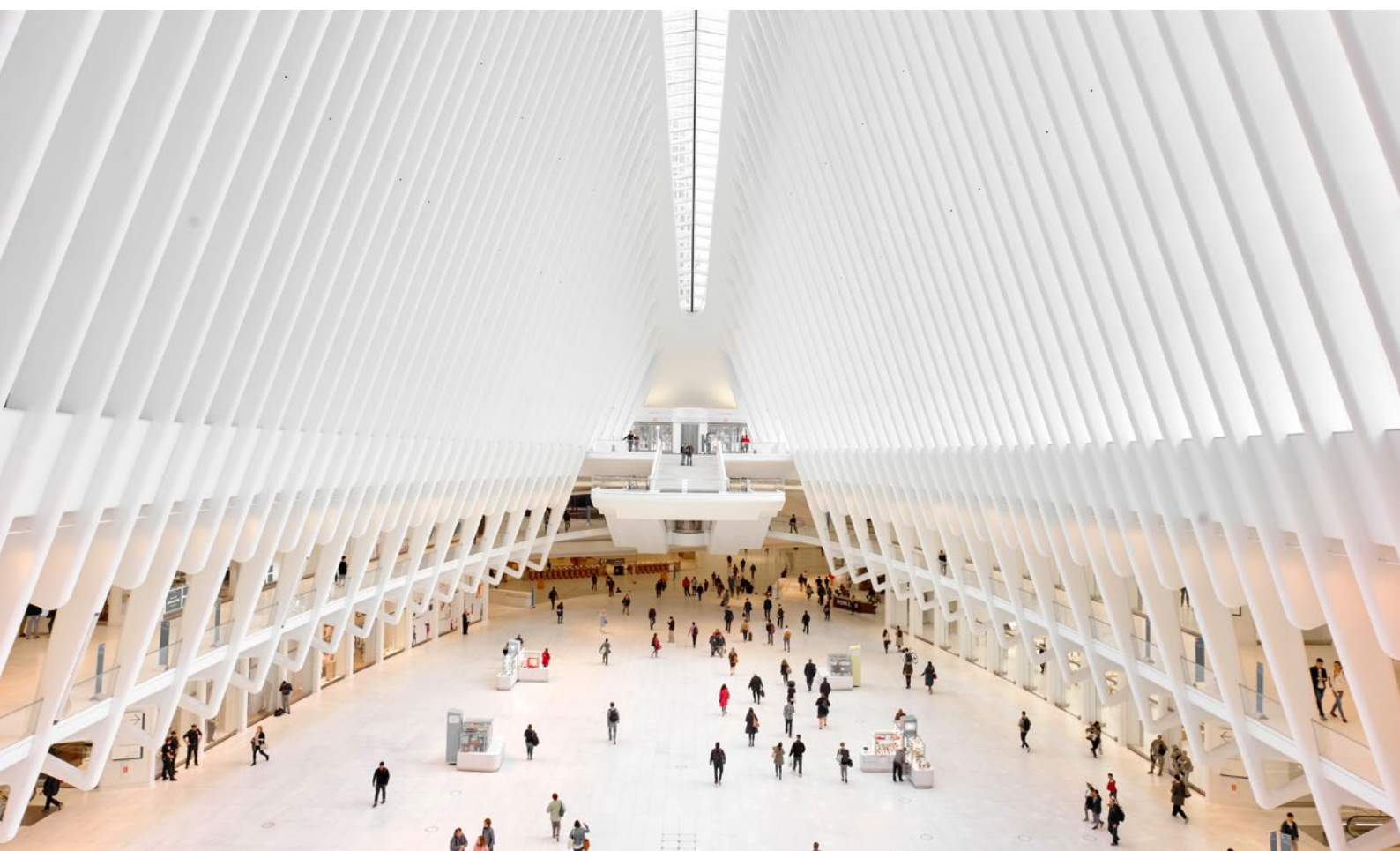


Iluminação LED para interiores

Iluminação interior no
setor público e privado

Guia de orientação



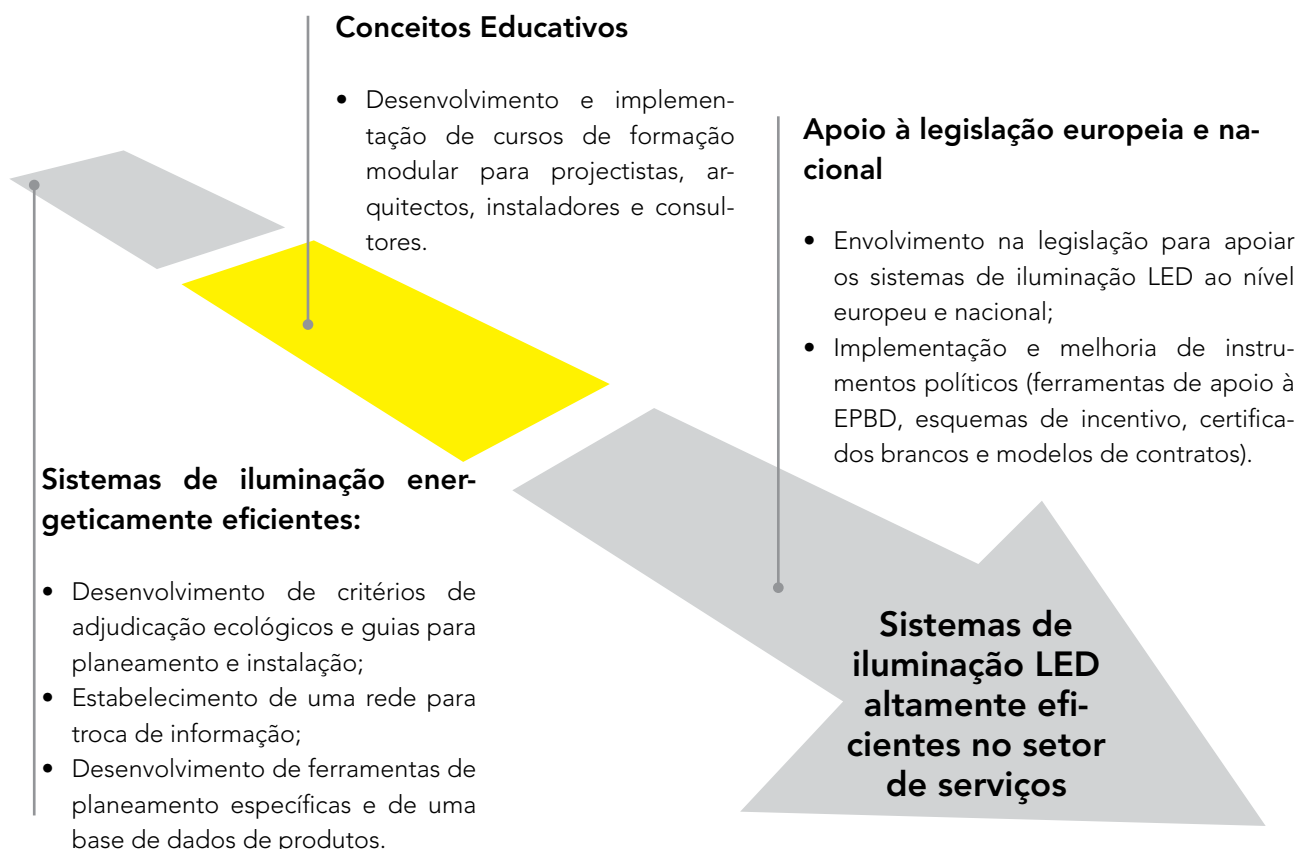
Sobre o Projeto PremiumLightPro

O PremiumLightPro (2016-19) é um projeto europeu, no âmbito do programa H2020, relativo à implementação de sistemas de iluminação LED (interior e exterior) energeticamente eficientes no setor público e privado, através do desenvolvimento de instrumentos políticos concebidos em cooperação com os principais intervenientes do mercado da oferta e da procura e que inclui:

- Desenvolvimento de critérios para aquisição de equipamento;
- Desenvolvimento de guias para iluminação interior e exterior;
- Coleção de casos de Boas Práticas;
- Constituição de uma plataforma informativa;
- Desenvolvimento de ferramentas de planeamento específicas e uma base de dados de produtos;
