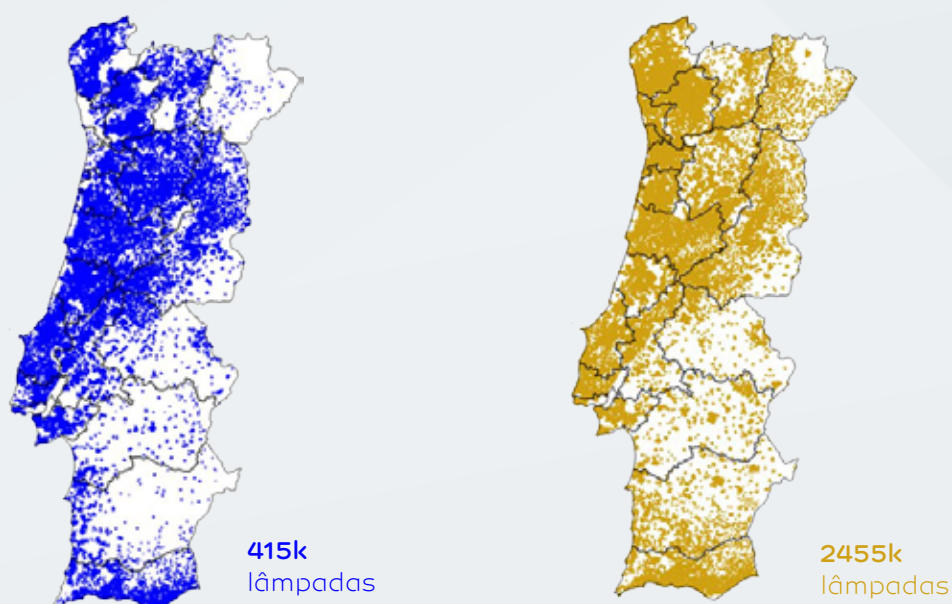


Figura 3.1 - Distribuição de lâmpadas de vapor de mercúrio (esquerda) e vapor de sódio (direita)

## 4. Conceitos

### 4.1. Captação da luz

A radiação eletromagnética cobre uma enorme diversidade de radiações que vão desde as ondas radioativas às ondas de rádio. A luz é a radiação cuja gama de comprimentos de onda ( $\lambda$ ) do espectro da radiação eletromagnética consegue ser detetada pelo olho humano. Esta gama situa-se entre a radiação ultravioleta (380 nm) e infravermelha (760 nm).

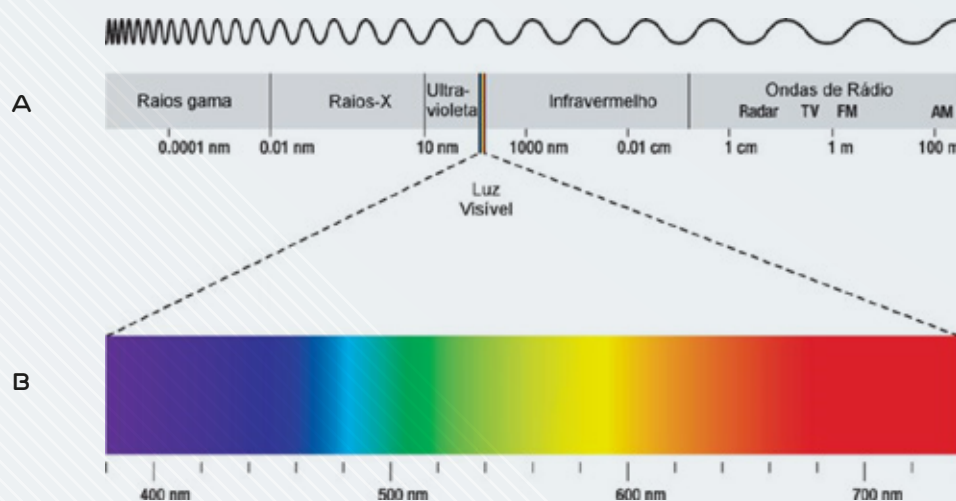


Figura 4.1 – Comprimentos de onda do espectro eletromagnético (A) e do espectro visível (B)

No ar, a velocidade da luz é praticamente igual à da velocidade no vácuo, ou seja, 300 000 km/s. As três grandezas físicas básicas da luz e de toda a radiação eletromagnética são:

- Comprimento de onda ( $\lambda$ ) – define a cor;
- Frequência – é inversamente proporcional ao comprimento de onda e é definida como o inverso do período ( $T$ ) da onda;
- Amplitude ( $A$ ) – define o brilho.

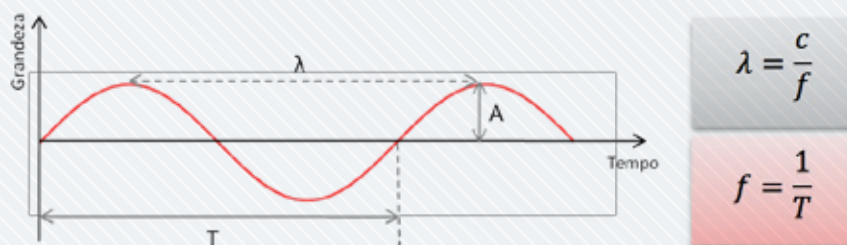


Figura 4.2 – Onda sinusoidal periódica e relações matemáticas

A luz só se torna de facto visível quando interage com a matéria (eletrões). Nesse contacto, a luz incidente pode ser: refletida pelo objeto, absorvida pelo objeto, refratada se sofrer alteração da direção através do objeto, transmitida se passar quase totalmente pelo objeto.



## Reflexão

Em objetos como os espelhos, com superfícies microscópicas lisas, ou seja, com irregularidades mais pequenas que o comprimento de onda da luz visível, a luz é refletida na sua totalidade, numa única direção (ângulo de incidência igual ao ângulo de partida ou reflexão).

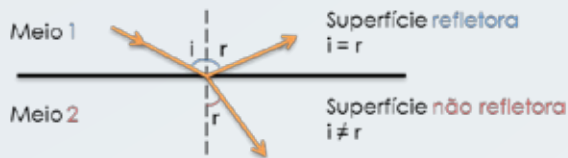


Figura 4.3 – Luz refletida e refratada

## Refração

Existe refração da luz quando esta atravessa um meio diferente, alterando a sua velocidade ( $v$ ) que será proporcional ao seu índice de refração ( $n$ ). Assim, pela lei de Snell:

$$n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r) \Leftrightarrow \frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{v_1}{v_2}$$

O nosso instrumento natural de captação de luz é o olho. Para além de possibilitar a análise do ambiente no campo de visão, o olho humano permite discriminar os objetos quanto à sua forma, se estão perto ou longe, se estão em movimento, e se são ou não coloridos, diferenciando a sua tonalidade.

Existem dois tipos de células fotossensíveis (ou fotorrecetores) à gama de radiação visível: os bastonetes e os cones.

Os **bastonetes** apenas são sensíveis à quantidade de luz que os atinge, sendo por isso responsáveis pela indicação de níveis de luminosidade e estão presentes em maior número na orla da retina. São fundamentais para o discernimento das formas e silhuetas, especialmente em ambientes de baixa luminosidade.

Os **cones** são sensíveis a partes específicas na banda visível do espectro eletromagnético, sendo responsáveis pela perceção da cor. Estão divididos em:

- Cones azuis, sensíveis aos comprimentos de onda mais curtos do espectro (cones – S);
- Cones verdes, sensíveis a comprimentos de onda médios (cones – M);
- Cones vermelhos, sensíveis a ondas de comprimento longo (cones – L).

Quando vemos um objeto de cor branca, os três grupos de cones estão a ser estimulados ao mesmo tempo; o que não acontece quando vemos, por exemplo, um objeto amarelo, onde sobretudo são os cones vermelhos e verdes a que estão a ser estimulados.

A densidade dos recetores na retina e o poder de refração do sistema das lentes óticas irá definir a nossa capacidade visual. Possuimos, então, uma dada acuidade visual que é influenciada por fatores como a adaptação, a acomodação, o contraste e a idade.

## Absorção ( $\alpha$ )

Parte da energia proveniente da radiação luminosa, não consegue atravessar o material, sendo absorvida por ele. Traduz-se pelo quociente entre fluxo luminoso absorvido ( $\phi_a$ ) por um corpo e o fluxo recebido ( $\phi$ ).

$$\alpha = \frac{\phi_a}{\phi}$$

Um objeto de cor preta absorve todas as frequências da radiação visível.

## Transmissão

Ocorre quando a luz emitida passa, praticamente na sua totalidade, através de um corpo.

Os materiais que o permitem dizem-se transparentes.

### Acuidade Visual

É a capacidade que o olho tem de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objetos muito pequenos e próximos entre si. Quantitativamente é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor.

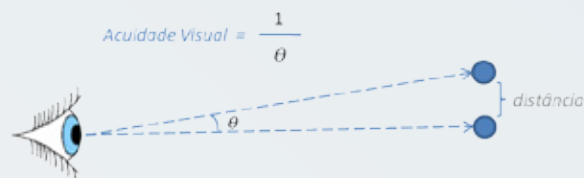


Figura 4.4 – Acuidade visual

### Adaptação

É a capacidade que o olho humano possui para se ajustar a diferentes níveis de intensidade luminosa, mediante os quais a pupila irá dilatar ou contrair. Na adaptação ao escuro, o diâmetro pupilar aumenta, os bastonetes começam a atuar e recuperamos a visibilidade, porém com perda da resolução detalhada e da visão em cores. Este é um processo que pode demorar vários minutos a ocorrer, ao passo que a adaptação ao claro dá-se em poucos segundos.

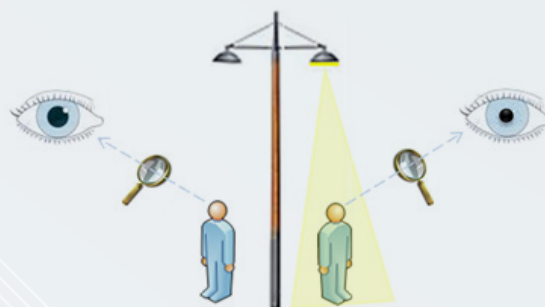


Figura 4.5 – Dilatação da pupila em condições de iluminação ambiente diferentes

### Contraste

É a avaliação da diferença da aparência de duas ou mais partes de algo. Ou seja, é a diferença de luminância entre um objeto que se observa ( $L_1$ ) e a sua envolvente ( $L_2$ ).



Figura 4.6 – Contraste de objetos

### Acomodação

É o ajustamento das lentes do cristalino do olho, de modo a que a imagem esteja sempre focada na retina, garantindo que os objetos pareçam permanentemente nítidos. Se o objeto se encontrar mais próximo do olho, a curvatura do cristalino é maior do que quando este se encontra mais longe.

### Idade

A capacidade visual de uma pessoa diminui com a idade, uma vez que, com o passar dos anos o cristalino endurece perdendo a sua elasticidade, o que torna mais complicada a tarefa de focalização das imagens dos objetos.



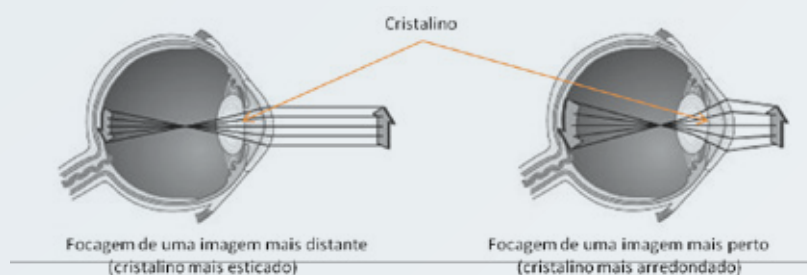


Figura 4.7 – Alteração do cristalino no processo de focagem

## 4.2. Noções básicas de Luminotecnia

A Radiometria e a Fotometria desenvolveram uma série de métodos e processos de medida das grandezas luminosas. Enquanto a Radiometria se preocupa com toda a radiação do espectro eletromagnético emitida por uma fonte, a Fotometria apenas se debruça sobre a radiação visível (comumente designada luz). A cada grandeza radiométrica está associada uma grandeza fotométrica (Figura 4.8), sendo o seu valor proporcional à curva de sensibilidade fotópica do olho –  $V(\lambda)$ .

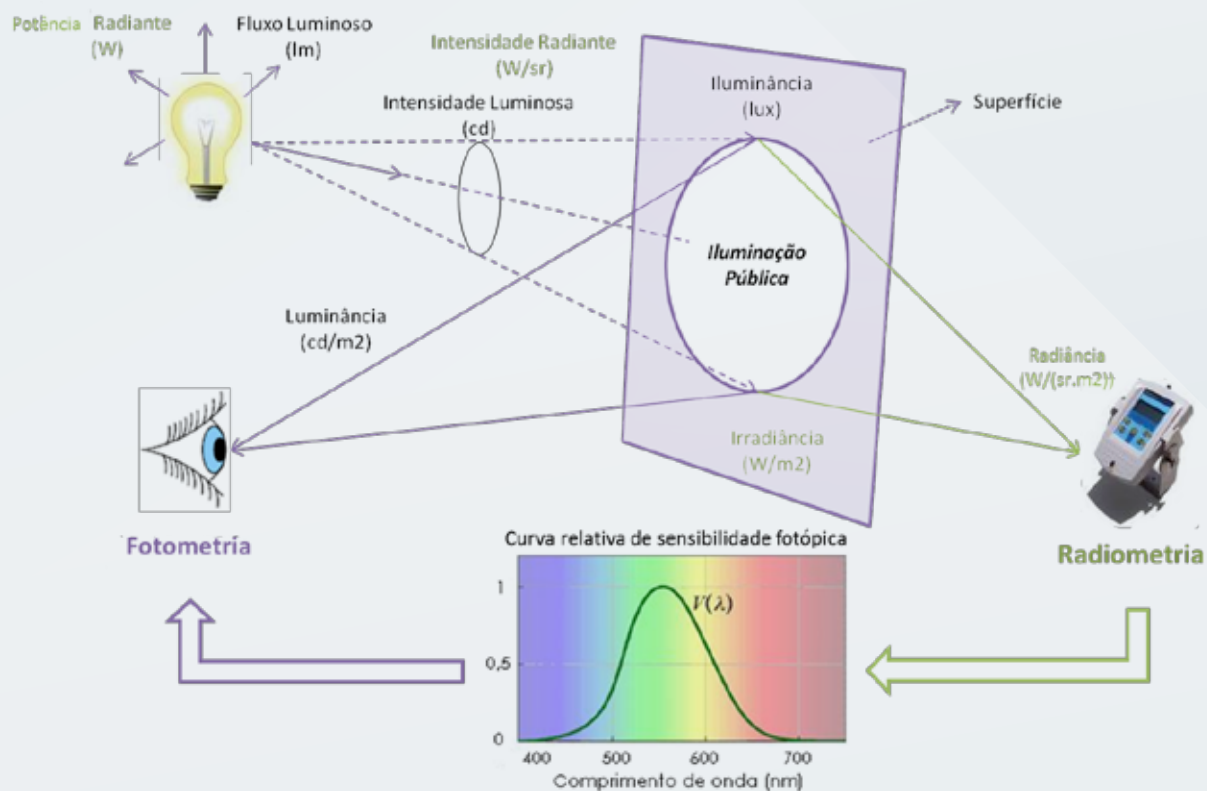


Figura 4.8 – Paralelismo dos conceitos associados à Radiometria e à Fotometria

De seguida definimos os conceitos ilustrados na Figura 4.8.

#### Potência Radiante ( $\phi_r$ )

Quantidade de energia radiante ( $\partial Q$ ) que atravessa uma dada superfície por unidade de tempo ( $\partial t$ ).

$$\phi_r = \frac{\partial Q}{\partial t} \text{ (W)}$$

#### Intensidade Radiante ( $I_r$ )

Potência radiante ( $\partial \phi_r$ ) transportada por unidade de ângulo sólido ( $\partial \Omega$ ).

$$I_r = \frac{\partial \phi_r}{\partial \Omega} \text{ (W/sr)}$$

#### Radiância ( $L_r$ )

Potência radiante ( $\phi_r$ ) por unidade de ângulo sólido ( $\partial \Omega$ ) e por unidade de área normal ( $\partial A$ ).

$$L_r = \frac{\partial^2 \phi_r}{\partial \Omega \cdot \partial A \cdot \cos \theta} \text{ (W/(sr.m}^2\text{))}$$

#### Irradiância ( $E_r$ )

Potência radiante ( $\partial \phi_r$ ) por unidade de área ( $\partial A$ ) num recetor.

$$E_r = \frac{\partial \phi_r}{\partial A} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

#### Ângulo Sólido ( $\Omega$ )

O ângulo sólido (medido em esterorradianos – sr) é uma extensão tridimensional do conceito de ângulo plano ( $\theta$ ) entre duas linhas que definem um arco de circunferência ( $l$ ). Para caracterizarmos um ângulo sólido é necessário definir um vértice  $V$  (fonte de luz pontual). A partir deste, e ao longo de uma distância ( $d$ ), é definida uma área ( $A$ ) na superfície esférica, com centro em  $V$ .

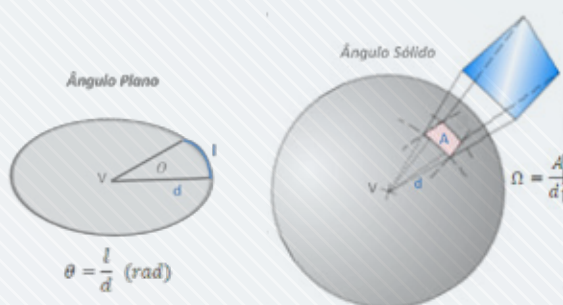


Figura 4.9 – Ângulo sólido

Na IP, são as grandezas fotométricas que irão estabelecer parâmetros de qualidade comparativos de uma dada instalação para um determinado local. Assim, é muito importante ter noção dos seguintes conceitos:

### Fluxo Luminoso ( $\phi$ )

É a quantidade de luz (lumen) emitida em todas as direções pela fonte de luz.

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} = 1 \text{ lx} \cdot \text{m}^2$$

O rácio de saída do fluxo luminoso (**LOR** – Light Output Ratio) é entendido como o quociente entre o fluxo luminoso ( $\phi$ ) total de uma luminária e a soma dos fluxos luminosos individuais das suas lâmpadas.

$$\text{LOR} = \frac{\phi_{\text{saída da luminária}}}{\sum \phi_{\text{lâmpada individual}}}$$

O **ULOR** (Upward Light Output Ratio) e o **DLOR** (Downward Light Output Ratio) de uma luminária são o rácio entre o fluxo emitido pela luminária para cima e para baixo, respetivamente.

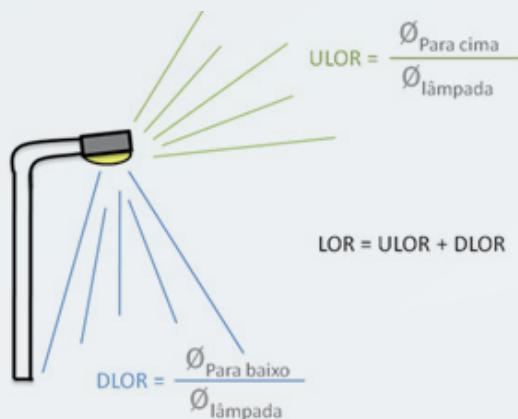
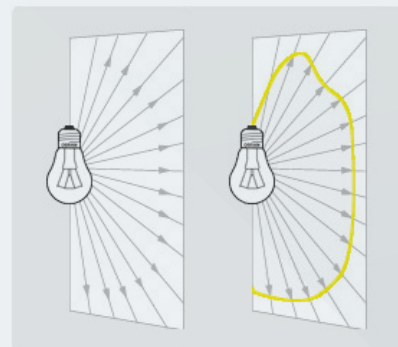


Figura 4.10 – Saída do fluxo luminoso

### Intensidade Luminosa ( $I$ )

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direcções, o fluxo luminoso seria distribuído em forma de esfera. No entanto, tal facto é quase impossível de acontecer, pelo que é necessário medir o valor da luz emitida em cada direcção.

À representação esquemática no espaço envolvente da intensidade luminosa, dá-se o nome de diagrama fotométrico, sendo que o comprimento dos vetores dessa distribuição espacial representam a intensidade luminosa.



$$I = \frac{\partial \phi}{\partial \Omega}$$

Figura 4.11 – Vetores da intensidade luminosa [Fonte: OSRAM]

$$\text{Contraste} = \frac{L_1 - L_2}{L_2}$$

## Iluminância (E)

A iluminância tem como unidade o lux (lx). É o quociente entre o fluxo luminoso ( $\partial\phi$ ) incidente num elemento da superfície, e a área ( $\partial A$ ) desse elemento.

$$E = \frac{\partial\phi}{\partial A}$$

Ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada.

### Iluminância média

$$E_{med} = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^{k=n} E_k$$

Em termos de projeto faz-se referência a três tipos de iluminâncias, que também poderão ser consideradas em situações especiais de projeto:

- **Horizontal ( $E_h$ )**, ou apenas iluminância (E) | calculada ou medida ao nível da via;
- **Vertical ( $E_v$ )** | calculada a uma altura de 1,5 metros acima da via;
- **Semicilíndrica ( $E_{sc}$ )** | calculada a uma altura de 1,5 metros acima da via.

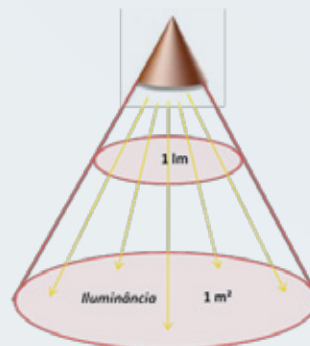


Figura 4.12 - Iluminância

Considerando os seguintes parâmetros;

I – intensidade luminosa na direção do ponto  
 $\alpha$  – ângulo entre o plano que contém o raio de luz (plano preto da Figura 4.13) e o plano ortogonal (plano 3 para Esc ou plano 4 no caso da Ev)  
 $\epsilon$  – ângulo de incidência da luz no ponto de cálculo  
 $\phi$  – Fluxo luminoso da(s) lâmpada(s) da luminária  
 H – altura da luminária  
 MF = FMLL x FML

determinam-se Ev e Esc através das equações:

$$E_v = \frac{I \times \cos(\alpha) \times \cos^2(\epsilon) \times \sin(\epsilon) \times \Phi \times MF}{(H - 1,5)^2}$$

$$E_{sc} = \frac{I \times [1 + \cos(\alpha)] \times \cos^2(\epsilon) \times \sin(\epsilon) \times \Phi \times MF}{\pi \times (H - 1,5)^2}$$

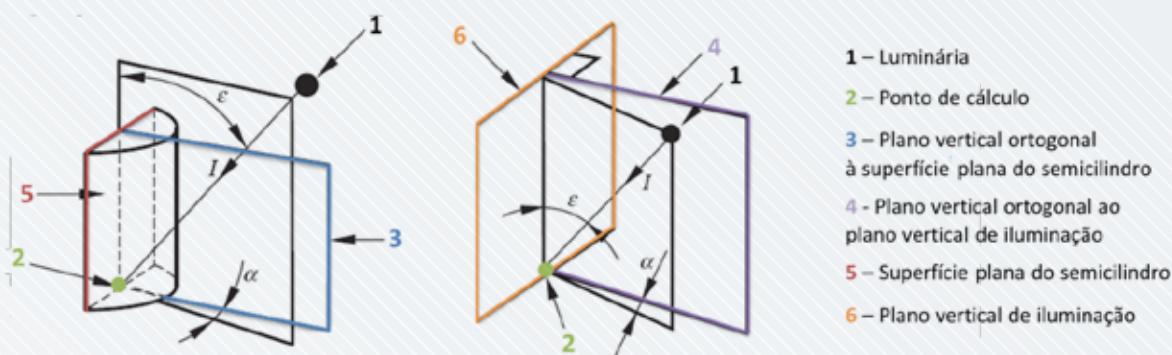


Figura 4.13 – Ângulos e planos usados no cálculo da Esc (esquerda) e da Ev (direita)

## Luminância (L)

A luminância é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido ( $\partial\Omega$ ). Tem como unidade SI a  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\theta)} \quad (\text{cd}/\text{m}^2)$$

Ao denominador desta equação dá-se o nome de área aparente. Esta é a área projetada na direção do observador, que corresponde à área da superfície iluminada.

