

# **Iluminação LED para exterior**

## Aquisição e projeto

---

### Guia de orientação



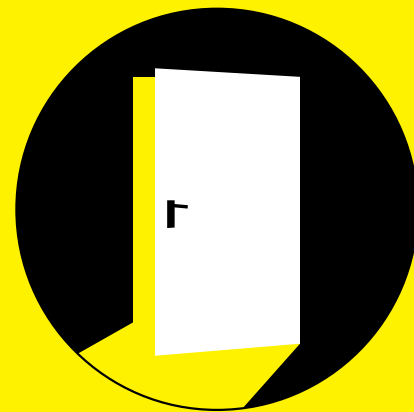


## Índice

---

1. Introdução	4	3.3.3 Detecção de tráfego	26
2. Qualidade, segurança e eficiência na iluminação pública	5	3.3.4 Regulação de fluxo	27
2.1 Introdução	5	3.3.5 Considerações	27
2.1.1 Critério de qualidade	5	4. Aquisição de sistemas de iluminação	29
2.1.2 Critério de segurança	10	4.1 Introdução	29
2.1.3 Critérios de eficiência	10	4.2 Especificações gerais	31
2.1.4 Durabilidade	11	4.2.1 Especificação do sistema de iluminação	32
2.2 Norma Europeia EN 13201	11	4.2.2 Características do controlo de iluminação e sistemas de comunicação	32
2.2.1 Seleção de classes de iluminação	11	4.2.3 Medição de consumo energético	32
2.2.2 Requisitos de desempenho, métodos de medição e cálculo	12	4.3 Critérios de Seleção	33
2.2.3 Indicadores do desempenho energético	13	4.3.1 Know-how e experiência da equipa de projeto e da equipa de instalação	33
2.2.5 Exemplo – estradas em áreas rurais	17	4.3.2 Capacidade do proponente	33
3. Componentes e projeto de iluminação	18	4.3.3 Conformidade com os padrões internacionais e nacionais relevantes	33
3.1 Componentes do sistema de iluminação	18	4.4 Requisitos técnicos (critérios obrigatórios e de adjudicação)	33
3.1.1 Sistemas óticos	18	4.4.1 Critérios relativos à energia	33
3.1.2 Sistemas de apoio	22	4.4.2 Critérios de qualidade e design	35
3.1.3 Sistema elétrico	23	4.4.3 Marca de conformidade	37
3.2 Sistemas de controlo de iluminação rodoviária	23	4.4.4 Custo do Ciclo de Vida/TCO	38
3.2.1 Controlo autónomo	24	4.4.5 Questões contratuais	39
3.2.2 Controlo centralizado	24	4.4.6 Redução de desperdícios e recuperação de materiais	40
3.2.3 Controlo dinâmico	24	4.5 PremiumLightPro critérios de adjudicação – ponderação e resultado	40
3.3 Estratégias de controlo de iluminação rodoviária	26	4.5.1 Introdução	40
3.3.1 Relógio astronómico	26	<b>Bibliografia</b>	<b>42</b>
3.3.2 Interruptores crepusculares	26		

A responsabilidade exclusiva do conteúdo deste documento recai nos autores, não refletindo necessariamente a opinião da União Europeia. Nem a EASME nem a Comissão Europeia são responsáveis pela utilização da informação aqui contida.



# 1. Introdução

As novas soluções de iluminação LED estão a progredir rapidamente com a promessa de importantes poupanças energéticas. O aumento da eficácia, o projeto otimizado da luminária e o controlo de iluminação flexível permitem um melhor desempenho a um menor custo para diferentes condições de iluminação rodoviárias. Apesar da implementação do LED no mercado de iluminação exterior estar em crescimento, os LEDs ainda não conseguiram a afirmação desejada no mercado. Além disso, existe ainda um grande potencial para melhorar políticas locais e nacionais, que apoiem a implementação de sistemas de iluminação LED.

A iniciativa PremiumLightPro apoia o desenvolvimento destas políticas através de:

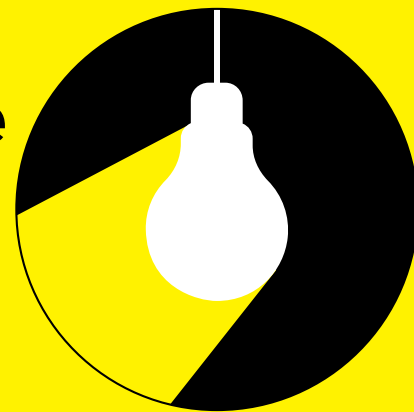
- Desenvolvimento de critérios de aquisição "verdes" e guias de projeto para instalações de LEDs para os setores públicos e privados, incluindo iluminação exterior e interior;
- Fornecimento de serviços de educação, formação e serviços de informação para projetistas, arquitetos, instaladores e consultores;
- Divulgação das melhores práticas implementadas com base nestas políticas.

Este guia foca-se essencialmente nas diretrizes ecológicas e de projeto para sistemas de iluminação rodoviária e destinam-se principalmente a profissionais de aquisição e de decisão a nível nacional, local e municipal, responsáveis pelo comissionamento de instalações de iluminação rodoviária novas ou renovadas. Além disso, as diretrizes podem ser úteis para designers e

projetistas de iluminação rodoviária, empresas, especialistas em energia e consultores.

A forma de utilização destas diretrizes depende da formação de base e do propósito do leitor. Os especialistas já familiarizados com os conceitos básicos da iluminação LED de exterior, por exemplo, podem verificar diretamente as recomendações específicas do PremiumLightPro para os critérios de aquisição de sistemas de iluminação no capítulo 4. Os especialistas menos familiarizados com os conceitos básicos podem, em primeiro lugar, navegar pelos capítulos 2 e 3 que contêm informação básica, preparando o leitor para o capítulo 4, incluindo aspetos importantes sobre qualidade e eficiência para a iluminação rodoviária e da norma EN 13201. Finalmente, o capítulo 5 mostra alguns casos de estudo onde foram aplicadas as melhores práticas da instalação de iluminação LED exterior.

## 2. Qualidade, segurança e eficiência na iluminação pública



### 2.1 Introdução

As soluções de iluminação rodoviária eficientes de alta qualidade baseadas em tecnologia LED devem ser estabelecidas com critérios de qualidade, eficiência e de segurança sólidos. Os capítulos que se seguem fornecem uma visão geral sobre os critérios essenciais e explicam aspetos específicos da tecnologia LED.

#### 2.1.1 Critério de qualidade

Os critérios de qualidade descrevem, entre outros, aspetos essenciais como luminância, cor da luz, restituição de cores, distribuição de luz, tremulação, brilho encandeante e outros.

##### 2.1.1.1 Luminância

São usados vários índices para medir a quantidade de luz fornecida por um sistema de iluminação e recebida pelo olho humano.

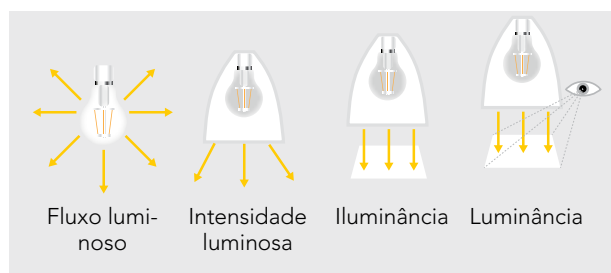
O **fluxo luminoso** (medido em lúmen, ou lm) é a quantidade total de radiação emitida por uma determinada fonte de luz que é visível para o olho humano. Como a sensibilidade do olho humano varia em diferentes comprimentos de onda (por exemplo, maior sensibilidade para luz verde em comparação com luz vermelha ou azul), o fluxo luminoso é ajustado de acordo com essa sensibilidade.

A **intensidade luminosa** (medida em candela, ou cd, com  $1\text{cd}=1\text{lm/radiano quadrado}$ ) representa a distribuição espacial da luz medida como fluxo luminoso dentro de um determinado ângulo sólido a partir da fonte de luz. Para a iluminação rodoviária, a distribuição espacial deve garantir que a estrada, o mobiliário urbano e os utilizadores da estrada sejam

adequadamente iluminados, ao mesmo tempo que a iluminação não seja perturbadora (ver poluição luminosa).

A **iluminância** (medida em lux, ou lx, com  $1\text{lux}=1\text{lm/m}^2$ ) representa a quantidade total de luz que atinge uma determinada área de superfície iluminada. Os critérios mínimos de iluminação são especificados para as diferentes classes rodoviárias, com exceção das estradas (ver secção 2.2.1). Requisitos mínimos de iluminação típica para estradas em áreas com situações complexas de trânsito (por exemplo, áreas com distâncias de visão menores a 60 m ou quando entre os utilizadores também se incluem ciclistas ou peões) variam de 7,5 a 50lux (veja a secção 3.1.1 para mais informações). As recomendações para os requisitos padrão de iluminância e luminância são especificadas na norma EN13201 (ver capítulo 2.2).

Finalmente, a **luminância** (medida em  $\text{cd/m}^2$ ) representa o brilho de superfícies ou objetos iluminados tal como são percebidos pelo olho humano. Os requisitos de luminância mínima para estradas de tráfego de média/alta velocidade variam de 0,3 a 2  $\text{cd/m}^2$  [EN 13201-2]. Assim, a luminância normalmente enquadra-se na denominada "faixa mesópica" da visão humana (que varia de 0,001 a 3  $\text{cd/m}^2$ ) que combina a visão de cores (fotópica) e de luz baixa (escotópica). Neste intervalo, o tempo de reação humana aos novos estímulos é determinado pelos contrastes de brilho e contrastes de cor. Assim, tanto a luminância da área iluminada como a restituição de cor da fonte de luz (ver 2.1.1.3) são importantes para a percepção humana e consequentemente para a segurança no trânsito. Os requisitos de luminância mínima são especificados para as classes rodoviárias que abrangem estradas de velocidade média/alta (ver secção 2.2.1).

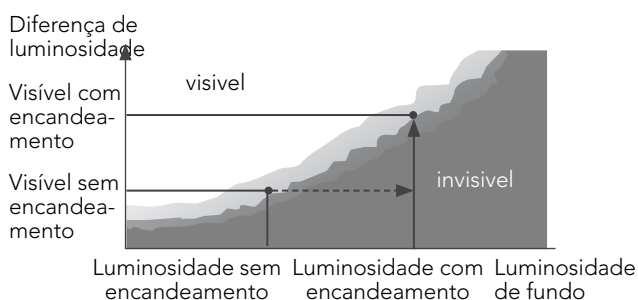


**Figura 1** Diferentes definições de quantidade de luz

### 2.1.1.2 Encandeamento

O encandeamento é um efeito visual desagradável causado por uma distribuição desfavorável de luminosidade ou elevados contrastes, que forçam o olho a ajustar-se rapidamente [veja também a norma EN 12665-1]. Tipicamente são distinguidos dois tipos de efeitos de encandeamento: encandeamento perturbador, causado pela dispersão da luz no olho, que reduz a sensibilidade ao contraste e o encandeamento de desconforto, o que desencadeia uma sensação subjetiva de desconforto.

Embora a suscetibilidade ao encandeamento perturbador possa variar entre diferentes indivíduos (os efeitos poderão aumentar com a idade), este pode ser calculado objetivamente. Num ambiente particularmente iluminado, o olho humano será capaz de detetar diferenças de luminância até um certo limiar. Esse limite pode ser comparado para uma situação com o mesmo ambiente quando uma fonte de brilho é adicionada. Ao comparar os limites, pode-se obter o incremento do limiar.



**Figura 2** Visibilidade com e sem encandeamento

Por outro lado, o encandeamento de desconforto é um fenómeno subjetivo e não há consenso sobre como deve ser avaliado – apesar disso, a escala DeBoer de 9 pontos (variando de "1" para "insuportável" até "9" para "imperceptível") é a mais amplamente utilizada na área da iluminação rodoviária e pública.

Uma vez que o encandeamento perturbador reduz a capacidade de perceber pequenos contrastes, pode

prejudicar tarefas visuais importantes no trânsito, como a deteção de objetos críticos, o controlo de faróis e a avaliação de encontros críticos. Assim, o encandeamento é um perigo também para outros utilizadores da estrada. O encandeamento desencadeado pelas luzes LED na estrada é influenciado pelos seguintes fatores:

- A relação entre a iluminância da fonte de brilho no olho do observador e a luminância de fundo.
- O ângulo entre a fonte de brilho e a linha de visão do observador.

As fontes de luz LED podem fornecer níveis de luminância muito elevados que podem causar encandeamento. Por este motivo, as lâmpadas LED estão normalmente equipadas com difusores que reduzem a luminância. Os sistemas de iluminação rodoviária devem ser concebidos de forma a evitar níveis de luminância muito diferentes na fonte de luz e nas áreas iluminadas. Além disso, a variação contínua dos níveis de iluminação pode causar fadiga ocular e deve ser evitada em particular para estradas longas. Níveis de luminância mais elevados facilitam a adaptação do olho aos faróis de outros veículos. Consulte o capítulo 3 para mais informações sobre o design dos sistemas de iluminação rodoviária.

Foram introduzidas classificações diferentes para o encandeamento de desconforto e para o encandeamento perturbador para classificar diferentes níveis de proteção. Os níveis de proteção para encandeamento perturbador incluem os níveis G1 e G6 e são especificadas na norma EN13201-2 (ver Tabela 1). Os níveis de proteção para o encandeamento de desconforto são especificados como D1 a D6 (ver Tabela 2).

**Tabela 1** Nível de encandeamento para encandeamento incapacitante [EN13201-2 e VEJ]

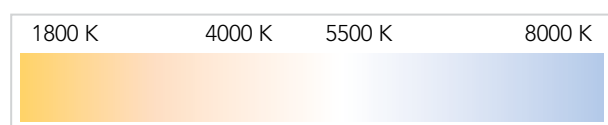
Nível de proteção	Máxima intensidade luminosa cd/klm			Proteção total
	a 70°	a 80°	a 90°	
G1		200	50	sem requisitos
G2		150	30	sem requisitos
G3		100	20	sem requisitos
G4	500	100	10	acima 95° até zero
G5	350	100	10	acima 95° até zero
G6	350	100	0	acima 90° até zero

**Tabela 2** Classificação do encandeamento de desconforto [VEJ]

Classes de encandeamento	
D0	sem requisitos
D1	7000
D2	5500
D3	4000
D4	2000
D5	1000
D6	500

### 2.1.1.3 Temperatura e cromaticidade da cor

As fontes de luz emitem muitas vezes uma grande variedade de comprimentos de onda diferentes apesar de geralmente serem percebidas como tendo uma única cor. Esta cor aparente é referida como a chamada "temperatura de cor" da fonte de luz. A temperatura de cor corresponde a uma cor de referência de um "corpo preto radiante" ideal aquecido numa temperatura específica (medida em Kelvin). O sol, por exemplo, tem uma temperatura de cor de 5780 K quando observado ao meio-dia e aproxima-se de um corpo preto radiante.



**Figura 3** Temperatura de cor

Tipicamente a temperatura de cor usada para a iluminação rodoviária varia entre branco amarelado, neutro e azulado, correspondendo a temperaturas de cor entre 2500 e 5000 Kelvin. Os habitantes de diferentes regiões europeias têm preferências diferentes em relação às cores da luz, tanto para iluminação interior como exterior. Por exemplo, "luz branca fria" (azulada) é mais popular nos países do sul, enquanto nos países do centro e do norte da Europa há preferência pela luz branca quente. Assim, nos países do centro e do norte da Europa, a luz com temperatura de cor elevada pode ser menos aceite pelos residentes.

A iluminação LED, em comparação com várias tecnologias anteriores de iluminação, oferece a oportunidade de ajustar ou selecionar temperaturas de cores com flexibilidade para várias funções. No entanto, deve ser tido em conta que a temperatura de cor da fonte de luz tem um efeito sobre a eficiência energética do sistema de iluminação e pode causar efeitos fisiológicos nos seres humanos e animais. A luz branca fria com

uma temperatura de cor elevada permite atingir um nível superior de eficiência energética no sistema de iluminação. Por outro lado, um nível de luz azul elevado em fontes de luz branca fria também pode causar efeitos fisiológicos tanto para seres humanos como para animais que devem ser considerados (veja mais adiante). Alguns estudos demonstram que a luz branca promove a percepção do olho humano de forma mais eficaz do que a luz amarelada. A luz branca surge como sendo mais brilhante em comparação com o branco amarelado. Por conseguinte, a luz branca (por exemplo, 4000K) pode ser tipicamente preferida para estradas consideradas mais complexas com diferentes tipos de utilizadores envolvidos (por exemplo, carros, ciclistas, peões). Por comparação, as temperaturas de cor mais baixas, por exemplo a luz branca quente, pode ser preferida para áreas domésticas.

De uma forma geral, a seleção da temperatura de cor é um aspeto importante do design da iluminação rodoviária. A iluminação LED fornece todo o espectro de temperaturas de cores e, portanto, oferece a base para uma seleção cuidadosa da cor de luz para diferentes necessidades e aplicações.

