

# Iluminação pública a LED

## Um novo conceito

Junho de 2009

# Parte 1

## Sustentabilidade energética



## Introdução

---

A revolução tecnológica registada a partir do início da segunda metade do século passado conduziu a um aumento do consumo energético sem precedentes, com tendência para aumentar. Até quando e de que forma isso irá continuar a acontecer depende em muito do nosso comportamento como um todo a partir de agora, face à notória escassez de recursos e desequilíbrio de todos os nossos ecossistemas.

A nossa forte dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia (especialmente a energia eléctrica) está a contribuir e muito para o desequilíbrio desses ecossistemas. Este desequilíbrio resulta fundamentalmente da sua combustão e consequente emissão de gases nocivos para a atmosfera (em especial o CO<sub>2</sub>) em quantidades excessivas, contribuindo para o aumento do efeito de estufa. As consequências deste efeito são notórias e visíveis a cada dia que passa e tenderão a agravar-se se nada for feito para se inverter a situação actual.

**Missão:** Aumentar a eficiência energética dos nossos sistemas e reduzir a nossa dependência dos combustíveis fósseis. Apenas desta forma será possível alcançar a necessária sustentabilidade energética.

## Utilização eficiente de energia

---

A utilização eficiente de energia (ou simplesmente *eficiência energética*) consiste na utilização de uma menor quantidade de energia para se alcançar o mesmo objectivo. O nível de redução da quantidade de energia necessária define o patamar de eficiência. Assim, quanto maior for a redução efectuada, mais eficiente é o sistema.

### Sistemas de iluminação eficientes

Em iluminação a *eficiência energética* passa então pela utilização de uma menor quantidade de energia eléctrica sem comprometer qualitativa e quantitativamente os níveis de iluminação desejados. De uma forma simples, baseia-se na utilização de sistemas de iluminação eficientes.

Um sistema de iluminação envolve diversas componentes distintas. Para ser eficiente, todas essas componentes têm de ser equilibradamente eficientes. Isto aplica-se tanto à lâmpada, como ao sistema de alimentação e, globalmente, á própria luminária.

A tecnologia LED mais recente permite alcançar os níveis de eficácia global desejados, tipicamente a rondar os 60 lm/W.

### Utilização racional de energia em iluminação

A *eficiência energética* assenta igualmente na utilização racional da energia. Com efeito, não basta dispor de um sistema eficiente do ponto de vista energético, é necessário que este seja utilizado de forma eficiente! Este princípio aplica-se a todas as áreas em geral e, naturalmente, à iluminação em particular.

A utilização racional de energia em iluminação consiste na gestão adequada da energia utilizada para esse fim, de acordo com as necessidades. O recurso a sistemas de iluminação mais eficientes é condição necessária mas não suficiente para se atingir uma eficiência energética mais elevada.

A gestão adequada dos recursos disponíveis conduz portanto ao aumento da eficiência energética. Nesse sentido, alguns dos principais aspectos a ter em consideração num projecto de iluminação são:

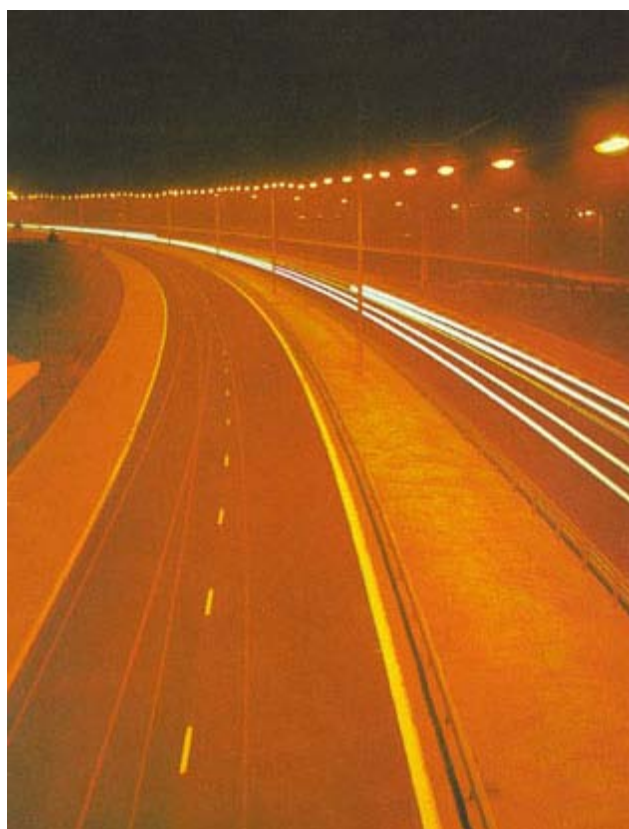
- Quantidade e qualidade da luz adaptadas às necessidades do espaço a iluminar.
- Cor da luz e temperatura de cor adaptadas ao tipo de objectos a iluminar.
- Distribuição fotométrica adequada, procurando sempre maximizar o conforto na utilização dos espaços a iluminar e reduzir a poluição luminosa.

A realização de estudos luminotécnicos de suporte, com vista ao projecto e desenvolvimento de luminárias e sistemas de luminárias adaptadas às necessidades (*Light Design*) é um factor chave neste contexto.