- Realização de cursos de formação modular para arquitetos, instaladores, consultores, etc.

O PremiumLightPro também apoiará o atual desenvolvimento da regulamentação da EU (ecodesign, rotulagem e EPBD), bem como instrumentos políticos de legislação nacional, como por ex.: as ferramentas de apoio à EPBD, esquemas de incentivo, certificados brancos e modelos de contratos. Para mais informações, visite: www.premiumlightpro.eu.

Serviços do PremiumLightPro



No geral, existe um elevado potencial para poupanças energéticas através da implementação de políticas adequadas facilitando a penetração no mercado de sistemas de iluminação LED altamente eficientes.

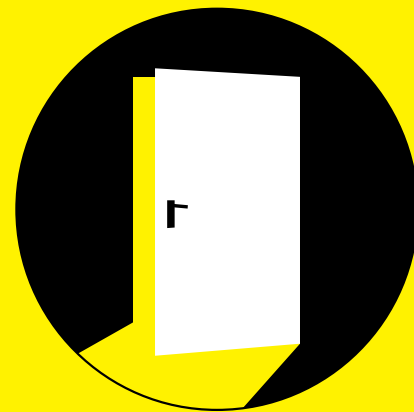
A responsabilidade exclusiva do conteúdo deste documento recai nos autores, não refletindo necessariamente a opinião da União Europeia. Nem a EASME nem a Comissão Europeia são responsáveis pela utilização da informação aqui contida.