### Luminância média

$$L_{med} = \frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^n L_k$$

onde 'n' é o número de pontos de luminância calculados sobre a superfície da via

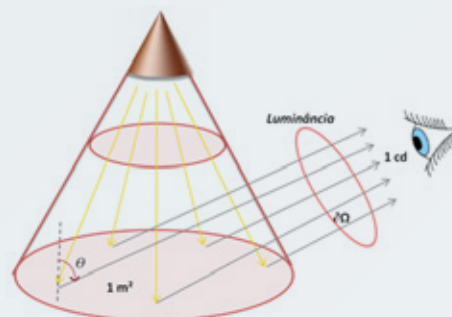


Figura 4.14 - Luminância

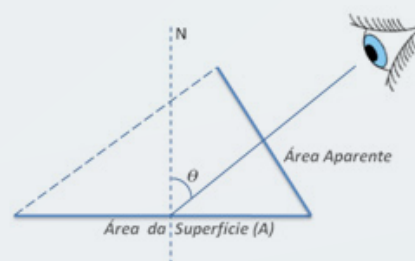


Figura 4.15 - Área aparente

## 4.3. Visão

Existem três tipos de visão:

- **Fotópica** – visão colorida dos humanos, sob condições normais de luminosidade durante o dia ( $> 3 \text{ cd}/\text{m}^2$ ). Cones ativos.
- **Escotópica** – visão humana no escuro ( $< 0,001 \text{ cd}/\text{m}^2$ ). Apenas os bastonetes são ativados.
- **Mesópica** – combinação entre a visão fotópica e escotópica em situações com uma luminosidade baixa, mas não totalmente escuro. São as condições existentes para a visão humana à noite com a IP ligada, onde quer os bastonetes quer os cones estão ativos.

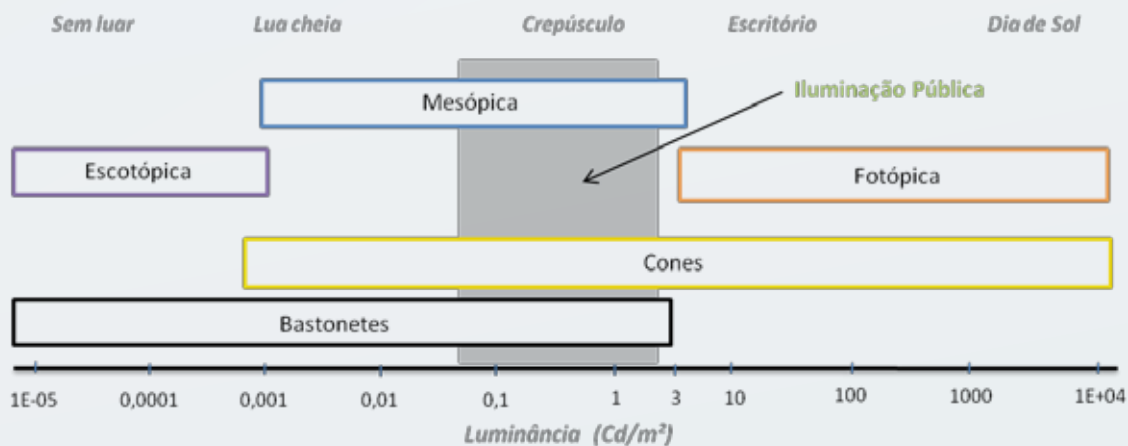


Figura 4.16 - Gamas de luminância para cada tipo de visão e dos fotorreceptores



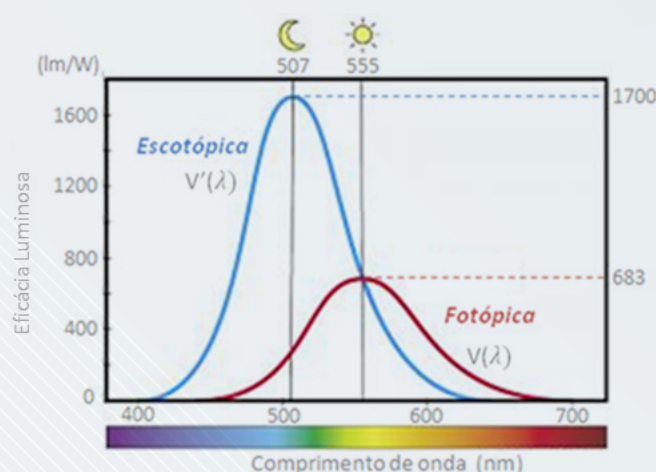


Figura 4.17 – Eficácia luminosa máxima dos tipos de visão fotópica e escotópica

Para o olho humano, a máxima eficácia na curva de sensibilidade da visão fotópica é de 683 lm/W num comprimento de onda de 555 nm, ao passo que a máxima eficácia na curva de sensibilidade escotópica é de 1700 lm/W num comprimento de onda de 507 nm. A eficácia máxima em condições de visão mesópica varia consoante a sua curva, que por sua vez varia de acordo com o nível de luminosidade ambiente, pelo efeito de Purkinje.

O **Efeito de Purkinje** consiste no deslocamento do máximo de sensibilidade da visão sensível às cores (fotópica), para o máximo de sensibilidade à luz (escotópica), com a diminuição da luz recebida pelo olho.

Apesar de ainda não existir normalização relativamente à utilização da visão mesópica, estudos da IEC indicam que a IP enquadra-se nesta visão, tal como podemos ver pelos limites definidos na Figura 4.17. A utilização da curva de sensibilidade do olho, na zona mesópica, permitiria um ganho de eficiência, para as fontes de luz com espectro centrado nesse comprimento de onda. Sendo a curva mesópica a combinação das curvas fotópica e escotópica, o centro de eficiência da mesópica posicionar-se-á entre os 555 nm e os 507 nm, consoante o nível de luminância ambiente existente.

## 4.4. Parâmetros de uma instalação de IP

### Temperatura de Cor

A cor não é uma propriedade intrínseca dos objetos; isoladamente os objetos não possuem cor. O nosso sistema neuronal ótico é que, respondendo ao estímulo visual provocado pela reflexão da radiação pelos objetos e meio ambiente, atribui cor a um determinado comprimento de onda na região do visível (380 – 760 nm).

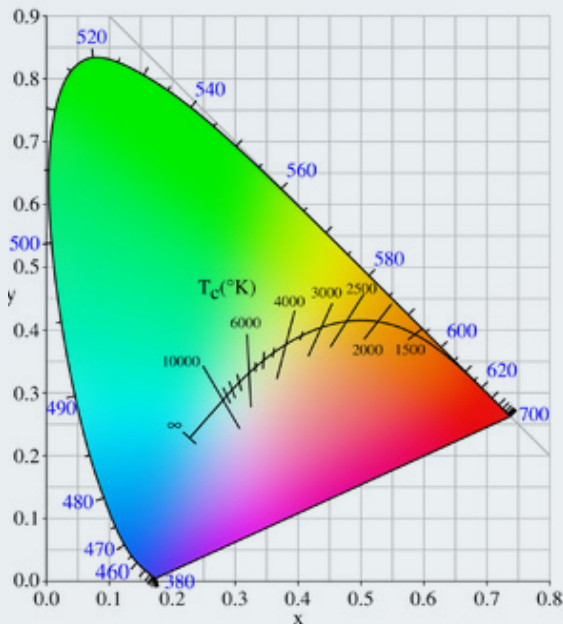
Para um melhor entendimento do conceito de temperatura de cor, é pertinente definir corpo negro. Este é um objeto que, idealmente, absorveria toda a radiação eletromagnética que lhe chegasse, emitindo, um espectro de luz em função da temperatura a que se encontra.

À temperatura ambiente, os corpos negros emitem luz infravermelha. Pela lei de Wien ( $\lambda = k/T$  onde  $T = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$   $^{\circ}\text{C}$ ) à medida que a temperatura aumenta (acima de algumas centenas de  $^{\circ}\text{C}$ ), os corpos negros começam a emitir comprimentos de onda visíveis, desde o vermelho, passando pelo laranja, amarelo, até ao azul.



Figura 4.18 – Variação da temperatura de cor

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



Algumas fontes de luz, como por exemplo os LED, emitem luz por outros processos que não o aumento da temperatura de um corpo (incandescência). Isto significa que a radiação emitida não segue a forma do espectro de um corpo negro.

A estas fontes luminosas associa-se, não o conceito de temperatura de cor, mas mais corretamente o de temperatura de cor correlacionada. Esta é a temperatura de cor de um corpo negro radiante que, em termos de percepção da cor, está mais próxima da luz da fonte luminosa.

Figura 4.19 – Temperatura de cor correlacionada no diagrama de cores da CIE (x – cromaticidade do espectro | y – medida de luminosidade percebida, ou seja, quão brilhante parece uma fonte de luz a um observador)

Elevadas temperaturas de cor correspondem a cores frias, logo, quanto mais elevada for, mais fria será a cor. Na iluminação de espaços públicos podemos considerar três gamas de luz branca (não se aplica às lâmpadas coloridas):

**Quente** (3000K  $\pm 10\%$ )

**Neutra** (4000K  $\pm 10\%$ )

**Fria** (5500K  $\pm 10\%$ )



Figura 4.20 – Aparência do mesmo local com fontes luminosas de temperatura de cor diferentes

A luz branca, de espectro mais alargado, proporciona, em relação a uma luz mais monocromática alaranjada, uma maior acuidade visual, um menor tempo de resposta e, principalmente, um índice de restituição cromática bem mais elevado. Todos estes aspetos potenciam a sensação de conforto, possibilitam um melhor reconhecimento facial e aumentam a segurança dos cidadãos.

### Índice de Restituição de Cor (IRC)

A restituição de cor é uma expressão que designa, sob o aspeto da reprodução cromática, o efeito da radiação emitida por uma fonte nos objetos que ilumina. Este efeito é comparado ao aspeto cromático dos mesmos objetos iluminados por uma fonte de referência (luz do dia).

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

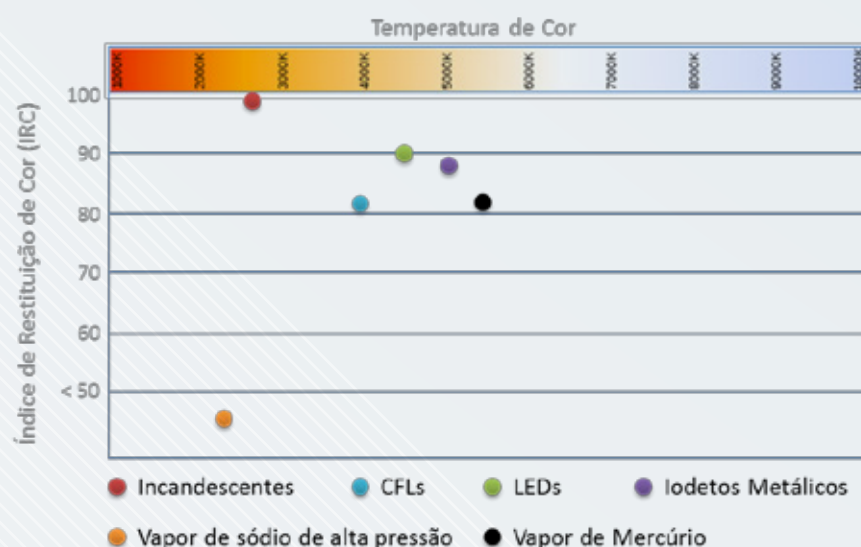
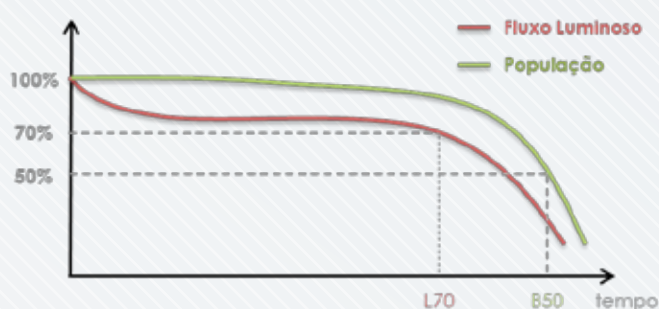


Figura 4.21 – Índices de restituição de cor e temperatura de cor de fontes luminosas

### Tempo de Vida

O tempo de vida de uma fonte de luz é normalmente referenciado (mas não exclusivamente) pelos seguintes indicadores:

- B50 – índice de mortalidade. Indica o número de horas após as quais 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso.
- L70 – é normalmente definido em horas e representa o tempo no qual o fluxo luminoso inicial das lâmpadas testadas foi reduzido em cerca de 30%.



Esta é uma das características das fontes luminosas mais relevantes, pois influencia os custos de funcionamento, quer ao nível dos custos de manutenção quer do custo de aquisição de lâmpadas durante um determinado período.

Figura 4.22 – Tempo de vida útil (L70) e médio (B50)



### Eficácia Luminosa ( $\eta$ )

A eficácia luminosa ( $\eta$ ) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte ( $\phi$ ) e a potência elétrica por ela absorvida ( $P$ ).

$$\eta = \frac{\phi}{P} \text{ (lm/W)}$$

Os equipamentos fotométricos e os medidores de luz são geralmente calibrados conforme a sensibilidade espectral dos cones, ou seja, na visão fotópica. No entanto, estudos (e.g. MOVE – Mesopic Optimization of Visual Efficiency) indicam que a distribuição espectral da fonte de luz tem, de facto, efeito na visibilidade que ela produz. Em termos de visão mesópica, estas pesquisas têm apontado no sentido das fontes de luz branca (e.g. LED) serem mais eficientes que as amareladas (vapor de sódio).

Tabela 4.1 – Eficácia fotópica e escotópica [Fonte: MOVE]

Fonte Luminosa	Eficácia Fotópica (lm/W)	Eficácia Escotópica (lm/W)
Vapor de Sódio de Alta Pressão	120	70
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	190	40
Iodetos Metálicos	100	180
LED	140	200

Para calcularmos os lumens eficientes, de uma fonte de luz, a níveis escotópicos, ou seja, na ausência de luz, há que substituir os valores da curva  $V(\lambda)$  pelos valores da sensibilidade escotópica  $V'(\lambda)$ .

Estas duas curvas definem o chamado Rácio S/P que representa o quociente entre o output luminoso da fonte de luz segundo  $V'(\lambda)$  e  $V(\lambda)$  (Figura 4.17).

Os seguintes conceitos caracterizam o nível de eficiência da instalação de IP.

### Índice de Eficiência Energética (IEE)

A eficiência energética de uma instalação de IP define-se como a relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada:

$$IEE = \frac{S \times E}{P}$$

**S** – Área total (m<sup>2</sup>): produto do valor da interdistância entre pontos de luz e largura total da via e passeios

**E** – Nível médio de iluminância calculado

**P** – Potência total das luminárias, mais auxiliares, intervenientes na área calculada

A IP nos últimos anos tem levantado o interesse de todas as entidades envolvidas, numa tentativa de dar resposta ao uso racional de energia, sendo que os fabricantes continuam a desenvolver as suas tecnologias nesse sentido. Assim, apresenta-se de seguida uma tabela de referência que deverá servir de guia para a determinação da eficiência energética na IP. Não obstante, a mesma poderá ter que ser revista periodicamente para acompanhar as evoluções tecnológicas e as melhores práticas.

Tabela 4.2 – Classificação Energética das instalações de IP

	vias com larguras > 6 m	vias com larguras ≤ 6 m
<b>A</b>	<b>IEE &gt; 40</b>	<b>IEE &gt; 30</b>
<b>B</b>	$40 \geq \text{IEE} > 35$	$30 \geq \text{IEE} > 25$
<b>C</b>	$35 \geq \text{IEE} > 30$	$25 \geq \text{IEE} > 20$
<b>D</b>	$30 \geq \text{IEE} > 25$	$20 \geq \text{IEE} > 15$
<b>E</b>	$25 \geq \text{IEE} > 20$	<b>IEE ≤ 15</b>
<b>F</b>	$20 \geq \text{IEE} > 15$	
<b>G</b>	<b>IEE ≤ 15</b>	

Em complemento à determinação da classificação energética, poderá ser considerado ainda o rácio de  $W_{\text{médio}}/\text{m}^2$ , sendo que:

$$W_{\text{médio}} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times \text{Tempo de Serviço do patamar } i)}{\text{Tempo total de serviço}}$$

O índice “i” representa os patamares de potência (W) de um ponto de luz incidente numa área durante um determinado período.

Os cálculos do consumo energético devem ter como valor de referência o número de horas de utilização diária, igual a 12.

No caso de sistemas de gestão do nível de iluminação dinâmica, que recorrem a informação de tempo real, a determinação do  $W_{\text{médio}}$  poderá ser realizada com base nos patamares mínimos a selecionar para cada período.

Este rácio tem vindo a ser defendido em sede de grupos de normalização, nomeadamente para compação de diferentes soluções de projeto.

### Fator de Utilização (FU)

É o rácio do fluxo luminoso recebido pela superfície que se pretende iluminar (fluxo útil -  $\phi_{\text{util}}$ ), com a soma dos fluxos individuais de cada lâmpada da instalação.

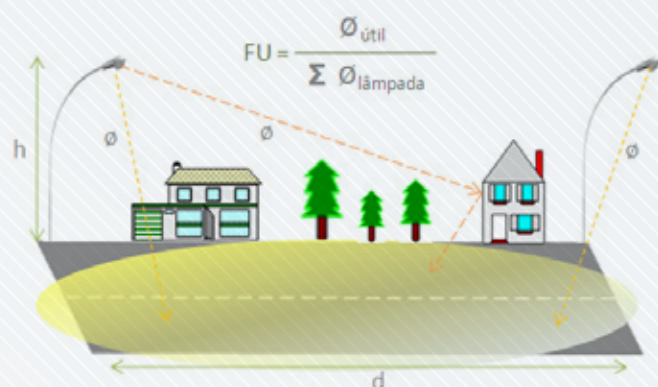


Figura 4.23 – Fator de utilização de uma instalação

O factor de utilização depende de vários parâmetros associados às luminárias e ao meio envolvente, nomeadamente:

- LOR da luminária,
- Distribuição do fluxo luminoso da luminária,
- Reflexão dos objetos vizinhos (e.g. muros, casas, etc.),
- SHR (REA) - Space Height Ratio (Rácio entre o espaçamento e a altura dos postes de iluminação).

## Poluição Luminosa

É definida como qualquer efeito adverso causado ao meio ambiente pela luz artificial excessiva, refletida ou mal direcionada. No domínio da IP, são considerados três tipos de poluição luminosa:

- Luz emitida para o céu (sky glow);
- Luz intrusiva (ilumina locais indevidamente);
- Brilho encandeante (glare).

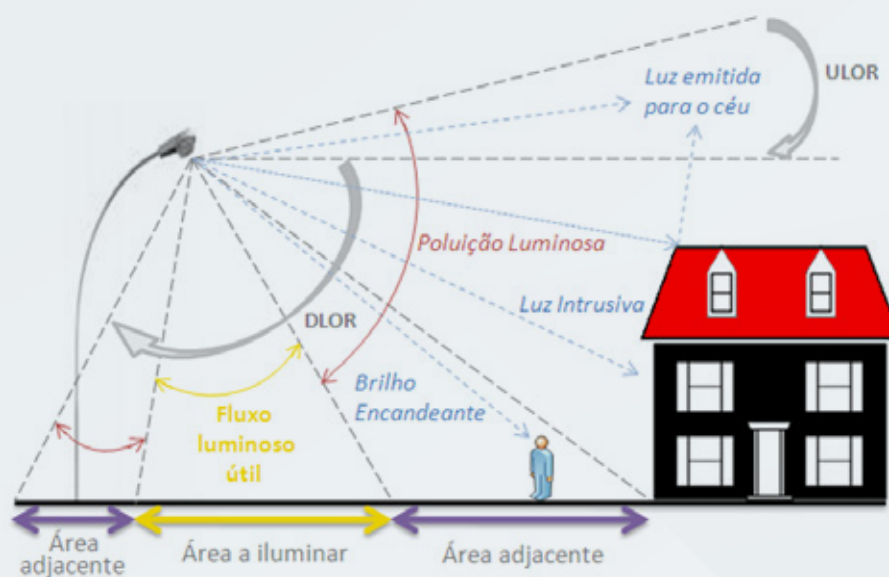


Figura 4.24 – Fluxo luminoso emitido por uma luminária

### Luz emitida para o céu

É definida como o brilho do céu à noite que resulta da radiação que é emitida diretamente para cima (ULOR) e da radiação refletida pelas diversas superfícies.

### Luz intrusiva

É definida como a luz emitida por uma instalação para fora dos limites da área ou propriedade que deveria iluminar.

### Brilho encandeante (Glare)

É um parâmetro mensurável de forma objetiva, dado pelo incremento limite (TI). Causa incómodo, desconforto, distração ou redução na capacidade de observar informação essencial e está directamente relacionado com a segurança rodoviária.



$$TI = \frac{65}{L^{0,8}} \times L_v$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2}$$

$L_v$  é a luminância de véu, ou seja, é o brilho encandeante que se forma na retina do olho reduzindo, assim, a percepção do contraste da imagem, ao observador

Figura 4.25 – Encandeamento do observador

### Uniformidade

Um dos principais objetivos na IP é providenciar uma boa iluminação na superfície das ruas e estradas, de modo a que os obstáculos sejam facilmente identificáveis. Assim, é fundamental que não existam áreas negras entre as zonas iluminadas, ou seja, que haja uniformidade na iluminação.

A uniformidade **geral** ( $U_0$ ) deverá ser calculada como o rácio entre o valor da luminância mais baixo ( $L_{min}$ ) (existente num ponto qualquer do campo de cálculo) e a luminância média ( $L_{med}$ ).

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}}$$

A uniformidade **longitudinal** ( $U_l$ ) é calculada através do quociente entre o valor mais baixo ( $L_{min}$ ) e o valor mais alto ( $L_{max}$ ) da luminância, na direcção longitudinal, ao longo do centro de cada faixa de rodagem.

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}}$$

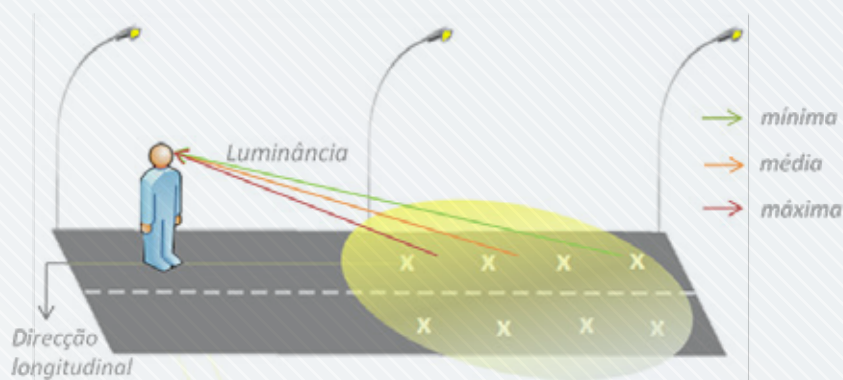


Figura 4.26 – Parâmetros da uniformidade geral e longitudinal

O número de pontos na direcção longitudinal e o espaço entre eles terá de ser o mesmo que tenha sido usado no cálculo da luminância média. Adicionalmente, a posição do observador terá de estar no enfiamento da linha dos pontos de cálculo.

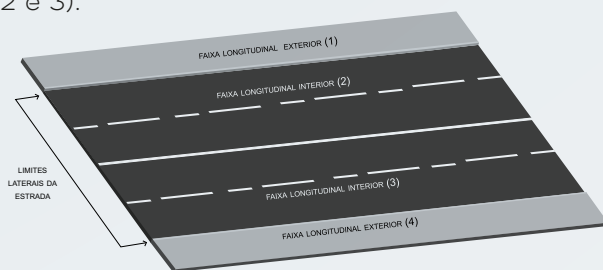
Pode ainda definir-se a uniformidade **média** ( $U_m$ ) como sendo a relação entre o valor da iluminância mínima ( $E_{min}$ ) e o valor da iluminância média ( $E_{med}$ ) de uma instalação de iluminação.