Além da temperatura de cor, a chamada cromaticidade, as coordenadas concretas de uma cor de luz no espectro de cores podem ser usadas para especificar a uniformidade da cor de um tipo de lâmpada específico. Estas coordenadas de cores também podem ser usadas para descrever um deslocamento da cor da luz ao longo do tempo. As diferenças de cor de luz num lote de lâmpadas ou durante um certo período de tempo são demonstradas pelas "Elipses MacAdams". A consistência de cor de uma lâmpada ou tipo de luminária específicos, por exemplo, pode ser indicada pelo tamanho da elipse MacAdams. Os requisitos relativos à consistência de cores para um lote de lâmpadas e ao longo do tempo também podem ser especificados no processo de aquisição. Os requisitos mínimos para os produtos vendidos no mercado da UE estão atualmente especificados na legislação relevante da UE. O requisito mínimo atual de acordo com a legislação de design ecológico é uma elipse de MacAdams de cinco etapas.

### 2.1.1.4 Restituição de cor

Fontes de luz com a mesma temperatura de cor podem ser bastante diferentes em termos de representação das cores de áreas iluminadas e objetos. Assim, a restituição de cor específica não depende da temperatura de cor de uma fonte de luz, mas dos comprimentos de onda espectral emitidos pela fonte. As



fontes de luz que fornecem um espectro completo de comprimentos de onda representam qualquer tipo de cores de objetos iluminados de uma maneira muito natural. As fontes de luz que emitem apenas cores selecionadas suportam apenas a representação dessas cores específicas.

Para os peões, por exemplo, o reconhecimento facial - que também exige a capacidade de perceber o contraste das cores - é importante. Estudos demonstram que as pessoas necessitam de ser capazes de reconhecer rostos a uma distância de 4 metros para se sentirem seguras (veja as classes de iluminação P, HS e SC na seção 2.2.2 que incluem questões de reconhecimento facial) [LRT].

A capacidade de restituição de cores de fontes de luz é quantificada em laboratório através de oito cores padrão especificadas. A restituição de cores é representada pelo índice de restituição de cores (CRI, onde o valor de índice máximo é 100). Os sistemas de iluminação com restituição de cores de 80 ou superior são adequados para um bom reconhecimento facial. [LRT] No que diz respeito à iluminação LED também a restituição específica para luz vermelha é relevante. Este valor denominado R9 não está normalmente incluído no CRI clássico, mas o índice estendido abrange 14 cores padrão. Para iluminação LED, o CRI padrão e o valor R9 devem ser considerados em combinação. A Tabela 3 apresenta os níveis típicos de restituição de cor para diferentes tecnologias utilizadas na iluminação rodoviária. As luminárias LED geralmente fornecem um valor de índice de restituição de cor de 80 ou superior. Para as ruas com um padrão simples de utilização, uma restituição de cor de Ra 70 é muitas vezes suficiente. Para situações mais complexas de uso e iluminação, Ra acima de 80 pode ser desejável.

No geral, tanto a cor da luz (temperatura de cor) quanto a restituição de cores de uma fonte de luz são relevantes para a visibilidade e percepção de objetos no ambiente.

**Tabela 3** Índice de restituição de cor para sistemas de iluminação pública [BG]

Tipo de lâmpada	CRI
Mercúrio de alta pressão	40–60
Iodetos metálicos	70–95
Sódio de baixa pressão	monocromático
Sódio de alta pressão	20
LED	80+

#### 2.1.1.5 Manutenção de cor

A manutenção de cores é uma questão que suscita uma preocupação especial para a iluminação LED, uma vez que o envelhecimento dos módulos LED pode alterar a temperatura da cor e as coordenadas de cores. Os problemas com a manutenção da cor podem ser causados pela degradação do material utilizado no encapsulamento ou lentes de LEDs, contaminação ou outros tipos de degradação do sistema. As causas que estão atualmente sob investigação são altas temperaturas operacionais, correntes operacionais mais altas, descoloração de materiais óticos devido à radiação azul ou ultravioleta.

Até agora, apenas alguns fabricantes de LED oferecem garantias para manutenção de cores, e não há nenhum procedimento padrão para prever a manutenção de cores disponível. [ENG]

O desvio de cores ao longo do tempo pode ser especificado e avaliado pelas coordenadas de cores e pelas elipses MacAdams.

#### 2.1.1.6 Poluição luminosa

A iluminação artificial pode ter efeitos prejudiciais sobre seres humanos e animais. A iluminação indesejável de locais ao ar livre também é chamada de poluição luminosa. Para os seres humanos, os efeitos vão desde a iluminação do céu noturno nas cidades e nas suas proximidades até às ruturas do círculo do sono por culpa da iluminação exterior nas áreas residenciais. Os animais, por outro lado, usam fontes de luz natural como auxílio à navegação e, portanto, podem ficar confusos ou assustados pela iluminação artificial. Muitos animais reconhecem mais faixas diferentes de comprimento de onda do que os humanos.

Estudos demonstraram que as fontes de luz LED atraem menos insetos do que outras fontes de iluminação utilizadas na iluminação rodoviária: com LEDs "brancos quentes" (temperatura de cor de 3000 K) atraem consideravelmente menos insetos do que LEDs "brancos frios" (temperatura de cor de 6000 K). [SdN]

Uma maneira de reduzir a poluição luminosa é usar luminárias que dirigem a luz somente para as áreas que devem ser iluminadas. As fontes de luz direcionais, como os LEDs, são especialmente adequadas para alcançar uma distribuição de luz otimizada. As emissões de luz acima da fonte de luz não são desejadas.



**Tabela 4** Índice de Proteção (IP)

IP Código	Primeiro dígito	Segundo dígito
0	Sem proteção	Sem proteção
1	Proteção contra corpos sólidos maiores que 50 mm	Proteção contra gotas de água/condensação
2	Proteção contra corpos sólidos maiores que 12 mm	Proteção contra a chuva até 15 ° da vertical
3	Proteção contra corpos sólidos maiores que 2.5 mm	Proteção contra a chuva até 60 ° da vertical
4	Proteção contra corpos sólidos maiores que 1 mm	Proteção contra salpicos de água em todas as direções
5	Proteção contra poeiras (sem depósitos prejudiciais)	Proteção contra jatos de água de todas as direções
6	Proteção total contra poeiras	Protegido contra jatos de água semelhantes a ondas de todas as direções
7		Proteção contra inundações
8		Proteção contra inundação de longa duração

[IIEC, 2015]

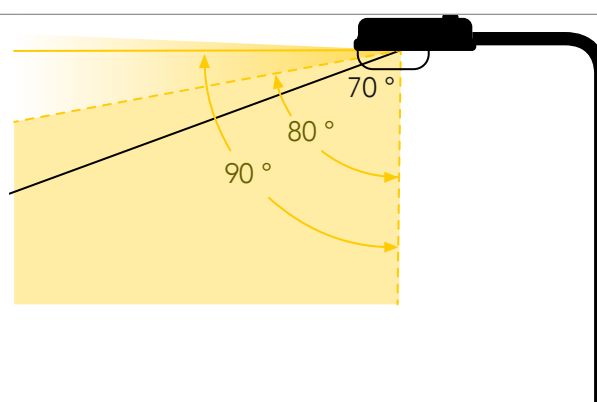
A luz emitida no sentido ascendente da luminária é quantificada pela relação de saída de luz no sentido ascendente (abreviada como ULOR ou RULO):

$$\text{ULOR} = \frac{\text{lúmens de saída ascendente da luminária}}{\text{total de lumens da lâmpada}}$$

Dependendo da sua distribuição de luz vertical, as luminárias são divididas em quatro tipos básicos [IIEC]:

- **Luminárias Full Cutoff:** um máximo de 10% dos lúmens totais da lâmpada é emitido num ângulo de 80° e 0% no ângulo de 90° acima do plano horizontal da luminária.
- **Luminárias Cutoff:** um máximo de 10% do lúmen total da lâmpada é emitido num ângulo de 80° e 2,5% no ângulo de 90° acima do plano horizontal da luminária.
- **Luminárias Semi-Cutoff:** um máximo de 20% do lúmen total da lâmpada pode ser percebido num ângulo de 80° e 5% no ângulo de 90° acima do plano horizontal da luminária.
- **Luminárias Non-Cutoff:** emite luz em todas as direções.

Esta definição tradicional de corte é ampliada para seis classes de intensidade luminosa diferentes na EN 13201-2, que também incluem valores máximos para um ângulo de 70 ° e acima. Consulte a secção 2.2.2 para mais detalhes sobre EN 13201-2.



**Figura 4** Definição dos critérios de corte

Outras opções para reduzir a poluição luminosa incluem:

- **Reduzir a iluminância:** esta medida deve ser ponderada considerando os requisitos de segurança para os utilizadores de estradas. O controlo de iluminação inteligente pode ajustar a iluminação aos níveis apropriados para tempos e situações específicos (ver Secção 3.5) [JAE]. Contudo, é improvável que desligar ou reduzir a iluminação à noite (por exemplo, entre meia-noite e as 5:30 da manhã) traga grandes benefícios à vida selvagem local, uma vez que os morcegos e outras espécies noturnas estão ativos nas primeiras horas da noite em que os sistemas de iluminação rodoviária ainda funcionam no nível máximo [BAT].
- **Mudança do espectro:** a sensibilidade do animal a diferentes cores claras varia de espécie para espécie. No geral, parece que as tecnologias de iluminação que emitem um espectro de luz "quente-branco" - como as lâmpadas de sódio de baixa pressão (LPS) - têm menor impacto ecológico do que outras tecnologias. A temperatura da cor da tecnologia LED pode variar de acordo com as

necessidades. Contudo, os requisitos de qualidade e segurança devem ser cumpridos.

A tecnologia de iluminação LED pode ser usada para criar um nível de iluminação mais uniforme. As lâmpadas de descarga de alta intensidade (HID), como as lâmpadas HPS ou MH, têm níveis de pico mais elevados de iluminação diretamente abaixo das luminárias, com "refúgios obscuros" entre as luminárias.

## 2.1.2 Critério de segurança

As luminárias para a iluminação pública devem ser protegidas contra matérias estranhas (sólidas e líquidas), impactos mecânicos e flutuações de tensão para garantir um bom e contínuo funcionamento. Para isso, são especificados os requisitos de proteção, proteção contra impactos e sobretensões.

### 2.1.2.1 Grau de proteção IP

A resistência das luminárias contra matérias estranhas é indicada pelo chamado índice de proteção (IP), um número de dois dígitos definido pela norma IEC 60529. O primeiro dígito representa a resistência à matéria sólida, enquanto o segundo classifica sua resistência contra materiais líquidos.

Para iluminação pública, deverão ser utilizadas as luminárias IP65 de forma a assegurar resistência suficiente às poeiras e condições meteorológicas adversas. [IEA]

### 2.1.2.2 Impacto mecânico IK

A resistência das luminárias aos impactos mecânicos é indicada pelo código do impacto mecânico (IK), um número definido pela norma IEC 62262:

**Tabela 5** Impacto mecânico (IK)

Grau IK	Força do impacto em Joules
00	–
01	0.15
02	0.2
03	0.35
04	0.5
05	0.7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Uma vez que as luminárias exteriores podem ser atingidas por ramos de árvores ou outros destroços com os ventos fortes ou até mesmo serem sujeitas a vandalismo, recomenda-se um grau mínimo de IK de 08.

### 2.1.2.3 Proteção contra sobretensão

As sobretensões transitórias (aumento da tensão acima da tensão projetada que duram de microssegundos a alguns milissegundos) podem causar danos nos módulos LED e no equipamento de controlo. A sua resistência a estas flutuações é medida através da classificação de proteção contra sobretensão.

A norma EN 61547, que regula critérios mínimos para a proteção de sobretensão para iluminação LED, especifica uns meros 0,5 kV entre fase e neutro/terra - insuficiente para situações mais graves, como descargas atmosféricas próximas. Por esse motivo, muitos projetos de iluminação rodoviária exigem proteção de sobretensão até 10 kV. [ZVEI2]

## 2.1.3 Critérios de eficiência

Quando comparadas com a maioria das restantes tecnologias, as lâmpadas LEDs alcançam níveis de eficiência energética muito elevados (lúmen por Watt).

**Tabela 6** Valores típicos de eficácia energética para lâmpadas exteriores [BG]

Tipo de lâmpada	Eficiência [lm/W]
Mercúrio de alta pressão	60
Iodetos metálicos	120
Sódio de alta pressão	150
LED	150

A eficiência total dos sistemas de iluminação LED não depende apenas da eficácia do módulo LED, mas também da luminária, do sistema de controlo de luz e do design geral do sistema de iluminação. Por este motivo, é importante distinguir a eficácia no nível do módulo LED, nível da luminária e nível total do sistema.

A eficiência do sistema como um todo é influenciada, entre outros, pela distribuição da luz espacial (intensidade luminosa) e pelo arranjo geométrico da estrada e do sistema de iluminação (ver secções 3.2 e 3.3 para aspetos mais detalhados). Para avaliar a eficiência energética no nível do sistema rodoviário, foi desenvolvido o indicador de densidade de potência (PDI) como uma métrica adequada.

Enquanto o indicador de densidade de potência fornece informações úteis sobre a eficiência energética para um determinado estado de iluminação num sistema de iluminação rodoviária, os níveis de iluminação podem mudar durante a noite e o ano, dependendo dos sistemas de controlo de iluminação implementados. A eficiência energética total e o consumo de energia ao longo de um ano são, portanto, melhor expressos pelo indicador anual de consumo de energia (AECI). A Secção 2.2.3 explica o PDI e a AECI com mais detalhes.

### 2.1.4 Durabilidade

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

A **vida útil média  $L_x$**  especifica o tempo que demora até que o módulo LED forneça menos de x por cento da sua saída de lúmen inicial. Por exemplo, L80 50,000h significa que a saída de lúmen do módulo diminui 20% após 50.000 horas de operação.

A **vida nominal  $L_{xBy}$**  indica qual a percentagem “y” dos módulos LED terão “x” lúmens após o período especificado. Assim, L80B10, 50.000h deve ser lido como:

- Após 50.000 horas de funcionamento, 10% dos LEDs terão um fluxo luminoso igual ou inferior a 80% do original.

O **tempo para a falha abrupta  $C_z$**  descreve o tempo após o qual “z” por cento dos LEDs falharam. Assim, C10 50 000 t = 35 ° C deve ser lido como:

- Após um período de 50.000 horas e uma temperatura ambiente de 35 ° C, 10% das luminárias LED instaladas com o mesmo módulo LED sofreram uma falha total.

Devido à longa vida útil dos LEDs e os seus ciclos de desenvolvimento relativamente curtos, o tempo de vida nominal e a taxa de falhas são extrapolações estatísticas devendo ser assim considerados. Além disso, o tempo de vida real de uma luminária pode depender de vários fatores. A falha total e a degradação do fluxo luminoso de uma luminária dependem ainda dos dados de funcionamento elétricos e térmicos, temperatura ambiente e outros parâmetros. O projetista deve obter dos fabricantes todos os dados relevantes para selecionar uma luminária adequada para o fim pretendido e criar planos de manutenção adequados com base nessas informações [ZVEI, 2015]. Os LEDs têm uma vida útil de 100.000 horas ou mais. A vida útil do equipamento de controlo da luminária também deve

ser tida em consideração, sendo que é normalmente expressa como uma percentagem de hipótese de falha dentro de um período de tempo específico, como por ex: “uma taxa de insucesso de 0,2% por 1.000 horas”.

## 2.2 Norma Europeia EN 13201

O principal objetivo da iluminação rodoviária é garantir a segurança nas estradas durante os períodos de pouca visibilidade. Os bons sistemas de iluminação rodoviária permitem aos utentes da estrada identificar pessoas, obstáculos e fontes de perigo na estrada ou perto dela. Isso permite que os condutores atuem em conformidade, o que significa uma redução efetiva de acidentes graves.

Os critérios de qualidade para a iluminação rodoviária encontram-se definidos na norma europeia EN 13201 “Iluminação rodoviária” que abrange os seguintes tópicos:

- PD CEN / TR 13201-1: 2014: Diretrizes sobre seleção de classes de iluminação
- EN 13201-2: 2015: Requisitos de desempenho
- EN 13201-3: 2015: Cálculo do desempenho
- EN 13201-4: 2015: Métodos de medição de desempenho de iluminação
- EN 13201-5: 2015: Indicadores de desempenho energético

### 2.2.1 Seleção de classes de iluminação

A norma PD CEN / TR 13201-1: 2014 define um sistema de parâmetros para uma descrição detalhada de todas as situações típicas de iluminação no tráfego rodoviário. Com a norma europeia, os requisitos de iluminação podem ser determinados de acordo com as condições específicas das estradas. Vários parâmetros de iluminação, como a geometria da área de tráfego, o tipo de uso do tráfego e as influências ambientais, são usados para identificar classes de iluminação para as quais são descritos requisitos de iluminação qualitativa e quantitativa.

PD CEN / TR 13201-1: 2014 utiliza um procedimento de seleção para determinação das classes de iluminação M1 a M6, C0 a C6 e P1 a P6. Não fornece orientações para a seleção das classes de iluminação HS, SC e EV, que estão disponíveis a nível nacional para cada país. Os critérios de seleção para cada subclasse (como designados pelo seu dígito) têm por base a geometria da

estrada, o tipo de utilização e o ambiente. Os critérios efetivos (com base na norma PD CEN / TR 13201-1: 2014) incluem:

- Velocidade projetada ou limite de velocidade;
- Velocidade de viagem (classe de iluminação P);
- Volume de trânsito;
- Composição do trânsito;
- Separação das faixas de rodagem;
- Densidade de cruzamentos;
- Veículos estacionados;
- Luminosidade ambiente;
- Reconhecimento facial (classe de iluminação P);
- Tarefa de navegação.