Conteúdos

Sobre o PremiumLightPro	2	4.10 Iluminação centrada em humanos	26
Conteúdos	3		
Acrónimos e Abreviaturas	4	5. Critérios para aquisição de equipamentos	28
1. Introdução	5	5.1 Potência e consumo de energia para novos sistemas de iluminação	28
1.1 Os benefícios da iluminação LED	5	5.2 Fontes de Luz	29
1.2 Necessidade de um guia	5	5.3 Consumo energético em Standby	29
1.3 Como usar o guia	6	5.4 Controlo de iluminação	30
2. Projeto de iluminação	7	5.5 Temperatura da cor, tolerância e manutenção	30
2.1 Introdução	7	5.6 Restituição da cor	30
2.2 Desempenho visual do olho	7	5.7 Tempo de vida efetivo	31
2.3 Luz natural	8	5.8 Temperatura ambiente e tipo de driver	31
2.4 Diferentes tipos de iluminação	9	5.9 Fator de potência e distorção harmónica	31
2.5 Iluminância para locais de trabalho no interior e aplicações	9	5.10 Tremulação (flicker)	32
2.6 Uniformidade da iluminação	10	5.11 Encandeamento e segurança fotobiológica	32
2.7 Contraste da luminância	11	5.12 Compatibilidade e funcionamento da regulação	32
2.8 Encandeamento e segurança fotobiológica	11	5.13 Manutenção	33
2.9 Temperatura da cor e Tolerância	12	5.14 Custo do ciclo de vida	33
2.10 Restituição cromática	12	5.15 Experiência e obrigações do contratado	33
2.11 Tempo de vida	13	5.16 Prequalificação	34
2.12 Temperatura ambiente	13	5.17 Avaliação das propostas	34
2.13 Manutenção	14	6. Boas práticas	36
2.14 Segurança	14	6.1 Edifícios de escritórios	37
3. Eficiência energética e custo do ciclo de vida	16	6.2 Escolas	41
3.1 Sistema de iluminação	16	6.3 Museus e exposições	44
3.2 Retrofit de lâmpadas T8	17	6.4 Lojas de comércio	46
3.3 Seleção das luminárias LED	17	6.5 Setor da saúde	49
3.5 Custo do ciclo de vida e período de retorno	18	Terminologia utilizada	53
4. Controlo da iluminação	20	Referências	57
4.1 Seleção da estratégia de controlo	20		
4.2 Utilização de luz natural	21		
4.3 Controlo manual	22		
4.4 Controlo automático	22		
4.5 Controlo por temporização	23		
4.6 Controlo ligado ao sensor de ocupação	23		
4.7 Controlo ligado à luz natural	25		
4.8 Compatibilidade de controlos	25		
4.9 Iluminação inteligente	25		

Acrónimos e Abreviaturas

AFV	Falha abrupta (Abrupt Failure Value)
ANSI	American National Standards Institute
CCT	Temperatura de cor correlacionada (Correlated Colour Temperature)
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage (Illumination)
Cd	Candela, unidade SI para a intensidade luminosa
CFL	Lâmpada compacta flurescente (Compact Fluorescent Lamps)
CRI	Índice de restituição de cor (Colour Rendering Index)
DALI	Digital Addressable Lighting Interface (control protocol)
DSE	Equipamento com display ou ecrã (Display Screen Equipment)
Duv	Distância cromática de um radiador de Planck (corpo negro)
EC	Comissão Europeia (European Commission)
ECEEE	European Council for an Energy Efficient Economy
EPA	Environmental Protection Agency
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive (Diretiva do Desempenho Energético de Edifícios)
ESCO	Empresa de Serviços de Energia (Energy Service Company)
GLS	General Lighting Service (lâmpada incandescente não direcional)
HCL	Iluminação centrada nos humanos (Human Centric Lighting)
IEA SSL	International Energy Agency 4E Solid State Lighting Annex
IEC	International Electrotechnical Commission
K	Kelvin
CCV (LCC)	Custo do ciclo de vida (Life Cycle Cost)
LED	Diodo emissor de luz (Light Emitting Diode)
LEF	Fator de eficiência da luminária (Luminaire Efficiency Factor)
LFL	Lâmpada flurescente linear (Linear Fluorescent Lamps)
LiFi	Comunicação sem fio de alta velocidade baseada em modulação de luz LED de alta frequência
LLMF	Fator de manutenção de lumens da lâmpada (Lamp Lumen maintenance Factor)
LMF	Fator de manutenção da luminária (Luminaire maintenance Factor)
LOR	Rácio de saída de luz (Light Output Ratio)
LSF	Fator de sobrevivência (Lumen Survival Factor)
lm	Lumen, unidade SI para o fluxo luminoso
lux	Unidade SI para a iluminância $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$
PIR	Infravermelho passivo (Passive InfraRed)
Ra	Índice de restituição de cor (Colour rendering index)
RGB	Red Green Blue (referindo à mistura de cores de um LED)
SDCM	Desvio da correspondência de cores (Standard Deviation Colour Matching)
ta	Rated ambient temperature = highest sustained temperature for normal luminaire operation
tq	Rated quality ambient temperature = highest sustained temperature for a defined level of performance
TCO	Custo total de propriedade (Total Cost of Ownership)
W	Watt = 1 Joule/segundo (taxa de conversão ou transferência de energia)