Adicionalmente, a utilização de sistemas de gestão inteligentes permite racionalizar de forma eficiente a utilização de energia em iluminação, actuando por exemplo ao nível da regulação de fluxo, de acordo com a luz ambiente e com a presença de pessoas e/ou veículos nos locais a iluminar.

## Parte 2

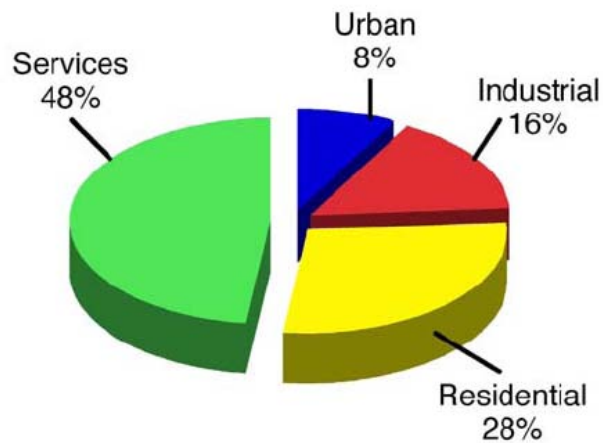
### Actual cenário em iluminação pública



## Dependência energética

A iluminação desempenha um papel central nas nossas vidas, sendo um dos principais responsáveis pelo aumento acentuado do consumo energético registado nas últimas décadas.

Anualmente são produzidos cerca de 14.000 TWH a nível mundial. Destes, entre 12 e 15% são consumidos em iluminação. A iluminação pública corresponde a cerca de 8% deste valor, conforme se pode verificar no gráfico seguinte.



Em Portugal o cenário não é diferente, apenas numa escala diferente, mais reduzida. O consumo energético no ano de 2005 rondou os 1,3 TWH (=1.300.000.000 KWH). Entre 1995 e 2005 a taxa de crescimento média anual foi de 5,7%.

## Tecnologia disponível

---

### Soluções existentes no mercado

As soluções habitualmente utilizadas no mercado da iluminação pública são as seguintes:

- Mercúrio (ex. HME)
- Sódio de baixa pressão (ex. SOX)
- Sódio de alta pressão (ex. SON)
- Iodetos metálicos (ex. MHD/CDM)

Embora ainda bastante disseminadas na actual infra-estrutura de iluminação pública, as soluções de mercúrio serão totalmente banidas do mercado da UE a curto prazo, já a partir de 2010. Estas terão que ser totalmente removidas das instalações já existentes e não poderão ser utilizadas em novas instalações. Este facto deve-se principalmente à sua baixa eficiência energética e elevada toxicidade.

A tecnologia mais utilizada actualmente é a de sódio de alta pressão (HPS – *High-Pressure Sodium*).

### Principais limitações

As principais limitações na iluminação pública actual centram-se nos seguintes pontos:

- Projecto de iluminação
- Tecnologia disponível
- Gestão da infra-estrutura

Muitos projectos de iluminação são antigos e encontram-se totalmente desajustados da realidade actual. Quanto aos mais recentes, é frequente encontrar-se projectos mal dimensionados.

Em relação à tecnologia utilizada, algumas são energeticamente ineficientes, apresentam componentes tóxicos na sua composição (ex. mercúrio e HPS) e apresentam um IRC (Índice de Restituição Cromático) muito reduzido (ex. HPS).

Em termos de gestão da infra-estrutura, na grande maioria dos casos, os níveis médios de tempo de vida útil são relativamente baixos e os níveis de mortalidade elevados.

### Principais consequências

As principais consequências das limitações acima mencionadas são de carácter:

- Ambiental
- Económico
- Social

O desperdício de recursos naturais essenciais e a emissão de elevadas quantidades de gases nocivos para a atmosfera (em especial CO<sub>2</sub>) têm consequências dramáticas em termos ambientais,

nomeadamente o aquecimento global, o efeito de estufa e o desequilíbrio generalizado dos nossos ecossistemas.

A utilização excessiva de energia face ao que é desejável e necessário tem igualmente consequências económicas, uma vez que obriga a despende recursos adicionais. Por outro lado, atendendo aos tempos de vida útil relativamente reduzidos das diferentes tecnologias utilizadas, agravam-se os custos operacionais relacionados com a substituição de lâmpadas e manutenção generalizada dos equipamentos.

Finalmente, a elevada poluição luminosa e o fraco IRC habitualmente registados contribuem para uma degradação da qualidade de vida das pessoas e para uma deficiente segurança rodoviária e percepção de segurança em geral. As imagens seguintes ilustram os níveis de poluição luminosa existentes na Europa e no mundo.



## Parte 3

### Tecnologia LED em iluminação pública



## Principais objectivos

---

A iluminação pública abrange diversas áreas, nomeadamente a iluminação rodoviária e de espaços públicos em geral, contribuindo de forma decisiva para o aumento da segurança. Desempenha igualmente um papel social, assegurando uma redução do crime em geral e fomentando a utilização nocturna dos espaços públicos nos centros das cidades e zonas turísticas, tanto para fins comerciais como sociais.