Alguns parâmetros (em particular, volume de trânsito, composição do trânsito e luminosidade ambiente) podem mudar de estação para estação, ou durante diferentes horas da noite, alterando assim a classe da estrada dessa seção [PD CEN/TR 13201-1:2014; EN 13201-2:2003; EN 13201-2:2015].

### 2.2.2 Requisitos de desempenho, métodos de medição e cálculo

A Parte 2 da norma EN 13201 fornece especificações para as diferentes classes de iluminação que são definidas por um conjunto de requisitos fotométricos dependendo das necessidades e requisitos dos utilizadores específicos da estrada e dos tipos de estradas.

As classes de iluminação simplificam o desenvolvimento e aplicação de produtos de iluminação rodoviária e a sua manutenção nos estados membros. Com o objetivo de harmonizar os requisitos, as classes de iluminação foram definidas com base nas normas nacionais dos Estados membros e nas normas CIE 115: 2010.

A Parte 2 apresenta uma série de métricas adicionais que são usadas para definir critérios mínimos ou máximos para cada subclasse.

As **estradas de classe M** são estradas para tráfego motorizado com velocidade de condução média a alta. Para cumprir os critérios da norma, deve-se ter cuidado para manter uma luminância mínima da superfície da estrada, uma uniformidade mínima da luminância da superfície da estrada (com valores mínimos separados para condições de estrada seca e húmida), uma uniformidade mínima de luminância ao longo do centro das faixas de rodagem, um nível máximo de

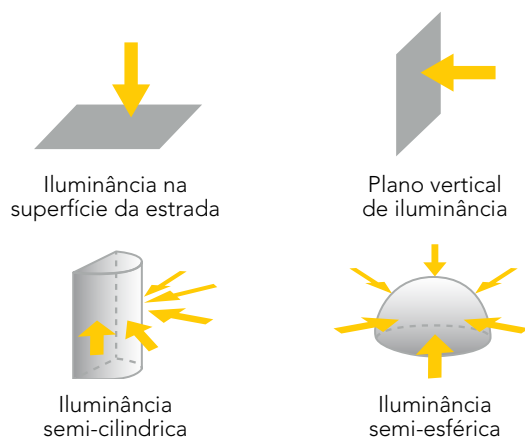
encandeamento, e ainda garantir que a luminância fora da faixa de rodagem não decaia demasiado rápido.

As **estradas da classe C** representam áreas de conflito onde os veículos motorizados devem ter em conta outros utilizadores da estrada (como peões ou ciclistas) ou onde existem situações de tráfego complicadas, tais como interseções rodoviárias complexas, rotundas, áreas de fila e assim por diante. Enquanto os sistemas de iluminação para as estradas da classe C precisam de encontrar uma uniformidade mínima da luminância na superfície da estrada, a maioria dos outros critérios para as estradas da classe M não é aplicável ou é impraticável (por exemplo, muitas áreas de conflito não têm uma zona delimitada próxima da faixa, adequada para calcular a taxa com que a luminância cai para além do limite). Em vez disso, exige-se que mantenham uma iluminação horizontal média na área da estrada. Uma vez que as estradas da classe C - ao contrário das estradas da classe M - não têm critérios obrigatórios para minimizar o encandeamento, o Anexo C da norma EN 13201-2 fornece critérios informativos para esta classe.

As **estradas de classe P e HS** destinam-se a peões e ciclistas em rotas, ciclovias, pistas de emergência e outras áreas rodoviárias separadas ou ao longo da faixa de uma estrada, bem como estradas residenciais, ruas pedonais, lugares de estacionamento, zonas escolares e assim por diante. Os critérios para as estradas da classe P incluem uma luminância mínima e média que deve ser mantida na área da estrada. Se o reconhecimento facial for importante, devem ser cumpridos os critérios adicionais para a iluminação do plano vertical (num ponto) e a luminância mínima semicilíndrica (num plano acima da área da estrada). Como alternativa à classe P, a classe HS baseia seus critérios na uniformidade geral da luminância da superfície da estrada, bem como a luminância hemisférica média.

As **estradas da classe SC** são uma classe adicional para áreas pedonais onde o reconhecimento facial e os sentimentos de segurança são especialmente importantes. Exigem a manutenção de níveis mínimos de luminância semicilíndrica.

As **estradas da classe EV** são uma classe adicional para situações específicas como áreas onde as superfícies verticais precisam ser percecionadas de forma clara.



**Figura 5** Tipo de critérios de iluminância

Além disso, o anexo informativo A da norma EN 13201-2 apresenta seis classes de intensidade luminosa diferentes para a redução do encandeamento onde a métrica normal (incremento do limiar) não pode ser calculada. As classes G\*1, G\*2 e G\*3 correspondem aos conceitos tradicionais "semi-corte" e "corte", enquanto G\*4, G\*5 e G\*6 correspondem ao corte completo. Veja a secção 2.1.1.4 para a definição destes termos.

A norma EN 13201-3 descreve os métodos e procedimentos matemáticos que devem ser utilizados para calcular as características de desempenho de iluminação definidas na norma EN 13201-2.

A norma EN 13201-4 descreve os métodos que devem ser utilizados para medir o desempenho da iluminação. Há quatro tipos básicos de situações em que as medições devem ocorrer:

- na fase final de teste, as medições devem ser realizadas para verificar a conformidade com os requisitos da norma e / ou as especificações de projeto.
- em intervalos pré-determinados, durante a vida útil da iluminação da estrada, para quantificar a degradação do desempenho da iluminação e determinar a necessidade de manutenção.
- continuamente ou em intervalos pré-determinados, para ajustar o fluxo luminoso das luminárias; se a estrada usar iluminação rodoviária adaptativa (por exemplo, a luminância ou iluminância é controlada em relação ao volume de tráfego, tempo, clima ou outros fatores ambientais).

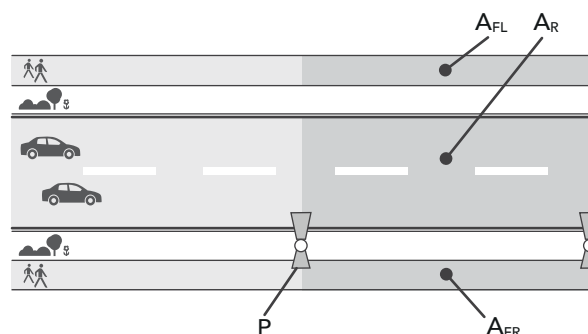
### 2.2.3 Indicadores do desempenho energético

A norma EN 13201-5 descreve os dois indicadores do desempenho energético Indicador de densidade de

potência (PDI)  $D_p$  (medido em  $[W/(lx \cdot m^2)]$ ) e o Indicador do consumo energético anual (AECI)  $D_e$  (medido em  $(Wh)/m^2$ ), mencionados no último capítulo. Estes indicadores devem ser sempre utilizados em conjunto para a avaliação do desempenho energético de um sistema de iluminação em particular.

O indicador de densidade de potência define como calcular o desempenho energético de uma determinada instalação de iluminação rodoviária e permite comparar diferentes configurações e tecnologias para o mesmo projeto de iluminação rodoviária (uma vez que diferentes locais terão uma geometria e condições ambientais diferentes, os valores PDI só podem ser usados para comparar diferentes configurações para a mesma instalação). São necessárias as seguintes informações para calcular o indicador de densidade de potência numa determinada área:

- A **potência total do sistema P** do sistema de iluminação (quer a instalação inteira ou uma secção representativa), que inclua tanto a potência operacional de todos os pontos de iluminação individuais (fontes de luz e qualquer equipamento associados), bem como de dispositivos que não façam parte dos pontos de iluminação individuais, mas sejam necessários para o seu funcionamento (como sistemas centralizados de controlo e comutadores);
- A **iluminação horizontal média mantida  $\bar{E}$**  (em  $[lx]$ ) de cada subárea (assim como o tamanho de cada subárea). As faixas de relva e as faixas usadas para calcular quão rapidamente a iluminância cai além da faixa são excluídas. A iluminância pode derivar de métricas que já foram estabelecidas para seleccionar a classe de iluminação da estrada.



**Figura 6** Exemplo de configuração para o cálculo do PDI/AECI

A equação para o cálculo do PDI é:

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

**Tabela 7** Amostra  $D_p$  (em  $[W/(lx \cdot m^2)]$ ) /  $D_E$  (medida em  $[(kWh)/m^2]$ ) valores para uma estrada com duas vias para trânsito motorizado

Classe de iluminação	Tipo de lâmpada				
	Mercúrio de alta pressão	Iodetos metálicos	Sódio de alta pressão	Sódio de baixa pressão	LED
M1		45/5.0		34–41/4.0–5.3	25–32/3.0–3.8
M2	100/10.8	50/4.6		31–40/3.2–4.2	24–27/2.4–2.5
M3	84/6.0	47/3.6	40/2.8–3.1	34–38/2.5–2.6	23–25/1.5
M4	90/5.0	60/3.1	41–47/2.3–2.5	34–42/1.8–2.4	23/1.1
M5	86/3.2	30/0.9	47/1.7	38–45/1.1–1.6	24/0.8
M6	85/1.9	37/0.6		45–49/0.2–1.2	20–27/0.4–0.5

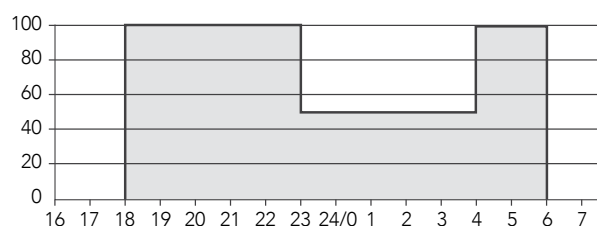
onde  $\bar{E}_i$  é a iluminância horizontal média mantida na subárea,  $A_i$  é o tamanho da subárea “i” iluminada pela instalação de iluminação (em  $m^2$ ), onde  $n$  é o número de subáreas que deve ser iluminado. Para classes de estrada de iluminação que não utilizem a iluminância horizontal média mantida (ou seja, classes de estradas que não a M), a seção 4.2. da norma EN13201-5 apresenta guias para conversão.

Uma vez que a classe de iluminação geralmente muda ao longo das diferentes estações e ao longo da noite, o PDI deve ser calculado separadamente para cada classe relevante. Para comparar as diferenças de consumo de energia entre duas configurações diferentes, não apenas para uma determinada classe de iluminação rodoviária, mas ao longo de um ano inteiro de funcionamento, é necessário calcular o AECI. Para isso, é necessário dividir o ano em períodos de funcionamento separados em que são aplicados diferentes valores para P. A equação completa para calcular o AECI é:

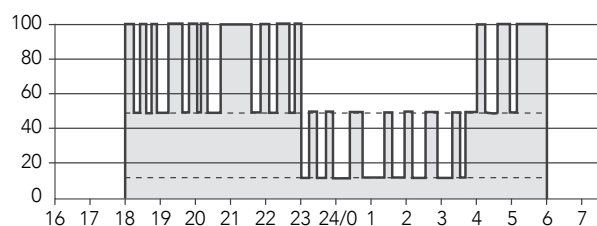
$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

sendo  $P_j$  a potência total do sistema associada ao  $j^o$  período de funcionamento (em W),  $t_j$  a duração do décimo período de perfil de funcionamento  $j^o$  quando a potência  $P_j$  é consumida (em h),  $A$  o tamanho da área iluminada pelo mesmo sistema de iluminação (em  $m^2$ ), e  $m$  o número de períodos com diferentes valores de potência operacional  $P_j$ .

Os períodos acumulados de  $t_j$  devem somar um ano inteiro. Os períodos de tempo em que a iluminação não está operacional (durante o dia) também devem ser incluídos no cálculo, já que, mesmo durante esses períodos, o sistema ainda consome energia standby.



**Figura 7** Amostra da saída de luz com base temporal: Potência total durante o início da noite e o início da manhã, e metade da potência durante a noite



**Figura 8** Saída de luz com base temporal com detetores de veículos ou de presença – potência total quando detetada presença

O anexo A da norma EN13201-5 apresenta valores exemplo de PDI/AECI para uma grande variedade de classes de iluminação, largura de faixas, e tipos de lâmpadas (com base nos produtos de iluminação disponíveis em 2014). Apresentam-se alguns valores na tabela abaixo (todos para faixas com largura de 7m).

O anexo C da norma EN13201-5 apresenta um método simplificado para comparar sistemas de iluminação para classes de iluminação M com base na iluminância horizontal média mantida  $\bar{E}$ . O anexo D mostra um esquema simples para apresentar informação sobre os indicadores de desempenho energético  $\bar{E}$ .

**Tabela 8** Seleção da iluminação para a baixa da cidade (de acordo com a norma EN13201-1:2014)

Parâmetros	Opções	Descrição*	Peso $V_w$ *
Velocidade limite	Muito alta	$v \geq 100$ km/h	3
	Alta	$70 < v < 100$ km/h	2
	Moderada	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Baixa	$v \leq 40$ km/h	-1
Volume de tráfego	Alto		1
	Moderado		0
	Baixo		-1
Composição do tráfego	Mistos com grande percentagem de não motorizados		2
	Misto		1
	Apenas motorizado		0
Separação de vias	Não		1
	Sim		0
Veículos estacionados	Presente		1
	Não presente		0
Luminosidade ambiente	Alta	montras, publicidade campos desportivos, áreas de arrumos	1
	Moderada	situação normal	0
	Baixa		2
Tarefas de navegação	Muito difíceis		2
	Difíceis		1
	Fáceis		0
* Os valores indicados nesta coluna são um exemplo. Qualquer adaptação do método ou valores de ponderação mais adequados podem ser usados a nível nacional.			

## 2.2.4 Exemplo – estradas em áreas urbanas

A secção que se segue ilustra como a norma EN 13201 pode ser aplicada para diferentes situações de iluminação em termos de classificação e requisitos rodoviários. O primeiro exemplo é uma localização no centro da cidade, que inclui uma passagem para pedestres e uma pista para bicicletas. A rua é muito apertada, causando graves congestionamentos de trânsito durante as horas de ponta.

**Figura 9** Local na baixa da cidade

De acordo com a norma PD CEN / TR 13201-1: 2014, esta é uma área de conflito, uma vez que existe uma passagem para pedestres e, portanto, a classe de

iluminação será C (classes de iluminação para áreas de conflito). A Tabela 8 deve ser usada para determinar a classe de iluminação exata:

- Velocidade projetada ou limite de velocidade: durante o horário de ponta, o tráfego é bastante lento ( $\leq 40$  km/h), o que dá um valor de ponderação correspondente de -1;
- Volume de tráfego: uma vez que o volume de tráfego é elevado, o valor de ponderação é 1;
- Composição do trânsito: a passagem de pedestres e a ciclovía fornecem uma composição mista do tráfego. Valor de ponderação de 1;
- Separação da faixa: não há, portanto, o valor de ponderação é 1;
- Veículos estacionados: em geral, não há veículos estacionados, pelo que o valor de ponderação é 0.
- Luminosidade ambiente: o ambiente em horário de ponta é luminoso e a luminosidade ambiente é alta, de modo que o valor de ponderação é 1;
- Tarefa de condução: devido à passagem de pedestres a tarefa de condução será difícil, portanto o valor de ponderação correspondente é 1;

A soma de todos os fatores de ponderação "VWS" é 4, que dá a classe de iluminação final C2 ( $C = 6 - VWS$ ).



De acordo com a Tabela 2 na norma EN 13201-2, devem ser tidos em conta os seguintes requisitos para as horas de tráfego matinal e noturnas:

- Iluminação horizontal média mínima mantida  $\bar{E}$ : 20 lx
- Uniformidade mínima geral da luminância da superfície da estrada UO: 0,4
- O anexo C informativo da norma EN 13201-2 também sugere um incremento de limiar máximo fTI de 15% (ver secção 2.1.1.2 para a discussão de encandeamento e incremento de limiar).

**Tabela 9** Escolha da classe de iluminação numa zona rural (de acordo com a norma EN 13201)

Parâmetros	Opções	Descrição*		Peso $V_w$ *
Limite de velocidade	Muito alta	$v \geq 100$ km/h		2
	Alta	$70 < v < 100$ km/h		1
	Moderada	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Baixa	$v \leq 40$ km/h		-2
Volume de tráfego	Alto	Autoestrada, múltiplas vias	<b>Duas vias</b>	1
	Moderado	35% – 65% da capacidade máxima	15% – 45% da capacidade máxima	0
	Baixo	< 35% da capacidade máxima	< 15% da capacidade máxima	-1
Composição do tráfego	Mistos com grande percentagem de não motorizados			2
	Misto			1
	Apenas motorizado			0
Separação de vias	Não			1
	Sim			0
Densidade de cruzamentos		Interseções/km	<b>distância entre pontes, km</b>	
	<b>Elevada</b>	<b>&gt; 3</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>1</b>
		<b><math>\geq 3</math></b>	<b><math>\leq 3</math></b>	<b>0</b>
Veículos estacionados	Presente			1
	Não presente			0
Luminosidade ambiente	Alta	montras, publicidade campos desportivos, áreas de arrumos		1
	Moderada	situação normal		0
	Baixa			-1
Tarefas de navegação	Muito difíceis			2
	Difíceis			1
	Fáceis			0

\* Os valores indicados nesta coluna são um exemplo. Qualquer adaptação do método ou valores de ponderação mais adequados podem ser usados a nível nacional

### 2.2.5 Exemplo – estradas em áreas rurais

O segundo exemplo é uma via entre duas aldeias. A iluminação rodoviária não é obrigatória para este tipo de estradas. No entanto, caso a iluminação rodoviária seja planeada (por exemplo, para reduzir acidentes), a classe de iluminação e os critérios mínimos devem ser determinados como de costume.