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}}$$

Para além de uma adequada e uniforme iluminação das ruas e estradas, não se pode descurar a visibilidade da parte superior de objetos mais altos na estrada, ou de objetos que se encontrem nas laterais das faixas de rodagem (particularmente em secções curvas). Estes apenas são vistos se existir uma boa iluminação na envolvente da estrada, ou seja, na sua vizinhança. Desta forma, possibilitar-se-á ao condutor uma melhor perceção da sua situação, o que irá permitir fazer, a tempo, ajustamentos devidos de velocidade e trajetória. Assim, é função do rácio envolvente (SR) assegurar que o fluxo direcionado para a periferia das estradas seja suficiente para o efeito.

### Rácio Envolvente (SR – “Surrounding Ratio”)

O SR é definido como sendo a iluminância média horizontal ( $\bar{E}$ ) nas duas faixas longitudinais exteriores aos limites laterais da estrada (faixas 1 e 4), dividida pela iluminância média horizontal de duas faixas longitudinais dessa estrada, adjacentes aos seus limites (faixas 2 e 3).

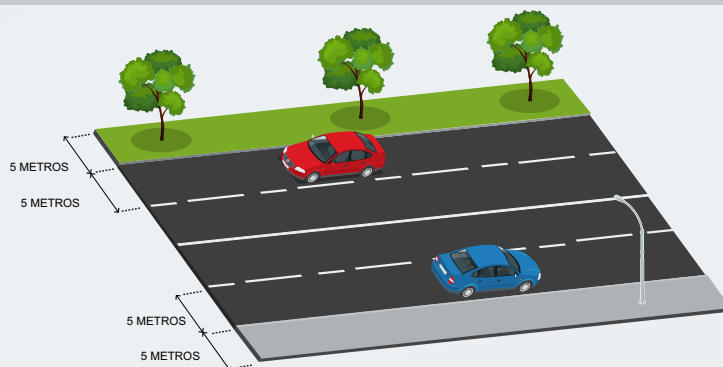


$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3}$$

Figura 4.27 – Limites laterais da Estrada para cálculo do SR

Tendo em conta as características da via e da sua envolvente, a largura de cada uma dessas faixas longitudinais, para o cálculo do rácio envolvente, terá de ser a mesma, e igual ao valor mínimo das seguintes três hipóteses:

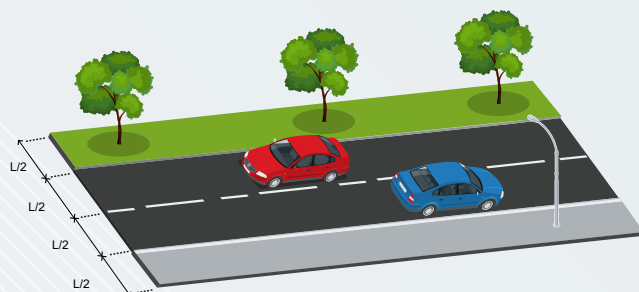
### Hipótese 1



Largura igual a 5 metros.

Figura 4.28 – Esquematisação da Hipótese 1

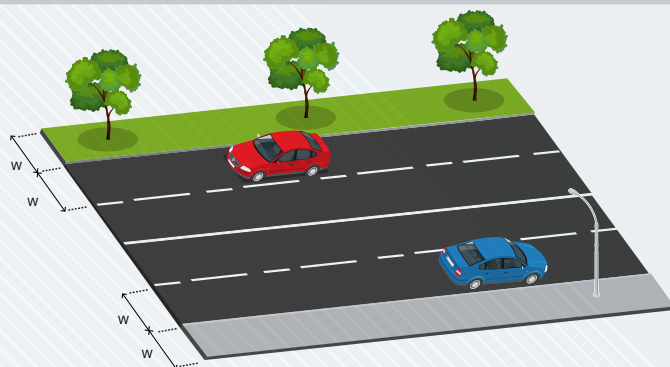
## Hipótese 2



Largura igual a metade da largura da estrada.

Figura 4.29 – Esquematização da Hipótese 2

## Hipótese 3



Largura igual à da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída.

Figura 4.30 – Esquematização da Hipótese 3

Existem vários fatores associados à manutenção da qualidade de uma instalação de iluminação pública que têm de ser considerados durante a fase de projeto.

### Fator de Manutenção da Luminária

**FML** :: É o rácio do LOR de uma luminária num dado momento ( $LOR(t)$ ), com o LOR dessa mesma luminária no seu início de vida ( $LOR_0$ ).

### Fator de Sobrevivência da Lâmpada

**FSL** :: É o rácio entre o número total de lâmpadas  $N(t)$ , que continuam a funcionar num dado momento e sob certas condições, e as iniciais  $N_0$ .



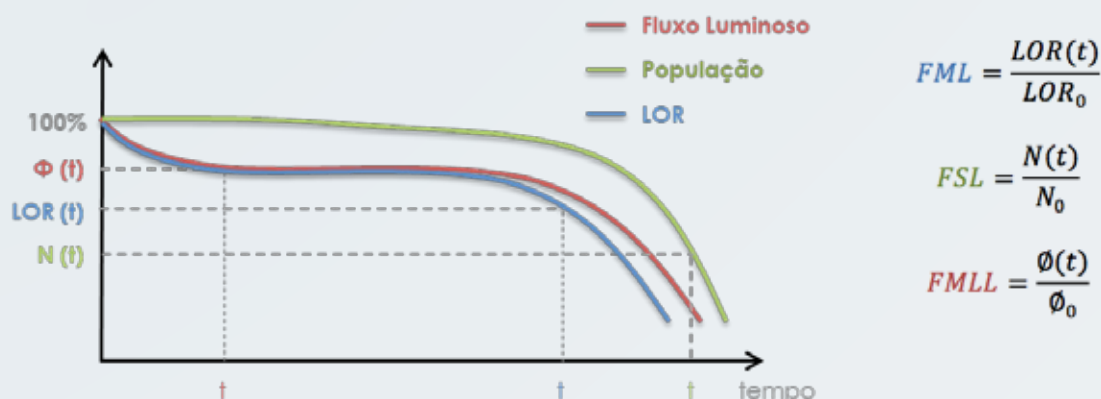


Figura 4.31 – Funções das variáveis dos diversos fatores

### Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada

**FMLL** :: É dado pelo rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ( $\Phi(t)$ ) e o fluxo luminoso inicial ( $\Phi_0$ ).

### Fator de Manutenção (FM)

O fator de manutenção (FM) de uma instalação é o rácio da iluminância num determinado momento ( $E(t)$ ), com a iluminância inicial ( $E_0$ ). Pode também ser obtido, pelo produto entre os fatores de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL), sobrevivência da lâmpada (FSL) e manutenção da luminária (FML)

O valor do fator de manutenção poderá afetar significativamente a potência da lâmpada a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância especificados.

$$FM = FML \times FSL \times FMLL$$

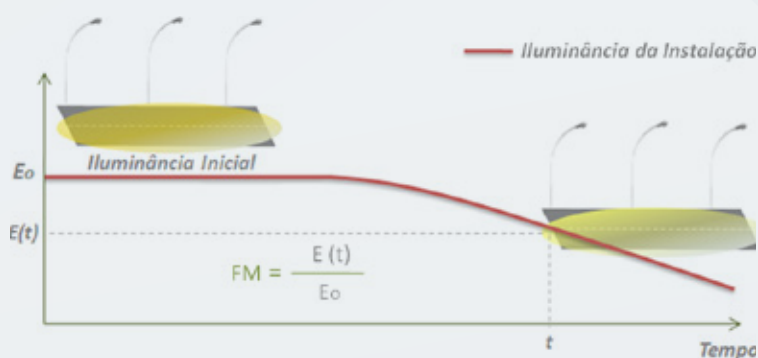


Figura 4.32 – Fator de manutenção de uma instalação

## 4.5. Medição e representação da informação fotométrica

### Equipamentos de Medição

Os seguintes equipamentos são utilizados na medição das grandezas fotométricas e representação da distribuição espacial das fontes luminosas.

	<p><b>Figura 4.33 – Luxímetro</b></p> <p>Consiste num sensor luminoso, normalmente baseado num fotodíodo, que ao receber a luz sobre a sua superfície cria uma corrente elétrica proporcional à luz incidente. Este aparelho é utilizado para medir o nível de iluminação, ou seja, a <b>iluminância</b>.</p>
	<p><b>Figura 4.34 - Luminancímetro</b></p> <p>Este aparelho de medição da <b>luminância</b> baseia-se num sistema ótico direcional que se orienta de modo a que a imagem coincida com o ponto a medir. A luz detetada num sensor fotoelétrico gera uma corrente elétrica, que é convertida num sinal de leitura analógico ou digital.</p>
	<p><b>Figura 4.35 – Esfera de Ulbricht</b></p> <p>A medida do <b>fluxo luminoso</b> realiza-se em laboratório por meio de um fotoelemento incorporado numa esfera côncava. Este fotoelemento é ajustado, segundo uma curva de sensibilidade fotópica do olho, às radiações monocromáticas. A esta esfera dá-se o nome de esfera integradora de Ulbricht e no seu interior coloca-se a fonte luminosa que se pretende medir.</p>
	<p><b>Figura 4.36 - Colorímetro</b></p> <p>É um aparelho utilizado para medir a <b>temperatura de cor</b> de uma fonte luminosa, sendo descrito usualmente como um instrumento que analisa amostras de cor, com sensores nas frequências do vermelho, verde e azul para obter uma caracterização da mesma.</p>
	<p><b>Figura 4.37 - Goniofotómetro</b></p> <p>Consiste num aparelho computadorizado que realiza o levantamento das características fotométricas de lâmpadas e luminárias, caracterizando-as sob o ponto de vista da distribuição espacial de intensidades luminosas, apresentando os dados prontamente em diagramas e tabelas, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagramas polares,</li> <li>• Diagramas do coeficiente de utilização,</li> <li>• Diagramas isocandela,</li> <li>• Diagramas isolux.</li> </ul>



### Diagramas de Informação Fotométrica

O sistema de coordenadas mais utilizado para luminárias de IP, na representação da informação fotométrica é o sistema ( $C - \gamma$ ). O vector  $I$  representa o valor da intensidade luminosa, ao passo que  $C$  e  $\gamma$  assinalam a sua direção.  $C$  indica qual o plano vertical onde os vetores estão localizados e  $\gamma$  mede a inclinação relativa ao eixo fotométrico vertical da luminária.

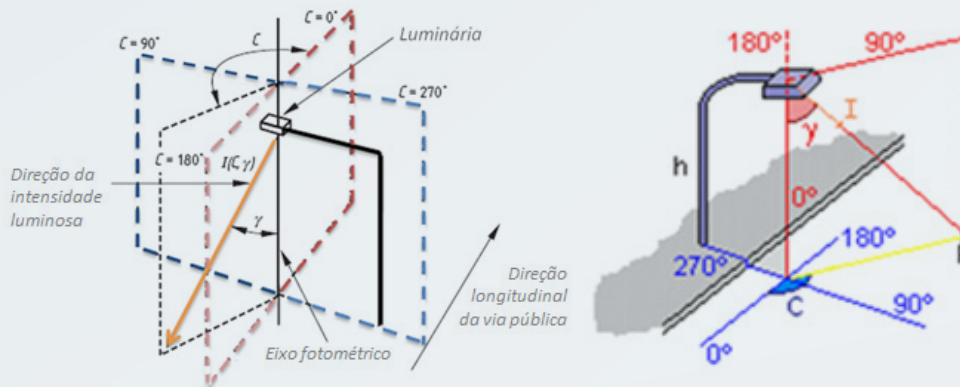


Figura 4.38 – Esquematização do sistema C- $\gamma$

#### Relativamente aos ângulos de C:

Os planos entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$  situam-se no lado da estrada.

- C-0 é o plano vertical que se situa para a direita da luminária
- C-180 situa-se à esquerda da luminária

Os planos entre  $180^\circ$  e  $360^\circ$  situam-se no passeio.

#### Relativamente aos ângulos de $\gamma$ :

$\gamma = 0^\circ$  | assinala o vetor da intensidade luminosa a apontar na vertical desde a luminária até à superfície.

$\gamma = 90^\circ$  | corresponde a um vetor horizontal à luminária.

$\gamma = 180^\circ$  | indica que o vetor da intensidade luminosa está a apontar para cima da luminária, na vertical.

### Diagrama Polar

Se traçarmos num plano transversal, uma curva ao longo das extremidades de todos os vetores de  $I$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), que têm como origem a lâmpada, obtemos a curva de distribuição luminosa dessa fonte. Assim, o diagrama polar é a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos ( $\gamma$ ), sobre os quais é direcionada, num plano vertical (C). Quando a curva de distribuição luminosa apresenta simetria, em relação ao eixo da lâmpada, basta a representação de um plano no diagrama

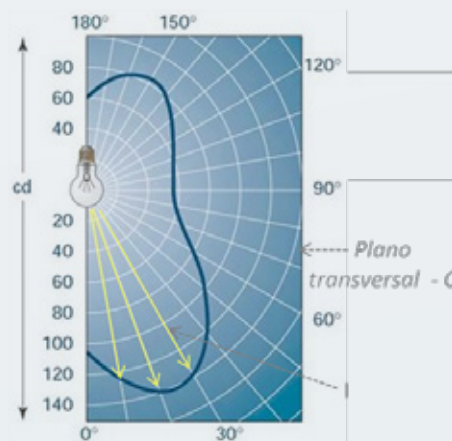


Figura 4.39 – Diagrama polar (com simetria)

Caso haja assimetria em torno do eixo da fonte de luz, o diagrama polar terá de apresentar as curvas de distribuição nos planos verticais necessários à sua caracterização, sendo obrigatória a inclusão do plano onde a intensidade luminosa é máxima.

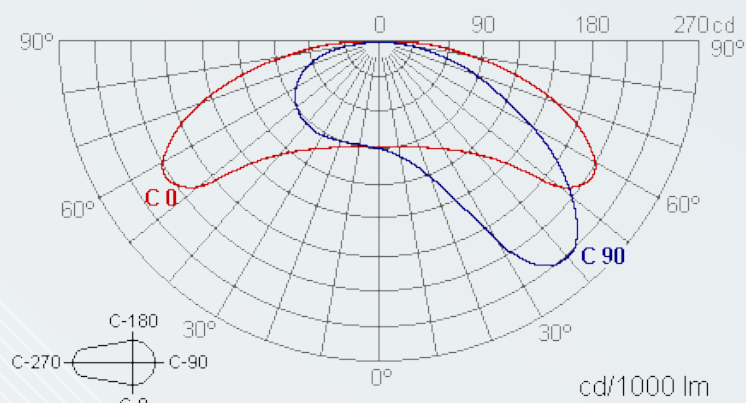


Figura 4.40 – Representação de um diagrama polar (com assimetria) [Fonte: Indalux]

### Diagrama Isocandela

Não obstante os diagramas polares serem uma ferramenta muito útil e prática, apresentam apenas informação no que ocorre nos planos verticais (C), não se sabendo o que se passa nos restantes pontos. Para evitar este inconveniente e conjugar uma representação plana com a informação sobre a intensidade luminosa em qualquer direção, foi criado o diagrama isocandela. Este consiste em simular a luminária no centro de uma esfera, em que na sua superfície exterior se unem, numa linha, os pontos com a mesma intensidade (curvas isocandelas). Geralmente as luminárias têm como mínimo, um plano de simetria, pelo que se considera apenas uma semi-esfera.

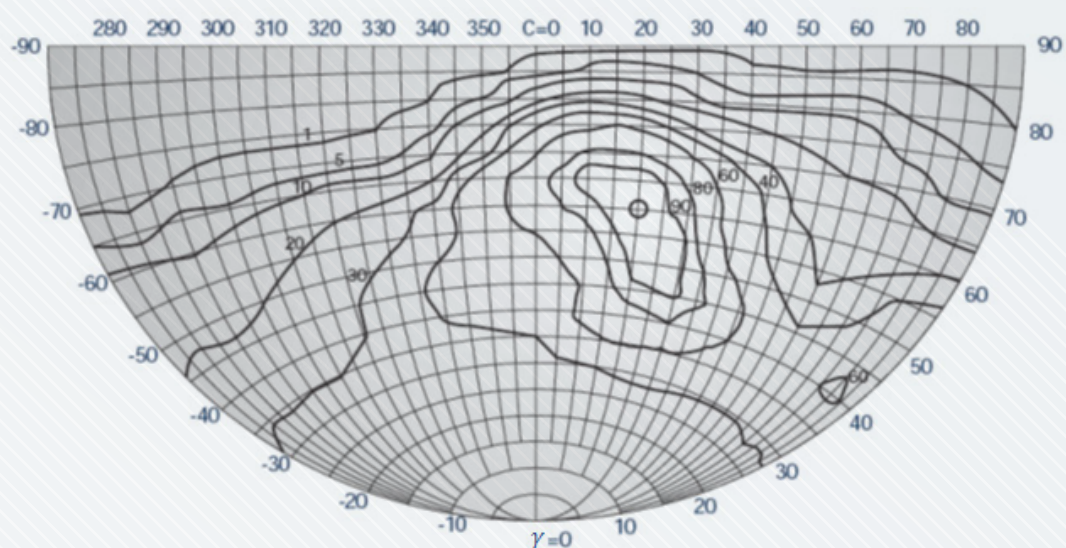


Figura 4.41 – Representação de um diagrama isocandela [Fonte: Indalux]

## Diagrama Isolux

Se projetarmos os valores da iluminância emitidos sobre uma superfície, pela fonte luminosa, sobre um mesmo plano e unirmos por uma linha os de valor idêntico, construir-se-á uma curva isolux. As várias curvas isolux formam o diagrama isolux, onde  $h$  é a altura a que se encontra a luminária.

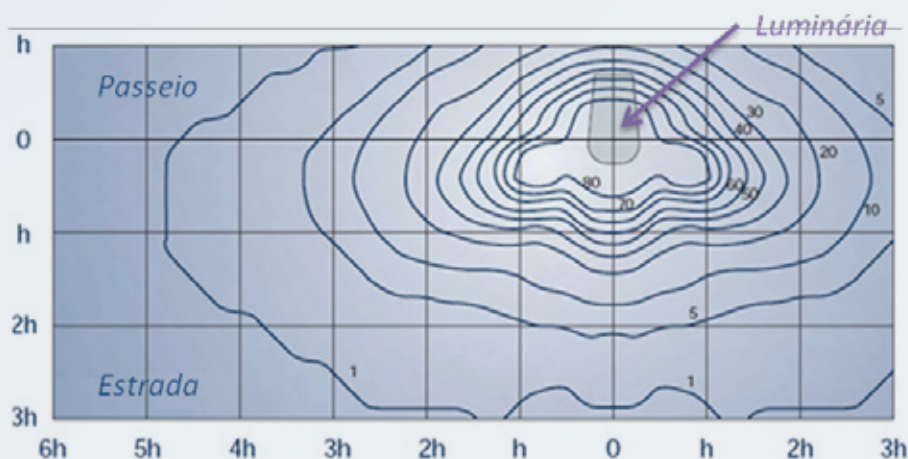
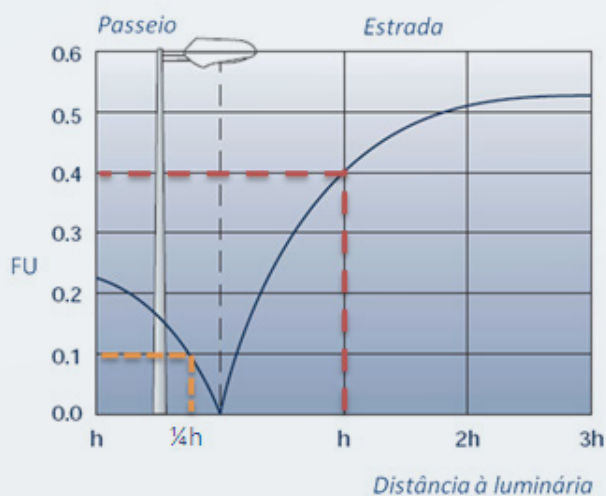


Figura 4.42 - Representação de um diagrama isolux [Fonte: Indalux]

## Curvas do Fator de Utilização

As curvas do fator de utilização, existentes nas folhas de informação fotométrica, oferecem um método fácil de cálculo da iluminância média, para uma certa secção transversal da faixa de rodagem.

Estas curvas são função das distâncias transversais ( $w$ ), medidas em função da altura ( $h$ ) dos postes de iluminação. Por exemplo, para uma largura de estrada a iluminar igual à altura do poste ( $w=h$ ), observando a curva da Figura 4.43, teremos um fator de utilização de 0,4. Caso o poste de iluminação também ilumine o passeio, até por exemplo uma distância de  $\frac{1}{4}h$ , terá um fator adicional de utilização de 0,1. Assim, o fator de utilização total será 0,5.



$$E_{med} = \frac{FU \times \phi \times N}{w \times d}$$

$\phi$  – fluxo luminoso da lâmpada

$FU$  – factor de utilização

$N$  – número de lâmpadas por luminária

$d$  – interdistância entre as luminárias

$w$  – largura da faixa

Figura 4.43 – Curva de Fator de Utilização [Fonte: Indalux]

## 5. Tecnologias

Neste capítulo pretende-se caracterizar as diversas tecnologias existentes que compõem os sistemas de IP, nomeadamente, lâmpadas, luminárias, balastros e sistemas de comando e controlo.

### 5.1. Fontes de Luz

A fonte de luz é o elemento que produz uma radiação eletromagnética no espectro visível. Os vários tipos de fontes luminosas que podem ser utilizadas num sistema de iluminação pública diferenciam-se mediante as suas características técnicas e económicas e dos seus parâmetros de desempenho, nomeadamente:

- Índice de Restituição de Cor (IRC),
- Temperatura de Cor (kelvin),
- Fluxo Luminoso (lm),
- Eficácia Luminosa (lm/w),
- Gama de Potência (w),
- Tempo de Vida (h),
- Custo (€),
- Fator de Sobrevivência da Lâmpada (FSL),
- Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL).

Pelo papel de relevância no parque nacional de IP serão apenas consideradas neste Manual as lâmpadas de cor alaranjada (vapor de sódio de alta pressão) e as de cor branca (iodetos metálicos e LED).

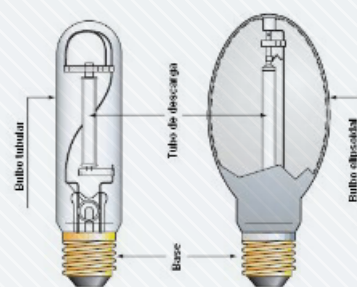
#### Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP)

É uma lâmpada de descarga de alta intensidade (HDI – high discharge intensity) controlada por um balastro. No seu interior uma mistura de sódio e mercúrio é vaporizada provocando um arco entre os elétrodos no tubo de descarga, permitindo a condução e consequente emissão de luz visível.

A tensão de arco existente na lâmpada aumenta entre 1 a 2 (V) por cada 1000 horas de funcionamento, devido à diminuição da pressão dos gases que compõem a mistura dentro do tubo de descarga. Este incremento é bastante relevante, uma vez que, aumentos de cerca de 10% no valor da tensão de arco implicam aumentos entre 20 a 25 % da potência. Adicionalmente, terá mais dificuldades em arrancar com tensões de linha reduzidas. Demoram cerca de 10 minutos a atingir o seu fluxo luminoso máximo e têm um tempo de reacendimento de aproximadamente 1 minuto.

**Tabela 5.1 – Características das lâmpadas de vapor de sódio**

<b>Temperatura de Cor (K)</b>	<b>2 600 - 3 200</b>
IRC	20 - 40
<b>Eficácia (lm/w)</b>	<b>70 - 150</b>
Tempo de vida útil (h)	16 000 - 28 000



**Figura 5.1 – Lâmpada de vapor de sódio**



## Iodetos Metálicos

Este tipo de lâmpada é um aperfeiçoamento da lâmpada de vapor de mercúrio que, devido à presença de iodetos metálicos, possui um IRC e uma eficácia luminosa muito superiores. Possui, no entanto, um tempo de vida um pouco menor.

Para a ignição deste tipo de lâmpadas de descarga é necessário um ignitor que produza picos de tensão elevados ( $\leq 5\text{kV}$ ).