Existem portanto inúmeros aspectos a ter em consideração num projecto de iluminação pública. A segurança e percepção de segurança são factores chave para os peões. Para os condutores, a iluminação apresenta um enorme conjunto de benefícios, em especial ao nível da redução do número de acidentes rodoviários nocturnos, aumentando ainda o conforto visual e a capacidade de tráfego de uma determinada rodovia. Comparativamente com a grande maioria das tecnologias convencionais existentes actualmente no mercado, a mais recente evolução da tecnologia LED garante uma melhor qualidade de iluminação, o que corresponde a um enorme contributo nesse sentido.

Adicionalmente, ao assegurar uma maior eficiência e desempenho em termos energéticos, a tecnologia LED reduz directa e indirectamente o consumo e, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, um factor preponderante para se alcançar a necessária sustentabilidade energética, em consonância com o programa 20-20-20 até 2020 da UE (na sequência das propostas apresentadas pela Comissão Europeia em Janeiro de 2007, todos os Chefes de Estado e de Governo se comprometeram a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, a aumentar a quota-parte de energias renováveis e a aumentar a eficiência energética da UE em pelo menos 20% até 2020), permitindo igualmente uma maior poupança financeira.

A tecnologia LED está na linha da frente no combate à poluição ambiental (para além dos pontos já focados, é importante salientar o facto de a tecnologia LED não utilizar componentes tóxicos na sua composição, ao contrário do que acontece com algumas das tecnologias tradicionais usualmente utilizadas, como por exemplo o mercúrio e o sódio de alta pressão<sup>1</sup>) e ao desperdício de energia, contribuindo decisivamente para que as metas acordadas se concretizem. Estas são metas ambiciosas mas absolutamente necessárias para que no futuro possamos viver num mundo melhor, mais verde e sustentável.

---

<sup>1</sup> Uma lâmpada de mercúrio de 125W utiliza sensivelmente 19mg de mercúrio na sua composição. No caso das lâmpadas de sódio de alta pressão, embora inferior, essa quantidade é ainda significativa. Com efeito, uma lâmpada de 150W contém cerca de 16mg na sua composição.

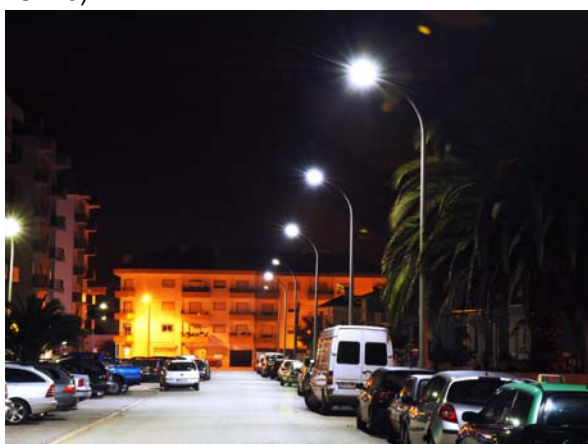
### Melhor qualidade de iluminação

A obtenção de uma melhor qualidade de iluminação recorrendo à tecnologia LED é conseguida fundamentalmente à custa de dois factores chave:

- Índice de Restituição Cromática (IRC) elevado
- Vasto leque de temperaturas de cor disponíveis

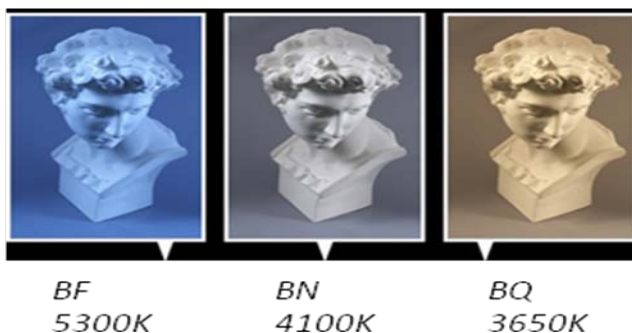
#### Índice de Restituição Cromática

Um elevado nível de IRC equivale a uma melhor percepção das cores reais dos objectos, o que se traduz em melhor qualidade de iluminação e, conseqüentemente, em maior segurança e percepção de segurança. As imagens seguintes ilustram claramente as diferenças existentes entre um cenário de iluminação pública rodoviária com base em tecnologia LED (IRC>75) e um outro mais tradicional, com base na tecnologia HPS (IRC<25).



#### Temperatura de cor

A existência de diferentes temperaturas de cor permite um maior conforto visual, em consonância com o ambiente envolvente. Isto traduz-se naturalmente em melhor qualidade de iluminação.



As cores mais frias (temperaturas de cor mais elevadas) são mais adequadas para a iluminação rodoviária. As cores mais quentes (temperaturas de cor mais reduzidas) são mais adequadas para a iluminação de centros históricos. No entanto, em termos práticos, qualquer uma das opções é válida em qualquer cenário, sem comprometer de forma alguma a qualidade de iluminação e a eficiência energética.