**Figura 10** Localização rural

Uma vez que a situação não é classificada como uma área de conflito (há uma ciclovia / trilho combinada ao lado da estrada, de modo que os ciclistas e os peões não podem usar a estrada) e a velocidade média dos principais utilizadores da estrada é bastante elevada, esta estrada pertence à classe de iluminação M (classes de iluminação para tráfego motorizado).

Agora, para determinar a classe de iluminação exata deve consultar a Tabela 1 da norma PD CEN / TR 13201-1: 2015 (Tabela 9).

- Velocidade projetada ou limite de velocidade: a velocidade média dos utilizadores da estrada principal está entre 70 e 100 km/h, de modo que o valor de ponderação é de 1.
- Volume de tráfego: neste exemplo, assumiremos um volume de tráfego moderado que leva a um valor de ponderação de 0.
- Composição do tráfego: uma vez que existe uma ciclovia/trilho separado, existem apenas veículos motorizados na estrada e o valor de ponderação é 0.
- Densidade de cruzamentos: há menos de 3 interseções por km, de modo que a densidade de cruzamentos é moderada e o valor de ponderação correspondente é 0.
- Veículos estacionados: não há veículos estacionados pelo que o valor de ponderação é 0
- Luminosidade ambiente: o brilho ambiental e, portanto, a luminosidade ambiente são baixos, de modo que o valor da ponderação será -1.
- Tarefa de navegação: uma vez que não há muitas interseções nem utilizadores na estrada, a tarefa de navegação é fácil e o valor de ponderação é 0.

O número final da classe de iluminação é calculado com  $M = 6 - VWS$ . Com um valor de ponderação global de 1, isso leva à classe de iluminação M5.

De acordo com as normas devem ter em conta os seguintes critérios:

- Luminância média mínima mantida na superfície de estrada  $\bar{L}$ : 0,5 cd m<sup>2</sup>
- Uniformidade mínima geral da luminância da superfície da estrada  $U_0$ : 0,4
- Uniformidade mínima longitudinal da luminância da superfície da estrada  $U_{0L}$ : 0,4
- Uniformidade mínima geral da luminância da superfície da estrada  $U_{0W}$ : 0,15 (condições molhadas)
- Incremento do limiar  $f_{TI}$ : 15%
- Rácio de iluminância da margem  $R_{El}$ : 0.3 (aplicável ao lado da estrada sem a ciclovia / trilho combinada - o caminho deverá ter sua própria classe e critérios de iluminação).

# 3. Componentes e projeto de iluminação



## 3.1 Componentes do sistema de iluminação

Os componentes do sistema de iluminação rodoviária podem ser divididos em três grandes categorias:

- Sistemas óticos, que abrangem as luminárias (incluindo refletores, refratores e lentes), lâmpadas ou fontes de luz, e equipamento de controlo;
- Sistemas de apoio que consistem em postes e nas suas fundações;
- Sistemas elétricos (incluindo armários de serviço) desde o fornecimento de energia, o controlo até às instalações para medições.

### 3.1.1 Sistemas óticos

#### 3.1.1.1 Luminárias, lâmpadas e fontes de luz

Para distinguir os termos "luminárias", "lâmpadas" e "fontes de luz", é feita referência às definições, previstas nos recentes regulamentos da UE 874/2012 (rotulagem energética de lâmpadas e luminárias elétricas) e 1194/2012 (requisitos de design ecológico para lâmpadas direcionais, LEDs e equipamentos relacionados):

- "Luminária", um aparelho que distribui, filtra ou transforma a luz transmitida de uma ou mais lâmpadas e que inclui todas as peças necessárias para suportar, fixar e proteger as lâmpadas e, quando necessário, circuitos auxiliares com o propósito de poderem ser alimentadas pela fonte de energia.
- Uma "Lâmpada" é definida como uma unidade cujo desempenho pode ser avaliado de forma independente e que consiste em uma ou mais fontes de luz. Pode incluir componentes adicionais necessários para o arranque, alimentação elétrica ou funcionamento estável da unidade ou para distribuição, filtragem ou transformação da radiação ótica, nos casos

em que os componentes não podem ser removidos sem danificar permanentemente a unidade.

- O termo "fonte de luz" significa uma superfície ou objeto projetado para emitir radiação ótica visível produzida por uma transformação de energia. A expressão "visível" refere-se à gama de comprimentos de onda de 380-780 nm.

Neste contexto, uma "luminária" pode conter uma ou mais "lâmpadas", enquanto uma "lâmpada" pode ser equipada com uma ou mais "fontes de luz".

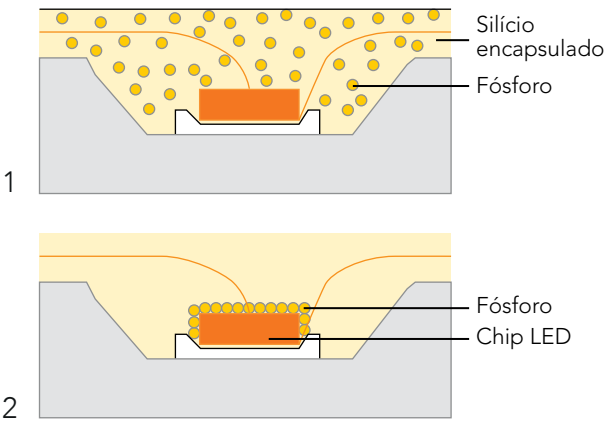
#### 3.1.1.2 Lâmpadas

Do ponto de vista físico, todas as tecnologias de lâmpadas usadas para iluminação pública transformam a energia elétrica em luz visível. As lâmpadas de descarga de alta intensidade têm dominado a iluminação pública ao longo de décadas. Como já mencionado na secção anterior, a tecnologia LED substituiu todos os outros tipos de lâmpadas, em particular em sistemas novos de iluminação pública. As lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS) permanecem como uma opção relevante especialmente para algumas tarefas de iluminação, como por ex: para as estradas. As lâmpadas são muito eficientes em termos de energia, mas apenas fornecem uma baixa restituição de cores, o que, no entanto, não é um problema para várias áreas de aplicação. As lâmpadas de iodetos metálicos e as lâmpadas de descarga de baixa pressão devem ser substituídas por LED a médio prazo.

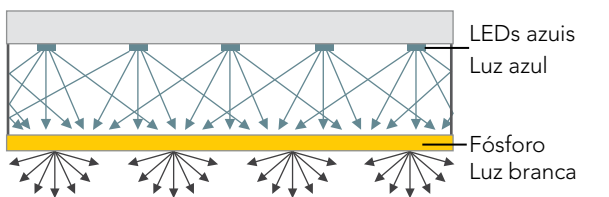
Nas luzes LED, a luz é produzida pelo chamado efeito eletroluminescente. Como noutros díodos os eletrões movem-se do ânodo para o cátodo e emitem um fóton quando cai para um nível de energia inferior.

O comprimento de onda da luz emitida e, portanto, a sua cor depende dos materiais utilizados. Para a

iluminação pública são normalmente utilizados LEDs azuis, fornecendo luz branca quando encapsulados num revestimento de fósforo (revestimento amarelo, ver Figura 11 e Figura 12 ilustrando diferentes princípios para a produção de luz branca com base no revestimento de fósforo). Os LEDs com emissão de luz azul possuem atualmente a maior eficiência de todos os tipos de LEDs, com uma relação de conversão de energia de 55%. Os restantes 45% são transformados em calor. Uma vez que a temperatura de junção superior (a temperatura do material semicondutor LED) reduz a eficácia e a vida útil, é necessário um bom projeto térmico. Para dissipar o calor, o chip LED e o copo do refletor são montados num dissipador de calor. Este dissipador de calor deve, por sua vez, transferir o calor para a luminária, que dissipa o calor no meio ambiente.



**Figura 11** Fósforo suspenso num encapsulamento de silício (1) e revestimento de fósforo uniforme (2)



**Figura 12** Princípio de um módulo LED com fósforo que emite luz branca

Outro tipo de LEDs são os LED orgânicos (OLEDs) que utilizam uma camada plana de moléculas orgânicas em vez de semicondutores como substância emissora de luz. Embora existam muitas aplicações interessantes para o OLED (por exemplo, televisores planos) e a tecnologia avance rapidamente, ainda não é adequada para aplicações de iluminação rodoviária.

Uma vez que o fluxo luminoso de um LED individual é bastante baixo em comparação com o fluxo necessário para a iluminação pública, vários chips LED são montados numa placa de circuito e podem ser combinados com componentes adicionais. Assim, devem ser distinguidos vários níveis de integração. As seguintes definições relacionadas com LED são feitas nos Regulamentos da Comissão 874/2012 e 1194/2012:

- "Díodo emissor de luz (LED)" significa uma fonte de luz que consiste num dispositivo de estado sólido que incorpora uma junção p-n. A junção emite radiação ótica quando excitada por uma corrente elétrica.
- "pacote/pastilha LED" significa um conjunto com um ou mais LED (s). O conjunto pode incluir elementos térmicos e óticos, mecânicos e elétricos;
- "Módulo LED" significa uma montagem que não tem tampa e incorporando um ou mais pacotes de LEDs numa placa de circuito impresso. A montagem pode ter componentes elétricos, óticos, mecânicos e térmicos, interfaces e equipamentos de controlo;
- "Lâmpada LED" significa uma lâmpada que incorpora um ou mais módulos LED. A lâmpada pode estar equipada com uma tampa;

Esta distinção está em conformidade com a segmentação de produtos LED normalmente estabelecida na indústria de iluminação [RL], excluindo o nível 2 (Tabela 10).

**Tabela 10** Níveis de integração de LEDs

Nível de integração	Descrição
Level 0	LED chip (ou die)
Level 1	Pacote LED incluindo conexão elétrica, conexão e proteção mecânica, dispositivo de dissipação de calor e componentes óticas básicas.
Level 2	Montagem de vários LEDs (grupo LED) numa placa de circuito impresso.
Level 3	Módulo LED (ou mecanismos LED). Um módulo com um grupo LED, dissipador de calor, driver elétrico e, por vezes, um dispositivo ótico. O módulo LED funciona como uma lâmpada.
Level 4	Luminária que consiste num módulo LED (nível 3), encapsulamento e óticas secundárias.
Level 5	Sistema de iluminação LED com equipamento de controlo.

A temperatura de funcionamento do chip LED é um aspeto crítico, que influencia em particular a eficácia e a vida útil. Os dados de desempenho de chips LED são especificados para uma temperatura de 25°C. No entanto, as temperaturas reais em condições normais de funcionamento podem chegar facilmente a 60 - 90°C, causando uma redução de lúmens na saída até 40%. No entanto, os LEDs azuis são menos afetados pelo aumento das temperaturas de funcionamento (com uma diminuição do fluxo de 5 a 20% para uma temperatura de 80°C).

A durabilidade das fontes de luz LED podem exceder as 100.000 h (especificada para L80, c.c. capítulo 2.1.4), mas depende muito da temperatura de funcionamento real e da eficácia da gestão térmica da luminária, garantindo uma dissipação de calor suficiente.

Comparando com outras tecnologias de iluminação, os módulos LED são afixados na luminária e não são projetados para serem substituídos como componentes padronizados. Isso pode complicar a estratégia de substituição e reposição a longo prazo. A indústria têm-se empenhado em estabelecer um padrão, denominado Zhaga, para interoperabilidade e permutabilidade de módulos e luminárias LED, oferecidos por diferentes fornecedores. No entanto, os produtos certificados pela Zhaga (mecanismos LED, módulos e luminárias) ainda representam apenas um nicho do mercado global.

Os LEDs não podem ser operados com a tensão de alimentação (AC). Assim, é necessário um equipamento de controlo ("driver"), com a função principal de fornecer uma tensão estável de DC. Dependendo

da qualidade do driver, as perdas de energia podem variar entre 10% e 30% da potência nominal da fonte de luz. Drivers de má qualidade podem ter perdas até 50% reduzindo o tempo de vida da fonte de luz [RL]. Uma importante função secundária do driver é a regulação, que é discutida na secção 3.3.4.

### 3.1.1.3 Luminárias

A luminária é o aparelho de iluminação completo que consiste na carcaça, bem como todas as peças necessárias para montagem e funcionamento, incluindo as lâmpadas, peças de controlo, equipamento de controlo, cabos etc. As fontes de luz LED são normalmente montadas em luminárias planas especificamente projetadas que fazem o uso ideal das propriedades óticas. Outros tipos de luminárias LED modelados a partir de luminárias clássicas são geralmente destinados a substituições de luminárias clássicas não LED. Esses projetos normalmente não usam sistemas óticos otimizados e sistemas de dissipação de calor disponíveis para tecnologia LED. No entanto, podem ainda ser apropriados para locais onde a remodelação abrangente do sistema de iluminação não é viável.

O teste padrão para luminárias utilizado pelos fabricantes é o IEC 60598-2-3, que fornece recomendações gerais para as luminárias e a sua carcaça. As luminárias devem ser resistentes à corrosão ou protegidas da corrosão com os acabamentos adequados. As luminárias contêm elementos óticos como refletores, refratores e lentes que criam a desejada distribuição de luz e garantem o controlo do encandeamento e a limitação da poluição luminosa.

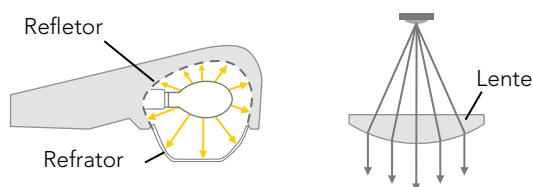


**Figura 13** Tipo de luminárias LEDs

Os **refletores** são usados para redirecionar a saída da luz. Os espelhos refletores criam múltiplas imagens da fonte de luz, suportando assim um padrão de luminância relativamente uniforme na superfície iluminada. Além disso, os refletores ajudam a minimizar a poluição luminosa ou o encandeamento (ver secções 2.1.1.2 e 2.1.1.6).

Os **refratores ou lentes prismáticas** redirecionam a luz da lâmpada e do refletor e oferecem proteção adicional contra danos. São normalmente em vidro ou então em material plástico.

As **lentes** permitem um maior controlo direcional da luz e são montadas diretamente nos LEDs. De forma semelhante aos outros componentes mencionados, elas suportam o redireccionamento da luz, redução do encandeamento e proteção (ver secção 2.1.2.1).



**Figura 14** Refletor, refrator e lente em luminárias de iluminação pública

Nas luminárias LED mais atuais, podem ser instalados refratores de lente avançados em cada LED individual, o que possibilita a modificação da distribuição de luz através da mudança ou regulação de LEDs com diferentes lentes. Isso permite uma maior flexibilidade na montagem da distribuição de luz no espaçamento da luminária, largura da estrada, propriedades de reflexão da superfície da estrada e mudanças nas condições climáticas [RL].

O Relatório Técnico CIE 115: 2010 introduziu classes de intensidade luminosa para luminárias, que definem critérios para valores máximos de intensidade luminosa para diferentes ângulos de elevação. A classificação inclui os níveis G1 a G6, que representam critérios cada vez mais rigorosos para ângulos mais elevados (e, portanto, reduzem a poluição luminosa e o encandeamento) [CIE].

Os componentes de uma luminária devem ser modulares para permitir a substituição em caso de falha ou atualização por um componente idêntico ou compatível evitando assim a substituição da luminária como um todo. Conforme explicado na secção anterior, a dissipação de calor é especialmente importante para luminárias LED, pois com uma boa condução de calor entre a lâmpada e a luminária, as seguintes características da luminária melhoram a dissipação de calor:

- O volume da luminária: quanto maior o volume, menor a temperatura dentro da luminária.
- As propriedades de condução de calor do invólucro da luminária, que determinam a rapidez com que o calor se transfere para o ar circundante: a maioria dos metais proporciona características adequadas de dissipação de calor, enquanto os plásticos são isoladores térmicos e, portanto, não são adequados para luminárias LED.
- Radiador de arrefecimento: também podem ser usados para melhorar a transferência de calor para o meio ambiente, pois aumentam a superfície da luminária.

As luminárias são geralmente classificadas pela sua temperatura ambiente máxima " $T_a$ " sob a qual elas podem funcionar com segurança. Se não for apresentado nenhum valor  $T_a$ , estão destinadas a uma temperatura ambiente máxima de 25°C.

## Marcas de conformidade e de qualidade para luminárias de iluminação pública

### CE

Qualquer produto colocado no mercado dentro da União Europeia deve cumprir todas as diretivas da UE. Com a marcação CE, uma empresa legalmente vinculativa confirma a conformidade do produto correspondente com os regulamentos. Desde 1997, a marca CE deve ser afixada a todos os produtos comercializados na Europa que sejam afetados pelas diretivas de marcação CE.

A marca CE (Communautés Européennes, Comunidade Europeia) não é uma marca de teste como a ENEC ou outras marcas nacionais de qualidade, mas uma marcação de conformidade. Chama-se à atenção para o facto de o símbolo CE não ser emitido por um instituto de testes (independente), mas pelo próprio fabricante.