As lâmpadas de iodetos metálicos, tal como as de vapor de sódio, não produzem instantaneamente a máxima potência luminosa. Necessitam de um período de aquecimento, proporcional à sua potência, de vários minutos. O seu período de reacendimento é inclusivamente o maior das tecnologias descritas, cerca de 15 minutos.

Tabela 5.2 – Características das lâmpadas de iodetos metálicos

Temperatura de Cor (K)	3 300 - 5 500
IRC	80 - 90
Eficácia (lm/w)	65 - 120
Tempo de vida útil (h)	12 000 - 24 000

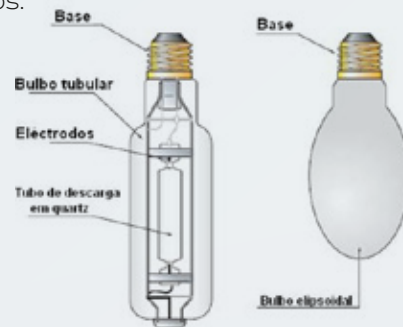


Figura 5.2 – Lâmpada de iodetos metálicos

## LED

O díodo emissor de luz (LED – Light emitting diode) transforma a energia elétrica em luz num cristal de semicondutor (chip). Tal transformação é diferente da encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução), pois nos LED ela é efetuada dentro da matéria sólida.

Daí que também seja denominada iluminação de estado sólido (SSL – Solid State Lighting).

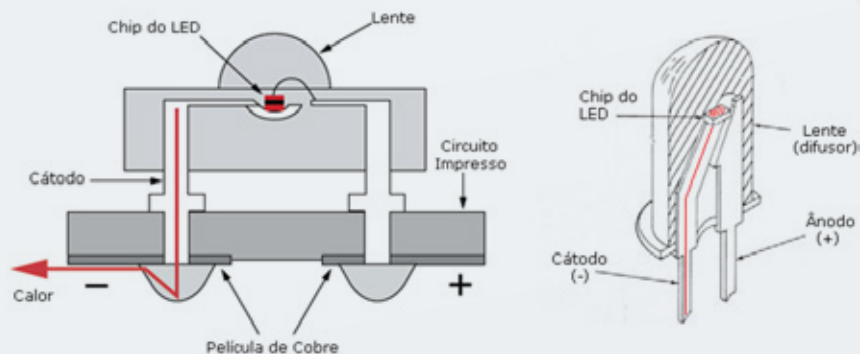


Figura 5.3 – Esquematização de um LED (Almeida et.al.)

A cor do LED irá depender do material semicondutor utilizado. Este, possui uma largura de banda proibida específica que determinará o comprimento de onda do fóton emitido aquando da combinação do par eletrão-lacuna no semicondutor. Este fóton será visível se o comprimento de onda estiver na zona do espectro visível.

Um dos desafios da tecnologia LED foi a criação de luz branca. Os dois métodos mais usados são:

Juntar a um LED, com comprimento de onda no azul ou ultra violeta, camadas de fósforo. Estas ao serem excitadas produzirão luz vermelha, amarela, verde e azul (RYGB – red, yellow, green and blue).

Combinar vários LED, de modo a que a combinação de cores RYGB por eles emitida produza a cor branca.

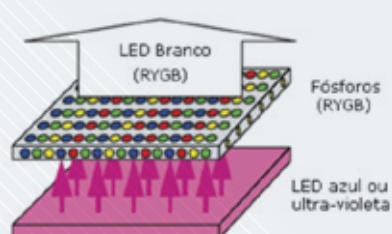


Figura 5.4 – LED branco através de camadas de fósforos

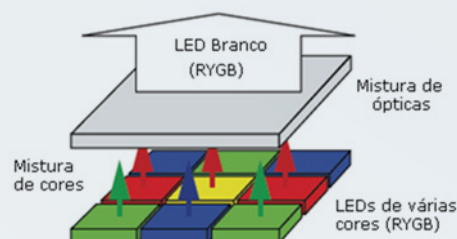


Figura 5.5 – LED branco através de LED RYGB

O funcionamento do LED só é possível através de uma fonte de alimentação especial, o driver, que irá converter a tensão alternada da rede em tensão contínua. Para além do rendimento/qualidade da eletrónica associada ao LED, o seu desempenho também dependerá da temperatura. Quer o fluxo luminoso, quer o tempo de vida diminuirão com temperaturas mais elevadas a que o LED esteja sujeito.

As vantagens desta tecnologia são inúmeras. O fluxo direcionado é extremamente útil em iluminação pública, diminuindo a poluição luminosa e aumentando a eficiência da instalação. O seu tempo de vida e eficácia luminosa (em condições de visão mesópica) são, de longe, os mais elevados. O acendimento é imediato, o que permite possibilidades de dimming/controlo mais eficientes.

Tabela 5.3 - Características das lâmpadas LED

<b>Temperatura de Cor (K)</b>	<b>2 700 - 10 000</b>
IRC	80 - 90
<b>Eficácia (lm/w)</b>	<b>90 - 180</b>
Tempo de vida útil (h)	25 000 - 100 000



Figura 5.6 – Luminárias LED de IP

## 5.2. Luminárias

A luminária para além de sustentar a fonte de luz e garantir a alimentação elétrica, deve:

- Dirigir o fluxo luminoso, assegurando conforto visual com uma eficiência máxima.
- Evitar o encandeamento.
- Satisfazer as especificações elétricas e mecânicas que garantam a segurança e o bom funcionamento.
- Proteger os dispositivos elétricos e óticos, bem como a fonte luminosa, das possíveis agressões exteriores, nomeadamente atmosféricas.
- Promover a dissipação de calor.

### 5.2.1. Constituição

Uma luminária de iluminação pública é um conjunto ótico, elétrico e mecânico constituído pelo sistema ótico, corpo ou carcaça, e pelo suporte para equipamento.

#### Sistema Ótico

O sistema ótico de uma luminária convencional controla e distribui o fluxo luminoso da fonte de luz e pode incluir os seguintes componentes:

#### Refletores

Dirigem a luz para o ângulo sólido desejado, possibilitando a orientação do fluxo luminoso na direção pretendida, localizando a maior percentagem possível da luz emitida na zona a iluminar.

A eficiência do refletor irá variar consoante a refletância e a resistência do material utilizado.

#### Difusores

São dispositivos caracterizados pela sua elevada transmitância. Para além de proporcionar a estanqueidade do sistema ótico, têm como função modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa (direta + refletida), melhorando o conforto visual.

#### Refratores

Utilizam o princípio da refração dos corpos transparentes servindo também para direcionar o fluxo luminoso. São normalmente em vidro ou então em material plástico.

Deverão ter resistência suficiente contra choques mecânicos e térmicos que ocorram ao longo do tempo de vida da luminária, conservando o seu aspeto estético e funcional.

#### Corpo da luminária

O **corpo** da armadura ou **carcaça** pode ser simples ou formado por vários elementos dissociáveis. As suas formas, dimensões e disposições construtivas devem ter em atenção o tipo e a potência das lâmpadas, a estética e as condições de funcionamento, de modo a que se consiga:

- Substituir facilmente a fonte de luz,
- Proteger convenientemente as fontes luminosas e outros equipamentos elétricos auxiliares,
- Assegurar uma boa resistência à corrosão, aos choques mecânicos e às vibrações.

O formato da carcaça varia bastante, de fornecedor para fornecedor, consoante o propósito funcional/estético da luminária. Adicionalmente, o material de construção é igualmente diversificado obtendo diferentes pesos, dimensões e resistência mecânica.

### Suporte de lâmpadas

O suporte das lâmpadas deve assegurar, em diferentes condições de utilização, a posição correta da fonte luminosa e possuir um contacto elétrico eficiente, particularmente quando as luminárias são sujeitas a vibrações.

### 5.2.2. Eficiência

A eficiência de uma luminária ( $\eta$ ) é dada pela relação entre o fluxo luminoso emitido por ela ( $\phi_{\text{luminária}}$ ) e o fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa ( $\phi_{\text{lâmpada}}$ ).

$$\eta = \frac{\phi_{\text{luminária}}}{\phi_{\text{lâmpada}}}$$

Parte do fluxo luminoso da lâmpada é absorvido pela luminária, enquanto a restante é emitida para a área a iluminar. O valor da fração de emissão da luz da luminária irá depender dos seguintes fatores:

- Forma e tipo de construção (aberta ou fechada),
- Dispositivos usados para proteger as fontes luminosas,
- Estado de conservação,
- Materiais utilizados na sua construção, em particular a refletância das suas superfícies.

Quanto maior for o DLOR útil de uma luminária, maior será a sua eficiência.

### 5.2.3. Classificação

A classificação para as luminárias de IP baseia-se em três propriedades básicas:

- **Alcance** – distância até onde a luz que sai da luminária é distribuída ao longo da estrada (sentido longitudinal), ou seja, é o alcance lateral do fluxo luminoso.
- **Dispersão** – indica a distribuição luminosa no sentido transversal da estrada.
- **Controlo** – facilidade de controlar o encandeamento produzido pela luminária.



### Alcance

O alcance, ou projeção, é definido por um ângulo  $\theta$ . Este é o ângulo que o eixo do feixe faz com o plano vertical (transversal à via de circulação). Situa-se entre os pontos onde a curva fotométrica interceta a curva de 90%  $I_{\max}$  (curva a vermelho).

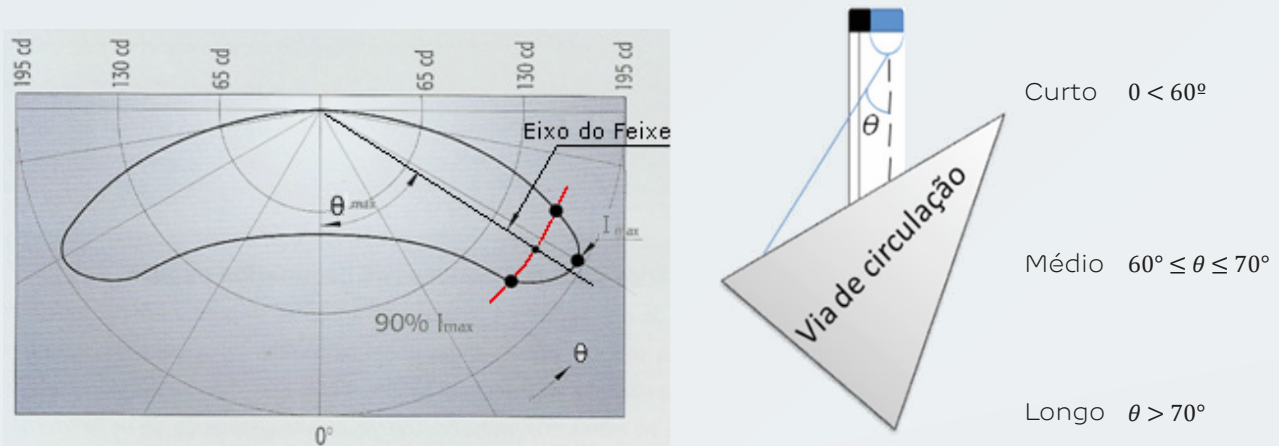


Figura 5.7 – Alcance de uma luminária

### Dispersão

A dispersão ou abertura é definida pela posição da linha paralela ao eixo da via, sendo tangente ao ponto mais afastado do contorno da curva de 90% de  $I_{\max}$ , ou seja, é a linha mais afastada da luminária. A posição desta linha é identificada pelo ângulo  $\beta$ , podendo classificar-se da seguinte maneira:

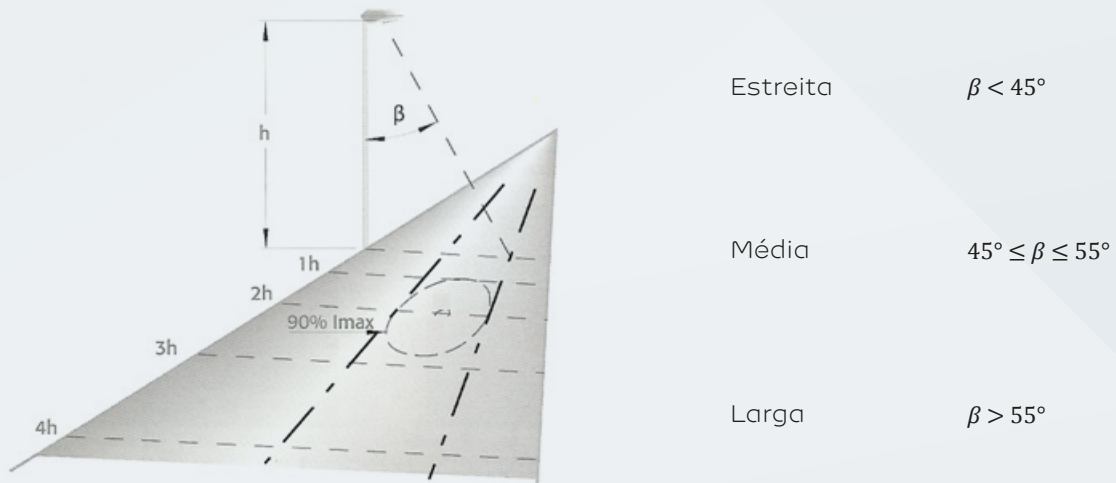


Figura 5.8 – Dispersão de uma luminária

### Controlo

O controlo é definido pelo índice específico da luminária (SLI – Specific Luminaire Index), sendo determinado unicamente pelas propriedades da luminária.

$$SLI = 13,84 - 3,31 \times \log(I_{80}) + 1,3 \times \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0,5} - 0,08 \times \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right) + 1,29 \times \log(A)$$

Limitado	$SLI < 2$
Moderado	$2 \leq SLI \leq 4$
Apertado	$SLI > 4$

$I_x$  – intensidade luminosa a um ângulo de elevação 'x', num plano paralelo ao eixo da via de circulação

A – área da emissão de luz pelas luminárias, em  $m^2$ , projetada na direção de elevação a  $76^\circ$ .

**Nota:** Quanto maior for o índice de controlo (SLI), menor será a poluição luminosa.

#### 5.2.4. Tipos de Luminárias

A diversidade de luminárias é uma realidade bem patente no domínio da IP. São inúmeras as hipóteses de conjugação ao nível da criatividade estética com os requisitos funcionais e económicos do sistema em causa, pelo que se deve ter em conta vários aspetos na sua escolha.

##### No plano técnico, ponderar sobre:

- Tecnologia e potência da fonte de luz,
- Natureza do dispositivo ótico,
- Rendimento luminoso,
- Resistência ao aquecimento, sujidade, corrosão, vibrações, clima,
- Dispositivo de fixação, peso e dimensões da luminária,
- Esforço da luminária sobre o apoio.

##### No plano económico, ponderar sobre:

- Custo das luminárias,
- Custo da instalação,
- Facilidade de substituição das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar,
- Facilidade de limpeza.

Atualmente a tecnologia LED também veio revolucionar o tipo de luminária, uma vez que, trata-se de uma tecnologia com requisitos próprios nomeadamente ao nível da gestão térmica.

#### 5.2.5 Tipos de Apoios

É importante haver uma otimização do espaçamento entre os apoios consoante a sua altura e a distribuição luminosa da luminária. O aumento da altura dos postes leva inclusive a uma diminuição do vandalismo das suas luminárias e consequentemente dos custos de manutenção.

Os apoios, ou suportes para as luminárias, podem ser de três tipos:

- Postes ou Colunas de Iluminação,
- Cabos de Suspensão,
- Braços em Fachadas de Edifícios.

##### Postes ou Colunas de iluminação

Os postes e as colunas de iluminação pública podem ter um tempo de vida superior a 50 anos. São geralmente em aço, liga de alumínio ou em betão. Devem ter as seguintes características:

- Boa resistência a esforços resultantes da ação do vento e a choques mecânicos,
- Boa resistência às intempéries e à corrosão,
- Manutenção fácil e barata,
- Espaço suficiente para a colocação/acesso fácil da aparelhagem de protecção.



Figura 5.9 – Postes e colunas de iluminação

### Cabos de Suspensão

É utilizado apenas em certos casos especiais, como por exemplo em vias muito estreitas, uma vez que, tem as seguintes desvantagens:

- Inestético,
- Manutenção difícil,
- Expõe as armaduras à ação do vento, ocasionando movimentos indesejáveis.

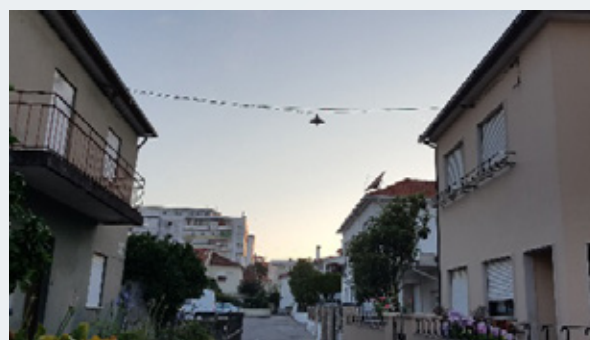


Figura 5.10 – Cabo em suspensão

### Braços em fachadas de edifícios

Os postes e a sua colocação são caros e podem até perturbar a circulação dos peões nos passeios. Assim, convém analisar o compromisso técnico/estético, em locais onde existam condições para aplicar braços de iluminação nas fachadas, de modo a escolher a solução ideal. Os requisitos que se devem ter em conta na opção de instalação de braços em fachadas de edifícios são:



Figura 5.11 – Luminária em fachada

- Ausência de árvores de grande porte;
- Presença ao longo das vias de edifícios suficientemente altos e de construção robusta;
- A largura de fachada a fachada a iluminar, não deve ultrapassar os 20 metros.

## 5.3. Componentes de luminárias

As lâmpadas de descarga (vapor de sódio, iodetos metálicos, etc.) e as lâmpadas de estado sólido (LED) não podem ser ligadas diretamente à rede.

As lâmpadas de descarga possuem impedância negativa, ou seja, tendem a absorver mais corrente do que aquela que é necessária ao seu bom funcionamento. Sem um equipamento em série com esta impedância negativa, a lâmpada autodestruir-se-ia rapidamente.

As lâmpadas de estado sólido também necessitam de interfaces com a rede elétrica, designados para este tipo de tecnologia como driver.

É por isso necessário existir um conjunto de componentes a instalar na luminária, tais como os descritos nos subcapítulos seguintes.

### 5.3.1. Condensador

É normalmente colocado em paralelo no circuito do balastro e tem a função de aumentar o fator de potência, que tipicamente é muito baixo (0,4 – 0,5), compensando a energia reativa absorvida pela indutância do balastro.

### 5.3.2. Ignitor

Componente que, para além de assegurar o pré-aquecimento dos elétrodos da lâmpada, irá gerar impulsos de tensão de modo a proporcionar o início da descarga da lâmpada. Se houver algum problema com a lâmpada ou com o circuito, esta ação será repetida ciclicamente até que a lâmpada se acenda. Este fenómeno, conhecido como “ballast cycling”, poderá ter origem em:

- Funcionamento com tipos de lâmpadas impróprios;
- Lâmpadas em fim de vida;
- Tensão de alimentação incorrecta;
- Elevada temperatura envolvente;
- Fase inicial de falhas do balastro.

Uma forma de evitar esta condição cíclica de on-off indesejável é a integração, no balastro, de um sistema de controlo “anti-cycling” que consegue detetar o fim de vida da lâmpada, interrompendo a ação do ignitor.

### 5.3.3. Balastro

O **balastro** é um equipamento inserido entre a rede de alimentação e uma lâmpada de descarga, cuja função principal é limitar a corrente para valores exigidos a um funcionamento adequado da lâmpada.

Dependendo das suas características, o balastro poderá igualmente:

- Transformar a tensão de alimentação,
- Fazer a regulação do fluxo luminoso (dimming) da lâmpada,
- Corrigir o fator de potência,
- Melhorar o arranque a frio da lâmpada.

Consoante a sua constituição, os balastros podem ser magnéticos ou eletrónicos.

### 5.3.3.1. Balastros Eletromagnéticos / Magnéticos

Os balastros eletromagnéticos, ou simplesmente magnéticos, são constituídos, essencialmente, por um grande número de espiras de cobre sobre um núcleo ferromagnético laminado. As perdas de Joule que ocorrem no cobre e as perdas magnéticas (histerese e correntes de Foucault) no núcleo ferromagnético implicam um consumo adicional entre 5% a 25% da potência de entrada da lâmpada. Este valor irá depender das dimensões e construção dos circuitos eléctrico e magnético do balastro.

Tal como outros dispositivos eléctricos, o balastro gera calor devido à resistência óhmica e às perdas magnéticas. Cada balastro tem um valor máximo de temperatura que não pode ser excedido. Normalmente este valor encontra-se inscrito no balastro. Por exemplo, um valor 10°C acima do recomendado pode diminuir o seu tempo de vida útil em 50%.

Os balastros magnéticos mais comuns são:

- **indutivo** | formado por uma simples bobina e o seu correspondente núcleo magnético. É o mais simples, pequeno e eficiente de todos os balastros e usa a tensão da linha para que o arrancador faça a ignição da lâmpada,
- **autotransformador** | utilizado quando a tensão da linha de alimentação não é suficiente para que se dê a ignição da lâmpada através de um simples balastro indutivo. Assim, eleva a tensão para auxiliar o processo.
- **autoregulador** | combina um autotransformador com um circuito regulador. O seu tamanho é reduzido, uma vez que, parte do enrolamento do primário é comum ao do secundário.

#### Vantagens

- Custo bastante reduzido
- Simplicidade e robustez

#### Desvantagens

- Dimensões e peso
- Baixa fiabilidade na ignição. Se o pico de tensão não ocorrer no ponto ótimo, a lâmpada poderá não arrancar
- Fator de potência baixo, sendo necessário condensadores para compensá-lo
- Uma variação de  $\pm 10\%$  na tensão da linha causa uma variação de  $\pm 20\%$  da potência da lâmpada
- Rendimento médio-baixo devido a perdas eléctricas e magnéticas
- Dificuldade de regulação do fluxo luminoso, só podendo ser efetuada através de balastros de duplo nível
- Risco de sobreintensidades, devido ao efeito de saturação do balastro

### 5.3.3.2. Balastros Eletrónicos

Os balastros eletrónicos apareceram no início dos anos 80 e são conversores de eletrónica de potência (AC-DC-AC) com quatro funções principais:

- Estabelecer uma tensão de arranque adequada ao funcionamento da lâmpada, limitando a corrente de descarga;



- Manter os valores nominais de tensão e corrente de lâmpada, quando esta se encontra em regime normal de funcionamento;
- Assegurar uma melhor proteção do circuito, mesmo em caso de avaria;
- Limitar a distorção harmónica e a interferência eletromagnética;
- Obter elevado fator de potência (próximo de 1).

Os balastros eletrónicos podem ser de baixa frequência (entre 50 e 500 Hz) ou mais frequentemente de alta frequência (entre 20 e 60 kHz).

A alimentação por uma tensão de alta frequência permite eliminar totalmente o fenómeno de cintilação e o efeito estroboscópico. Além disso, o funcionamento a frequências elevadas aumenta o rendimento das lâmpadas em cerca de 10%, bem como o seu tempo de vida.

### Vantagens

- Menor potência de perdas

Proporcionam uma poupança de energia entre 20 a 30%. Adicionalmente, aumentam o rendimento das lâmpadas em cerca de 10%

- Elevado fator de potência ( $\geq 0,9$ ) e reduzida distorção harmónica
- Sistemas de proteção incluídos, sendo que o balastro desliga de forma automática as lâmpadas em caso de anomalia; ligando após a correção
- Podem operar mais de quatro lâmpadas simultaneamente, enquanto os eletromagnéticos operam um máximo de duas
- Maior tempo de vida da lâmpada, uma vez que proporcionam arranques suaves

- Estabilidade da potência na lâmpada, perante variações da tensão na rede. Inclusive, permitem um melhor controlo da potência com possibilidade de regulação do fluxo (ver Capítulo 5.4.2)

- Dimensões e peso reduzidos

- Estabilidade de cor e do fluxo luminoso com redução do efeito estroboscópico, pois a lâmpada cintila a mais de 40 mil vezes por segundo (invisível para o olho humano), em vez de 100 vezes

- Funcionamento silencioso

Não produzem ruído (zumbido), pois a sua frequência é superior à faixa de audição humana

### Desvantagens

- Preço mais elevado, embora com tendência decrescente

- Há problemas de sincronismos horários ao fazer o dimming numa configuração "stand-alone", ou seja, não integrados num sistema central de gestão de IP

- O não sincronismo dos balastros poderá provocar desalinhamento nas instruções on-off e temporização de regulação do fluxo

- Impossibilidade de instalação de reguladores de fluxo de cabeceira

- Maior poluição da rede local de operação por funcionarem a uma frequência igual ou superior a 20 kHz (banda CENELEC A – EN050065-1)

- Possíveis interferências eléctricas (RFI e EMI)

#### 5.3.4. Drivers de LED

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



Existem dois tipos de drivers de LED:

- **Corrente constante** | alimentam LED que necessitam de uma corrente de saída fixa e de uma gama de tensões de saída,
- **Tensão constante** | alimentam LED que necessitam de uma tensão de saída fixa com uma corrente de saída máxima.