## Maior eficiência energética

A obtenção de uma elevada eficiência energética com base na tecnologia LED assenta principalmente nos seguintes pressupostos:

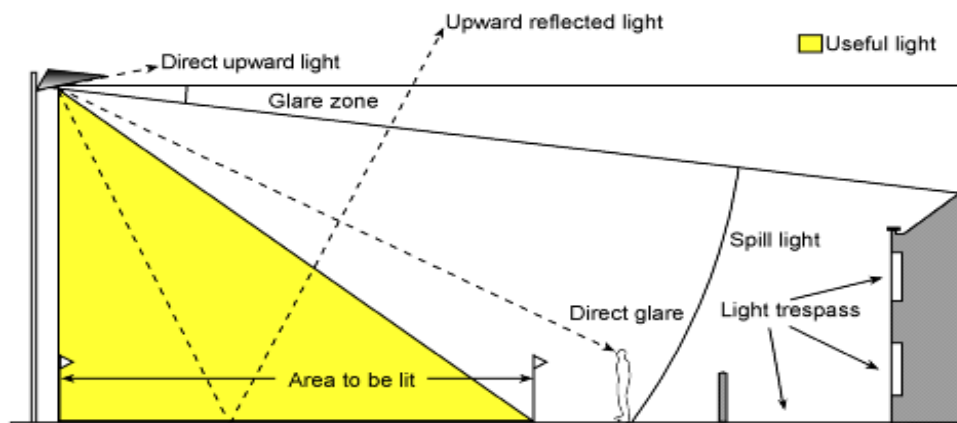
- Geometria óptica adequada
- Espectro luminoso otimizado
- Elevado desempenho ao longo do seu tempo de vida útil

### Geometria óptica adequada

A sua reduzida dimensão e o facto de apenas radiarem num dos hemisférios permite otimizar a geometria óptica de forma relativamente simples e extremamente eficaz, maximizando dessa forma o factor de utilização, ou seja, a capacidade de converter fluxo luminoso em iluminação útil no plano que se pretende iluminar (quantificado tipicamente em lux/lm). Este factor pode ser igualmente avaliado em termos de luminância ((cd/m<sup>2</sup>)/lm), tudo dependendo da aplicação em causa.

Este facto contribui decisivamente para a redução do consumo energético, uma vez que, comparativamente com as tecnologias convencionais habitualmente utilizadas, são necessários menos *lumens* para se atingirem os mesmos níveis de iluminação. Em termos concretos, a tecnologia LED apresenta tipicamente um factor de utilização cerca de 85 a 90% superior ao que é conseguido com o recurso à tecnologia HPS (sódio de alta pressão).

A figura seguinte ilustra as diferentes zonas de incidência (assinalado a amarelo está a área que se pretende iluminar, ou seja, a iluminação útil).



Light pollution is often caused by the way light is emitted from lighting equipment. Choosing proper equipment and carefully mounting and aiming it can make a significant difference.

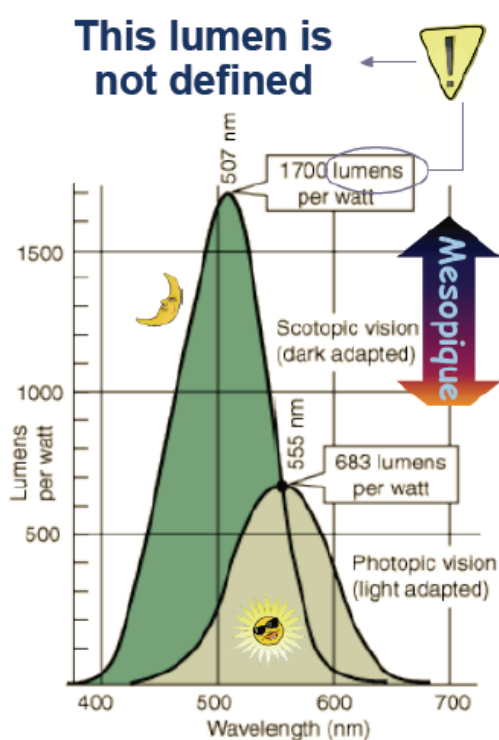
Como consequência da obtenção de um factor de utilização elevado, os níveis de encandeamto são por norma extremamente reduzidos, uma questão central em termos de segurança rodoviária. O mesmo acontece com os níveis de poluição luminosa, o que se traduz directamente em melhor qualidade de vida.

### Espectro luminoso otimizado

Na sua generalidade, atendendo aos níveis de luminância habitualmente utilizados, a iluminação pública coloca-nos na região de visão mesópica.

As propriedades de todas as fontes de luz são actualmente quantificadas com base na resposta fotópica do olho humano. Em condições mesópicas, esta quantificação está totalmente desajustada dos valores de desempenho reais.

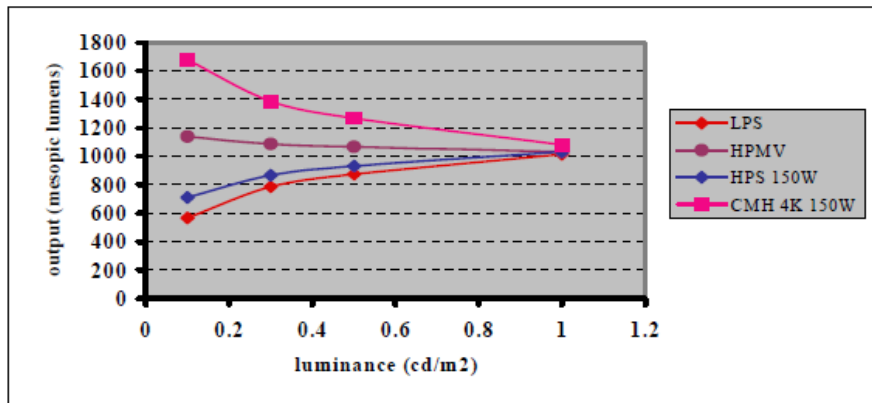
Uma das grandes vantagens na utilização da tecnologia LED prende-se com o facto de a sua resposta espectral estar sintonizada com a sensibilidade do olho humano na região mesópica, o que potencia de forma clara e significativa o seu desempenho.