As autoridades de monitorização reconhecem um produto com marcação CE como comercializável sem que este seja sujeito a testes adicionais. A conformidade só é verificada pelas autoridades de fiscalização do mercado em fiscalizações surpresa ou se os produtos são suspeitos de não estarem em conformidade.

Para luminárias de iluminação pública, a marca CE de conformidade abrange a seguinte legislação:

- Directiva 2014/35 / UE relativa à harmonização das legislações dos Estados-Membros respeitantes à disponibilização no mercado de equipamentos

eléctricos concebidos para utilização dentro de certos limites de tensão (directiva de baixa tensão)

- Directiva 2014/30 / UE relativa à harmonização das legislações dos Estados-Membros respeitantes à compatibilidade electromagnética (reformulação)

## ENEC

A marca ENEC (European Norms Electrical Certification) é uma marca de segurança europeia com condições de teste uniformes em toda a Europa. O acordo ENEC descreve o procedimento para a concessão e uso de uma marca para determinados equipamentos elétricos que atendam às normas europeias. Atualmente, 20 países assinaram o acordo: Áustria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Luxemburgo, Países Baixos, Noruega, Portugal, Eslovénia, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido.

O símbolo ENEC confirma que o produto está em conformidade com os requisitos correspondentes da União Europeia. A marca ENEC pode ser atribuída por um organismo de certificação nacional que faz parte do Acordo ENEC. Os algarismos após a marca ENEC indicam em que centro de teste e em que país o produto foi certificado (por exemplo, ENEC 03 para a Itália).

O conjunto de condições de teste são estipuladas nas normas EN 60598. Para garantir a qualidade do produto garantida pela marca ENEC, os fabricantes também devem possuir um sistema de garantia de qualidade.

Um produto com marcas ENEC de outro país europeu é tratado como se tivesse sido certificado pelo organismo nacional de inspeção desse próprio país. Isto simplifica a livre circulação de mercadorias na área económica europeia, incluindo a Suíça - e cada vez mais no mercado da Europa Oriental.

### 3.1.2 Sistemas de apoio

Os postes devem estar de acordo com a norma EN 12767 ("Segurança passiva de estruturas de suporte para equipamentos rodoviários") que especifica critérios para minimizar o perigo para os ocupantes do veículo em caso de colisões. De acordo com a norma, as estruturas de suporte dos equipamentos rodoviários são classificadas em três categorias diferentes de segurança passiva:

- **Alta absorção de energia (HE)**
- **Baixa absorção de energia (LE)**
- **Sem absorção de energia (NE)**

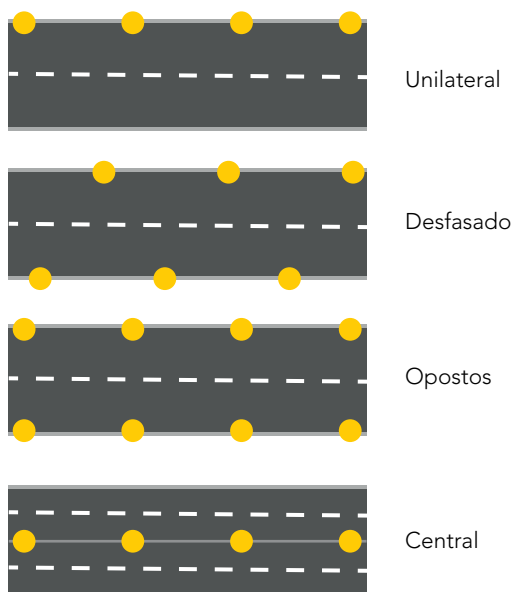
As estruturas de suporte de absorção de energia retardarão significativamente o veículo durante uma colisão e reduzirão o risco de colisões secundárias. As estruturas não absorventes de energia permitirão ao veículo continuar com apenas pequenas reduções de velocidade, o que reduz o risco para os ocupantes da colisão inicial, mas aumenta o risco de colisões secundárias. O tipo de poste escolhido para um determinado trecho da estrada pode ser selecionado pelos responsáveis de administração com base na sua própria avaliação das necessidades locais. Por exemplo, os postes HE podem ser instalados em áreas urbanas, a fim de reduzir o risco de colisões secundárias.

São especificados quatro níveis de segurança dos ocupantes para as estruturas de suporte, o nível 4 representa estruturas de suporte não prejudiciais que se supõe causar apenas danos menores. Os outros três níveis são determinados por testes de impacto usando veículos de passageiros leves com velocidades de 35, 50, 70 e 100 km/h. Os dados de teste são usados para derivar o impacto de gravidade de aceleração (ASI) e as métricas teóricas de velocidade de impacto da cabeça dos passageiros (THIV), que descrevem o perigo para os passageiros [TRB].

Os postes de iluminação estacionários têm uma boa durabilidade. Os postes de iluminação são feitos de aço e atualmente galvanizados. No passado, estes estavam protegidos contra a corrosão com tintas anti-ferrugem. As versões de aço inoxidável são usadas apenas em áreas representativas. As instalações elétricas ou outras são verificadas e substituídas com muito mais frequência do que o próprio poste. As influências ambientais, como o sol, a chuva e o vento, não influenciam os componentes. No entanto, grandes tempestades, neve ou até cortinas de gelo podem representar uma ameaça para os postes.

As disposições dos postes, bem como a sua altura, são decisões técnicas. Estas decisões baseia-se na geometria da estrada, nas características do sistema, nas condições do solo, nas características físicas dos postes, nos requisitos ambientais, no espaço disponível para manutenção, no orçamento disponível, na estética e nos objetivos da iluminação. As disposições mais comuns são ilustradas abaixo.





**Figura 15** Disposições de lâmpadas

A disposição de lâmpadas escolhida determina a altura mínima de montagem da luminária como um fator da largura efetiva da estrada (medida da posição horizontal da luminária para o lado distante da estrada).

- Em **disposição unilateral**, a largura efetiva da estrada pode ser igual à altura de montagem da luminária. Além disso, ao contrário dos outros arranjos, a luminância da superfície da estrada não será igual em ambas as faixas da estrada.
- Em **disposições desfasadas**, a largura efetiva da estrada pode ser até 1,5 vezes a altura de montagem da luminária. A sua uniformidade longitudinal da luminância é geralmente baixa e cria um padrão alternado de manchas brilhantes e escuras. No entanto, durante o tempo húmido, cobrem toda a estrada melhor do que a disposição unilateral.
- Em **disposições opostas**, a largura efetiva da estrada pode ser cerca de 2 a 2,5 vezes a altura de montagem da luminária. Se a disposição for usada numa estrada dupla com uma reserva central de pelo menos um terço da faixa, ou se a reserva central incluir outros obstáculos visuais significativos (como árvores ou telas), a estrada deverá ter efetivamente duas disposições unilaterais.
- Em **disposições centrais**, as luminárias são penduradas dos chamados cabos de extensão transversalmente à estrada, geralmente entre edifícios. A largura efetiva da estrada pode ser até duas vezes a altura de montagem da luminária.
- Em **disposições centrais** - onde duas luminárias são instaladas no centro, costas com costas - a largura efetiva da estrada pode ser igual à altura de montagem das luminárias. Desde que a reserva central

não seja muito larga, as luminárias podem contribuir para a luminância da superfície da estrada em qualquer faixa, tornando esta disposição geralmente mais eficiente do que as disposições opostas. No entanto, as disposições opostas podem fornecer iluminação ligeiramente melhor sob condições de humidade.

Decidir as posições exatas dos postes e a altura de montagem da luminária faz parte do processo de projeto e geralmente é feito com software especializado. O objetivo não é apenas manter a luminância mínima, mas também uma uniformidade mínima de luminância, que depende das distribuições de intensidade luminosa das luminárias na instalação de iluminação rodoviária. Embora muitos produtos LED sejam projetados como substituição de luminárias existentes (fazendo assim uso dos postes já existentes), os projetos modernos de luminárias LED frequentemente não aproveitam todas as suas vantagens, uma vez que estas são capazes de distribuições de intensidade luminosa muito mais uniformes do que as comparáveis luminárias HPS ou MH [LRT4].

### 3.1.3 Sistema elétrico

O condutor de proteção deverá ser ligado a todas as partes metálicas expostas, incluindo todas as condutas metálicas

A resistência dos fios e cabos de um determinado circuito de iluminação rodoviária faz com que a tensão caia, levando a um funcionamento ineficiente. Para garantir que todas as luminárias dentro de um determinado circuito recebem um nível mínimo de alimentação de tensão, a queda de tensão entre o ponto de alimentação e as luminárias mais distantes não deve exceder 3%.

O armário de serviço deve ser um armário impermeável selado com uma junta de fixação [IIEC].

## 3.2 Sistemas de controlo de iluminação rodoviária

O controlo ativo dos sistemas de iluminação rodoviária permite poupanças energéticas significativas, mas as potenciais poupanças devem ser ponderadas contra a complexidade e os custos adicionados. Com base no tipo de gestão, existem três tipos de sistemas de

controle de iluminação: controle autónomo, controle centralizado e controle dinâmico.

### 3.2.1 Controle autónomo

Com o controle autónomo da iluminação rodoviária, as luminárias são pré-programadas (geralmente pelo fabricante) com períodos fixados de funcionamento. Esta é, de longe, a solução mais simples e mais barata, já que não requer mais controle nem sistemas de rede. No entanto, uma vez que a programação é geralmente limitada, muitas vezes não há como ajustar o controle para fins de semana e feriados. Além disso, os temporizadores internos podem não ser precisos, e qualquer atualização do sistema requer mudanças em cada lâmpada. Alternativamente, os sensores podem detetar a luz ambiente em cada poste de luz e decidir ligar as lâmpadas. No entanto, isso acarreta despesas adicionais.

### 3.2.2 Controle centralizado

No controle centralizado de iluminação rodoviária, um sistema central envia o sinal de controle para todas as luminárias dentro de um grupo (geralmente por um sinal enviado através da linha elétrica). Esta configuração é comparativamente simples e barata de implementar, e permite uma certa flexibilidade ao ajustar a iluminação às mudanças necessárias. Por exemplo, um sensor de luz central pode determinar quando ligar todas as luzes de um determinado grupo que, por exemplo (ao contrário da gestão com base no tempo), permite o ajuste de iluminação às condições climáticas locais. Estes sensores devem ser limpos regularmente para garantir o bom funcionamento [BFE]. Outras opções incluem uma regulação com base no tempo que reduz ou desliga a luz de certas lâmpadas em certos horários e áreas específicas (por exemplo, durante a noite, quando o volume de tráfego expectável é baixo). Embora a redução dos custos de energia e da poluição luminosa (ver secção 2.1.1.6) possa ser substancial, isto pode colocar os utilizadores das vias em risco se a sua capacidade de passar obstáculos for prejudicada [CEE]. Estas aplicações específicas precisam de ser avaliadas cuidadosamente.

Além disso, o fluxo de informações é unidirecional. Enquanto o nodo central pode determinar o estado dos grupos de lâmpadas, não recebe informações sobre o estado individual ou quaisquer outras condições locais.

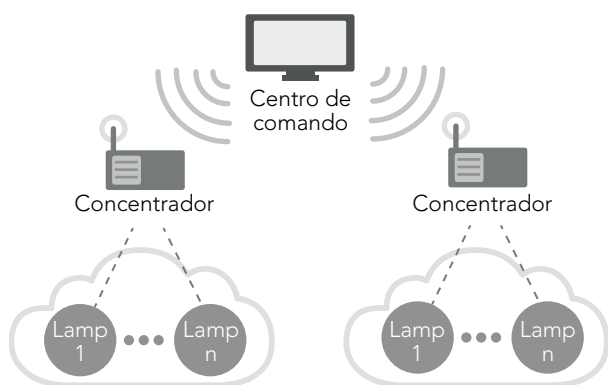
Ambos os sistemas de controle, centralizado e dinâmico, requerem a implementação de sistemas de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) de vários graus de complexidade. Embora ofereçam opções adicionais para economizar energia, também precisam de recursos e conhecimentos adicionais para implementação e manutenção. A complexidade adicional aumenta os riscos de falhas do sistema [HCS]. Assim, adjudicatores e gestores devem considerar se têm competências e suporte técnico disponível após a implementação, mesmo a curto prazo.

### 3.2.3 Controle dinâmico

Com a gestão dinâmica da iluminação rodoviária, é possível um maior controle. Não só as lâmpadas podem ser controladas em grupos ou individualmente, como também o servidor de controle central pode reunir informações sobre seu estado dependendo das opções instaladas (por exemplo, falhas, consumo de energia, temperatura de funcionamento ou ambiente, luz ambiente, tráfego, e a presença de pedestres). Alterações na programação também podem ser feitas no servidor de controle central em vez de exigir mudanças no hardware físico.

No entanto, conforme descrito acima, essa flexibilidade extra é acompanhada de uma complexidade considerável e, portanto, custos adicionais. O software de controle deve ser implementado e mantido, e os operadores locais responsáveis pelo sistema devem ser treinados para sua utilização. Além disso, a complexidade adicionada aumenta o risco de falhas de programação. As lâmpadas devem ser instaladas com sistemas à prova de falhas que garantam a segurança do tráfego básico durante a noite, mesmo quando não recebem, ou recebem comandos errados do sistema de controle [BFE].

Os sistemas de gestão inteligentes de última geração geralmente são controlados por um centro de comando central, que é muitas vezes um servidor mantido nos escritórios das autoridades locais. Este servidor monitoriza um número elevado de lâmpadas e envia comandos que determinam o estado das lâmpadas individualmente. Os comandos não são recebidos diretamente pelos sistemas de controle de lâmpada, mas primeiro passam por concentradores que passam as mensagens para as redes de área locais consistindo num número limitado de lâmpadas e dos atuadores de controle [PE].

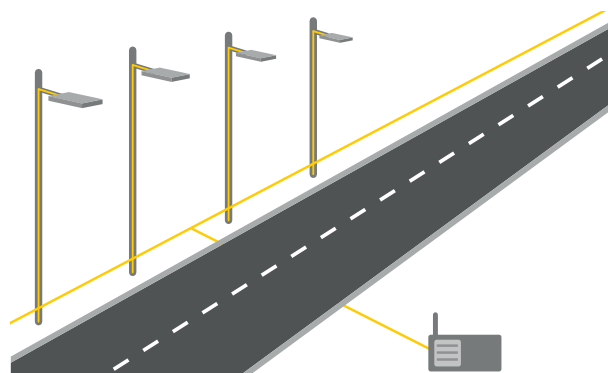


**Figura 16** Arquitetura de um sistema de controlo de iluminação pública

São necessários dois conceitos tecnológicos para decidir sobre a arquitetura do sistema de controlo - a tecnologia de comunicação (como a informação é transmitida) e o protocolo de comunicação (como a informação é codificada).

Existem duas camadas de comunicação num sistema de iluminação rodoviária que precisam estar ligadas com a tecnologia de comunicação: do centro de comando para concentradores e dos concentradores para lâmpadas individuais. A informação pode ser transmitida via cabo ou com sinais sem fios, sendo que ambas as opções têm implicações para os protocolos de comunicação disponíveis.

A comunicação por cabo entre o centro de comando e os concentradores geralmente usa protocolos de comunicação padrão Ethernet, que são já uma tecnologia bem estabelecida [PE]. Enquanto os cabos Ethernet são teoricamente possíveis entre os concentradores e as lâmpadas, isso exigiria cabos adicionais e, portanto, custos adicionais. Em vez disso, as redes locais ligadas ao cabo para a iluminação rodoviária geralmente usam comunicações através das redes de eletricidade (PLC), que modulam os sinais na rede elétrica para trocar informações.



**Figura 17** Comunicação via power line

A comunicação sem fios entre o centro de comando e os concentradores exige que as distâncias comparativamente grandes possam ser superadas através de sinais sem fio. Os protocolos adequados incluem Wi-Fi (802.11), GPRS (General Packet Radio Services) ou WiMax.

Os sinais sem fio entre os concentradores e as lâmpadas individuais podem ser implementados como uma malha, o que apresenta como vantagem o facto da falta de linha de visão não quebrar a conexão entre os nós individuais. Se necessário, a intensidade do sinal pode ser aumentada através de repetidores. Protocolos adequados para esta camada incluem:

- DALI (Digital Addressable Lighting Interface): um padrão adotado pela IEC que foi desenvolvido para controlar os circuitos de balastos usados para a monitorização do equipamento de iluminação. No entanto, apenas pode controlar até 64 nós.
- ZigBee, uma alternativa de baixo custo, baixa potência e baixa taxa de dados para redes sem fios. Contudo, apresenta deficiências em termos de atrasos na comunicação o que pode causar desaceleração no desempenho da rede.
- 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network). Este padrão não define um protocolo de encaminhamento específico para um sistema em particular, o que permite uma maior flexibilidade, mas requer um esforço adicional na definição dos protocolos utilizados para uma instalação específica [SEN].



**Figure 18** Comunicação wireless

### 3.3 Estratégias de controlo de iluminação rodoviária

Ao longo dos anos, foram desenvolvidas várias estratégias com diferentes níveis de complexidade para controlo de iluminação rodoviária, cada uma com as suas vantagens e desvantagens. Algumas podem até ser combinadas com estratégias mais complexas.