O rendimento dos drivers pode variar desde 74% (driver de baixa potência do tipo corrente constante) até ao valor máximo possível na prática de 95% (driver do tipo tensão constante). A maioria dos drivers apresenta um rendimento na casa dos 80-90%, sendo que a maior parte das suas perdas verifica-se nos semicondutores de potência, cujo desempenho tem vindo a melhorar.

Em termos de durabilidade, qualquer driver de LED atual para IP deve ter o objetivo de ter um tempo de vida de pelo menos 50 000 a 65 000 horas, de modo a corresponder com o tempo de vida atual do LED.

O tempo de vida do driver depende da temperatura máxima de funcionamento. Quanto mais elevada for a temperatura de funcionamento menor será o tempo de vida dos componentes críticos (nomeadamente os condensadores eletrolíticos e dos semicondutores de potência). Drivers mais eficientes e com menores perdas são assim mais fiáveis, devido à sua menor temperatura de funcionamento.

## 5.4 Sistemas de controlo e gestão

Os sistemas de controlo são dispositivos que regulam a operação do sistema de iluminação em resposta a um sinal externo. Estes sistemas automáticos permitem otimizar a utilização das instalações IP, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto e segurança visual necessários em cada local e/ou atividade.

Nos sistemas de IP é importante saber em que situação o nível de iluminação ambiental é insuficiente para ativar as luzes. Este controlo não pode ser efetuado de forma totalmente eficaz utilizando temporizadores, uma vez que, em dias de chuva ou nevoeiro intenso, pode ser necessário ativar o sistema de iluminação por razões de segurança. Além disso, o horário do próprio nascer e pôr-do-sol não é constante. Por esta razão é necessário, cada vez mais, adotar soluções mais eficientes no sistema de controlo.

### 5.4.1. Relógio Astronómico

O relógio astronómico é uma solução de comando on-off cujo horário de funcionamento encontra-se enquadrado na variação do ciclo solar ao longo do ano (Figura 5.12).



Figura 5.12 – Variação das estações do ano no hemisfério norte

Estes equipamentos (Figura 5.13) são programadores eletrónico-digitais utilizados para o controlo automático de ligações e cortes de IP em função do pôr e nascer do sol, respectivamente.



Figura 5.13 – Exemplos de relógios astronómicos [Fonte: Orbis]

A grande vantagem em relação a um sistema interruptor horário antigo é que adapta o controlo da rede de IP ao horário respeitante à altura do ano. Ou seja, ao passo que no sistema antigo, caso não se fizesse um ajustamento manual do relógio, a IP ligava e desligava sempre à mesma hora programada, com o relógio astronómico a ação on-off será determinada pelas suas coordenadas geográficas e o período noturno, que varia ao longo do ano. Por exemplo, o sinal transmitido para acender a IP será emitido mais cedo no Inverno do que no Verão, sem qualquer tipo de intervenção humana. Permite, ainda, aplicar offsets e interrupções dos circuitos de IP em períodos definidos.

Tabela 5.4 – Período de funcionamento de uma rede de IP no hemisfério norte

Área	Período Sazonal	Horário de Funcionamento (horas)														
		17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Hemisfério Norte	Primavera															
	Verão															
	Outono															
	Inverno															

O relógio astronómico tem as seguintes características de funcionamento:

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

Tal como os sensores crepusculares, o relógio astronómico poderá funcionar como sistema de controlo da rede de IP isolado, ou então poderá ser um equipamento auxiliar aos reguladores de fluxo e/ou sistemas de telegestão.

### 5.4.2. Tecnologias de Regulação de Fluxo

A regulação de fluxo pode ser efetuada através de reguladores de fluxo instalados à cabeceira do circuito IP, ou por balastros instalados na própria luminária. Ambos podem ou não estar associados a um sistema de telegestão. O processo pode ser efetuado através da regulação por tensão, por corrente, ou variação da frequência.

#### Reguladores de fluxo de cabeceira

Um **regulador de fluxo** é um equipamento previsto para controlar o processo de arranque, estabilização e redução do consumo da potência instalada, referente a uma instalação de iluminação. Inicia o seu ciclo após a aplicação de uma “ordem” com origem local (e.g. sensor crepuscular ou relógio astronómico) ou remota (e.g. sistemas de telegestão avançados), aumentando gradualmente a tensão até atingir o valor pré-estabelecido de funcionamento. Quando esse nível de tensão não é mais necessário, o regulador baixa a tensão de alimentação das lâmpadas (Figura 5.14). As transições entre as várias condições de operação devem ser lentas, para que a alteração do nível de iluminação se torne impercetível ao utilizador.

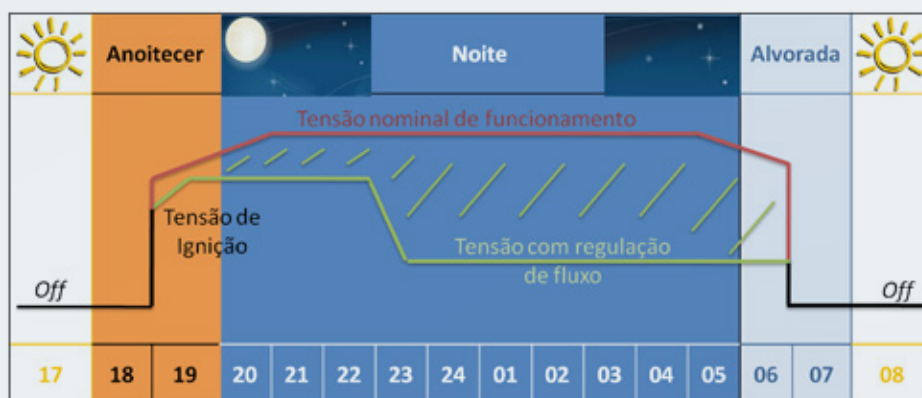


Figura 5.14 - Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo ao longo do período noturno

Aplicando às lâmpadas uma tensão inferior (verde) à nominal de funcionamento (vermelha), a corrente é reduzida, originando a diminuição da potência absorvida pela rede de IP. A programação da regulação do fluxo deverá ser feita consoante a época do ano e a área onde o sistema de iluminação está instalado.

Praticamente todas as lâmpadas de descarga utilizadas em IP podem ser reguladas, variando a tensão de alimentação, sem que isso interfira com as suas propriedades e características. No entanto, existe um valor mínimo abaixo do qual a lâmpada não irá funcionar da melhor forma, ou mesmo ligar.

Tabela 5.5 – Nível de tensão mínimo das fontes luminosas

Tipo de Lâmpada	Tensão mínima (V)
Iodetos Metálicos	183
Vapor de Sódio	183

Portanto, existem alguns aspetos que deverão ser considerados. A maioria dos sistemas de regulação de fluxo à cabeceira (junto ao PT) trabalha com o controlo da tensão (redução da tensão). Assim, em circuitos com mais de um tipo de lâmpadas e com grandes probabilidades de terem diferentes horas de serviço, o resultado em cada lâmpada dessa regulação pode ser diferente. Adicionalmente, para PT que controlem menos do que 50 luminárias, a utilização de reguladores de fluxo torna-se economicamente pouco atrativa.

Outra questão importante é a extensão da rede de IP. Se a regulação é feita à cabeceira e não ponto a ponto, a diferença de potencial no início da linha e no final poderá ser consideravelmente diferente. Ou seja, as lâmpadas que realmente tiverem a tensão mínima admissível aos seus terminais permanecerão ligadas, ao passo que as outras apagar-se-ão. Em caso de falha na rede, algumas lâmpadas poderão não ter, inclusive, um valor de tensão de ignição suficiente para o seu reacendimento.

Por fim, os reguladores de fluxo são aparelhos cujas regulações da variação de tensão são realizadas através de equipamento de eletrónica de potência. Logo, à redução dos custos de manutenção, devido ao aumento do tempo de vida da lâmpada, contrapor-se-á a manutenção destes equipamentos ativos no circuito.

Os reguladores de fluxo, para além de variarem a intensidade luminosa, estabilizam também o nível de tensão entre  $\pm 1\%$  do valor de funcionamento definido (mesmo com consideráveis variações do valor da tensão). Assim, para além de aumentar o tempo de vida da lâmpada (ao não permitir que estas sejam alimentadas a tensões acima de 5% do seu valor nominal), asseguram economias diretas no consumo (5 a 7%) ao fazer o corte da tensão excessiva (clipping<sup>3</sup>), quando é excedido o seu valor nominal. Adicionalmente, a depreciação do fluxo luminoso, durante o tempo de vida da fonte de luz, é menor. No entanto, para que isso esteja garantido, é necessário um acompanhamento rigoroso das parametrizações do regulador de fluxo, de modo a assegurar a tensão mínima de funcionamento nas lâmpadas durante todo o tempo de vida do regulador.

### Balastros eletrónicos reguláveis

Existem duas formas de se proporcionar o dimming através de balastros para lâmpadas de descarga de alta intensidade:

- **Variação a degrau** (duplo nível) | o dimming é feito a degrau, sendo que o balastro apenas permite, internamente, fazer a regulação para níveis previamente estabelecidos;
- **Variação contínua** | o dimming é realizado de forma contínua, resultando num controlo do fluxo luminoso completo e adequado às necessidades, bem como num menor impacto na qualidade de energia elétrica.

Existem três métodos para se efetuar o controlo dos balastros eletrónicos com possibilidade de dimming:

- **Estático** | utiliza uma programação fixa pré-programada no balastro,
- **Analógico** | utiliza um sinal analógico de tensão contínua entre 1 e 10 (V) como sinal de entrada de controlo do balastro. O fluxo luminoso da lâmpada será proporcional ao valor dessa tensão de regulação. A grande desvantagem deste método é a possibilidade de existência de interferências resultantes quer da rede quer do próprio comprimento do cabo;
- **Digital** | a regulação é feita por um sinal digital produzido pelo sistema de controlo. Este método abre novas opções desde a transmissão isenta de erros até ao endereçamento individual de componentes. Há atualmente dois modelos de mercado que diferem ligeiramente no que diz respeito ao protocolo de transmissão de dados (**DSI – Digital Serial Interface** e **DALI – Digital Addressable Lighting Interface**). Ambos permitem **comunicação bidirecional, "interrogando" a luminária acerca do seu estado operacional, e controlá-la em conformidade.**

Estes dois últimos são os mais adequados para integração em sistemas de telegestão.

<sup>3</sup> Corte de um dado valor de tensão, ficando a alimentar a um valor máximo definido.

### 5.4.3. Sistemas de Telegestão

Um sistema de telegestão permite alavancar a utilização racional de energia, melhorando o balanço entre a segurança e o conforto. É possível dar um salto qualitativo na área da IP, com a implementação de sistemas de telegestão de controlo adaptativo e monitorização de IP. Para além de baixar custos de manutenção, permite:

- uma rede IP mais eficiente capaz de se adaptar às necessidades de cada momento (tráfego pedestre e viário e condições climáticas),
- adaptar o fluxo luminoso em função da iluminação ambiente,
- detetar impactos ou derrubes dos postes de iluminação,
- controlar o tempo de vida dos pontos de luz e localizar eventuais falhas.

A **arquitetura de referência do sistema de telegestão** é constituída pelos seguintes componentes:

- **controlador de luminária (CL)** | aparelho que faz o controlo do balastro/driver programável da fonte de luz e de todos os sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico,
- **controlador de segmento (CS)** | canal de comunicação das luminárias,
- **sistema de gestão central (SGC)** | controla os vários segmentos do sistema de IP, gerindo a informação transmitida pelos controladores (da luminária e de segmento).

Na Figura 5.15 está descrita a arquitetura tipo para as luminárias com capacidade de comunicar diretamente com o SGC. Na Figura 5.16 está descrita a arquitetura tipo para sistemas em que as luminárias não possuam capacidade de comunicar diretamente com o SGC, havendo necessidade de utilizar um CS. Tipicamente nesta arquitetura é usual a concentração de luminárias.

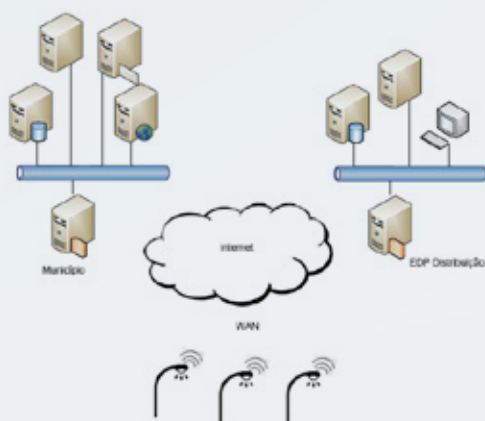


Figura 5.15 - Componentes de um sistema de telegestão sem CS

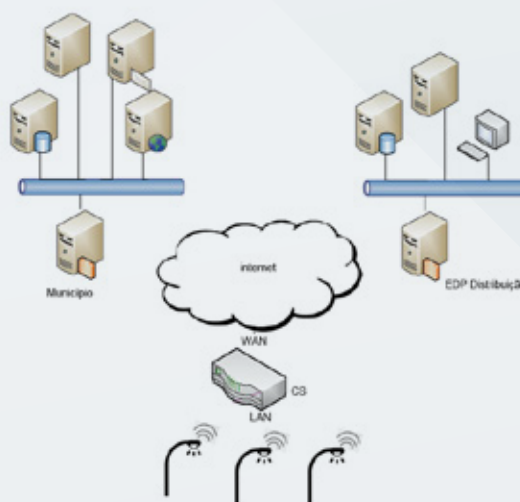


Figura 5.16 - Componentes de um sistema de telegestão com CS

No entanto, estes sistemas ainda não são adotados em massa devido à falta de normalização que permita tornar estas soluções interoperáveis, intermutáveis e integráveis em plataformas de gestão standard. Ou seja, tratam-se de soluções proprietárias de fabricantes. Acresce que as avaliações quantitativas e qualitativas destes sistemas ainda não apresentam indicadores técnicos e financeiros que justifiquem o seu estabelecimento. Por este facto, a EDP Distribuição especificou um sistema simplificado para gestão da regulação de fluxo de luminárias LED e soluções de gestão que permitam ultrapassar estes constrangimentos.



#### 5.4.4. Solução de Telegestão Integrada na Arquitetura Inovgrid

No seu portfólio de sistemas, a EDP Distribuição conta com uma solução centralizada de gestão e comando da IP, designada SMART-IP, e integrada na Arquitetura Inovgrid

- **Inovgrid:** abordagem da EDP ao conceito das redes inteligentes - smart grids - visando dotar a rede elétrica de informação e de equipamentos capazes de automatizar a gestão das redes, melhorar a qualidade de serviço, diminuir os custos de operação, promover a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental, potenciar a penetração das energias renováveis e do veículo elétrico.

A solução SMART-IP caracteriza-se por permitir a monitorização, controlo e parametrização da IP, suportada em equipamentos EDP Box IP e em equipamentos empresariais de telecontagem.

- **EDP Box IP (EB IP):** Contador inteligente - smart meter - específico para a IP, o qual (além da sua função básica de contagem certificada) disponibiliza relés físicos para o comando on/off da IP (permitindo atuar contactores associados a circuitos de energia) e inclui tabelas internas, algoritmos e funções específicas para gestão da IP.

A SMART-IP permite, por um lado, a configuração dos horários da IP a aplicar aos circuitos de IP associados ao perfil do utilizador em causa e por outro lado permite a monitorização da IP, recebendo alarmes de anomalias e disponibilizando relatórios e dashboards específicos.

A Figura 5.17 apresenta as etapas necessárias para que seja efetuada a parametrização de circuitos de IP através da solução SMART-IP. De acordo com a arquitetura Inovgrid, a comunicação das EDP Box para os Sistemas é sempre efetuada através de um concentrador, designado por DTC - Distribution Transformer Controller.

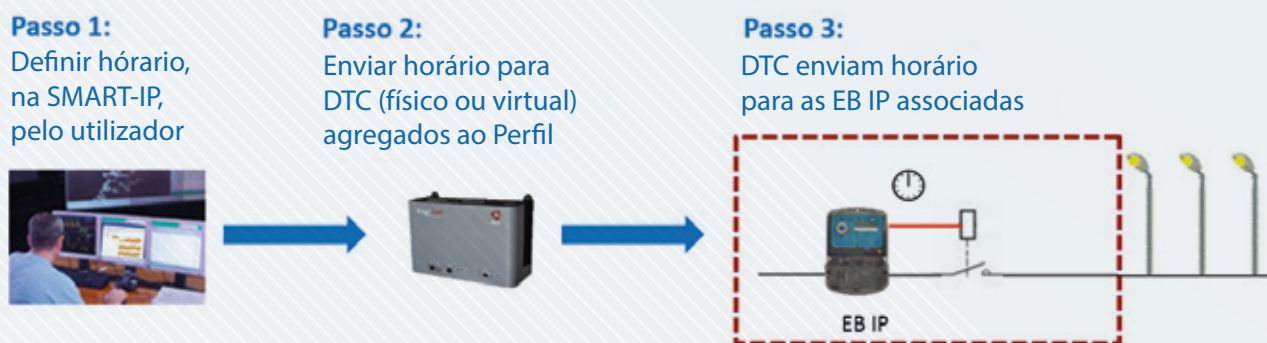


Figura 5.17 – Etapas para parametrização de circuitos de IP, via SMART-IP

A partir do momento em que recebem um horário (fixo, astronómico com offsets ou misto) as EB IP, asseguram o ligar e desligar da IP, de forma totalmente autónoma.



Na Figura 5.18 exemplifica-se a forma pela qual a solução implementa a operação da IP e garante a sua monitorização.



Figura 5.19 – Etapas para operação de circuitos de IP, via SMART-IP

A EDP Distribuição pretende alargar o âmbito desta plataforma a todos os concelhos nos quais seja responsável pela implementação e manutenção do sistema de comando da IP, disponibilizando ao município, via portal dedicado, as funcionalidades e relatórios com este acordados.

## 6. Critérios de Projeto

As definições globalmente mais aceites ao nível das classes de iluminação, critérios de desempenho e métodos de medição, podem ser encontradas na série de normas EN 13201. No entanto, a norma CIE 115-2010, veio estabelecer recomendações relativamente a critérios de qualidade, classes de iluminação, requisitos para tráfego motorizado, regulação de fluxo, etc., para todas as categorias de estradas e zonas a iluminar.

Este capítulo estabelece linhas de orientação para desenvolvimento de um novo projeto de IP, explicando os passos a percorrer e as opções a tomar, de modo a otimizar a solução a aplicar, para uma instalação eficiente e adequada. Questões como um nível de iluminação ajustado à zona e tipo de utilizadores, bem como uma distribuição uniforme da luz são fundamentais.

### 6.1 Classes de iluminação

Uma classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos que apontam para as necessidades de visibilidade dos utilizadores dos vários tipos de ruas, estradas e áreas frequentadas. Uma vez que a tarefa de visionamento e as necessidades dos transeuntes pedonais diferem bastante das dos condutores em muitos aspetos, tais como a velocidade do movimento, proximidade dos objetos, padrão da superfície, reconhecimento facial, etc., são usados diferentes parâmetros (luminância, iluminância, etc.) para caracterizar as condições mínimas de iluminação de uma determinada classe.

A série de normas EN 13201 introduziu as classes de iluminação de forma a facilitar e desenvolver os serviços de IP na União Europeia, apontando a uma uniformização e harmonização dos requisitos. A figura seguinte resume as classes existentes e a sua aplicabilidade.

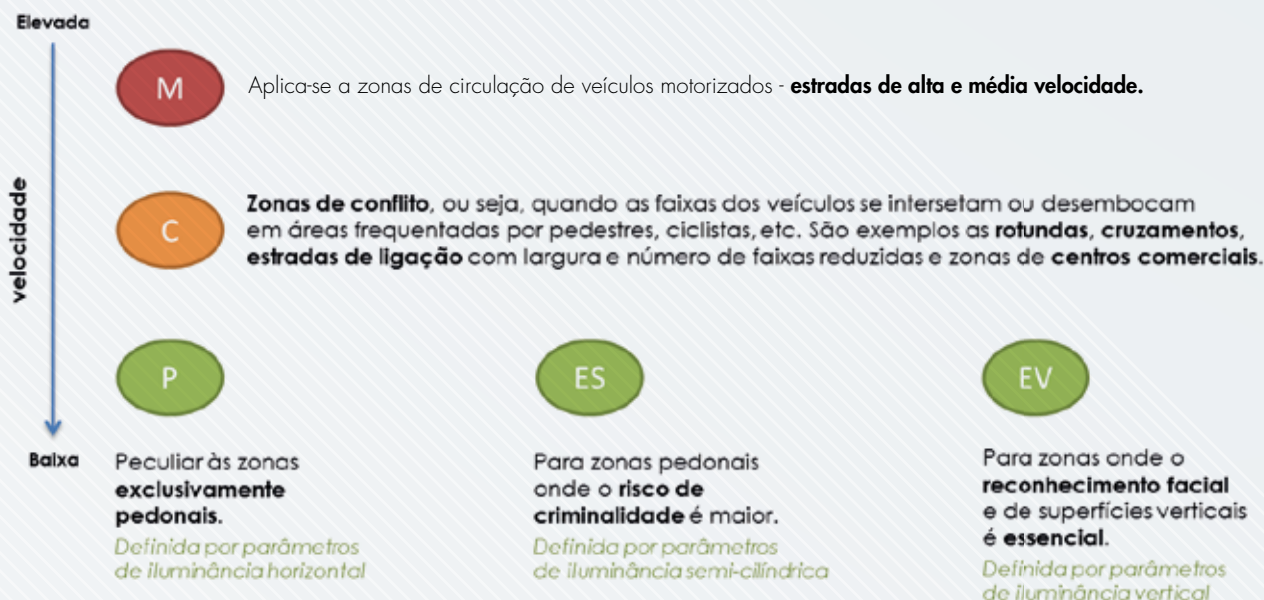


Figura 6.1 – Classes de iluminação existentes segundo a norma EN 13201

A cada uma destas classes estão associados vários índices que definem as suas subclasses. Desta forma, consegue-se caracterizar melhor a situação e definir, de forma otimizada, os valores dos seus parâmetros luminotécnicos. Resultam assim as seguintes tabelas:

Tabela 6.1 – Requisitos fotométricos para as classes de alta e média velocidade (IP funcional)

Classe de Iluminação	Superfície da estrada				TI (%)	SR
	Seca			Molhada		
	Lmédia (cd/m²)	Uo	UI			
M1	2	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,5
M6	0,3	0,35	0,4	0,15	20	0,5

Tabela 6.2 – Requisitos fotométricos para as classes das zonas de conflito

Classe de Iluminação	Emédia (lux)	Uo(E)	TI (%)	
			para velocidades altas e moderadas	para velocidades baixas e muito baixas
C0	50	0,4	10	15
C1	30	0,4	10	15
C2	20	0,4	10	15
C3	15	0,4	15	20
C4	10	0,4	15	20
C5	7,5	0,4	15	25

Tabela 6.3 – Requisitos fotométricos para as classes de baixa velocidade (zonas pedonais)

Classe de Iluminação	Emédia (lux)	E mínima (lux)	Requisitos adicionais caso o reconhecimento facial seja necessário	
			Evertical, mínima (lux)	Esemi-cilíndrica, mínima (lux)
P1	15	3	5	3
P2	10	2	3	2
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5	1	1,5	1
P5	3	0,6	1	0,6
P6	2	0,4	0,6	0,4

**Nota:** Uma luz branca e especialmente uma renderização cromática elevada irão contribuir para um melhor reconhecimento facial.