1. Introdução

1.1 Os benefícios da iluminação LED

A tecnologia da iluminação LED possibilita a melhoria da eficiência energética aliada à qualidade de iluminação em ambos os setores, público e privado. A tecnologia LED difere substancialmente das tecnologias de iluminação existentes, com inúmeras possibilidades de inovação. A sua utilização pode trazer benefícios nas condições de trabalho e melhoria do bem-estar, por exemplo através de luminárias otimizadas, iluminação integrada, flexibilização do controlo onde o utilizador pode alterar a distribuição espectral e a temperatura de cor mimetizando as variações da iluminação exterior durante o dia, iluminação inteligente e uma melhor utilização da luz natural.

A eficiência luminosa de uma boa solução LED deverá ser superior a 100 lm/W, sendo que este indicador continua a aumentar ano após ano. Os regulamentos da EU 244/2009, 245/2009 e 1194/2012, relativos ao ecodesign já incluem a tecnologia LED, apesar de terem sido elaborados antes da maturação da tecnologia e do seu atual nível técnico. Para o setor terciário, ainda não está disponível um esquema de rotulagem para luminárias e sistemas de iluminação e a implementação nacional da Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD) fornece apenas apoio limitado para o projeto de sistemas de iluminação energeticamente eficientes para edifícios.

Uma percentagem considerável dos sistemas de iluminação interior utilizados no setor público e privado ainda se baseia em tecnologias ineficientes - tubos fluorescentes T8 com balastros eletromagnéticos, e lâmpadas de halogénio. É vantajoso substituir estas tecnologias por sistemas de iluminação LED com controlo associado. É ainda benéfico, num número crescente de casos, a substituição dos tubos fluorescentes T5. De uma forma geral, recomenda-se a alteração em simultâneo das lâmpadas e luminárias uma vez que, frequentemente, a reutilização das

luminárias existentes gera desafios provocados pela alteração da distribuição da iluminação.

1.2 Necessidade de um guia

As tecnologias de iluminação LED têm evoluído muito rapidamente com produtos novos e melhorados a surgir a cada seis meses. Também as normas internacionais continuam em progressão. É frequente a adopção de sistemas de iluminação LED desadequados devido à falta de informação e de critérios de apoio à seleção da solução certa.

A publicação de um guia que possa apoiar a escolha de soluções inovadoras, critérios de aquisição para a seleção de sistemas de iluminação LED de elevada qualidade e eficientes e, claro, exemplos de boas práticas, foi uma necessidade expressa por diversas partes interessadas. Com o dinamismo atual da evolução da tecnologia, os critérios deverão ser atualizados com regularidade, enquanto as recomendações gerais para um bom projeto de iluminação permanecerão atuais por um período mais longo.

Este guia aborda as principais áreas de aplicação dentro dos diferentes setores incluindo:

- Escritórios;
- Escolas;
- Museus e exposições;
- Lojas de comércio;
- Setor da saúde.

1.3 Como usar o guia

Este guia está estruturado da seguinte forma:

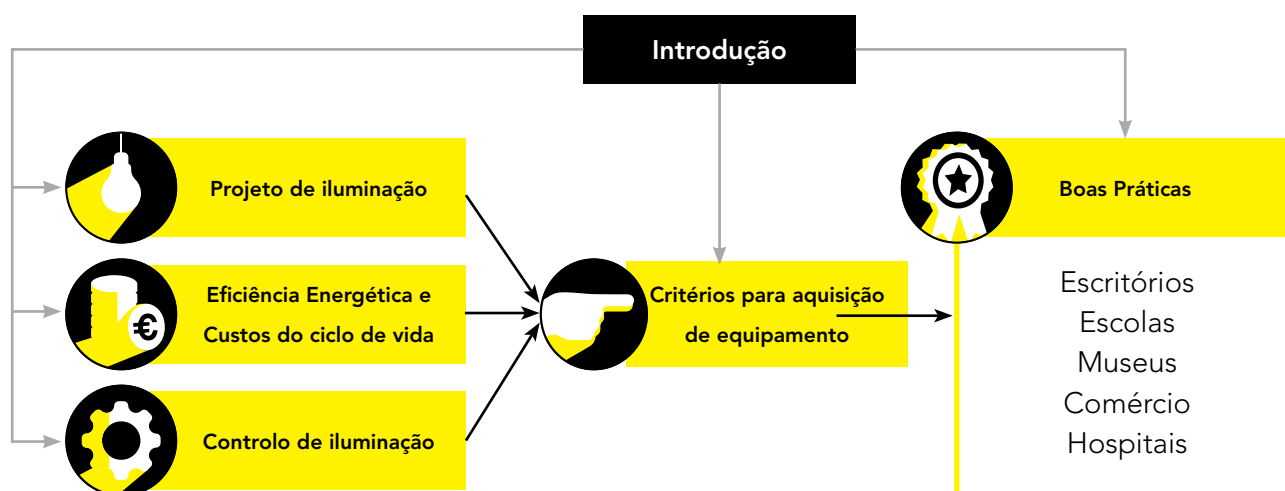


Figura 1 Os critérios para a aquisição de equipamento são a essência deste guia

Depois de conhecerem as vantagens gerais da utilização de iluminação LED, os interessados podem usar o guia de diferentes formas:

- 1** Os departamentos responsáveis pela aquisição de equipamentos, assim como outros responsáveis pelas decisões relacionadas com as aquisições, podem aceder diretamente ao capítulo “critérios para aquisição de equipamentos”. Podem também procurar mais informações nos capítulos:
 - a** Projetos de Iluminação (qualidade da iluminação);
 - b** Eficiência energética e CCV (poupanças, custos e comparação de soluções);
 - c** Controlo da iluminação (controlo, iluminação inteligente e iluminação centrada nos humanos);
 - d** Boas Práticas (para o tipo de edifício e de divisão da adjudicação).

- 2 Instaladores** podem procurar dicas no capítulo “Boas Práticas” e também os critérios de qualidade no capítulo “Critérios para aquisição de equipamentos”;

- 3 Consultores em matéria de energia e engenheiros de iluminação (ESEs)** devem consultar os capítulos “Eficiência Energética e CCV” e “Boas Práticas”;

- 4 Projetistas, arquitetos, designers de interiores e consultores** podem consultar qualquer capítulo do guia dependendo do contexto da sua atividade.



2. Projeto de iluminação

2.1 Introdução

O projeto de iluminação deve assegurar condições visuais adequadas aos ocupantes do edifício. O objetivo é proporcionar “a luz certa no momento certo e na altura certa”, para obter um bom:

- Desempenho visual - para executar as tarefas visuais mesmo sob circunstâncias difíceis e durante períodos mais longos;
- Conforto visual - o que proporciona uma sensação de bem-estar e contribui para um melhor desempenho.

O desempenho visual para posições/objetos numa divisão depende especialmente:

- da **iluminância**: medida da quantidade de luz que incide numa superfície/plano. A unidade de medida é o lux;
- da **luminância**: medida da quantidade de luz numa dada direção. A unidade de medida é a candela por metro quadrado (cd/m^2);
- se o objeto é tridimensional e/ou colorido.

Existem outros determinantes para uma boa visibilidade considerados no projeto de iluminação que serão descritos nas secções que se seguem, incluindo:

- Facilitar o desempenho visual do olho;
- Acesso a luz natural;
- Natureza das tarefas e as propriedades das superfícies do espaço e dos objetos;
- Normas que apoiam um desempenho visual satisfatório;
- As necessidades para iluminação geral e uniformidade;
- Brilho relativo do objeto em comparação com a envolvente (contraste);
- Direção da luz;
- Iluminação atrativa no interior do edifício;

- Sistemas de iluminação de orientáveis podem melhorar a visibilidade e percepção do espaço;
- Variabilidade da iluminação (intensidade e cor);
- Restituição da cor e temperatura de cor da luz;
- Encandeamento e tremulação;
- Garantir segurança e proteção.

2.2 Desempenho visual do olho

A distribuição da luminosidade no campo de visão controla a adaptação do olho e, claro, a visibilidade da tarefa. É necessária uma distribuição da luminância equilibrada de forma a aumentar a:

- 1 **Acuidade visual** (nitidez da visão);
- 2 **Sensibilidade aos contrastes** (discriminação de pequenas diferenças relativas de luminância);
- 3 **Eficiência das funções oculares** (como a acomodação, a convergência, a contração pupilar, movimento dos olhos, etc.).

Deve evitar-se uma distribuição de luminância:

- Demasiado elevada, o que pode provocar encandeamento;
- Com contraste demasiado elevado, o que pode causar fadiga devido à necessidade constante de readaptação dos olhos;
- Luminância e/ou contraste de luminância demasiado baixos podem resultar num ambiente de trabalho monótono e pouco estimulante.