A figura anterior ilustra de forma simples as curvas de sensibilidade do olho humano nas regiões limite: escotópica e fotópica. A região mesópica localiza-se entre as duas. A sensibilidade nesta região depende dos níveis de luminância existentes. Enquanto que para níveis de luminância mais baixos esta se aproxima da região escotópica, para níveis de luminância mais elevados aproxima-se da região fotópica.

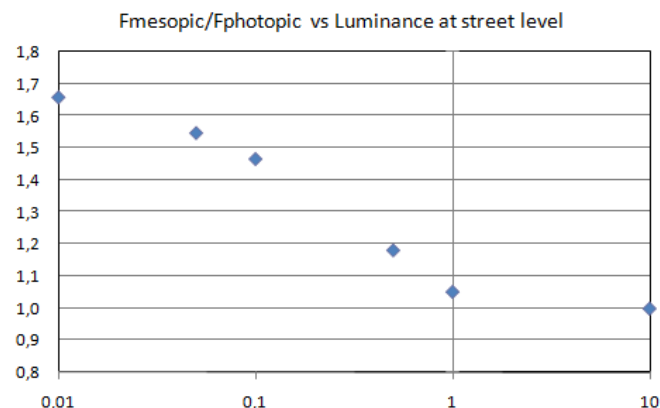
Os níveis de luminância em questão são aproximadamente os seguintes;

- Modo fotópico –  $L \geq 3,4 \text{ cd/m}^2$
- Modo Mesópico –  $0,01 < L < 3,4 \text{ cd/m}^2$
- Modo Escotópico –  $L \leq 0,01 \text{ cd/m}^2$



A figura anterior ilustra os diferentes níveis de fluxo luminoso na região mesópica (*lumens mesópicos*) em função da luminância (medição fotópica). Conforme se pode verificar, para as tecnologias com fortes componentes espectrais nos comprimentos de onda mais baixos (região dos azuis), o nível do fluxo luminoso aumenta consideravelmente. O oposto acontece para as tecnologias com componentes espectrais mais fortes nos comprimentos de onda mais elevados (região dos amarelos/vermelhos), como é o caso das lâmpadas de sódio de alta pressão muito utilizadas. Na prática, para níveis de luminância mais baixos, a sensibilidade do olho humano favorece as lâmpadas que emitem uma cor mais fria (azulada). Uma lâmpada de iodetos metálicos de 150W e temperatura de cor de 4000°K, num cenário de apenas 0,5 cd/m<sup>2</sup> tem cerca de 25% mais fluxo do que o valor original para apenas 1 cd/m<sup>2</sup> (já mais próximo da região fotópica). Por outro lado, para as mesmas condições, uma lâmpada de sódio de alta pressão, apresenta cerca de 8% menos fluxo luminoso. Isto traduz-se então num diferencial entre as duas tecnologias a rondar os 36%, tendo por base a lâmpada HPS.

Pelo facto de apresentar um espectro optimizado para a região mesópica, a tecnologia LED apresenta o mesmo tipo de comportamento que as lâmpadas de iodetos metálicos, o que se traduz na prática num aumento significativo de desempenho nesta região. A figura seguinte ilustra este facto.



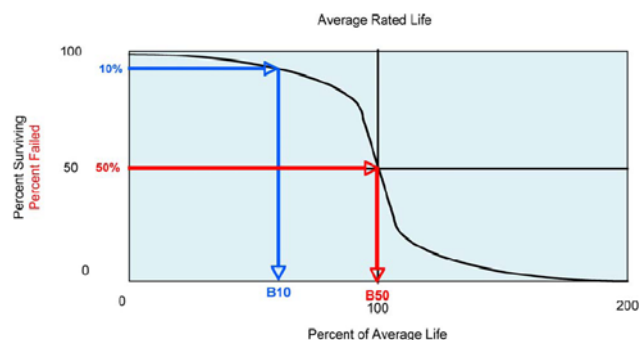
Neste caso concreto, considerando o mesmo valor de referência de luminância (0,5 cd/m<sup>2</sup>), a solução LED considerada neste estudo apresenta um acréscimo de fluxo luminoso a rondar os 20%. Uma vez mais, considerando a redução de cerca de 8% para as lâmpadas HPS, o diferencial cifra-se nos 30%.

## Elevado desempenho ao longo do seu tempo de vida útil

A depreciação dos sistemas de iluminação ao longo do seu tempo de vida útil é um dos factores mais importantes a ter em consideração em qualquer projecto luminotécnico e que tem um enorme impacto no consumo energético. O factor de manutenção (MF – *Maintenance Factor*) qualifica e quantifica essa depreciação, incidindo directamente sobre o nível de iluminação no plano, tipicamente a iluminância.