## 6.2 Estabelecimento dos requisitos fotométricos

Existem soluções simples e normalizadas sobre como efetuar a escolha dos parâmetros de iluminação de uma instalação de IP, tendo em conta as características da zona a iluminar, nomeadamente: função e geometria da estrada, velocidade permitida e composição e volume do tráfego. Os parâmetros serão determinados pelo critério da luminância ou da iluminância.

As zonas de velocidade média e alta são definidas pelo critério da luminância. As zonas de conflito e as zonas pedonais podem ser definidos, tanto pelo critério da iluminância, como pelo da luminância.

Quando a complexidade do traçado e a diversidade das superfícies são baixas, o que ocorre normalmente fora das zonas urbanas, o critério que deve ser utilizado é o da luminância. Assim, as zonas a iluminar deverão ter, no mínimo, o mesmo nível de iluminação das estradas que lhes dão acesso. O ideal é que a classe de iluminação tenha um índice abaixo da classe de iluminação da estrada adjacente. Adicionalmente, é também necessário calcular o nível do encandeamento perturbador (TI).

Nas zonas onde a complexidade do traçado e a diversidade das superfícies não permite um cálculo fiável das luminâncias, será utilizado o critério da iluminância.

O esquema seguinte esclarece os passos para determinar o índice da classe de iluminação, obtendo assim os requisitos fotométricos.

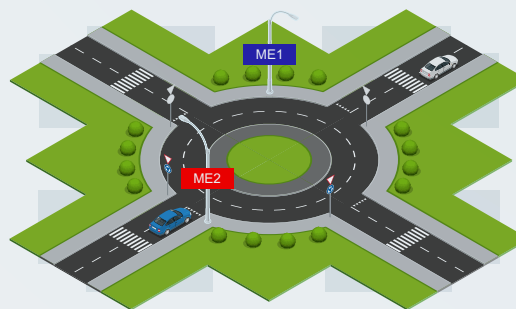


Figura 6.2 – Classe de iluminação de uma zona de conflito (rotunda) pelo critério da luminância



Tabela 6.4 – Determinação dos índices das classes de iluminação M, C e P

Fatores de peso que caracterizam o local público a iluminar				
Parâmetro	Opções	M	C	P
Velocidade	Muito alta	1	3	-
	Alta	0,5	2	-
	Moderada	0	1	-
	Baixa	-	0	1
	Muito baixa	-	-	0
Volume de tráfego	Muito elevado	1		
	Elevado	0,5		
	Moderado	0		
	Baixo	-0,5		
	Muito baixo	-1		
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	-	
	Misturado	1	-	
	Apenas motorizado	0	-	
	Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	-	2	
	Pedestres e tráfego motorizado	-	1	
	Pedestres e ciclistas	-	1	
	Pedestres ou ciclistas	-	0	
Separação das faixas	Não	1	-	
	Sim	0	-	
Densidade dos cruzamentos	Alta	1	-	
	Moderada	0	-	
Veículos estacionados	Presente	0,5	-	0,5
	Não presente	0	-	0
Luminância ambiente	Alta	1		
	Moderada	0		
	Baixa	-1		
Controlo do trânsito	Fraco	0,5	-	
	Bom	0	-	



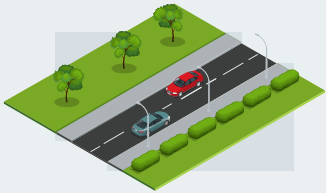
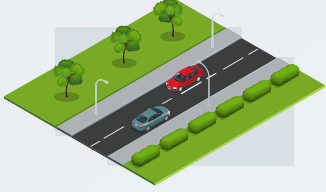
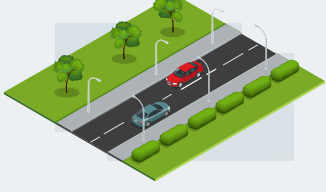
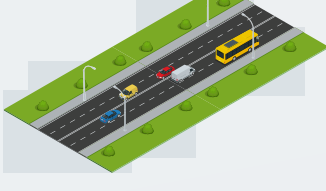
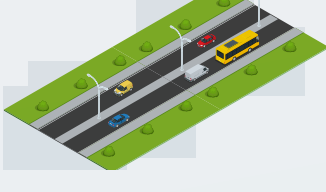
## 6.3. Regulação de fluxo

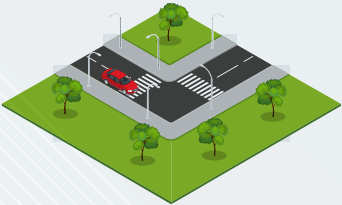
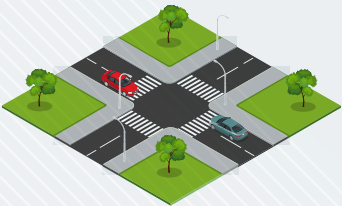

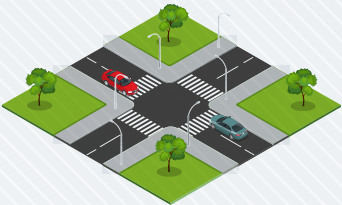



Para uma mesma via, a classe de iluminação nem sempre é idêntica para todas as horas da noite. Assim, de acordo com a norma CIE 115/2010, dever-se-á analisar a situação específica do conjunto de períodos noturnos definidos, determinando para cada um deles, em fase de projeto, as suas classes através do método descrito anteriormente.

## 6.4. Arquitetura de uma instalação de IP

A complexidade de uma instalação de IP é elevada. Tem de conjugar um conjunto de requisitos fotométricos (valores mínimos e distribuição luminosa) com as diferentes disposições dos postes e ângulos das luminárias possíveis (para mais informação consultar os relatórios técnicos CIE 132/1999 e CIE 140/2000). As arquiteturas de disposição de postes/colunas na IP mais habituais são as seguintes:

Tabela 6.5 – Esquematisações usuais da disposição dos postes nas vias de circulação

Esquema	Disposição	Descrição (Comentários)
	Unilateral	Aconselhável na situação em que a largura da via ( $l$ ) $\leq$ altura da luminária ( $h$ )
	Quincôncio/ Alternada	Aconselhável na situação, $l \geq (1 \text{ a } 1,5) h$
	Bilateral	Aconselhável na situação, $l \geq 1,5 h$
	Bilateral com faixa central	Aconselhável na situação, $l \geq 1,5 h$
	Axial	Colunas situadas na faixa central. Sugere-se nas situações em que $l \geq 2,5 h$

Esquema	Disposição	Descrição (Comentários)
	Curvas	Em curvas, e, se a largura da estrada é menor que 1,5h, as luminárias serão instaladas na parte exterior da curva, colocando uma luminária no prolongamento dos eixos de circulação.
	Cruzamento	Disposições aconselháveis em cruzamentos
ou 		
	Cruzamento	Disposição aconselhável em cruzamentos entre vias iluminadas e com a mesma classe
	Cruzamento	Disposição aconselhável em cruzamentos entre vias iluminadas e de importâncias diferentes
	Entroncamento	Disposição mais aconselhável
	Rotunda 1	Aconselha-se a disposição das colunas nas margens da rotunda quando existe arvoredo, arbustos ou canteiros de flores. O diâmetro da rotunda ultrapassa os 18m.

Esquema	Disposição	Descrição (Comentários)
	Rotunda 2	Aconselha-se a disposição de uma coluna no meio da rotunda com braços triplos ou quádruplos quando não existe arvoredos. O diâmetro da rotunda não ultrapassa os 18m.
	Cruzamento com ilhéus	Cruzamento com ilhéus direcionais entre uma via principal com luminárias indicadas a cheio e de maior potência que as da via secundária.

Os valores apresentados na Tabela 6.6 correspondem aos valores mais utilizados nos projetos de IP, estando enquadrados nos limites definidos na União Europeia.

Tabela 6.6 – Topologia tipo de redes de IP

Espaçamento	Altura útil	
	Rede aérea BT	Rede subterrânea
40 metros	8 m	12 m
35 metros	8/7 m	10 m
25 metros	6 m	8 m
18 metros		4 m

## 6.5. Manutenção de uma instalação de IP

A operação e manutenção da IP é um enorme desafio, devido ao vasto número de componentes inseridos num sistema. Todos os sistemas de iluminação irão deteriorar-se progressivamente a partir do instante inicial de funcionamento. Esta diminuição do desempenho é o resultado da:

- Acumulação de poeiras e lixo em todas as superfícies expostas das fontes de luz e/ou das luminárias;
- Diminuição do fluxo luminoso da fonte de luz;
- Fontes de luz avariadas;
- Idade dos componentes e a sua progressiva degradação.

Em fase de projeto, é assim importante minimizar os processos de manutenção, sendo que a ferramenta disponível passa pela definição correta do fator de manutenção.

## 6.6. Fatores de Manutenção para Projeto

Existem vários fatores de depreciação de uma rede de IP que reduzem o seu nível de iluminação. No cálculo dos parâmetros de iluminação de qualquer projeto de IP é necessário incluir um fator de manutenção que tenha em conta a degradação das condições iniciais do sistema ao longo do tempo. Através do cálculo do fator de manutenção, e tendo em conta a calendarização da manutenção proposta, é possível prever a variação dos níveis de iluminância/luminância ao longo do tempo. O fator de manutenção pode ser determinado através de 6 passos:

1. Selecionar a fonte de luz e luminária a aplicar.
2. Determinar o intervalo de substituições em grupo das fontes de luz, consoante a sua utilização anual.
3. Obter o FMLL (ver Tabela 6.7).
4. Obter o FSL (ver Tabela 6.8).
5. Analisar as luminárias escolhidas quanto ao índice de proteção, categoria da poluição ambiente e intervalo de limpeza, obtendo o FML (ver Tabela 6.9).
6. Calcular o fator de manutenção como o produto destes três fatores:

$$FM = FMLL \times FSL \times FML$$

As tabelas seguintes estabelecem os valores dos diversos fatores envolvidos no cálculo do fator de manutenção, tendo em consideração o tempo de operação.

### Fator de Manutenção do Fluxo Luminoso (FMLL)

O fluxo luminoso decresce ao longo do tempo, sendo que a taxa exata irá depender do tipo de fonte de luz e do balastro. A Tabela 6.7 mostra alguns exemplos típicos deste fator, sendo que é muito importante obter dados atualizados dos fabricantes de equipamentos de IP para estimar o FMLL e o programa de manutenção a aplicar.

Tabela 6.7 – Valores do FMLL

Fonte luminosa	Número de horas de funcionamento (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Iodetos Metálicos	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
LED	-	-	-	-	0,95

### Fator de Sobrevivência da Lâmpada (FSL)

A taxa de sobrevivência depende do tipo de fonte de luz, potência, frequência de comutação e do balastro/driver. A Tabela 6.8 mostra a probabilidade das fontes de luz continuarem operacionais durante um determinado período de tempo.

Tabela 6.8 – Valores do FSL

Fonte luminosa	Número de horas de funcionamento (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Iodetos Metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
LED	-	-	-	-	0,95

### Fator de Manutenção da Luminária (FML)

Na análise da depreciação de um sistema é importante ser capaz de reconhecer o tipo e a quantidade de sujeira existente no ar, de modo a avaliar convenientemente o tipo de luminária a utilizar, bem como os requisitos de limpeza. A perda de intensidade luminosa está associada à natureza e densidade dos detritos, design da luminária, tipo de fonte de luz, materiais utilizados na luminária, índices de proteção e sistema de auto-limpeza da luminária.

O tipo de poluição do meio ambiente pode ser definido da seguinte forma:

- **Alta** | Fumos e poeiras gerados por atividades relativamente próximas, envolvendo as luminárias.
- **Baixa** | Nível de contaminação ambiente baixo, não existindo fumo ou poeiras gerados nas proximidades. Verifica-se em zonas residenciais ou áreas rurais, com tráfego ligeiro. Possui um nível de partículas no meio  $\leq 150$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

A Tabela 6.9 mostra os valores do FML tendo em conta o tempo de exposição da luminária nas condições de poluição descritas e o tipo de luminária.

Tabela 6.9 – Valores do FML

Tipo de Luminária	Nível de Poluição	Tempo de operação (mil horas)		
		4	8	12
IP 55 Difusor de Plástico	Alto	0,87	0,71	0,61
	Baixo	0,92	0,80	0,71
IP 65 Difusor de Plástico	Alto	0,89	0,76	0,66
	Baixo	0,95	0,84	0,76
IP 65 Difusor de Vidro	Alto	0,94	0,84	0,76
	Baixo	0,97	0,90	0,82
IP 66 Difusor de Plástico	Alto	-	0,81	0,74
	Baixo	0,95	0,87	0,81
IP 66 Difusor de Vidro	Alto	-	0,88	0,83
	Baixo	0,97	0,93	0,88

Para o cálculo do fator de manutenção deverá ser considerado um período de 3 anos (aproximadamente 12.000 horas), uma vez que são os valores de referência.

Assim, por exemplo:

- Lâmpada de VSAP com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa) fica:

$$FM = 0,90 \times 0,89 \times 0,88 = 0,7.$$

- LED com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa) fica:

$$FM = 0,95 \times 0,95 \times 0,88 = 0,8.$$

- Iodetos Metálicos com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa) fica:

$$FM = 0,73 \times 0,88 \times 0,88 = 0,6.$$

## 7. Aspetos psicossociais

A eficiência energética de uma instalação de IP é sem dúvida um dos aspetos a ter em conta nos projetos, manutenção e operação de uma infraestrutura de iluminação pública. E ainda que os benefícios associados sejam claros e significantes, surge um desafio específico, isto é, a aceitação destas soluções pelos cidadãos. Com efeito, existem outros fatores determinantes na execução de um projeto; fatores que são imediatamente percebidos pelos utilizadores e que definem a sua opinião e relação para com a IP, tendo em conta o seu sentimento de segurança e de qualidade de vida nas áreas públicas que frequentam.

Foi efetuado um estudo pela EDP Distribuição onde foram realizadas mais de 2.000 entrevistas para melhor entender as atitudes das pessoas relativamente à IP. Nomeadamente, como se sentem mais seguras e confortáveis, onde termina a poupança energética e começa a exigência mínima do serviço que a IP proporciona, e qual a receptividade a novos conceitos e tecnologias inovadoras. Para o efeito, foram utilizados sensores e sistemas de regulação, alteraram-se períodos de funcionamento e nível luminoso, e modificou-se a cor da iluminação.



Figura 7.1 – Equilíbrio entre eficiência e conforto, numa base que respeite o ambiente

Registou-se que existe uma maior sensibilidade para a rejeição de situações de desperdício por parte dos cidadãos, quer por uma questão ambiental, quer obviamente por uma questão de contenção de gastos. E, ainda que o estudo tenha revelado uma baixa familiarização em relação ao horário de operação da IP, foi notória a resistência às alterações que impactem o seu quotidiano, nomeadamente quando afetam a possibilidade de andar na rua em segurança e a proteção de bens. Verificou-se que existe muito pouca margem para alterar o período de funcionamento da IP, com particular relutância para os comerciantes.

### Cidadãos

Aceitam ligar mais tarde e desligar mais cedo, no entanto, esta ação depende da sazonalidade:

- **Verão** | 20 minutos
- **Inverno** | 10 minutos

### Comerciantes

Não aceitam ligar mais tarde, no entanto aceitam desligar cerca de 40 minutos mais cedo no último período de funcionamento (nascer do sol)



Relativamente à intensidade luminosa, foi possível observar que uma diminuição de 20 a 30% do seu valor não é suficiente para criar um impacto negativo na opinião das pessoas (ou até mesmo ser perceptível). Assim, há uma oportunidade para redução dos níveis luminosos, uma vez que, existe um potencial de redução de consumo bastante interessante que não afeta de forma significativa o conforto e segurança dos utilizadores. Todos os grupos envolvidos pretendem mais intensidade no período inicial, e a maioria é favorável a uma diminuição da intensidade no último período.

Horário	Grupo de Controlo	Zona Urbana	Zona Rural	Comerciantes
18h - 20h				
22h - 02h				
02 - 6h45				
 Nível luminoso máximo	 Nível luminoso reduzido	 Nível luminoso mínimo		

Figura 7.2 – Recetividade à variação do nível de intensidade

Por fim, no que respeita à adoção de novas tecnologias, adotando luminárias LED com luz branca em vez de luz alaranjada de lâmpadas de vapor de sódio, foi clara a aceitação das pessoas em relação a esta mudança, com opiniões bem favoráveis. Assim, alia-se a redução do consumo energético ao aumento de satisfação dos cidadãos.

O estudo verificou, inclusive, que os cidadãos rejeitam uma possível “otimização” do sistema de IP desligando algumas fontes luminosas. Esta ação, para além de arruinar a parametrização fotométrica do projeto, nomeadamente em termos de uniformidade de iluminação, irá provocar um aumento significativo de pedidos de resolução de focos isolados (focos de luz apagados) e de falsas avarias que acarretarão custos desnecessários.

## 8. Exemplos Práticos

### 8.1 Projeto de uma nova rede de IP

Pretende-se com este capítulo exemplificar os passos a efetuar na elaboração de um projeto de IP de raiz. Com base nas características ao nível do tipo de estradas, tráfego, interseções, iluminação ambiente, etc., foi definido um plano luminotécnico de acordo com as normas estabelecidas, nomeadamente a CIE115 de 2010.

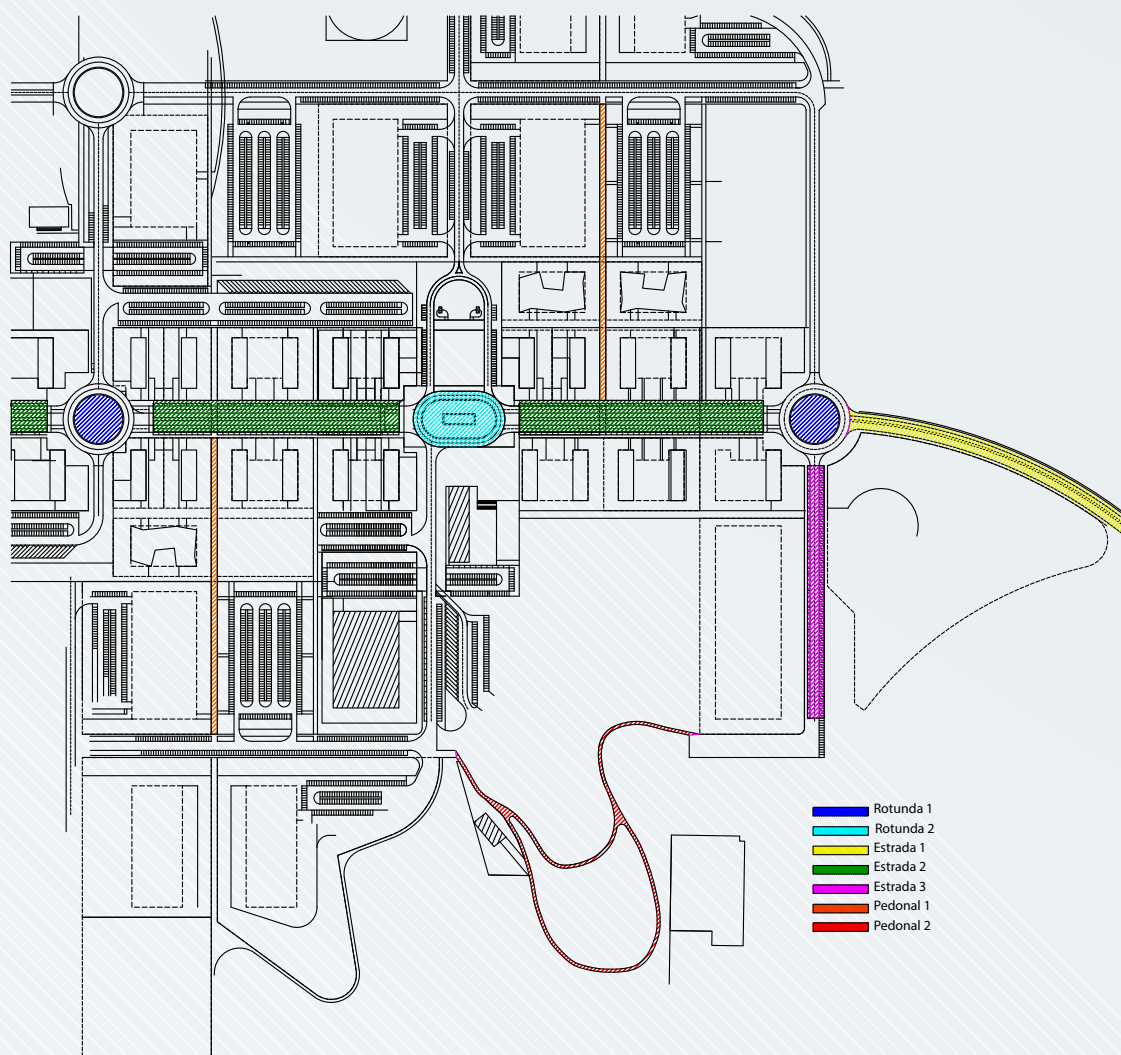


Figura 8.1 - Planta com a indicação dos locais a iluminar

O primeiro passo é definir, em conjunto com as entidades responsáveis pela IP (i.e. Municípios e/ou EDP Distribuição), as classes a aplicar a cada um desses locais. A determinação das classes seleccionadas em todo o período noturno, a temperatura de cor, e o IRC deverão, também, ser definidas em conjunto com essas entidades.

Para este exemplo, consideraram-se as seguintes classes: M (velocidade rápida ou moderada), C (área de conflito) ou P (espaço público mormente pedonal). A tabela seguinte indica a classificação atribuída a cada área identificada a iluminar.

Tabela 8.1 - Definição das classes dos vários locais

Local	Observações	Classe
Estrada 1	Via rápida de aproximação	M
Estrada 2	Estrada residencial	M
Estrada 3	Estrada residencial	M
Rotunda 1	Rotunda de ligação de uma estrada residencial a uma via rápida	C
Rotunda 2	Rotunda entre estradas residenciais	C
Pedonal 1	Jardim	P
Pedonal 2	Zona de bicicletas com grande fluxo de pessoas	P

O passo seguinte passa por determinar o índice associado a cada uma dessas classes do local em questão, estabelecendo os pesos mediante as suas características.

Tabela 8.2 - Caracterização da Estrada 1

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Alta	0,5	Moderado	0
Composição do Trânsito		Separação das Faixas	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Maioritariamente motorizado	0	Não	1
	(Apenas Motorizado)		
Densidade de Cruzamentos		Veículos Estacionados	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada	0	Não Presentes	0
Luminância Ambiente		Controlo do Trânsito	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Baixa	-1	Fraco	0,5

Somando os pesos e aplicando a fórmula,  $I_M = 6 - \sum \text{Fator de Peso (Total)}$ , caracterizamos a **Estrada 1** como sendo de classe **M5**. Aplicando o mesmo método:

Tabela 8.3 - Caracterização da Estrada 2

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada ou Reduzida	0	Alto	0,5
Composição do Trânsito		Separação das Faixas	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Misturado	1	Sim	0
Densidade de Cruzamentos		Veículos Estacionados	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Alta	1	Presentes	0,5
Luminância Ambiente		Controlo do Trânsito	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Baixa	-1	Fraco	0,5

Caracterizamos a **Estrada 2** como sendo de classe **M3**.

Tabela 8.4 - Caracterização da Estrada 3

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderada ou Reduzida	0	Moderado	0
Composição do Trânsito		Separação das Faixas	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Misturado	1	Não	1
Densidade de Cruzamentos		Veículos Estacionados	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Alta	1	Presentes	0,5
Luminância Ambiente		Controlo do Trânsito	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Baixa	-1	Fraco	0,5

Caracterizamos a **Estrada 3** como sendo de classe **M3**.