Uma distribuição de luminância equilibrada requer a avaliação das luminâncias de todas as superfícies (determinada pelo reflexo e pela iluminância). O conforto visual do ser humano é obtido através

de superfícies interiores brilhantes, em particular as paredes e os tetos, com uma seleção de valores adequados de reflexo e de iluminação para as superfícies interiores.

A iluminância e a sua distribuição na área de trabalho e na envolvente têm um impacto elevado na forma como uma pessoa percebe e desempenha a tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. A norma europeia EN 12464-1 fornece valores de iluminância que asseguram as necessidades de conforto visual e desempenho (veja-se parte 2.5).

Um bom projeto de iluminação também deve ter em conta a idade dos ocupantes do edifício. À medida que vamos envelhecendo, a lente ocular perde flexibilidade, o que reduz a capacidade de acomodação do nosso olho, e leva à necessidade de óculos de leitura. Durante a vida, o corpo vítreo do olho vai sendo poluído por proteínas e outras substâncias que difundem a radiação luminosa que chega ao olho, levando a uma maior sensibilidade ao encandeamento. Ao envelhecermos, os músculos que controlam o tamanho e a reação da nossa pupila à luz vão perdendo força, o que leva a que a pupila fique mais pequena e menos reactiva às alterações da iluminação ambiente. Devido à reduzida transmissão de luz na lente dos olhos, córnea e corpo vítreo, precisamos de 3 vezes mais luz ambiente para ler confortavelmente aos 60 anos do que precisávamos aos 20 [17].

A percepção da cor é também muito importante para o desempenho visual. Para o olho humano, algumas cores são mais visíveis do que outras. A sensibilidade visual do olho humano atinge o seu máximo na região amarelo-verde do espectro. O contraste entre cores é também muito importante e depende das propriedades de restituição de cor de um sistema de iluminação.

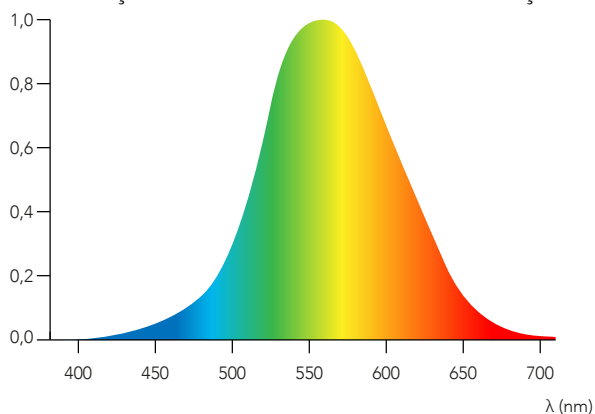


Figura 2 Sensibilidade espectral relativa do olho humano sob condições fotópicas, a chamada curva $V(\lambda)$

2.3 Luz natural

A visão humana desenvolveu-se, ao longo de milhares de anos, tendo a luz natural como principal fonte luminosa. Ao longo do dia e do ano, o movimento da Terra em relação ao Sol proporciona grandes variações da luz natural ao nível da luminosidade, direção, distribuição espectral e cor. A nossa visão tem uma capacidade excepcional de se adaptar às variações de luminosidade desde um nível baixo de lux até mais de 100 000 lux.

A luz natural deve ser usada sempre que possível, pelo que uma iluminação eficiente deve ser planeada e controlada dependendo do acesso à luz natural. Os requisitos mínimos para uma iluminação interior artificial devem incluir os horários do dia e da noite. A quantidade de luz natural que entra numa divisão depende da luz do céu, da luz refletida nos edifícios envolventes, das aberturas exteriores do edifício e da transmitância da janela.

O fator da luz natural D definido para um céu nebuloso, expressa a quantidade de luz natural que alcança uma superfície ou um ponto de uma divisão. O exemplo da figura 3 mostra como é alcançado o nível recomendado de iluminância para tarefas de leitura e escrita (500 lux, para valores de iluminância recomendados, veja por favor a parte 2.5) para um fator de luz natural de 5%.