#### 3.3.1 Relógio astronómico

Os relógios astronómicos têm informações precisas sobre o nascer e pôr-do-sol para qualquer posição geográfica. Estes podem ser calculados antecipadamente com um nível muito alto de precisão por longos períodos de tempo. No entanto, as estratégias de controlo de iluminação baseadas em relógios astronómicos podem não ter em conta aspetos geográficos específicos, como grandes colinas ou montanhas que bloqueiam o sol ao amanhecer ou ao anoitecer. Além disso, os relógios astronómicos não podem fazer previsões sobre condições climáticas, como tempestades que podem exigir iluminação artificial mesmo durante o horário de verão.

Os relógios astronómicos podem estabelecer um esquema simples de ligar/desligar para a iluminação que estabelece o tempo da iluminação à noite e a desliga pela manhã. Para além disso, podem também especificar períodos, mais tarde durante a noite, em que é expectável um menor tráfego e durante o qual a iluminação permanece ativa, mas com intensidade operacional reduzida.

Uma das principais vantagens dos relógios astronómicos é que eles não requerem nenhum sistema complexo de TIC para funcionar.

#### 3.3.2 Interruptores crepusculares

Em contraste com a utilização de relógios astronómicos, podem usar os interruptores crepusculares que possuem sensores fotoelétricos para detetar a luz ambiente e ajustar a iluminação artificial caso os níveis de luz ambiente caiam ou aumentem para além de certos valores limite. Esta abordagem funciona especialmente bem com a regulação (ver abaixo) e pode ajustar-se a longos períodos de crepúsculo, bem como a condições climáticas incómodas. No entanto, os sensores fotoelétricos requerem uma limpeza regular para garantir o seu adequado funcionamento. Além disso, deve ser decidido se um único sensor controla a iluminação para uma área grande ou se cada grupo de lâmpadas ou mesmo cada lâmpada individual possui o seu próprio sensor. A primeira opção reduz a complexidade do sistema, mas não pode contemplar todas as condições localizadas (em especial áreas sombreadas e pequenas alterações climáticas) e representa um único ponto de falha no sistema. A segunda opção permite maior flexibilidade, mas também requer a compra de um grande número de sensores adicionais e requer mais manutenção para manter os sensores limpos.

Os sensores fotoelétricos podem ser incorporados numa infraestrutura TIC maior que, dependendo da configuração, permite a monitorização em tempo real da iluminação da estrada. Por isso, qualquer problema com iluminação insuficiente pode ser rapidamente identificado e tratado.

#### 3.3.3 Detecção de tráfego

Em muitas estradas, o tráfego é baixo, especialmente com o avançar da noite. Assim, a redução do nível de iluminação em conformidade com os requisitos estipulados na norma EN 13201 oferece economias de energia potencialmente elevadas. A fim de garantir que os utilizadores possam conduzir nas estradas com segurança, podem ser instalados sistemas de deteção de tráfego que aumentam o nível de iluminação novamente, sempre que necessário. A tecnologia mais comum para detetar o tráfego - veículos motorizados, ciclistas ou pedestres - são sensores de movimento.

Tipos de detetores de movimento incluem os seguintes:

Detetores de movimento ultrassónico detetam a mudança nas ondas sonoras que retornam de um objeto em movimento. Este tipo de sensor não requer linha de visão. É barato, pode detetar objetos independentemente dos materiais e são pouco afetados por fluxos de ar de até 10 m/s (36 km/h). No entanto, têm uma baixa taxa de deteção e podem ser afetados por humidade e altas temperaturas.

Os detetores de movimento de micro-ondas detetam mudanças em micro-ondas que retornam de um objeto em movimento, semelhante aos radares de velocidade. São capazes de detetar pequenos movimentos e não são afetados pela temperatura ambiente dos objetos. No entanto, são caros e podem causar falsa deteção devido a movimentos fora da zona especificada.

Sensores de infravermelhos detetam o calor de um objeto ou de uma pessoa em relação aos seus arredores. São sensores puramente passivos - não emitem som ou radiação para reunir informações. No entanto, podem desencadear deteção falsa de ar quente, chuva ou objetos quentes.

Processamento de vídeo usa câmaras de vídeo como sensores inteligentes, identificando objetos em movimento através de algoritmos inteligentes. Podem monitorizar uma área maior do que os outros sistemas de deteção e detetar não apenas o movimento, mas também a presença de objetos. Têm uma baixa probabilidade de respostas falsas. No entanto, os algoritmos de processamento de dados são bastante complexos, resultando em custos adicionais para o software, além de aumentar o consumo de eletricidade devido aos requisitos de energia de processamento. Além disso, são dependentes da luz, embora isso possa ser compensado com filtros infravermelhos.

Os sistemas de deteção de movimento podem ser combinados para que as desvantagens de um tipo sejam compensadas pelas capacidades de outro.

Uma vez que a necessidade de iluminação adicional é detetada pelos sensores, o sistema deve garantir que os requisitos habituais para a classe de iluminação rodoviária (ver secção 2.2.1) sejam cumpridos. Isso significa que um sensor de movimento conectado a um determinado poste de iluminação, não deva ser usado apenas para ativar essa lâmpada em particular, mas

também uma ou mais lâmpadas adjacentes para que os utilizadores da estrada não estejam sujeitos ao encandeamento devido às condições de iluminação que mudam rapidamente.

Qualquer sistema que tenha por base um detetor de movimento que se destina a cobrir mais do que as áreas apenas para pedestres exige quase sempre a integração numa configuração maior de TIC. No entanto, isso tem a vantagem adicional de permitir dados de informações de trânsito que possam ser úteis para controladores de tráfego, planeadores urbanos, serviços de emergência e outras agências.

### 3.3.4 Regulação de fluxo

Dependendo das condições de tráfego, clima e iluminação ambiente, pode não ser necessário operar as lâmpadas em plena potência durante a noite. Ao combinar relógios astronómicos adequados, interruptores crepusculares e sistemas de deteção de tráfego com regulação, podem ser alcançadas grandes poupanças energéticas - em alguns projetos, foram alcançadas até 85% de poupança. Além disso, aumentar e diminuir gradualmente a iluminação reduz o brilho de desconforto para os residentes próximos. Os LEDs são especialmente adequados para estratégias baseadas na regulação, uma vez que podem diminuir suavemente com quase nenhuma complicação técnica, enquanto outros tipos de lâmpadas utilizados na iluminação rodoviária não podem ser regulados, produzem deslocamentos de cores quando diminuídos (lâmpadas de mercúrio e lâmpadas de iodetos metálicos de alta pressão) ou são limitados na regulação.

### 3.3.5 Considerações

Tanto o controlo dinâmico da iluminação rodoviária como as estratégias de controlo avançadas, como os interruptores crepusculares e a deteção de tráfego, estão a mudar rapidamente os campos tecnológicos e, como tal, exigem uma consideração especialmente cuidadosa das potenciais barreiras e limitações à sua bem-sucedida implementação.

As leis, regulamentos e normas europeias e nacionais para iluminação rodoviária não têm em conta, frequentemente, os últimos desenvolvimentos tecnológicos. Portanto, deve ter-se o cuidado de garantir que os sistemas de controlo de iluminação propostos atendam a

todos os requisitos legais. Uma preocupação adicional é a responsabilidade: se o sistema falhar devido a alguns defeitos técnicos, deve ser claro que parte é responsável pelas falhas.

Como a implementação do controlo dinâmico da iluminação rodoviária pode resultar num sistema de complexidade considerável, o proponente encarregado de o implementar será também responsável pelo suporte pós-venda e manutenção, o que provavelmente exigirá contratos de serviço estendidos. Isto é especialmente importante se a solução implementada possuir sistemas e componentes de vários proponentes que exijam integração e atualização ocasional. Recomenda-se que se exija um histórico comprovado com sistemas dinâmicos de iluminação rodoviária como critério para a seleção do proponente.

As luminárias devem ser programadas com um estado "por defeito" que pode reverter no caso de não receber sinais de controlo ou estes estiverem errados. Este estado por defeito deve representar o controlo básico de iluminação baseado em tempo, cumprindo normas legais sem recursos dinâmicos. Além disso, em caso de falha total do sistema, os operadores designados devem poder colocar as peças ou o sistema de iluminação completo no estado correto num curto prazo, sem requerer intervenção de especialistas externos.

# 4. Aquisição de sistemas de iluminação



## 4.1 Introdução

O capítulo a seguir é dedicado à aquisição de iluminação pública de alta qualidade e eficiência energética. No anexo deste guia pode encontrar uma tabela abrangente do conjunto de critérios recomendados para aquisição de equipamento pelo PremiumLightPro.

O conjunto recomendado de requisitos PremiumLightPro cobre os critérios básicos para a seleção do proponente (chamados critérios de seleção

nas seguintes secções), requisitos técnicos que serão obrigatórios para todos os proponentes e critérios de adjudicação. Para avaliação dos critérios de atribuição, propõe-se uma abordagem por pontuação. Além disso, são fornecidas especificações técnicas gerais, bem como questões contratuais normalmente exigidas para as propostas. A Tabela 11 mostra uma visão geral do conjunto de especificações e requisitos.

**Tabela 11** Requisitos mínimos e critérios de adjudicação do PremiumLightPro

### A) Especificações técnicas gerais

Plano/configuração do sistema rodoviário e especificações técnicas relacionadas (Iluminância, uniformidade, fator de manutenção)..

O contratante deve especificar o tipo de estradas e vias, objeto da implementação do sistema de iluminação pública, ou dos pontos de luz (luminárias e postes). Devem ser considerados para todas as partes/secções do sistema de iluminação rodoviária os requisitos da norma EN13201 e das normas nacionais em vigor. Entre outros, a entidade adquirente deve especificar:

- Níveis de iluminação
- Níveis de uniformidade
- Fatores de manutenção do sistema de iluminação

de acordo com a norma EN 13201 ou com base em necessidades específicas.



## A) Especificações técnicas gerais

Características de controlo de iluminação	<p>O contratante deve especificar uma das seguintes opções:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Nenhum controlo de iluminação deve ser considerado, nomeadamente a regulação da intensidade luminosa, uma vez que não é considerado apropriado pelo contratante para o sistema de iluminação específico.</li><li>O contratante tem pleno conhecimento das opções de controlo de iluminação / regulação que melhor se adequam ao sistema em causa e especifica requisitos detalhados para o sistema de controlo de iluminação.</li><li>O contratante não está em posição de especificar as características óptimas do sistema de controlo de iluminação e requer ao proponente que apresente uma solução para o sistema de controlo acompanhada de um estudo de Custo de Ciclo de Vida claro e transparente.</li></ul>
Medição do consumo energético	<p>O contratante deve especificar uma das seguintes opções :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>A medição do consumo energético não é prevista por não ser considerada apropriada pelo contratante para o sistema de iluminação em causa.</li><li>O contratante tem pleno conhecimento das opções de medição que melhor se adequam ao sistema em causa e especifica requisitos detalhados para o sistema de medição.</li><li>O contratante não está em posição de especificar as características óptimas do sistema de medição e requer ao proponente que apresente uma solução para o sistema acompanhada de um estudo de Custo do Ciclo de Vida claro e transparente</li></ul>

## B) Critérios para seleção

	Requisitos obrigatórios	Critérios de adjudicação
"Know-how" e experiência da equipa de design e de instalação	✓	
Capacidade do proponente para entrega do sistema dentro do prazo	✓	
Conformidade com as normas ISO e EN	✓	

## C) Requisitos técnicos e critérios de adjudicação

	Requisitos obrigatórios	Critérios de adjudicação
Critérios energéticos – nível do sistema		
Consumo energético anual ou o indicador de densidade de potência	(✓)	✓
Fator de potência	✓	✓
Características de controlo de iluminação (opcional): como indicado nas especificações técnicas gerais		✓
Medição do consumo energético (opcional): como indicado nas especificações técnicas gerais		✓
Critérios energéticos – nível dos componentes (para projetos que envolvam apenas a substituição de componentes)	Requisitos obrigatórios	Critérios de adjudicação
Eficiência energética das luminárias	✓	✓
Eficiência energética do driver	✓	✓
Critérios de qualidade e design	Requisitos obrigatórios	Critérios de adjudicação

C) Requisitos técnicos e critérios de adjudicação		
Cor da luz (temperatura da cor)	✓	
Restituição da cor	✓	
Consistência da cor e manutenção da cor	✓	✓
Luminância e iluminância	✓	
Distribuição da luz, uniformidade da iluminância	✓	✓
Poluição luminosa (ULOR)	✓	
Proteção contra Encandeamento (perturbador e de desconforto)	✓	✓
Proteção (classificação IP)	✓	
Proteção contra impactos (classificação IK)	✓	
Proteção IEC	✓	
Proteção contra sobretensões	✓	
Marca de conformidade para todos os componentes (ENEC, regulamentos nacionais)	✓	
Tempo de vida	✓	✓
Garantia	✓	✓
Disponibilidade de peças sobressalentes	✓	✓
Facilidade de reparação e reciclagem	✓	✓
Design		✓

C) Requisitos técnicos e critérios de adjudicação		
Critérios de qualidade apenas para projetos de nível de componente	Requisitos obrigatórios	Critérios de adjudicação
Tempo de vida da luminária	✓	✓
Tempo de vida do módulo de LEDs	✓	✓
Tempo de vida do driver		✓

D) Critérios de custo	Requisitos obrigatórios	Critérios de adjudicação
Cálculo TCO (opção recomendada)		✓
Custo de investimento (opção alternativa)		✓

E) Questões contratuais		
Colocar ao serviço os sistemas e controlos de iluminação	✓	
Instalação correta	✓	
Redução e recuperação de desperdício	✓	

## 4.2 Especificações gerais

A Tabela A) abrange algumas especificações gerais essenciais a serem consideradas durante a fase inicial do processo de concurso. Nessa fase, o layout geral do sistema de iluminação e os requisitos de desempenho essenciais devem ser especificados de acordo com a norma EN 13201 ou com base em necessidades específicas. Onde se incluem:

- Níveis de iluminação
- Níveis de homogeneidade
- Fatores de manutenção do sistema de iluminação

Além disso, as características de controlo de iluminação e os recursos de medição do consumo de energia devem ser especificados.

### 4.2.1 Especificação do sistema de iluminação

Numa fase preparatória do concurso, o contratante deve especificar o sistema rodoviário para o qual o sistema de iluminação deverá ser projetado. O tipo de rua devem ser especificado com base nas normas internacionais (EN 13201) ou, se desejável, nas normas nacionais.

### 4.2.2 Características do controlo de iluminação e sistemas de comunicação

Para além disso, durante a fase inicial do processo deve também ser avaliado e especificado quais os tipos de características de controlo de iluminação. Embora as opções de controlo simples sejam desejáveis como uma funcionalidade mínima para a maioria dos tipos de sistemas de iluminação pública, os recursos abrangentes de controlo inteligente podem ser apropriados em casos específicos. A funcionalidade de controlo de iluminação deve ser adequada para um tipo de estrada específico. A avaliação de diferentes opções pode exigir o apoio de consultores independentes. As funções de controlo inteligentes também devem combinar aspetos de segurança e qualidade. O capítulo 3 apresenta várias soluções técnicas. As diferentes opções técnicas devem ser avaliadas em termos de custos do ciclo de vida. Além disso, os seguintes requisitos devem ser cumpridos em termos de compatibilidade e comunicação.

#### **Comunicação**

##### **Requisito PremiumLightPro:**

Deve ser disponibilizado um sistema de comunicação capaz de comunicar com o equipamento de controlo das luminárias individuais. A comunicação através da rede elétrica (PLC) representa o nível mínimo de tecnologia capaz de atender a esse critério, mas podem ser utilizados sistemas de comunicação mais avançados. O equipamento de controlo deve ser programável e deve notificar em caso de falha do equipamento.

#### **Compatibilidade com a funcionalidade de controlo**

##### **Requisito PremiumLightPro:**

As luminárias devem ser compatíveis com a regulação de fluxo e outras características de controlo (por exemplo, temporizador, controlo de movimento, controlo de luz diurna, etc.).

##### **Requisito opcional:**

As luminárias devem estar equipadas com sistemas integrados de controlo de fluxo constante, garantindo que a luminária tenha uma saída de fluxo constante ao longo da vida útil, apesar do declínio gradual do fluxo produzido pelos LEDs ao longo do tempo.

##### **Verificação**

A documentação que descreva o método de regulação e a interface de regulação devem ser fornecidas pelo proponente.

Como requisitos opcionais, é benéfico que os sistemas TIC implementados para gestão da iluminação sejam passíveis de alterações, modulares e livres. A possibilidade de modificação garante que o sistema de controlo de iluminação possa ser atualizado ou alargado quando necessário, permitindo a instalação de funcionalidades adicionais que não fazem parte do sistema original. A modularidade requer adesão às normas nos seus blocos de construção do sistema de TIC e interfaces entre blocos de construção, permitindo mudanças em parte do sistema sem revisão do sistema como um todo. Os critérios úteis para avaliar a possibilidade de modificação livre incluem:

- Calendário de melhorias no sistema / atualizações
- Escalabilidade do sistema
- Limites do sistema e limitações inerentes
- Interface do módulo e padronização das interfaces de software
- Interoperabilidade e permutabilidade de módulos
- Acessibilidade da rede, infraestrutura e dados partilhados com o sistema
- Conectividade do sistema a outros sistemas, aplicativos e domínios relevantes

### 4.2.3 Medição de consumo energético

Paralelamente à especificação de características de controlo, a potencial necessidade da funcionalidade de medição deve ser esclarecida. As opções e recomendações gerais relativas à medição são abordadas no capítulo 3. A avaliação de um sistema de iluminação em termos de manutenção e desempenho, como custos de eletricidade e consumo de energia requer uma medição apropriada. Os valores de AECl só podem ser verificados por medições. Além disso, a medição permite a deteção rápida de falhas e necessidade de manutenção. A medição pode ser feita em diferentes níveis do sistema, envolvendo também diferentes níveis de complexidade. As opções apropriadas devem ser consideradas e comparadas.