Para a caracterização das áreas de conflito R1 e R2, e como estamos numa zona fora do perímetro urbano, usa-se o critério da luminância. Este determina que o índice dessa zona seja, no mínimo, igual ao da estrada adjacente. Adjacentes a R1 temos as estradas E1, E2 e E3, sendo que a classe com o índice menor é a M3 (quer da estrada E2, quer da estrada E3). Adjacentes a R2, apenas se encontram as estradas E2 e E3, o que significa que a classe de menor índice é M3. Assim:

Tabela 8.5 - Determinação das classes das áreas de conflito pelo método da luminância

Área de Conflito	Estrada adjacente de índice menor	Classe da rotunda
Rotunda 1	E2 / E3 (M3)	M2
Rotunda 2	E2 /E3 (M3)	M2

Por fim vamos caracterizar, as zonas pedonais existentes:

Tabela 8.6 - Caracterização de Pedonal 1

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Baixa	1	Baixo	-0,5
Composição do Trânsito		Veículos Estacionados	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	2	Presente	0,5
Luminância Ambiente		Reconhecimento Facial	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Alta	1	Não são necessários requerimentos adicionais	

Aplicando a fórmula  $I_s = 6 - \sum \text{Fator de Peso}$ , caracterizamos **Pedonal 1** como sendo de classe **P2**.

Tabela 8.7 - Caracterização de Pedonal 2

Velocidade		Volume de Tráfego	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Baixa	1	Moderado	0
Composição do Trânsito		Veículos Estacionados	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	2	Presente	0,5
Luminância Ambiente		Reconhecimento Facial	
Opção	Fator de Peso	Opção	Fator de Peso
Moderado	0	Não são necessários requerimentos adicionais	

Aplicando a fórmula  $I_s = 6 - \sum \text{Factor de Peso}_i$ , caracterizamos Pedonal 2 como sendo de classe P2.

Após a caracterização das várias zonas e identificado o índice da sua classe de iluminação, ficam definidos os valores dos parâmetros luminotécnicos que terão de ser cumpridos no projeto. A Tabela 8.8 mostra a parametrização resultante.

Tabela 8.8 - Parâmetros luminotécnicos das classes encontradas na região a iluminar

Zona	Classe	Luminância	Uniformidade	SR	TI
Estrada 1	ME5	0,5 cd/m <sup>2</sup>	0,4	0,5	15 %
Estradas 2 e 3	ME3	1 cd/m <sup>2</sup>	0,7	0,5	15 %
Rotundas 1 e 2	ME2	1,5 cd/m <sup>2</sup>	0,7		10 %
Zona	Classe	Iluminância média	Iluminância mínima	TI	
Pedonal 1 e 2	P2	10 lux	2 lux	25 %	

Para os valores determinados, e de acordo com o documento de referência do MEID, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95%.

Em situações onde não seja aconselhável a medição da luminância (ver capítulo 6.2), será utilizada a conversão de candelas para lux na relação de 1 para 15.

O próximo passo passa pela escolha, por parte do projetista, da coluna, da luminária e respectiva fonte de luz, distribuição e distância entre colunas de modo a obter um compromisso entre os valores médios calculados e a eficiência energética do projeto.

Para o efeito, recorreu-se a ferramentas de simulação computacional (Dialux) para efetuar um estudo luminotécnico representativo, utilizando equipamento qualificado/uso corrente da EDP Distribuição. Por questões estéticas e de uniformização de funções, optou-se por utilizar a mesma família de luminárias em todas as zonas em estudo.

## Projeto – Utilização de tecnologia Qualificada e Normalizada pela EDP Distribuição de tecnologia LED

### Estrada 1

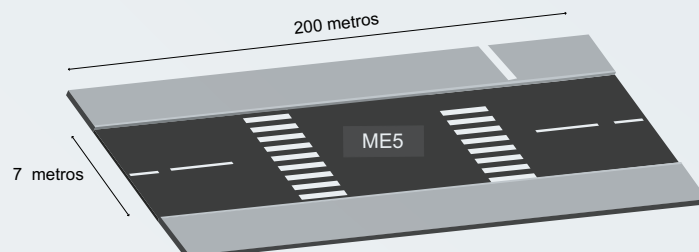


Figura 8.2 – Esquematização da Estrada 1

Tabela 8.9 – Caracterização luminotécnica da Estrada 1

Valores Teóricos					
Classe	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
ME5	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5 \text{ cd/m}^2$	$\leq 15 \%$	$\geq 0,5$

Valores de Projeto (simulados)					
Iluminância	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
11 Lux	0,47	0,71	0,66 $\text{cd/m}^2$	11 %	0,52
Altura das luminárias		Pendor	Distribuição das colunas	Distância entre colunas	Inclinação
8 metros		0,75 metros	Unilateral	28 metros	0°
Tipo de Luminária utilizada (Ref. EDP)					
LUMLED VCA X 65 W			(P=51W)		

Valor de IEE	Classe de Eficiência Energética
43,14	A



## Estrada 2

Figura 8.3 – Esquematisação da Estrada 2

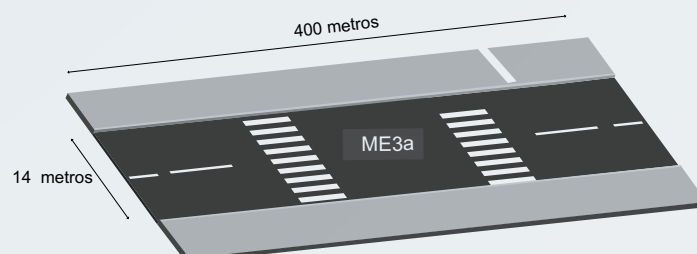


Tabela 8.10 – Caracterização luminotécnica da Estrada 2

Valores Teóricos					
Classe	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
ME3	≥0,4	≥0,7	≥ 1 cd/m²	≤15 %	≥0,5
Valores de Projeto (simulados)					
Iluminância	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
17 Lux	0,81	0,76	1,01 cd/m²	10 %	0,81
Tabela de Projeto (simulados)					
Altura das luminárias	Pendor	Distribuição das colunas	Distância entre colunas	Inclinação	
10 metros	1,25 metros	Bilateral	35 metros	5°	
Tipo de Luminária utilizada (Ref. EDP)					
LUMLED VCA X 100 W			(P=77W)		

Valor de IEE	Classe de Eficiência Energética
56,2	A

## Estrada 3

Figura 8.4 - Esquemática da Estrada 3

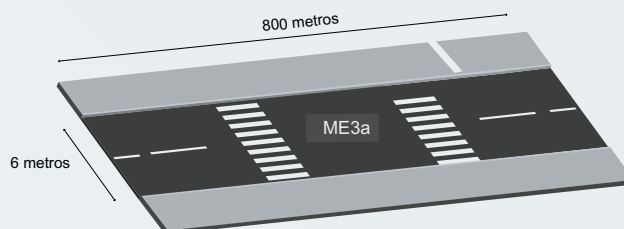


Tabela 8.11 – Caracterização luminotécnica da Estrada 3

Valores Teóricos					
Classe	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
ME3	≥0,4	≥0,7	≥ 1 cd/m <sup>2</sup>	≤15 %	≥0,5

Valores de Projeto (simulados)					
Iluminância	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
18 Lux	0,40	0,72	1,02 cd/m <sup>2</sup>	11 %	0,52
	Altura das luminárias	Pendor	Distribuição das colunas	Distância entre colunas	Inclinação
	8 metros	0,75 metros	Unilateral	24 metros	0°
Tipo de Luminária utilizada (Ref. EDP)					
LUMLED VCA X 100 W				(P=77W)	

Valor de IEE	Classe de Eficiência Energética
45,3	A

## Rotunda 1 e 2

Figura 8.5 – Esquemática das Rotundas 1 e 2

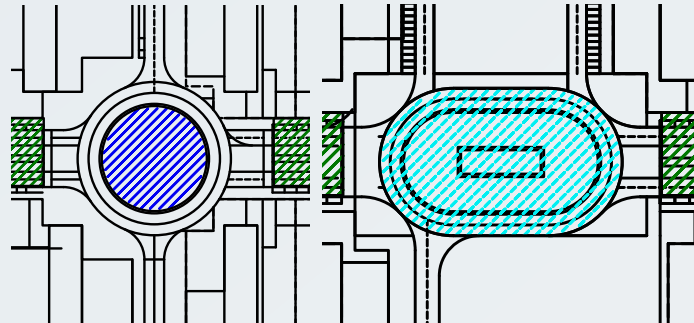


Tabela 8.12 – Caracterização luminotécnica das Rotundas 1 e 2

Valores Teóricos					
Classe	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
ME2	≥0,4	≥0,7	≥ 1,5 cd/m <sup>2</sup>	≤10 %	≥0,5

Valores de Projeto (simulados)					
Iluminância	Uniformidade Global	Uniformidade Longitudinal	Luminância	TI	SR
29 Lux	0,44	0,87	1,56 cd/m <sup>2</sup>	N/A	N/A
	Altura das luminárias	Pendor	Distribuição das colunas	Distância entre colunas	Inclinação
	10 metros	1,25 metros	Unilateral por fora da rotunda	22 metros	0°
Tipo de Luminária utilizada (Ref. EDP)					
LUMLED VCA X 150 W				(P=128W)	

Valor de IEE	Classe de Eficiência Energética
53,8	A

## Zonas Pedonal 1

Figura 8.6 - Esquematização da Zona Pedonal 1

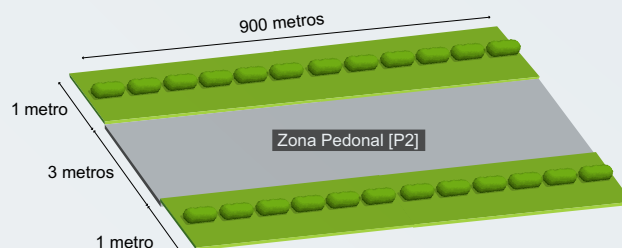


Tabela 8.13 – Caracterização luminotécnica de Pedonal 2

Valores Teóricos					
Classe	Iluminância - Eh,avg (lux)	Iluminância - Eh,min (lux)	Iluminância - Ev,min (lux)	Iluminância - Esc,min (lux)	Encadeamento perturbador
P2	≥10 lux	≥2	---	---	25

Valores de Projeto (simulados)				
Iluminância - Eh,avg (lux)	Iluminância - Eh,min (lux)	Encadeamento perturbador		
9,57	3,85	---		
Altura das luminárias	Distribuição das colunas	Distância entre colunas	Pendor	Inclinação
4 metros	Unilateral	18,5 metros	0,75 metros	5º
Tipo de Luminária utilizada (Ref. EDP)				
LUMLED JAR X 25 W		(P=16W)		

Valor de IEE	Classe de Eficiência Energética
28,03	B

## Zonas Pedonal 2

Figura 8.7 - Esquematização da Zona Pedonal 2

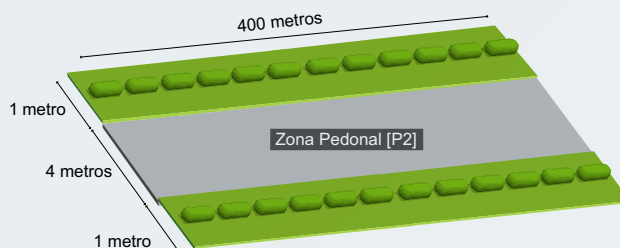



Tabela 8.14 – Caracterização luminotécnica de Pedonal 2

Valores Teóricos					
Classe	Iluminância - Eh,avg (lux)	Iluminância - Eh,min (lux)	Iluminância - Ev,min (lux)	Iluminância - Esc,min (lux)	Encadeamento perturbador
P2	≥10 lux	≥2	---	---	25

Valores de Projeto (simulados)				
Iluminância - Eh,avg (lux)	Iluminância - Eh,min (lux)	Encadeamento perturbador		
10,3	2,98	----		
Altura das luminárias	Distribuição das colunas	Distância entre colunas	Pendor	Inclinação
4 metros	Unilateral	14,5 metros	0,75 metros	0°
Tipo de Luminária utilizada (Ref. EDP)				
LUMLED JAR X 25 W		(P=16W)		

Valor de IEE	Classe de Eficiência Energética
28,67	

## 8.2 Substituições em Redes Existentes

Dado que importa garantir a manutenção das topologias das redes de IP existentes aquando da substituição das luminárias por novas luminárias com tecnologia LED, estabeleceram-se equivalências de substituição para as topologias mais comuns na rede de IP. Elaboraram-se, assim, estudos luminotécnicos para apoio à decisão na substituição de luminárias tradicionais por luminárias LED padronizadas de uso corrente.

Tabela 8.15 – Resultados das equivalências luminotécnicas para as topologias das redes de IP aéreas rurais e urbanas mais comuns aquando da substituição das luminárias tradicionais por novas luminárias LED padronizado de uso corrente de utilização universal.

Tipificação de Arruamentos						Valores Luminotécnicos e de Eficiência Energética						
Largura da faixa de rodagem (m)	Comprimento (distância entre colunas/postes) (m)	Altura de instalação da luminária (m)	Projeção horizontal do braço (Pendor) (m)	Passeio	Distribuição de Colunas (Unilateral, Bilateral, Quincôncio)	Inclinação (°)	E med (lux)	E min (lux)	Uniformidade Longitudinal	Refa EDP	Eficiência Energética	Classe de Eficiência
4	25	6	0,45	não	Unilateral	5	5	2	0,40	LUMLED VCA F 25W	33	A
4	30	7	0,45	não	Unilateral	5	4	1	0,39	LUMLED VCA F 25W	28	B
4	25	6	0,45	não	Unilateral	0	6	2	0,38	LUMLED VCA F 25W	39	A
4	30	7	0,45	não	Unilateral	0	4	2	0,36	LUMLED VCA F 25W	33	A
6	30	7	0,75	não	Unilateral	5	6	2	0,39	LUMLED VCA F 45W	45	A
6	30	7	0,75	não	Unilateral	0	7	3	0,37	LUMLED VCA F 45W	50	A
6	35	7	0,75	não	Unilateral	5	10	3	0,28	LUMLED VCA F 80W	45	A
6	35	7	0,75	não	Unilateral	0	11	3	0,28	LUMLED VCA F 80W	49	A
6	35	8	0,75	não	Unilateral	5	9	3	0,35	LUMLED VCA F 80W	39	A
6	35	8	0,75	não	Unilateral	0	10	4	0,35	LUMLED VCA F 80W	44	A
7	35	7	0,75	unilateral	Unilateral	5	10	3	0,29	LUMLED VCA F 80W	51	A
7	35	7	0,75	unilateral	Unilateral	0	11	3	0,29	LUMLED VCA F 80W	57	A
7	40	8	0,75	bilateral	Unilateral	5	13	3	0,27	LUMLED VCA F 100W	51	A
7	40	8	0,75	bilateral	Unilateral	0	14	4	0,27	LUMLED VCA F 100W	54	A
8	40	8	1,25	bilateral	Unilateral	5	12	3	0,26	LUMLED VCA F 100W	53	A
8	40	8	1,25	bilateral	Unilateral	0	13	3	0,27	LUMLED VCA F 100W	58	A

Tabela 8.16 – Resultados das equivalências luminotécnicas para as topologias das redes de IP subterrâneas mais comuns aquando da substituição das luminárias tradicionais por novas luminárias LED padronizado de uso corrente de utilização universal.

Tipificação de Arruamentos						Valores Luminotécnicos e de Eficiência Energética						
Largura da faixa de rodagem (m)	Comprimento (distância entre colunas/postes) (m)	Altura de instalação da luminária (m)	Projeção horizontal do braço (Pendor) (m)	Passeio	Distribuição de Colunas (Unilateral, Bilateral, Quincôncio)	Inclinação (°)	E med (lux)	E min (lux)	Uniformidade Longitudinal	Refa EDP	Eficiência Energética	Classe de Eficiência
8	20	6	0,75	unilateral	unilateral	5	16	2	0,14	LUMLED VCA X 65W	54	A
8	25	8	0,75	unilateral	unilateral	5	12	6	0,50	LUMLED VCA X 65W	51	A
8	35	10	1,25	bilateral	unilateral	5	12	5	0,46	LUMLED VCA X 100W	47	A
10	30	12	1,25	bilateral com estacionamento	quincôncio	5	12	7	0,58	LUMLED VCA X 100W	50	A
8	35	10	1,25	bilateral com estacionamento	bilateral	5	15	7	0,43	LUMLED VCA X 100W	58	A
8	40	12	1,25	central	axial	5	10	6	0,58	LUMLED VCA X 100W	44	A



## 8.3 Conclusão

No estabelecimento de novos projetos, remodelações e nos processos de operação e manutenção da rede de IP, importa garantir equilíbrios técnico-económicos numa ótica de sustentabilidade e responsabilidade social. Apesar de não terem sido abordados em detalhe estes equilíbrios, torna-se importante garantir fatores de escala, standardização de equipamentos e processos de operação e manutenção da rede de IP, de modo a obter benefícios para as diferentes partes interessadas.

Este Manual identifica uma classificação energética para instalações de IP, que teve como base o manual de referência do MEID e um padrão alargado de projetos. Trata-se de uma classificação evolutiva, que deverá ser revista em função da evolução tecnológica e da aquisição de mais informação em sede de projeto. Assim, deverá ser considerado como indicativo, sendo que para o projeto que serviu de exemplo, e para os casos de substituição, foi possível obter classes B e A para as várias topologias utilizando o material padronizado de uso corrente da EDP Distribuição.

Caberá, ainda, na fase de projeto, e tendo em consideração os fatores psicossociais, a definição dos períodos de funcionamento da IP.

## 9. Tramitação Processual

### 9.1. Enquadramento de materiais e aparelhos

A rede de IP é constituída por um portfólio de grande dimensão de aparelhos e equipamentos. Dado que nem todos os equipamentos de iluminação são passíveis de instalação na rede de IP, e como os de possível instalação têm diferentes enquadramentos, importa definir os respetivos pressupostos de aplicação tendo em consideração o contrato tipo de concessão da distribuição energia elétrica em baixa tensão. Assim devem ser tidas em conta as seguintes definições:

#### 1. Equipamento qualificado

Classifica-se como equipamento qualificado aquele para o qual existe projeto tipo ou especificações aprovadas pela EDP Distribuição na sequência de sujeição a análise técnica.

#### 2. Equipamento padronizado de uso corrente

Classifica-se como equipamento padronizado de uso corrente o equipamento qualificado previsto no Anexo I ao contrato de concessão da distribuição de energia elétrica em vigor, para o qual existe fornecedor qualificado e abastecimento regular em armazém da EDP Distribuição.

#### 3. Equipamento padronizado de uso não corrente

Classifica-se como equipamento padronizado de uso não corrente o equipamento qualificado para o qual existe fornecedor qualificado mas não existe abastecimento regular em armazém da EDP Distribuição.

#### 4. Equipamento não padronizado

Classifica-se como equipamento não padronizado o equipamento para o qual não exista projeto tipo ou especificações aprovadas pela EDP Distribuição, nem fornecedor qualificado mas cuja instalação excecional a EDP Distribuição tenha autorizado na sequência de prévia análise técnica. Este equipamento não é provisionado pela EDP Distribuição.

#### 5. Equipamento não qualificado

Classifica-se como equipamento não qualificado aquele que não foi sujeito a análise técnica da EDP Distribuição, ou tendo sido, não obteve aprovação para efeitos de instalação na rede. Este equipamento não pode ser instalado na rede IP.

### 9.2. Regras de participação

Em função dos diferentes tipos de enquadramento de materiais e aparelhos a instalar na IP, foram definidas as responsabilidades de participação de acordo com o contrato de concessão da distribuição energia elétrica em baixa tensão, detalhando-se em seguida essas responsabilidades com exceção dos casos de remodelação de redes da iniciativa dos Municípios:

## 1. Material padronizado de uso corrente

### • Luminárias/fontes de luz (tradicionais)<sup>4</sup>:

São da responsabilidade da EDP Distribuição os custos com a respetiva aquisição e a manutenção;

### • Luminárias/fontes de luz (LED)<sup>5</sup>:

De acordo com o estabelecido no Anexo I ao contrato tipo de concessão da distribuição de energia elétrica em baixa tensão objeto de aprovação pela EDP Distribuição e pela Associação Nacional de Municípios Portugueses em Protocolo recentemente celebrado e ao qual os municípios poderão aderir, as luminárias LED só deverão ser consideradas de material padronizado de uso corrente nas seguintes situações:

- Estabelecimento de novas redes de iluminação pública;
- Substituição de luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio, decorrente de remodelações de redes de IP, seja por iniciativa do Município, seja por iniciativa da EDP Distribuição;
- Substituição de luminárias obsoletas ou em más condições de conservação, conforme validado pela EDP Distribuição.

Quando sejam consideradas material padronizado de uso corrente:

- **Luminárias LED de utilização universal<sup>6</sup>:** São da responsabilidade da EDP Distribuição os custos com a respetiva aquisição e manutenção.
- **Luminárias LED para núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer<sup>7</sup>:** Os custos com a respetiva aquisição e manutenção são repartidos igualmente entre a Município e a EDP Distribuição.
- **Colunas:** Os custos com respetiva aquisição são repartidos igualmente entre a Município e a EDP Distribuição.

## 2. Material padronizado não corrente:

- **Luminárias/fontes de luz e colunas:** A EDP Distribuição é responsável por suportar os custos de aquisição que suportaria com o material padronizado de uso corrente, devendo os custos remanescentes ser comparticipados pelo Município. No que se refere aos custos de manutenção, estes deverão ser suportados na proporção em que o foram os custos de aquisição.

## 3. Material não padronizado

- **Luminária/fonte de luz/colunas:** São da inteira responsabilidade do Município os custos de aquisição e manutenção dos equipamentos e materiais.

Em suma, apresentam-se nos quadros seguintes as regras de comparticipação para o estabelecimento de novas redes ou requalificações de redes de IP, da iniciativa do município, que se apresentam nos seguintes quadros.

4 Luminárias padronizadas de uso corrente de Vapor de Sódio de Alta Pressão para rede aérea e subterrânea, bem como para jardins.

5 Luminária compacta que integra a tecnologia Light Emitting Diode – Díodo Emissor de Luz (LED) para transformar a energia elétrica em luz.

6 Luminárias LED padronizadas de uso corrente para rede viária, para rede aérea e subterrânea.

7 Luminárias LED padronizadas de uso corrente tipo lanterna clássica de 4 e 6 faces, troncocónicas ou esféricas com calote superior opaca.

Tabela 9.1 – Anexo I - TABELA RESUMO - Estabelecimento de novas redes de iluminação pública (VSAP)

		Instalação											
		Luminárias						Mão de Obra					
		Custos suportados pela EDPD			Custos suportados por Autarquia / Terceiros			Custos suportados pela EDPD			Custos suportados por Autarquia / Terceiros		
		Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas
I - Rede Novas	Aquisição EDPD	100% *	Custo equivalente ao padronizado de uso corrente*	--	--	Diferencial de custo entre equipamento padronizado de uso não corrente e o equipamento padronizado de uso corrente	--	100% *	100% *	--	--	--	--
	Terceiros	--	--	--	100%	100%	100%	--	--	--	100%	100%	100%
	Aquisição Município	--	--	--	100%	100%	100%	100% *	100% *	--	--	--	--
		--	--	--	--	--	--	--	--	--	100%	100%	100%

Nota: Esta tabela não dispensa a consulta e leitura das regras existentes

\* Limite máximo anual de investimento em iluminação pública de 12% do montante das rendas anuais previstas no artigo 44º do Decreto-Lei nº 172/2006, de 23 de Agosto.

\*\* De acordo com as regras estabelecidas para obras de terceiros, loteamento e urbanizações.

Tabela 9.2 – Anexo I - TABELA RESUMO - Manutenção de redes de iluminação pública (VSAP)

		Manutenção											
		Luminárias						Mão de Obra (EDPD)					
		Custos suportados pela EDPD**			Custos suportados por Autarquia /Terceiros			Custos suportados pela EDPD ***			Custos suportados por Autarquia /Terceiros		
		Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas
INSTALAÇÃO INICIAL	Aquisição EDPD	100%	Custo equivalente ao padronizado de uso corrente	Equipamento padronizado de uso corrente *	--	Diferencial de custo entre equipamento padronizado de uso não corrente e o equipamento padronizado de uso corrente	--	100%	100%	100% *	--	--	100% *
	Aquisição Município/terceiros	100%	Custo equivalente ao padronizado de uso corrente	Equipamento padronizado de uso corrente *	--	Diferencial de custo entre equipamento padronizado de uso não corrente e o equipamento padronizado de uso corrente	100% *	100%	100%	100% *	--	--	100% *

Nota: Esta tabela não dispensa a consulta e leitura das regras existentes

\* Cabe ao município garantir o fornecimento dos equipamentos instalados em prazo acordado com a EDP Distribuição, ou, em alternativa, será substituído por material de uso corrente. Para posterior substituição do material de uso corrente instalado nestas condições, o município terá de suportar integralmente os respetivos custos.