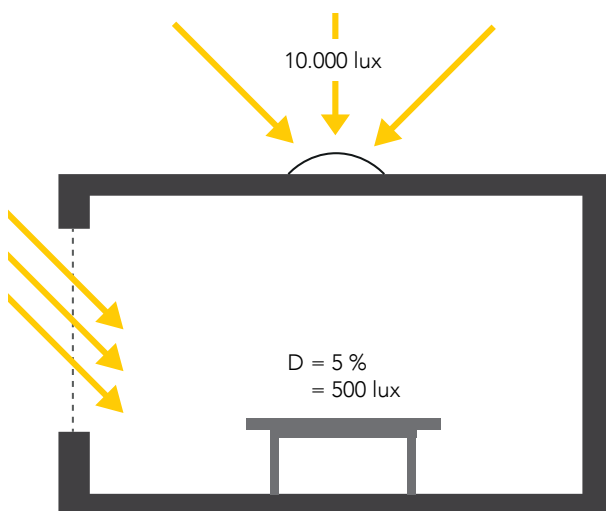


Figura 3 Exemplo da iluminância da luz natural expressa pelo fator de luz natural

2.4 Diferentes tipos de iluminação

A iluminação está normalmente dividida em três tipos [22]:

1 Iluminação geral consiste normalmente em **luminárias fixas no teto** equidistantes entre elas e a metade da distância da parede. Fornece a iluminância necessária em todos os locais e total flexibilidade do mobiliário. No geral a aparência pode não ser apelativa e o consumo energético é mais elevado do que nas outras opções uma vez que a iluminação não está adaptada às diferentes necessidades das divisões.

2 Iluminação localizada consiste em **luminárias fixas no teto em cada posto de trabalho**, fornecendo a iluminância necessária para as tarefas e iluminação geral suficientemente distribuída nas áreas de acesso. Quando comparada com a iluminação geral, o consumo energético é menor mas a flexibilidade para alocar postos de trabalho é reduzida. A iluminação localizada também inclui iluminação decorativa, por ex: para exibir detalhes arquitetónicos ou quadros.

3 Iluminação local, inclui iluminação que pode ser **movida com o posto de trabalho** e iluminação geral nas áreas de acesso. Os benefícios são: 1) posicionamento muito flexível dos postos de trabalho; 2) melhor eficiência energética do que trabalhando apenas com a iluminação geral; e 3) os colaboradores podem controlar a sua própria iluminação (há iluminação local que pode ser partilhada pelos funcionários). A iluminação local pode ser por ex: candeeiros de mesa, candeeiros de luz ascendente, e iluminação encastrada onde a iluminação LED é adequada devido ao seu tamanho reduzido.

Muitas instalações de iluminação são do tipo geral o que permite flexibilidade no posicionamento dos postos de trabalho, mas os consumos energéticos são tipicamente mais elevados do que nos tipos localizada ou local.

Para além disso, alguns estudos [26] demonstraram que, em termos de desempenho e preferência do utilizador, a iluminação com um certo grau de não uniformidade é mais eficaz. As luminárias LED pendentes, com um fluxo luminoso ajustável e tipicamente mais baixo, podem ser utilizadas para obter poupanças energéticas uma vez que reduzem a necessidade da iluminação geral [27].

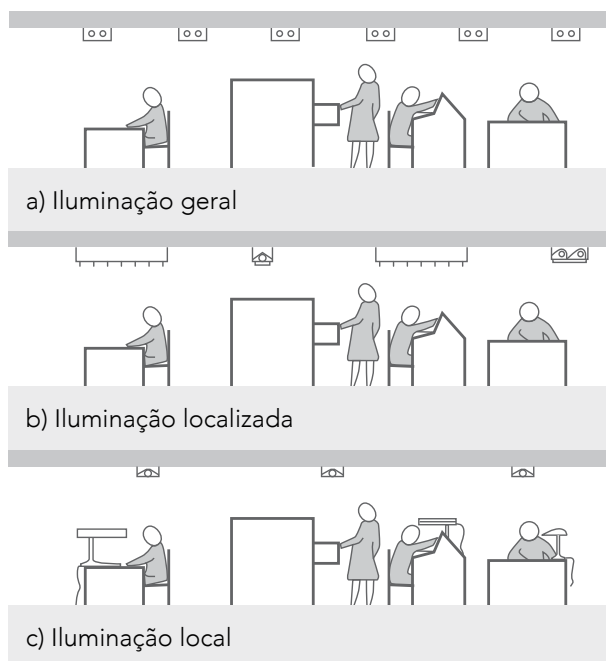


Figura 4 Tipos de iluminação interior [22]:

a) Geral, b) Localizada e c) Local.

2.5 Iluminância para locais de trabalho no interior e aplicações

A norma "EN12464-1:2011, Luz e Iluminação – Iluminação de locais de trabalho – Parte 1: Locais de trabalho interiores" especifica recomendações para soluções de iluminação para a maioria dos locais de trabalho interiores, tendo em conta a quantidade e qualidade de iluminação para pessoas com capacidade visual normal. Todos os países da EU são membros CEN e devem por isso fazer uso destas recomendações.