#### **Requisito PremiumLightPro:**

Caso as opções de controlo de iluminação e as opções de medição sejam selecionadas conforme apropriado para o projeto, deve ser descrita a sua funcionalidade para o concurso. Os custos e benefícios do controlo e medição da iluminação devem ser incluídos no cálculo total do LCC / TCO.

#### **Verificação**

Os proponentes devem oferecer opções para medição e apresentar custos e benefícios com base em considerações TCO / LCC.

### **4.3 Critérios de Seleção**

---

Os critérios de seleção especificam os requisitos básicos que devem ser tidos em conta pelo proponente.

Os critérios, entre outros, geralmente cobrem a competência, a capacidade e a certificação do proponente.

#### **4.3.1 Know-how e experiência da equipa de projeto e da equipa de instalação**

O design e a instalação do sistema de iluminação podem ser feitos por diferentes empresas ou, alternativamente, por um único proponente. Para ambas as situações, os proponentes devem confirmar que as tarefas de projeto e instalação serão realizadas por uma equipa com conhecimentos profissionais adequados.

#### **Requisito PremiumLightPro:**

O proponente (ou os especialistas especificados para o projeto) tenha executado previamente com sucesso um mínimo de 5 projetos relevantes para iluminação rodoviária envolvendo tecnologia LED nos últimos 3 anos. Os projetos de referência devem ser de tamanho/complexidade comparável ao projeto planeado.

#### **Verificação**

O proponente deve especificar as pessoas responsáveis pelo projeto e fornecer informações sobre qualificações educacionais e profissionais, experiência e certificados relevantes. Além disso, o proponente deve fornecer uma lista de projetos de iluminação comparáveis que foram projetados e implementados nos últimos três anos. Caso algum trabalho seja subcontratado, devem ser fornecidas informações similares de subcontratados. Os tamanhos dos projetos podem ser, por exemplo, especificados com base no número de pontos de iluminação.

#### **4.3.2 Capacidade do proponente**

#### **Requisito PremiumLightPro:**

O proponente deve mostrar e confirmar a capacidade de execução do projeto dentro do prazo especificado.

#### **Verificação:**

O proponente deve especificar os recursos dedicados ao projeto e o calendário do projeto.

#### **4.3.3 Conformidade com os padrões internacionais e nacionais relevantes**

#### **Requisito PremiumLightPro:**

O proponente deve cumprir as normas internacionais e nacionais relevantes.

#### **Verificação:**

O proponente deve declarar e confirmar o cumprimento das normas relevantes especificadas.

### **4.4 Requisitos técnicos (critérios obrigatórios e de adjudicação)**

---

Os requisitos técnicos abrangem os requisitos de qualidade e energia que são parcialmente especificados como critérios obrigatórios e como critérios de adjudicação.

#### **4.4.1 Critérios relativos à energia**

##### **4.4.1.1 Eficiência da luminária**

Os seguintes requisitos especificam uma eficácia mínima para luminárias LED. A eficácia da luminária varia com a temperatura de cor da fonte de luz. Por essa razão, são propostos diferentes requisitos de eficácia para diferentes níveis de temperatura de cor. Em particular, as luminárias com uma temperatura de cor muito baixa (por exemplo,  $\leq 2000$  K) proporcionam uma eficácia comparativamente baixa. Os requisitos para a eficácia da luminária serão atualizados a cada ano com novos níveis a serem especificados durante o outono de 2018 para o ano de 2019.

#### **Requisito PremiumLightPro:**

Os seguintes requisitos de eficiência para luminárias são especificados para 2017 e 2018:

- 4000 K:  $\geq 120$  lm/W
- 2700–3000 K:  $\geq 105$  lm/W
- $\leq 2000$  K:  $\geq 80$  lm/W

As luminárias com CCT muito baixo (tipo âmbar) devem ser usadas apenas para áreas/aplicações sensíveis, portanto, a sua aplicação deve basear-se numa justificação adequada (áreas suburbanas, áreas com aspectos específicos da preservação da natureza).

Os critérios PremiumLightPro destinam-se apenas a iluminação LED, portanto, os níveis de eficácia das tecnologias tradicionais não são considerados.

#### Verificação

O proponente deve especificar e confirmar a eficácia dos componentes na documentação técnica do concurso. O fluxo luminoso e a energia devem ser declarados de acordo com os padrões apropriados.

#### 4.4.1.2 Indicador de consumo energético anual e indicador de densidade de potência

Os critérios de consumo de energia "Indicador de consumo energético anual" (AECI) e "Indicador de Densidade de Potência" (PDI) são os principais indicadores para a avaliação do consumo e eficiência de energia no nível do sistema de iluminação (para detalhes, ver pp. 15, capítulo 2).

O cálculo de AECI e PDI é baseado em dados de componentes de hardware e, portanto, a verificação de informações do produto é necessária para demonstrar a correção dos cálculos. AECI abrange aspectos como escurecimento, sobre iluminação ou saída de luz constante (CLO) (EN 13201-5: 2016) e, portanto, é o principal indicador preferencial em muitas situações.

Nesta primeira versão dos critérios PremiumLightPro, AECI e PDI são incluídos apenas como critérios de adjudicação. Assim, não são especificados requisitos mínimos.

Nos casos em que a entidade adquirente deseja especificar requisitos mínimos obrigatórios, uma possível abordagem é indicada abaixo.

#### Requisito PremiumLightPro:

PDI e AECI serão calculados pelo proponente conforme especificado na EN 13201-5: 2016 e explicado mais detalhadamente no capítulo 2 deste documento:

Indicador de Densidade de Potência (PDI)

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

Indicador Anual de Consumo de Energia (AECI)

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

$D_p$  (PDI): ndicador de Densidade de Potência

$D_E$  (AECI): Indicador Anual de Consumo de Energia

P: Potência (W)

$\bar{E}_i$ : Iluminância média horizontal mantida (lx)

A: área iluminada (m<sup>2</sup>)

PDI e AECI devem ser calculados pelo proponente de forma transparente e ser verificados por medições para um segmento rodoviário específico. AECI geralmente inclui opções de regulação de fluxo.

#### Verificação

O proponente deve calcular e fornecer os valores AECI e PDI de forma transparente (de acordo com a norma EN 13201-5: 2016). O proponente deve fornecer o arquivo fotométrico das luminárias e os parâmetros dos componentes necessários para cálculos AECI e PDI. Além disso, as especificações técnicas da fonte de luz devem ser fornecidas (as declarações devem basear-se em métodos de medição de última geração, incluindo normas europeias harmonizadas). Nos casos em que o brilho é aplicado, os pressupostos devem ser especificados de acordo com EN 13201-5: 2016 (ver capítulo 2 (pp13)) para uma discussão mais detalhada sobre os indicadores de desempenho energético).

#### Abordagem alternativa para compradores que pretendam especificar um requisito mínimo para a eficiência energética no nível do sistema

Embora o PremiumLightPro não inclua exigências mínimas obrigatórias de eficiência no nível do sistema de iluminação, é indicada uma possível abordagem que pode ser usada por compradores interessados em requisitos de nível de sistema. A abordagem é atualmente proposta e discutida pelo EU-GPP. Os requisitos mínimos propostos para PDI e AECI são calculados com base nos parâmetros iluminância, utilidade, eficácia da luminária, manutenção do sistema e factor de atenuação (EU-GPP Draft agosto de 2017 pelo CCI de Sevilha). Sugerimos usar uma abordagem ligeiramente simplificada que envolva a largura da estrada em vez da utilidade que é mostrada abaixo:

$$PDI < M / (\eta \times F_m \times 0.07 \times RW)$$

$$AECI < M \times PDI \times F_{dim} \times E_m \times T \times 1 \text{ kW}/1000 \text{ W}$$

Fm: Fator de manutenção do sistema de iluminação

RW: largura da estrada

Fdim: fator de atenuação

Em: Iluminação

T: Tempo (h)

$\eta$ : eficácia da luminária

M: Fator de montagem:

- $M = 1,3$  para sistemas de iluminação existentes onde as posições de pontos de luz e postes existentes não podem ser alteradas
- $M = 1,2$  para novos sistemas de iluminação

São utilizados dois fatores de montagem diferentes  $M=1,2$  ou  $1,3$ , dependendo se o sistema de iluminação completo é recém-instalado (a posição dos postes e luminárias podem ser selecionadas) ou se são usados postes já existentes.

#### 4.4.1.3 Factor de potência

A relevância do fator de potência para o desempenho global de energia dos sistemas de iluminação é explicada no Capítulo 2. O PremiumLightPro recomenda dois requisitos diferentes que cobrem o fator de potência em carga total e numa situação regulável com 50% da carga.

##### Requisito PremiumLightPro:

Fator de potência a plena carga:  $\cos \phi \geq 0.9$

Para sistemas reguláveis: fator de potência a 50% de carga:  $\cos \phi \geq 0.8$

##### Verificação

O proponente deve especificar e confirmar o fator de potência na documentação técnica do concurso. O fator de potência deve ser indicado de acordo com a legislação ecológica e normas relevantes.

### 4.4.2 Critérios de qualidade e design

#### 4.4.2.1 Cor da luz, restituição da cor e consistência da cor

##### Temperatura de cor (cor da luz)

Para a seleção da cor da luz (temperatura de cor), deve ser considerado o tipo de estrada, em especial, a área específica de aplicação. A cor de luz para a iluminação pública envolve temperaturas de cores diferentes para diferentes áreas de aplicação (geralmente entre 3000K e 4000K). A pesquisa mostrou que a luz branca ajuda a percepção do olho humano de forma mais eficaz do

que a luz amarelada. A luz branca aparece como sendo mais brilhante em comparação com o branco amarelado. Para mais detalhes sobre a temperatura da cor, consulte a Capítulo 2.

Devido a necessidades diferentes não se especifica um requisito padrão para a cor da luz, mas a seleção da temperatura de cor depende da área de aplicação e de preferências diferentes. O PremiumLightPro fornece apenas recomendações gerais.

##### Recomendação PremiumLightPro:

- A temperatura de cor recomendável para áreas domésticas e áreas para pedestres é de aproximadamente 3000K
- A temperatura de cor recomendável para estradas principais, autoestradas e áreas com tráfego misto é de aproximadamente 4000K

##### Restituição de cores

Além da temperatura de cor, a restituição de cores é bastante importante para a percepção de objetos e cores diferentes. No que diz respeito à restituição de cores, não podem ser definidos requisitos demasiado rigorosos, mas podem ser fornecidas recomendações.

##### Recomendação PremiumLightPro:

- A restituição de cor (CRI) deve ser melhor do que  $R_a 70$  ( $R_a \geq 70$ ) para autoestradas e estradas principais
- A restituição de cor deve ser melhor do que  $R_a 80$  ( $R_a \geq 80$ ) para estradas com situações complexas de utilizadores, incluindo tráfego misto, ciclistas e peões

##### Consistência e manutenção de cores

A consistência da cor especifica o desvio da cor da luz da cor da luz padrão (ponto específico no sistema de coordenadas de cores). A manutenção da consistência da cor descreve o desvio da cor ao longo do tempo. Ambos os desvios são especificados pelas chamadas elipses MacAdams (para mais detalhes, veja o capítulo 2).

##### Requisito PremiumLightPro

- A consistência de cor da fonte de luz ou luminária no momento em que o sistema é posto em funcionamento deve estar dentro da etapa 5 da elipse de MacAdams
- A consistência da cor da fonte de luz ou da luminária durante a vida útil da luminária deve estar dentro da etapa 6 da elipse de MacAdams

#### **Verificação:**

O proponente deve especificar e confirmar os parâmetros na documentação técnica do concurso. Os parâmetros devem ser declarados de acordo com as normas e legislação apropriadas.

#### **4.4.2.2 Luminância e iluminação**

Os níveis de luminância e iluminação devem ser especificados de acordo com as necessidades dos tipos de estradas específicos e devem obedecer aos requisitos especificados na norma EN 13201.

#### **Requisito PremiumLightPro**

- A luminância deve ser especificada de acordo com os requisitos da norma EN13201
- A luminância deve ser especificada de acordo com os requisitos da norma EN13201

#### **4.4.2.3 Poluição luminosa**

A poluição luminosa é definida como emissão de luz que não apoia uma tarefa de iluminação específica, mas ilumina áreas onde a iluminação não é desejável (por exemplo, céu noturno, casas, etc.). Conforme explicado no capítulo 2, a poluição luminosa deve ser evitada tanto quanto possível através de um projeto de iluminação apropriado. Iluminação indesejável do ambiente reduz a eficiência de iluminação e pode ter efeitos negativos tanto em seres humanos como nos animais.

O indicador mais importante para a poluição luminosa é a relação de saída de luz ascendente (ULOR), que é a quantidade de luz emitida acima do plano horizontal na posição da luminária.

#### **Requisito PremiumLightPro**

- O rácio da saída de luz ascendente da luminária deve ser de 0% para todas as classes de estrada e situações de iluminação em que nenhum outro valor é explicitamente desejável.

Desta forma, é evitada a iluminação desnecessária do céu e do meio ambiente. A tecnologia LED em geral permite uma distribuição de luz mais precisa e, portanto, uma redução da poluição luminosa. Os requisitos para ULOR, entre outros, encontram-se especificados no relatório técnico CIE 126: 1997.

Para as luminárias tradicionais HID, houve um compromisso entre as lentes tipo refrator e as lentes de vidro plano. Hoje, para os sistemas de iluminação LED, recomenda-se apenas unidades de vidro plano que permitam uma distribuição de luz mais precisa e eficiente. As

unidades de vidro plano geralmente têm menor saída de luz ascendente, melhor controlo de transgressão de luz para janelas residenciais e menor encandeamento de ângulo alto.

#### **Verificação**

O proponente deve fornecer o arquivo fotométrico que deve incluir informações sobre a relação de saída de luz ascendente.

#### **4.4.2.4 Proteção contra encandeamento**

O encandeamento é um parâmetro de qualidade importante para a iluminação rodoviária, pois afeta diretamente a segurança e o conforto. Para o encandeamento perturbador e o encandeamento de desconforto, está disponível uma classificação padrão de diferentes níveis de encandeamento (para as definições, veja o capítulo 2). Para ambos os parâmetros estão atualmente definidas 6 classes (G1-G6 para encandeamento perturbador, D1-D6 para encandeamento de desconforto).

#### **Requisito PremiumLightPro:**

- Para o encandeamento perturbador, recomenda-se a utilização de produtos com uma classe de proteção mínima de G4 ou superior. Em geral, devem ser usados os sistemas com uma proteção simples.
- No que diz respeito ao encandeamento de desconforto, recomenda-se a utilização de produtos com uma classe de reflexão de D6 para estradas locais e áreas residenciais. Para as ruas pedonais, recomenda-se uma classe de reflexão de D5.
- Níveis semelhantes de classe de encandeamento são recomendados por algumas diretivas nacionais e internacionais (por exemplo, diretivas dinamarquesas sobre iluminação rodoviária).

#### **Verificação**

A classe de produtos de encandeamento deve ser especificada pelo proponente.

#### **4.4.2.5 Proteção para luminárias**

##### **Proteção (IP)**

A qualidade da luz e a saída do lúmen são afetadas pela quantidade de sujidade e água que entram na luminária. Assim, a luminária deve ter proteção suficiente que é especificada pela chamada classificação IP (de acordo com CIE 154: 2003). O IP também é relevante para o fator de manutenção da luminária. O Regulamento de Ecodesign EC/245/2009 indicou o IP65 como referência para as classes rodoviárias ME1 a ME6 e MEW1 a MEW6. (IP65: sem possibilidade de entrada



de pó, proteção completa contra contato e projeção de água que cobre todas as condições meteorológicas típicas).

**Requisito PremiumLightPro:**

- Para proteção, IP 65 deve ser aplicado para todas as classes de estradas.

**Proteção (IK)**

Diferentes classes de classificação de impacto são tipicamente usadas para diferentes tipos e situações de estradas. Por exemplo, na Dinamarca, são aplicadas as classes de proteção de impacto entre IK06 e IK10 [VEJ].

**Requisito PremiumLightPro:**

- A luminária deve ter uma classe de proteção contra impactos superior a IK07.

**Verificação**

Todos os requisitos no nível da luminária devem ser confirmados com informações adequadas do produto e declarações relevantes de acordo com os regulamentos e normas da UE pelo proponente.

**Proteção Elétrica (IEC)**

A proteção elétrica garante um isolamento suficiente das peças em caso de falha.

**Requisito PremiumLightPro:**

- Todas as luminárias devem possuir proteção elétrica de Classe II.

Isto garante que existem duas camadas de isolamento que oferecem proteção contra partes ativas em caso de falha. A proteção de Classe II é bastante comum e recomendada para instalações de iluminação [p. Ex. WB e VEJ].

**Proteção contra sobretensão (IEC)**

A proteção contra sobretensão garante proteção contra danos de alta tensão.