\*\* Custo equivalente ao equipamento corrente, salvo casos de avaria dentro período de garantia e danificação de equipamentos por terceiros identificados.

\*\*\* Salvo casos de danificação equipamentos LED por terceiros identificados.

Tabela 9.3 – Regras EDP Distribuição - Obras de remodelação requalificação da Iniciativa da Autarquia (VSAP)

		Instalação													
		Luminárias							Mão de Obra						
		Custos suportados pela EDPD			Custos suportados pela Autarquia				Custos suportados pela EDPD			Custos suportados pela Autarquia			
		Equipamento existente	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Padronizadas de uso corrente	Padronizadas de uso não corrente	Não padronizadas	Execução
II - Remodelações / requalificações	Aquisição EDPD	Substituição de luminárias em situação pontuais e circuito não inteiros	100%*	Custo equivalente ao padronizado de uso corrente*	--	--	Diferencial de custo entre equipamento padronizado de uso não corrente e o equipamento padronizado de uso corrente	--	100% *	100% *	--	--	--	--	EDPD *
	Aquisição Município	Substituição de luminárias em situação pontuais e circuito não inteiros	--	--	--	100%	100%	100%	100%*	100%*	--	--	--	--	EDPD*
									--	--	--	100%	100%	100%	Terceiros (Autarquia) **

Nota: Esta tabela não dispensa a consulta e leitura das regras existentes

\* Limite máximo anual de investimento em iluminação pública de 12% do montante das rendas anuais previstas no artigo 44º do Decreto-Lei nº 172/2006, de 23 de Agosto.

\*\* De acordo com as regras estabelecidas para obras de terceiros, loteamento e urbanizações.

Tabela 9.4 – Anexo I - TABELA RESUMO - Estabelecimento de novas redes de iluminação pública (LED)

		Instalação																	
		Luminárias								Mão de Obra									
		Custos suportados pela EDPD				Custos suportados por Autarquia /Terceiros				Custos suportados pela EDPD				Custos suportados por Autarquia /Terceiros					
		LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	Execução	
1 - Rede Novas	Aquisição EDPD	100%*	50%*		--	--	50%	Diferença de custo do equipamento LED padronizado de uso não corrente para o equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	--	100% *	100% *	100% *	--	--	--	--	--	EDPD*	
	Terceiros	--	--	--	--	100%	100%	100%	100%	--	--	--	--	100%	100%	100%	100%	Terceiros (Autarquia) **	
	Aquisição Município	--	--	--	--	100%	100%	100%	100%	100% *	100% *	100% *	--	--	--	--	--	EDPD*	
		--	--	--	--	100%	100%	100%	100%	--	--	--	--	100%	100%	100%	100%	Terceiros (Autarquia) **	

Nota: Esta tabela não dispensa a consulta e leitura das regras existentes

\* Limite máximo anual de investimento em iluminação pública de 12% do montante das rendas anuais previstas no artigo 44º do Decreto-Lei nº 172/2006, de 23 de Agosto.

\*\* De acordo com as regras estabelecidas para obras de terceiros, loteamento e urbanizações.

Tabela 9.5 – Anexo I - TABELA RESUMO - Manutenção de redes de iluminação pública (LED)

INSTALAÇÃO INICIAL		Manutenção															
		Luminárias							Mão de Obra (EDPD)								
		Custos suportados pela EDPD **				Custos suportados por Autarquia /Terceiros			Custos suportados pela EDPD ***				Custos suportados por Autarquia /Terceiros				
		LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado
Aquisição EDPD	100%	50%	Custo equivalente ao equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização universal*	--	50%	Diferença de custo do equipamento LED padronizado de uso não corrente para o equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	100% *	100%	100%	100%	100% *	--	--	--	100% *	
	100%	50%	Custo equivalente ao equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização universal*	--	50%	Diferença de custo do equipamento LED padronizado de uso não corrente para o equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	100% *	100%	100%	100%	100% *	--	--	--	100% *	
Aquisição Município/Terceiros																	

Nota: Esta tabela não dispensa a consulta e leitura das regras existentes

\* Cabe ao município garantir o fornecimento dos equipamentos instalados em prazo acordado com a EDP Distribuição, ou em alternativa será substituído por material de uso corrente. Para posterior substituição do material de uso corrente instalado nestas condições, o município terá de suportar integralmente os respetivos custos.

\*\* Custo equivalente ao equipamento corrente, salvo casos de avaria dentro período de garantia e danificação de equipamentos por terceiros identificados.

\*\*\* Salvo casos de danificação de equipamentos LED por terceiros identificados.



Tabela 9.6 – Regras EDP Distribuição - Obras de remodelação requalificação da Iniciativa da Autarquia (LED)

	Instalação															
	Luminárias								Mão de Obra							
	Custos suportados pela EDPD				Custos suportados pela Autarquia				Custos suportados pela EDPD				Custos suportados pela Autarquia			
	Equipamento existente	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado	LED padronizado de uso corrente de utilização universal	LED padronizado de uso corrente de utilização em núcleos antigos delimitados, jardins, parques públicos e zonas de lazer	LED padronizado de uso não corrente	LED não padronizado
Aquisição EDPD	Substituição de luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio, decorrente da remodelação de redes de IP, por iniciativa do Município ou por iniciativa da EDPD	100%*	50%*	---	---	50%	Diferença de custo do equipamento LED padronizado de uso não corrente para o equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	---	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	EDPD*
	Substituição de luminárias obsoletas ou em más condições de conservação, conforme validado pela EDPD	100%*	50%*	---	---	50%	Diferença de custo do equipamento LED padronizado de uso não corrente para o equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	---	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	EDPD*
	Equip. não amortizado/Vapor Sódio/outra sem realocação no município (***)	100%*	50%*	---	Valor remanescente das luminárias não amortizadas ***	50% acrescido do valor remanescente das luminárias não amortizadas ***	Diferença de custo do equipamento LED padronizado de uso não corrente para o equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal acrescido do valor remanescente das luminárias não amortizadas ***	---	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	EDPD*
	D-Equip. não amortizado/Vapor Sódio /outra com realocação no município	100%*	50%*	---	---	50%	Diferença de custo do equipamento LED padronizado de uso não corrente para o equipamento LED padronizado de uso corrente de utilização universal	---	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	EDPD*
	Substituição de luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio, decorrente da remodelação de redes de IP, por iniciativa do Município ou por iniciativa da EDPD	---	---	---	100%	100%	100%	100%	---	---	---	---	100%	100%	100%	Terceiros (Autarquia) **
Aquisição Município	Substituição de luminárias obsoletas ou em más condições de conservação, conforme validado pela EDPD	---	---	---	100%	100%	100%	100%	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	EDPD*
	Equip. não amortizado/Vapor Sódio/outra sem realocação no município	---	---	---	100% acrescido do valor remanescente das luminárias não amortizadas ***	100% acrescido do valor remanescente das luminárias não amortizadas ***	100% acrescido do valor remanescente das luminárias não amortizadas ***	100% acrescido do valor remanescente das luminárias não amortizadas ***	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	EDPD*
	Equip. não amortizado/Vapor Sódio /outra com realocação no município	---	---	---	100%	100%	100%	100%	---	---	---	---	100%	100%	100%	Terceiros (Autarquia) **
	Equip. não amortizado/Vapor Sódio /outra com realocação no município	---	---	---	100%	100%	100%	100%	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	EDPD*
	Equip. não amortizado/Vapor Sódio /outra com realocação no município	---	---	---	100%	100%	100%	100%	100%*	100%*	100%*	---	---	---	---	Terceiros (Autarquia) **

Nota: Esta tabela não dispensa a consulta e leitura das regras existentes

\* Limite máximo anual de investimento em iluminação pública de 12% do montante das rendas anuais previstas no artigo 44º do Decreto-Lei nº 172/2006, de 23 de Agosto.

\*\* De acordo com as regras estabelecidas para obras de terceiros, loteamento e urbanizações.

\*\*\*Caso os equipamentos a substituir tenham sido adquiridos totalmente pela Autarquia ou terceiros não deverão ser apresentados à Autarquia custos do valor remanescente das luminárias não amortizadas.

### 9.3. Processo IP

A EDP Distribuição, enquanto concessionária da distribuição de energia elétrica em baixa tensão em 278 municípios do continente, tem vindo a promover e implementar soluções tecnológicas inovadoras na iluminação pública.

Nesse âmbito, a EDP Distribuição tem interagido com diversos agentes, em diferentes fases, nomeadamente autarcas, projetistas (entre os quais engenheiros e arquitetos), fabricantes, fornecedores, promotores e empreiteiros. Todos eles desempenham um papel no estabelecimento de uma instalação de IP, sendo por isso importante que as responsabilidades estejam bem definidas e compreendidas pelas partes (ver Tabela 9.7).



Figura 9.1 – Interação dos diversos agentes

Na iluminação pública existem três formas de se iniciar o processo de instalação de uma nova infraestrutura: ou a iniciativa é da EDP Distribuição, ou é do Município, ou é de promotores devidamente autorizados pelos Municípios, nomeadamente no caso de loteamentos, urbanizações e obras de terceiros.

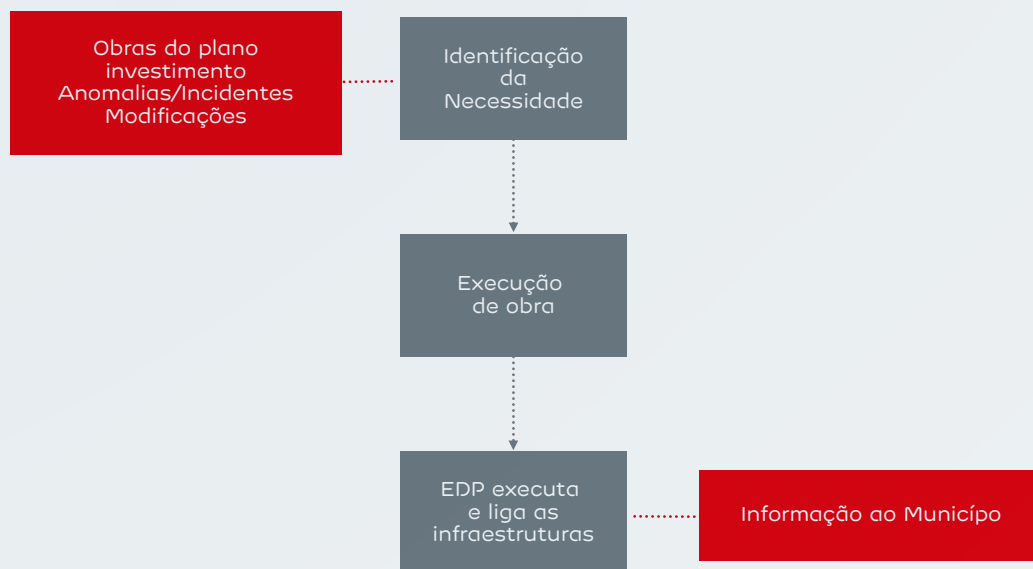


Figura 9.2 - Construção de infraestruturas de rede de IP da iniciativa da EDP Distribuição

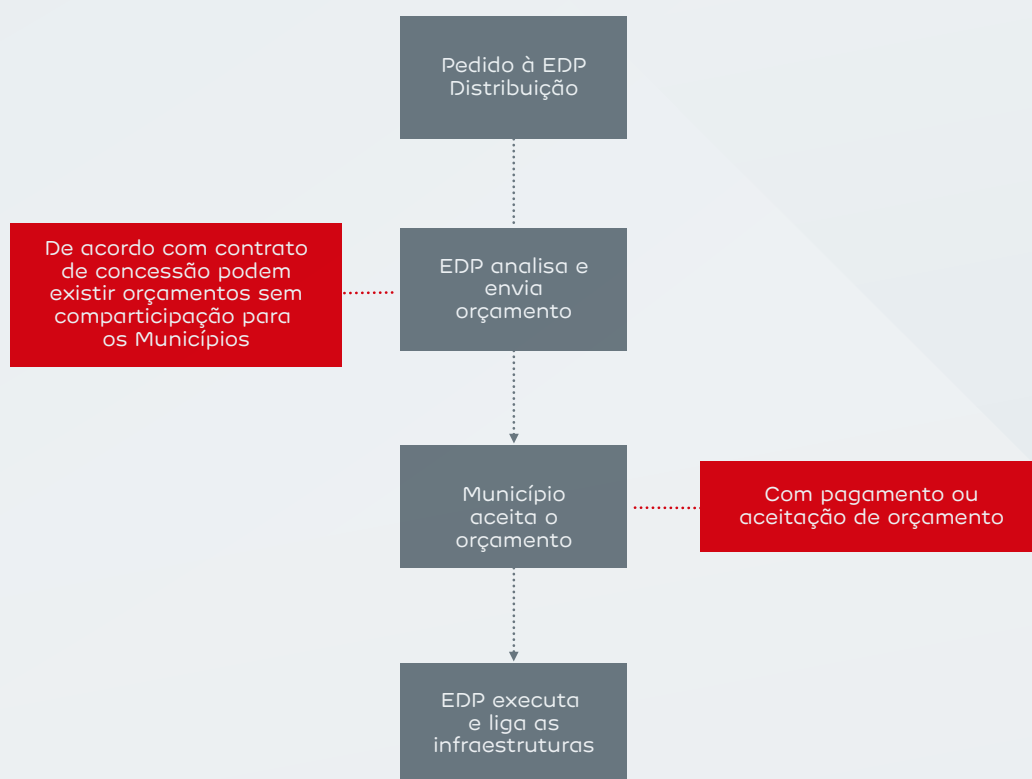


Figura 9.3 - Pedido de construção de novas infraestruturas ou ampliações de rede de IP solicitadas à EDP Distribuição



Figura 9.4 - Processo relativo à implementação de rede nova de IP ou ampliação da rede de IP, de iniciativa do Município ou promotores, para construção por terceiros (loteamentos, urbanizações, obras de terceiros e obras do Município)

Na iluminação particular, cuja responsabilidade é de terceiros ou do Município, a alimentação desta segue as regras das instalações classe C, com certificação junto das entidades competentes e com celebração prévia de contrato de fornecimento de energia com o comercializador de energia. São exemplos, a iluminação em condomínios fechados, parques fechados, iluminação decorativa, monumental, semafórica, passadeiras, sinalética, mupis, etc..

Tabela 9.7 – Matriz simplificada e ilustrativa de responsabilidades

EDP Distribuição	Municípios	Entidades governamentais e regulatórias	Fornecedores	Projetistas	Promotores	Empreiteiros
Especificação e qualificação: <ul style="list-style-type: none"><li>• materiais,</li><li>• processos,</li><li>• regras técnicas e administrativas.</li></ul>		Legislação	Fornecimento de material em alinhamento com os documentos normativos da EDP Distribuição	Elaboração de projeto		
	Regulamentação			Acompanhamento de obra		
	Licenciamento				Execução de obra e elaboração do auto de entrega	
	Fiscalização					
Elaboração e aprovação de projectos	Elaboração e licenciamento de projetos					
Acompanhamento e /ou execução e receção de obra	Acompanhamento e/ou execução					
Ligação à Rede	Pedido de ligação à rede					
Operação da rede de iluminação pública	Definir níveis e horários de iluminação e ao tipo e número de aparelhos de iluminação e lâmpadas em serviço					

Este enquadramento de responsabilidades são definidas e orientadas mediante os seguintes documentos:

- DNT-C71- 410 – Telegestão de luminárias de iluminação pública;
- DNT- C71- 411 – Equipamentos de iluminação pública não padronizados: Luminárias, colunas e braços;
- DEF-C71- 400 – Reguladores de fluxo luminoso;
- DIT –C71- 400 – Reguladores de fluxo luminoso;
- DMA-C71- 400 – Reguladores de fluxo luminoso para aplicação em circuitos de iluminação pública;
- DMA-C71-110 – Luminárias de iluminação pública para lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- DMA C71-111 – Luminárias de iluminação pública: tecnologia LED;
- DMA-C71-200 – Balastros eletrónicos com aplicação na iluminação pública para lâmpadas de descarga de sódio de alta pressão e de iodetos metálicos;
- DMA C71-210 – Balastros indutivos para lâmpadas de descarga;
- DMA C71-250 – Condensadores para circuitos com lâmpadas de descarga;
- DMA-C72-240 – Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- DMA C71-270 – Ignitores para lâmpadas de descarga;
- DMA C71-512 – Material para iluminação pública: colunas de aço da série H;
- DMA C71-520 – Material para iluminação pública: colunas de betão;
- DMA C67-205 – Postes de betão para rede BT;
- DMA C67-110 – Postes de madeira para BT;
- DMA-C71-540 – Braços de aço tubulares de IP;
- DMA C71-590 – Quadro elétrico de alimentação;
- DTT-C71- 311 – Relógios astronómicos.
- DIT-C11-010 – Regras para a conceção, aprovação e ligação à rede dos projetos de infraestruturas elétricas de loteamentos ou urbanizações de iniciativa privada.
- DIT- C71-114 – Regulação de fluxo luminoso para luminárias Led através do sistema de microcortes;
- DMA-C71-112 – Comando e regulação do fluxo luminoso de luminárias com tecnologia Led utilizando um sistema de microcortes
- DRE-C71-500 – Guia técnico da Iluminação Pública
- Portaria 454 – Contrato tipo: contrato de concessão de distribuição de energia elétrica em baixa tensão;
- EN 50160 – Características da tensão fornecida pelas redes públicas de distribuição
- Decreto Regulamentar nº 90/84 - Regulamento de segurança de redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão (RSRDEEBT)



## 10. Documentação a incluir em fase de projeto

Em fase de projeto deverá ser enviada para a EDP Distribuição a seguinte documentação:

- Identificação do responsável pela elaboração do projeto;
- Identificação da obra e sua localização;
- Memória descritiva incluindo conceito que suporta a solução, escolha da fonte de luz, luminária, classificação da via e níveis a obter de acordo com as especificações desta manual;
- Eficiência energética e classificação energética previsível, exceto na iluminação pedonal, ciclovias, remodelações parciais e em zonas especiais de intervenção;
- Especificação técnica dos materiais, equipamentos e trabalhos necessários para a implementação da solução projetada;
- Peças desenhadas em suporte informático, SIT projeto externo, com pontos georreferenciados no sistema HAYFORD-GAUSS, Datum 73;
- Mapa de quantidades de trabalho;
- Nas situações de substituição de luminárias existentes por tecnologia LED sem alteração de apoios existentes, o projetista deverá apresentar apenas a equivalência optada de acordo com as tabelas definidas.

Após a conclusão da obra deverão ser apresentados os seguintes documentos:

- Identificação do responsável pela execução da obra,
- Identificação da obra e sua localização,
- Telas finais em suporte informático, SIT projeto externo, com pontos georreferenciados no sistema HAYFORD-GAUSS, Datum 73;
- Auto de entrega e receção das instalações.

Esta documentação deverá ficar organizada em dossier próprio, ao qual irão sendo anexados os posteriores relatórios periódicos de medição e monitorização da instalação.

## Apêndice 1 | Fórmulas e Unidades

Conceito	Símbolo	Definição	Unidade
Ângulo sólido	$\Omega$	$\Omega = \frac{A}{d^2}$	sr <sup>8</sup>
Comprimento de onda	$\lambda$	$\lambda = \frac{c}{f}$	m
Eficácia luminosa	$\eta$	$\eta = \frac{\phi}{P}$	lm.W <sup>-1</sup>
Energia radiante	$Q, W$		J
Fluxo luminoso	$\phi$		lm (lumen) = cd.sr
Frequência	$f$	$f = \frac{c}{\lambda}$	Hz
Iluminância	$E$	$E = \frac{d\phi}{dA}$	lx (lux)
Intensidade luminosa	$I$	$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$	cd <sup>9</sup>
Intensidade radiante	$I_r$	$I_r = \frac{d\phi_r}{d\Omega}$	W.sr <sup>-1</sup>
Irradiância	$E_r$	$E_r = \frac{d\phi_r}{dA}$	W.m <sup>-2</sup>
Luminância	$L$	$L = \frac{I}{A \cdot \cos\theta^{10}}$	cd.m <sup>-2</sup>
Potência radiante	$P, \phi_r$	$\phi_r = \frac{dQ}{dt}$	W
Radiância	$L_r$	$L_r = \frac{\partial^2 \phi_r}{\partial \Omega \cdot \partial A \cdot \cos\theta}$	W.sr <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>
Temperatura de cor	Tc		K
Velocidade da luz	$c$		m/s

8 Esterorradiano (sr) equivale ao ângulo sólido formado por um cone tal que a área da esfera de raio unitário interna ao cone tenha o valor de um metro quadrado.

9 Candela (cd) é definida como sendo a intensidade luminosa, numa dada direcção, de uma fonte que emite radiação monocromática de frequência de  $540 \times 10^{12}$  Hz, e que tem uma intensidade radiante, nessa direcção, de 1/683 Watt por esterorradiano (sr).

10 Ângulo entre a normal à área iluminada e a direcção do fluxo refletido ao observador.

## Referências

- RNAE. Janeiro, 2011.** Eficiência Energética na Iluminação Pública - Documento de Referência. Janeiro, 2011.
- Instituto de Sistemas e Robótica** – UC, EDP Distribuição. Manual de Iluminação Pública, Volumes 1, 2 e 3. Outubro, 2010.
- A. de Almeida, B. Santos, P. Bertoldi, M. Quicheron.** Solid State Lighting Review - Potential and Challenges in Europe. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Volume 34, 2014.
- Projecto Europeu de Iluminação Pública E-Street.** Intelligent Road and Street Lighting in Europe, [www.e-streetlight.com](http://www.e-streetlight.com) [Online].
- VITO.** Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Final Report Lot 9: Public Street Lighting. Janeiro, 2007.
- Indalux.** Manual de Luminotecnica, Control y aplicación de la luz. s.l. : Indalux, Iluminacion Tecnica, 2002.
- CIE 23.1 – 1996.** "International recommendations for motorway lighting". 1996.
- CIE 31 – 1976.** "Glare and uniformity in road lighting installations". 1976.
- CIE 32/AB – 1977.** "Lighting in situations requiring special treatment (in road lighting)". 1977.
- CIE 33/AB – 1977.** "Depretiation of installation and their maintenance (in road lighting)". 1977.
- CIE 34 - 1977** "Road lighting lantern and installation data: photometrics, classification and performance". 1977.
- CIE 47 – 1979.** "Road lighting for wet conditions". 1979.
- CIE 66 – 1984.** "Road surfaces and lighting". 1984.
- CIE 93 – 1992.** "Road lighting as an accident countermeasure". 1992.
- CIE 126 - 1997** "Guidelines for minizing sky glow". 1997.
- CIE 132 - 1999** "Design methods for lighting of roads". 1999.
- CIE 136 - 2000** "Guide to the lighting of urban areas". 2000.
- CIE 140 - 2000** "Road lighting calculations". 2000.
- CIE 143 - 2001** "International recommendations for colour vision requirements for transport". 2001
- CIE 144 - 2001** "Road Surface and Road Marking Reflection Characteristics", 2001.
- CIE 150 - 2003** "Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations". 2003
- CIE 154 - 2003** "Maintenance of outdoor lighting systems". 2003.
- CIE 88 - 2004** "Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses". 2004.
- CIE 115 – 2010.** "Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic". 2010
- CIE 191 – 2010.** "Recommended system for mesopic photometry based on visual performance". 2010
- EN 12665.** "Light and lighting - Basic terms and criteria for specifying lighting requirements".
- CEN/TR 13201-1:2004.** "Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes". 2004.
- EN 13201-2:2003.** "Road lighting - Part 2: Performance requirements". 2003
- EN 13201-3:2003.** "Road lighting - Part 3: Calculation of performance". 2003
- EN 13201-4:2003.** "Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance". 2003.



distribuição