Este factor leva em conta os seguintes aspectos:

- A depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas utilizadas (LLMF – *Lamp Lumen Maintenance Factor*). Esta depreciação está fortemente condicionada pela temperatura de funcionamento da lâmpada no interior da luminária e as condições de funcionamento em termos eléctricos. Quanto maior for a temperatura de funcionamento e as flutuações da tensão de alimentação das lâmpada, provocadas por perturbações existentes na rede eléctrica, maior a depreciação e, conseqüentemente, menor o factor.
- A taxa de sobrevivência das lâmpadas utilizadas (LSF – *Lamp Survival Factor*). As lâmpadas tradicionais apresentam sempre uma taxa de mortalidade (quando acontece uma falha catastrófica, com a lâmpada a desligar-se por completo), sendo o tempo de vida útil da lâmpada medido em função dessa taxa de mortalidade (especificado tipicamente no patamar dos 50%). Paralelamente, considera-se ainda a depreciação do valor médio de fluxo luminoso de toda a instalação, reflexo dessa taxa de mortalidade. Em termos concretos, quanto maior for a taxa de mortalidade, maior a depreciação desse valor médio e, conseqüentemente, menor o LSF. Em iluminação pública, atendendo à distribuição regular de luminárias, a falha de uma das lâmpadas provoca o aparecimento de uma região escura (sem iluminação), o que corresponde directamente a uma redução do nível médio de fluxo luminoso e, conseqüentemente, do nível de iluminação no plano. Mais grave do que isso, prejudica e pode comprometer gravemente os níveis de uniformidade exigidos pelas normas, em especial a norma europeia que regulamenta os níveis de iluminação a utilizar (EN13201-2). A figura seguinte ilustra a expressão normalizada utilizada pela indústria para quantificar as taxas de mortalidade dos equipamentos de iluminação.



- A depreciação das luminárias (LMF – *Luminaire Maintenance Factor*). Este factor é fortemente condicionado pelas condições de manutenção das luminárias, principalmente ao nível do sistema óptico. Neste sistema incluem-se os reflectores e as protecções ópticas, por onde a luz é emitida. Todas as lâmpadas tradicionais emitem quantidades bastante elevadas de radiação UV e IR, as quais (em especial a UV) contribuem fortemente para a degradação desses componentes (para além da que é da responsabilidade directa da radiação presente na luz solar). Quanto maior essa degradação, menor o factor LMF. Por outro lado, a radiação emitida atrai geralmente insectos, o que contribui igualmente para a degradação do LMF. A isto podemos ainda juntar a sujidade que se acumula naturalmente nas protecções, na prática com os mesmos resultados finais.

Em condições normais de funcionamento, a tecnologia LED apresenta tipicamente níveis de depreciação de fluxo luminoso bastante reduzidos, na ordem de 1 a 2% para os sistemas de elevado desempenho. A tecnologia HPS tem tipicamente depreciações de 20 a 30%.

Quanto à taxa de sobrevivência, não é aplicável no caso da tecnologia LED. Com efeito, uma vez que esta tecnologia não apresenta um final de vida catastrófico (ou seja, os LEDs não se apagam por completo), foi necessário encontrar uma nova forma de quantificar o seu tempo de vida útil. A ASSIST (*Alliance for Solid-State Illumination Systems Technologies*) determinou que 70% é o limiar a partir do qual é possível ao olho humano detectar uma redução de fluxo luminoso (está relacionado com a integração logarítmica do nosso olho, menos sensível a variações nos níveis de fluxo mais elevados). Assim, ficou especificado que uma redução efectiva de 30% do fluxo luminoso em relação ao valor inicial define o fim do tempo de vida útil de um LED. Dito de outra forma, quando se diz que um LED atingiu o fim de vida às 60.000H estamos na prática a dizer que ainda tem pelo menos 70% do fluxo inicial. Actualmente trabalha-se com níveis de B10/L70, o que corresponde a uma redução efectiva de fluxo luminoso de 30% mas apenas em 10% dos LEDs. É importante salientar que este nível de depreciação apenas se verifica para situações extremas, tipicamente caracterizadas em termos de corrente e temperatura na junção do LED. Tratando-se de sistemas de elevado desempenho, as condições limite nunca serão atingidas (assumindo condições normais de funcionamento, para as quais o sistema foi especificado), razão pela qual os níveis de depreciação serão consideravelmente mais baixos.

Em termos de depreciação da luminária (LMF), ao não ser utilizado qualquer tipo de reflector, o nível de degradação no caso da tecnologia LED é sempre inferior. Por outro lado, uma vez que não emitem radiação UV nem IR, não danificam as protecções (apenas a luz solar poderá contribuir para isso, mas também aqui o efeito será minimizado atendendo ao facto de serem utilizados materiais com tratamento anti-UV) nem atraem insectos. Para o caso da sujidade recorre-se a tratamento anti-estático, minimizando dessa forma o seu efeito. As condições climatéricas (chuva) e as operações de manutenção que poderão ser efectuadas ocasionalmente, com vista à limpeza das luminárias, eliminam praticamente por completo este problema.