**Requisito PremiumLightPro:**

- A instalação deve ter proteção contra sobretensão de 10kV

Isto garante que a lâmpada tem proteção contra todas as sobretensões transitórias, exceto as mais extremas. A proteção normalmente usada contra sobretensão é de > 4kV [SES]. O nível proposto é provisório.

**Verificação**

O nível de tensão e a proteção contra sobretensão devem ser declarados pelo proponente.

## **4.4.3 Marca de conformidade**

As marcas de conformidade garantem que os componentes do sistema de iluminação estão em conformidade com as normas essenciais para produtos elétricos. A marca CE é, de qualquer forma, obrigatória para qualquer produto vendido na UE e, portanto, não é explicitamente mencionado como um requisito especial.

**Requisito PremiumLightPro:**

Todos os componentes do sistema de iluminação devem ter as seguintes marcas de conformidade:

- ENEC (European Norm Electromechanical Certification)

**Verificação**

A declaração de conformidade para todos os componentes é fornecida pelo proponente.

### **4.4.3.1 Tempo de vida, garantia e reparação**

**Tempo de vida da luminária e do módulo LED**

A duração mínima da luminária é especificada como requisito LxBy (ver capítulo 2). Para PremiumLightPro é assumido que a vida útil é declarada como um valor L80B10.

**Requisito PremiumLightPro:**

- A luminária deve ter uma vida útil avaliada de pelo menos L80B10 = 100.000h.

O PremiumLightPro apresenta critérios apenas para tecnologia LED. Assim, os requisitos de vida útil adequados para, por exemplo, lâmpadas de descarga de alta pressão não são consideradas. As diretrizes da [topstreetlight.ch](http://topstreetlight.ch), por exemplo, recomendam uma vida útil da luminária LED de pelo menos 100.000 h. [SES]

**Verificação**

O proponente deve fornecer as especificações técnicas da luminária (que se baseiam em métodos de medição de última geração, incluindo, quando disponíveis, normas europeias harmonizadas).

### **Tempo de vida do driver**

Os drivers são tipicamente uma fonte de problemas e, portanto, afetam significativamente a necessidade de manutenção e reparação. Um driver de alta qualidade tem uma vida útil de 100.000 horas, enquanto produtos de baixa qualidade podem atingir apenas 30.000h ou menos.

### **Requisito PremiumLightPro:**

A taxa de falha do equipamento de controlo deve ser inferior a 0,1% por 1.000 horas, respetivamente, a falha após 100.000 horas deve ser inferior a 10%.

### **Verificação**

O proponente deve fornecer as especificações técnicas do equipamento de controlo (com base em métodos reconhecidos de medição de última geração, incluindo, quando disponível, normas europeias harmonizadas).

### **Garantia**

A garantia para o sistema de iluminação, respetivamente, para os componentes do sistema e a reparabilidade são características essenciais que suportam o tempo de vida esperado da instalação de iluminação. Uma longa vida útil pode justificar um maior investimento inicial para instalações de iluminação LED rodoviária de qualidade elevada mais eficientes.

A reparação e a manutenção devem ser possíveis sem equipamentos.

### **Requisito PremiumLightPro:**

O período da garantia e/ou do contrato de serviço deve cobrir um mínimo de dez anos e incluir:

- a** Substituição de fontes de luz com defeito (incluindo diminuição do lúmen abaixo dos níveis especificados), equipamento de controlo e/ou luminária, sem custo adicional.
- b** Substituição completa de lotes de luminárias caso existam mais de 10% de unidades defeituosas no lote.

A garantia deve excluir os seguintes casos:

- c** Luminárias defeituosas devido a vandalismo, acidentes, raios ou tempestades.
- d** Lâmpadas e luminárias em funcionamento em condições anormais (por exemplo, usadas com tensão de linha incorreta)

### **Reparação e disponibilidade de peças sobressalentes**

#### **Requisito PremiumLightPro:**

- A disponibilidade de peças sobressalentes deve ser garantida por um período de dez anos. No que diz respeito à possibilidade de reparação, a fonte de luz (módulo de lâmpada ou LED) e auxiliares devem ser facilmente acessíveis e substituíveis no local (isto é, na altura em que a luminária está montada). A reparação deve ser realizada com ferramentas padrão.

Certas comunidades solicitam uma disponibilidade ainda maior para peças sobressalentes, por exemplo, 15 anos.

Hoje existe uma tendência de integração total dos módulos LED nas luminárias, o que não permite a substituição dos módulos. No entanto, à luz das atuais estratégias e das estratégias de economia circular que suportam a longa vida útil do produto, a substituíbilidade dos módulos de LED deve ser obrigatória.

### **Verificação**

A garantia ou o contrato de serviço deve ser especificado no concurso, indicando as partes abrangidas pelos contratos de serviços e garantia. Uma lista de peças sobressalentes deve ser fornecida juntamente com um manual e diagrama da luminária que ilustra o acesso, desmontagem e montagem de peças.

## **4.4.4 Custo do Ciclo de Vida/TCO**

A potencial poupança dos novos sistemas de iluminação LED deve ser avaliada através de uma abordagem do custo do ciclo de vida. Embora os custos de compra possam ser maiores em comparação com os sistemas tradicionais de iluminação, os custos totais, incluindo operação e manutenção, geralmente são menores. A abordagem da avaliação do ciclo de vida ou de TCO pode permitir soluções mais "onerosas" em termos de investimento inicial, que são mais eficientes em termos de custos ao longo da vida dos sistemas.

### **Requisito PremiumLightPro:**

O proponente deve calcular o custo do ciclo de vida, mais especificamente, o TCO para a instalação de iluminação rodoviária usando o método especificado pelo contratante. Por exemplo, pode aplicar uma das seguintes abordagens:

- O método do valor presente como especificado pelo Relatório Técnico CIE 115: 2010, p. 24. [CIE]

- O método dos custos médios anuais conforme especificado pelo Relatório Técnico CIE 115: 2010, p. 24. [CIE]
- O método especificado pelo RequirementID:10677:1 da Agência Nacional Sueca de Contratos Públicos (Uphandlings myndigheten) [UM]

Os cálculos do TCO devem incluir parâmetros como o custo do trabalho, os custos da eletricidade, o preço de compra, o tempo de vida esperado das luminárias, os custos de manutenção (tempo de limpeza de uma luminária, tempo para reparar uma luminária em substituição local, frequência para limpeza de luminárias, etc.).

#### Verificação

Os proponentes devem fornecer um cálculo LCC / TCO com base num método de cálculo de custos tipicamente aceite, que deve ser especificado pelo contratante.

### 4.4.5 Questões contratuais

Alguns dos requisitos que devem ser considerados no concurso não são requisitos técnicos, mas pertencem às especificações contratuais.

A instalação correta do sistema de iluminação é um requisito básico que garante uma operação segura e eficiente. Portanto, os critérios de aquisição devem incluir requisitos de instalação e informações e documentação para manutenção.

#### 4.4.5.1 Correta instalação e calibração

Para garantir níveis de iluminação adequados e qualidade de iluminação de acordo com as normas relevantes, a correta instalação do sistema de iluminação é essencial. Os seguintes requisitos garantem que o sistema de iluminação instalado esteja em conformidade com as especificações e normas relevantes.

#### Instalação correta

##### Requisito PremiumLightPro:

O proponente deve

- certificar-se que todos os equipamentos de iluminação (incluindo lâmpadas, luminárias, controlos de iluminação e sistemas de medição) sejam instalados exatamente como especificado no projeto.
- fornecer documentação de todos os equipamentos de iluminação instalados, confirmando que o

equipamento está em conformidade com as especificações originais.

- realizar medições para um segmento rodoviário selecionado aleatoriamente que ateste a conformidade do sistema de iluminação com as especificações e normas relevantes. Entre outros, devem ser calculados o PDI e o AECI com base em medidas de uma semana de acordo com EN 13201 (cálculo com tolerância de +/- 10%).
- verificar os critérios de poluição luminosa por medida do ângulo de lança para um conjunto de luminárias selecionadas aleatoriamente (+/- 2 ° de tolerância max.).

#### Verificação

O proponente deve fornecer todos os documentos e resultados das medições.

#### Calibração

##### Requisito PremiumLightPro:

O proponente deve garantir que os controlos do sistema de iluminação funcionam corretamente e o consumo de energia não é superior ao especificado no projeto do sistema de iluminação. Em particular, deve verificar que os seguintes tipos de características de controlo estão calibrados e funcionam adequadamente:

- sistemas de controlo sensíveis à luz diurna
- controlo com base no trânsito
- temporizadores

#### Verificação

O contratado deve ajustar o sistema de acordo com os requisitos e especificações e fornecer a documentação relacionada. Além disso, o proponente deve fornecer todas as informações e documentação relevantes que são necessárias para a operação e manutenção dos recursos de controlo.

#### Informações e documentação sobre manutenção, substituição e recalibração

##### Requisito PremiumLightPro:

O operador do sistema de iluminação, através da documentação completa, deve estar equipado com todas as informações relevantes necessárias para uma operação e manutenção eficientes. O proponente deve fornecer as seguintes informações:

- Instruções de desmontagem para luminárias
- Instruções sobre a substituição de fontes de luz (tipos e procedimentos)
- Instruções sobre operação e recalibração dos controlos de iluminação e ajuste dos tempos de deslizamento

#### Verificação

O proponente fornece toda a documentação relevante, bem como instruções para o pessoal responsável.

#### 4.4.6 Redução de desperdícios e recuperação de materiais

A redução de resíduos e a recuperação de matérias-primas são essenciais para a maioria das instalações de iluminação rodoviária, já que a maioria dos sistemas recém-instalados substitui sistemas antigos. Devem, por isso, ser reunidas quantidades substanciais de resíduos e vários compostos que podem ser recuperados.

#### Requisito PremiumLightPro:

Durante a desmontagem e a nova instalação, todos os componentes relevantes devem ser separados e recuperados de acordo com a Diretiva REEE (Diretiva sobre Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos) da União Europeia. [WEE].

#### Verificação

O proponente deve declarar a forma como os resíduos serão separados e os materiais recuperados durante a desmontagem do sistema antigo e a instalação do novo sistema.

### 4.5 PremiumLightPro critérios de adjudicação – ponderação e resultado

#### 4.5.1 Introdução

Na secção anterior, foram especificados os critérios mínimos obrigatórios e os critérios de adjudicação. Para os critérios de adjudicação, também listados na Tabela 12, é aplicada uma pontuação que permite classificar as diferentes propostas. Para o cálculo do resultado final é necessária uma ponderação dos diferentes tipos de critérios. A secção seguinte apresenta uma proposta para as possíveis ponderações.

As Tabelas 12 e 13 mostram a ponderação proposta para os critérios de adjudicação. As duas abordagens mostram sugestões para projetos com e sem cálculo TCO.

Para projetos, com aplicação de uma abordagem TCO robusta que inclua os principais parâmetros relativos aos custos de investimento, operação e manutenção, apenas alguns parâmetros adicionais, incluindo

qualidade, design, garantia e fim de vida devem ser incluídos (ver tabela 12). O consumo e manutenção de energia já estão cobertos pelos custos de eletricidade e manutenção. Consequentemente, o peso do critério de TCO é comparativamente elevado.

Nos casos em que o TCO não é avaliado em energia, os custos de manutenção e os custos de investimento são avaliados separadamente.

A ponderação dos critérios tipicamente é adaptada às necessidades locais. Assim, a ponderação apresentada aqui é apenas para ser vista como uma opção possível.

**Tabela 12** Ponderação para os critérios de adjudicação em projetos que incluam informação TCO

Critérios de adjudicação		Ponderação [%]
Custos com base no custo total de propriedade (TCO)		50
TCO	Custos de investimento	15
	Custos de eletricidade	20
	Custos de manutenção	15
Critérios de qualidade e design		30
Qualidade da iluminação		20
Design		10
Garantia, Design para reciclagem		20
Garantia		10
Disponibilidade de partes sobressalentes, Design para reciclagem		10
Total		100

**Tabela 13** Ponderação para critérios de adjudicação para projetos que excluam informação de TCO

Critérios de adjudicação		Ponderação [%]
Critério de custo		25
Custo de investimento		25
Critério de Qualidade e design		35
Qualidade da iluminação e durabilidade		25
Design		10
Critério Energético		20

Critérios de adjudicação	Ponderação [%]
AECI ou PDI ou eficiência dos componentes (dependendo do tipo de projeto, deve ser usado o indicador mais apropriado; alguns tipos de projetos permitem apenas a utilização do PDI ou da eficiência dos componentes)	20
Critérios de funcionamento, manutenção, fim de vida	20
Facilidade de manutenção, reparação	10
Garantia, disponibilidade de peças sobressalentes	10
Total	100

## Bibliografia

---

- BAT – Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World (2016). C. Voigt, T. Kingston (Editors). Springer Open
- BFE – Energieeffiziente Straßenbeleuchtung mit LED (2016). Energie Schweiz, BFE
- BG – Beleuchtungstechnik Grundlagen (2016). Baer, Barfuß, Seifert. HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin
- CIE – CIE 115:2010 Technical Report “Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic”, Commission Internationale De L’Eclairage
- European Commission (2015a): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements (‘Lot 8/9/19’), Final report Task 3: Use of Light Sources
- European Commission (2015b): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements (‘Lot 8/9/19’), Final report Task 4: Technologies
- EN 13201-1:2014 – Street lighting. Guidelines on selection of lighting classes;
- EN 13201-2:2015 – Street lighting – Part 2: Performance requirements;
- EN 13201-3:2015 – Street lighting – Part 3: Calculation of performance;
- EN 13201-4:2015 – Street lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance;
- EN 13201-5:2015 – Street lighting – Part 5: Energy performance indicators;
- ENG – Engineering: Progress in Understanding Color Maintenance in Solid-State Lighting Systems (2015). Maryam Yazdan Mehra, Willem Dirk van Driela, G. Q. (Kouchi) Zhang, Volume 1, Issue 2, 2015, Pages 170–178
- GPP – Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Street Lighting and Traffic Signals (2016); Technical report and criteria proposal (1st draft)
- IIEC – International Institute for Energy Conservation (2015): Energy Efficiency Guidelines for Street Lighting in the Pacific; Bangkok
- LRT – An examination of the fundamentals of street lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 pp. 307–316
- LRT2 – A smart LED luminaire for energy savings in pedestrian street lighting (2015). E Juntunen, E Tetri, O Tapaninen, S Yrjänä, V Kondratyev, A Sitomaniemi, H Siirtola, EM Sarjanoja, J Aikio, V Heikkinen. Lighting Res. Technol. 2015; Vol. 47: 103–115
- PE – The design and implementation of an energy efficient street lighting monitoring and control system (2012). Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a
- RO – Lighting (2014). D.C. Pritchard. Routledge
- RL – Street lighting (2015): Fundamentals, Technology, and Application. Wout van Bommel, Springer
- SdN – Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft (2013). BfN-Skripten 336, Bundesamt für Naturschutz, M. Held, F. Hölker, B. Jessel (Editors)
- SEN – Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol (2016). F J Bellido-Outeiriño, F J Quiles-Latorre, C D Moreno-Moreno, PMC
- SES – Straßenbeleuchtung (2016). Effiziente Systeme – Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. topstreetlight.ch
- VEJ – Handbook Street Lighting – Construction and Planning (2015). Vejregler, Denmark
- WEEE – Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)
- ZHA – Zhaga Interface specification book 1 (2015): overview and common information, Edition 1.7
- ZHA5 – Zhaga Interface Specification Book 5 (2014): Socketable LED Light Engine with Separate Electronic Control Gear, Edition 1.2
- ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2016): Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit, Frankfurt am Main
- ZVEI2 – Überspannungsfestigkeit in Leuchten der Schutzklasse II für die Straßenbeleuchtung (2014). Informationspapier, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie
- ZVEI3 – Information zum Dimmen von LED-Lichtquellen (2014). ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2014



## Parceiros do PremiumLightPro:



### Austria

Austrian Energy Agency  
[www.energyagency.at](http://www.energyagency.at)



### Czech Republic

SEVEn, The Energy Efficiency Center  
[www.svn.cz](http://www.svn.cz)



### Denmark

Energy piano



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

### Portugal

Institute for Systems and Robotics,  
University of Coimbra



### United Kingdom

Energy Saving Trust  
[www.energysavingtrust.org.uk](http://www.energysavingtrust.org.uk)



### Germany

co2online gGmbH  
[www.co2online.de](http://www.co2online.de)



### Italy

Politecnico Milano  
[www.energia.polimi.it](http://www.energia.polimi.it)



### Spain

Ecoserveis  
[www.ecoserveis.net](http://www.ecoserveis.net)



### Poland

FEWE, Polish Foundation for Energy Efficiency, [www.fewe.pl](http://www.fewe.pl)

Publicado e produzido por: Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency  
Mariahilfer Straße 136, A-1150 Viena, Telefone +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 340  
E-mail: [office@energyagency.at](mailto:office@energyagency.at), Internet: <http://www.energyagency.at>  
Editor-Chefe: Peter Traupmann  
Produzido e publicado em Viena

Reimpressão permitida em partes e apenas com referência detalhada. Impresso em papel descolorido com cloro  
A Agência Austríaca da Energia compilou os conteúdos deste estudo com cuidado meticuloso e com o melhor de seu conhecimento. No entanto, não podemos assumir qualquer responsabilidade pelo up-to-dateness, completude ou precisão de qualquer um dos conteúdos.

Este guia foi finalizado em Setembro/2017