Em suma, o factor de manutenção é tipicamente muito mais elevado nos sistemas LED, rondando os 75 a 80%. Pelo contrário, no caso da tecnologia HPS o factor de manutenção ronda habitualmente os 45% (ou ainda menos, podendo chegar aos 33% em casos mais extremos). Face a esta disparidade de valores, podemos concluir que a tecnologia LED é muito mais estável ao longo do seu tempo de vida útil do que a tecnologia HPS. Dito de outra forma, a utilização da tecnologia HPS obriga a sobredimensionar bastante todo o projecto de iluminação, de forma a compensar a acentuada degradação registada e a permitir que sejam cumpridos os níveis especificados pelas normas, o que se traduz em consumo energético desnecessário (não representa iluminação útil de acordo com os níveis especificados). Considerando um MF de 45%, a quantidade de energia necessária desde o primeiro instante para que se possa assegurar esse factor de manutenção terá que ser mais do dobro, ou seja, necessitamos de despende continuamente de mais do dobro da energia para conseguir cumprir com os níveis especificados pela norma. Noutra perspectiva, isso significa que são inicialmente considerados níveis de iluminação muito superiores aos necessários. Para além do enorme desperdício de energia que isso representa, apenas contribui para aumentar o desconforto na utilização dos espaços públicos iluminados desta forma, uma vez que se irão registar variações acentuadas nos níveis de iluminação (o que equivale a uma deficiente qualidade de iluminação).

## **Parte 4**

### **Comentários finais**

## Comentários finais

---

Os mais recentes avanços da tecnologia LED vieram cimentar em definitivo a sua utilização em iluminação de espaços públicos (onde se destaca a iluminação rodoviária), como resposta às limitações impostas pela maior parte das tecnologias tradicionais (em especial a HPS). A tecnologia LED assegura uma redução significativa do consumo energético, uma elevada eficiência energética e qualidade de iluminação de nível superior, sem precedentes. A redução da emissão de CO<sub>2</sub> para atmosfera e a poupança financeira são um reflexo disso mesmo.

### Redução do consumo energético

A redução directa do consumo energético é possível devido ao facto de muitos projectos de iluminação serem antigos e estarem totalmente desajustados da realidade actual, empregando mais energia do que a necessária. Em relação aos projectos mais recentes, muitas vezes mal dimensionados de raiz, o mesmo sucede com frequência.

### Eficiência energética

A obtenção de uma elevada eficiência contribui igualmente para a redução do consumo energético, uma vez que é necessário recorrer a uma menor quantidade de energia para se atingirem os mesmos objectivos. Isso é conseguido à custa de um sistema de iluminação eficiente, centrado num módulo óptico inovador e de elevado desempenho. Em termos concretos, isto traduz-se numa geometria óptica e na emissão de um espectro luminoso optimizados e adaptados às necessidades, assim como num elevado desempenho global ao longo do seu tempo de vida útil.

Com base nesta geometria óptica, fica assegurada a obtenção de um factor de utilização (capacidade de converter a luz que é emitida em iluminação no plano, quantificado como lux/lm) mais elevado, tipicamente entre 85 e 90% do que é possível obter com a tecnologia de sódio de alta pressão (HPS). Dito de outra forma, para o mesmo nível de iluminação no plano, apenas será necessária cerca de metade do fluxo luminoso. O factor de manutenção (factor que qualifica e quantifica a depreciação do sistema de iluminação ao longo do seu tempo de vida útil), mais elevado nos sistemas LED, contribui decisivamente para este nível de eficiência.

A emissão de um espectro luminoso adaptado à curva de sensibilidade do olho humano nas condições tipicamente encontradas em iluminação pública (condições mesópicas), optimiza a utilização desse mesmo espectro e maximiza o desempenho do sistema de iluminação. Em termos práticos, considerando as mesmas condições de iluminação no plano e para um determinado nível de luminância, um sistema LED apresenta sempre um nível de fluxo luminoso mais elevado do que o previsto inicialmente, uma vez que as medições são realizadas em condições fotópicas, logo totalmente desajustadas da realidade. A título de exemplo, para uma luminância média de 0,5 cd/m<sup>2</sup>, o fluxo luminoso é cerca de 20% superior ao valor fotópico de referência. No caso das lâmpadas HPS sucede exactamente o oposto, ou seja, o fluxo luminoso é sempre inferior, neste caso concreto cerca de 8%. Dito de outra forma, um sistema LED tem sempre mais fluxo luminoso do que o medido (este facto é

perfeitamente perceptível no terreno, em condições reais) e o contrário acontece com o sistema HPS. Este é mais um contributo importante para o aumento da eficiência energética associado à tecnologia LED e que ajuda em parte a explicar o facto de na prática não ser necessário trabalharmos com níveis de iluminação no plano tão elevados quanto o que seria inicialmente expectável, recorrendo às tecnologias tradicionais, em especial a HPS.

A tecnologia LED contribui significativamente para que as luminárias apresentem um elevado desempenho global ao longo do seu tempo de vida útil, o que equivale a uma maior eficiência energética e, conseqüentemente, redução do consumo energético. Este desempenho é caracterizado pelo factor de manutenção. Quanto maior o desempenho, maior o factor de manutenção e menor a depreciação do sistema. A depreciação do sistema pode ser analisada de duas formas distintas: ao nível do fluxo luminoso e do diagrama de radiação. A degradação do fluxo luminoso contribui de forma directa para uma redução efectiva dos níveis de iluminação no plano (ex. iluminância). Com efeito, se existe uma menor quantidade de luz a ser emitida pela luminária, quer seja por uma redução do fluxo luminoso da lâmpada e/ou por um aumento das perdas na sua estrutura (por degradação dos materiais utilizados, em especial do sistema óptico), terá necessariamente que existir uma menor quantidade de luz no plano, logo uma menor iluminância. Quanto à degradação do diagrama de radiação (curva fotométrica) tem igualmente um efeito directo sobre os níveis de iluminação no plano. Esta degradação é provocada pela alteração da geometria do sistema óptico (não implica necessariamente a degradação do fluxo luminoso). Na prática significa que a luz passa a ser dirigida para o plano de forma deficiente. Quanto maior a degradação, maiores as perdas, logo mais ineficiente será a iluminação. Isto terá efeitos dramáticos na qualidade de iluminação, uma vez que será mais difícil cumprir com as especificações das normas vigentes (ex. ao nível da uniformidade global e longitudinal).

A tecnologia LED apresenta factores de manutenção elevados, a rondar os 75 a 80%. Quanto às tecnologias tradicionais, em especial a HPS, apresentam factores de manutenção geralmente inferiores a 45%. A diferença em termos de desempenho global é então bastante acentuada e isso reflecte-se directamente na eficiência e consumo energéticos. Na prática, todos os projectos de iluminação levam necessariamente em consideração o factor de manutenção, o que implica sobredimensionar as especificações como forma de compensar a degradação que irá seguramente registar-se ao longo do tempo de vida útil das luminárias. No caso da tecnologia HPS, atendendo ao reduzido factor de manutenção esse sobredimensionamento será acentuado (considerando um MF de 45%, o nível de potência necessário para cumprir as especificações da norma será mais do dobro). Este facto tem conseqüências dramáticas tanto para a eficiência energética, atendendo ao acréscimo de energia utilizado, como para a qualidade de iluminação, uma vez que a variação de fluxo será bastante acentuada a notória ao longo desse período (no início teremos mais luz do que a necessária e apenas no final estaremos finalmente próximos dos níveis necessários a adequados).

Esta é outra das razões que ajudam a explicar na prática o facto de num projecto de iluminação baseado em tecnologia LED os níveis iniciais definidos serem sempre inferiores aos níveis apresentados

para as tecnologias tradicionais, considerando exactamente as mesmas condições. Seria perfeitamente possível e viável (mesmo em termos económicos) atingir os mesmos níveis de iluminação que essas tecnologias. Com efeito, uma vez que a tecnologia LED apresenta sempre um factor de utilização muito superior, a quantidade de energia necessária para que isso se verifique é sempre bastante inferior, pelo que a redução do consumo energético continuaria a ser elevada. A questão é que isso não faz sentido, uma vez que a depreciação ao longo do tempo de vida útil da lâmpada é sempre inferior, logo os níveis de iluminação necessários são sempre inferiores e, naturalmente, apenas se justifica despende da quantidade de energia estritamente necessária. Na prática, caso se partisse de um nível de iluminação inicial superior, estaríamos sempre posicionados acima das especificações, logo, desajustados das reais necessidades do projecto.

### **Melhor qualidade de iluminação**

Uma melhor qualidade de iluminação contribui decisivamente para o aumento da segurança rodoviária (e percepção de segurança) e para uma maior conforto de utilização das vias públicas. A tecnologia LED assegura uma qualidade de iluminação de nível superior, assente fundamentalmente num Índice de Restituição Cromático (IRC) elevado ( $Ra > 75$ ). Um nível de IRC elevado permite uma melhor percepção das cores reais dos objectos e, conseqüentemente, uma maior segurança rodoviária. Este facto resulta habitualmente numa redução efectiva da quantidade de luz necessária para se iluminar o espaço pretendido, o que se traduz igualmente numa redução do consumo energético. Esta é uma das razões pela qual os projectos de iluminação baseados nas tecnologias tradicionais, em especial a HPS, recorrem a um aumento efectivo da potência luminosa. Com efeito, atendendo ao reduzido valor de IRC que esta tecnologia apresenta ( $IRC < 25$ ), esse aumento é absolutamente necessário como forma de compensar a fraca qualidade de iluminação, o que se traduz num maior desconforto e dificuldade em distinguir os objectos que nos rodeiam, aumentando dessa forma a sensação de insegurança.

Como conclusão, a tecnologia LED apresenta excelentes qualidades e argumentos com vista à sua utilização em iluminação de espaços públicos, em especial a rodoviária, podendo contribuir de forma decisiva para um mundo seguramente mais seguro, confortável e sustentável.

## **Parte 5**

### **Referências bibliográficas**

## Referências bibliográficas

---

[1] – “Standardizing mesopic vision conditions and incidence on light sources science and technology”, Georges Zisis, lead author, Stuart Mucklejohn, co-author, 2006

[2] – “Performance based model for mesopic photometry”, Mesopic Optimization of Visual Efficiency (MOVE), Helsinki University of Technology (Lighting Laboratory), 2005

[3] – “Visual performance in the mesopic range”, CIE TC 1-58

[4] – “Procedure for continue urban lighting management evaluation”, Manzano E.R., Sna Martin R.

[5] – “Understanding power LED lifetime analysis”, Philips Lumileds