A norma inclui requisitos de iluminação para diferentes tipos de trabalho, o tipo de tarefa visual incluindo a utilização de DSE (Display Screen Equipment - Equipamentos com Ecran) e duração da atividade. As recomendações são também dadas para boas práticas em sistemas de iluminação relacionadas com a segurança e saúde. As iluminâncias médias indicadas para uma tarefa específica, têm uma grande influência nos projetos de iluminação. A norma faz a distinção entre a área de trabalho/tarefa, a área envolvente imediata (pelo menos uma amplitude de 0,5m em redor da área de trabalho) e a área de fundo (pelo menos 3m de amplitude adjacente à área envolvente). Recomenda-se que os rácios de iluminância entre a área de trabalho, a área envolvente e as iluminâncias de fundo sejam 5:3:1.

Tabela 1 Requisitos recomendados para a iluminação interior

Tipo de área, tarefa e atividade	Iluminância média mantida por área da tarefa (lx)	Encandeamento máximo (UGR _L)	Uniformidade da iluminância mínima (U ₀)	CRI (Ra)
Escritório: Escrever, ler e processamento de dados	500	19	0.40	80
Escritório: Recepção	300	22	0.60	80
Loja comercial: Zona de vendas	300	22	0.40	80
Reuniões públicas: Halls de entrada	100	22	0.40	80
Reuniões públicas: Corredores	100	25	0.40	80
Reuniões públicas: Salas de conferência	500	19	0.60	80
Edifício educativo: Salas de aulas	300	19	0.60	80
Edifício educativo: Educação de adultos	500	19	0.60	80
Edifício educativo: Desenho técnico	750	16	0.70	80
Saúde: Iluminação geral nas enfermarias	100	19	0.40	80
Saúde: Análise e tratamento	1000	19	0.70	90
UGR _L , U ₀ e CRI são explicados nas secções seguintes.				

A iluminância define a quantidade de luz que incide numa superfície e é medida em lux. A norma EN12464-1 inclui tabelas com requisitos detalhados de iluminância para quase todas as áreas, tarefas e atividades interiores. A tabela 1 mostra alguns exemplos.

Caso a área de trabalho não esteja ainda definida ou o proprietário do edifício queira flexibilidade, o projetista pode escolher entre 1) a melhor iluminação em toda a área de trabalho ou 2) fornecer iluminação em cada posto de trabalho e ter uma iluminação base para a restante área.

2.6 Uniformidade da iluminação

A uniformidade da iluminação refere-se à homogeneidade da iluminação que é difundida pela área de trabalho, chão e paredes, respetivamente. A uniformidade da iluminação é especialmente importante para zonas de trabalho. Se a iluminação não for homogênea, os olhos dos ocupantes fazem ajustes involuntários aos diferentes níveis de iluminação, enquanto tentam manter o foco, o que causa stress e fadiga excessivos.

A norma EN12464-1 determina critérios de projeto adicionais de forma a desencorajar a falta de uniformidade. Em termos puramente matemáticos, a uniformidade da iluminação é o rácio entre a iluminância mínima e a média, numa dada área. A uniformidade mínima é denominada U₀. Quando o requisito de uniformidade U₀ é 0,6 e o requisito de iluminância para a área de trabalho é de 300 lux, a iluminância em qualquer ponto da área de trabalho deve ser de pelo menos 180 lux.

A distribuição de luz natural numa divisão com janelas será sempre irregular o que pode ser entendido como estimulante e positivo desde que não reduza o conforto e a facilidade de leitura num quadro negro, um monitor ou DSE. Caso a distribuição seja demasiado irregular, devem utilizar-se protetores solares nas janelas (cortinas, sombreadores, etc.) de forma a controlar a uniformidade da iluminação.

A principal direção da luz determina a capacidade de ver a profundidade, a forma e a textura de um objeto ou pessoa e portanto influencia a nossa competência para estimar distâncias. A direccionalidade total da luz incidente é fundamental quando é necessário reconhecer objetos tridimensionais.

A iluminação uniforme que surge de “todas” as direções, não produz sombras e, como resultado disso, os objetos visíveis parecem planos. Este tipo de iluminação denomina-se luz difusa. A luz direta provoca sombras e podem desaparecer pormenores. De uma forma geral, a **melhor luz é composta por uma mistura de luz difusa e direta.**

Projetistas e outros profissionais podem escolher de entre uma diversidade de refletores para iluminação LED com diferentes formas, cores e posição da lâmpada, sendo que todos estes aspectos influenciam a uniformidade da luz. Para além disso, as lentes podem ser utilizadas para adquirir uma qualidade de luz diferente, isto é, lentes foscas criam uma iluminação mais uniforme, mas diminuem a luminosidade. É importante considerar todas as opções antes de assumir o compromisso de uma escolha.

2.7 Contraste da luminância

Contraste da luminância é o termo fotométrico determinado pela diferença em cor e luminosidade de um objeto em relação ao fundo, dentro do mesmo campo de visão. Um projeto de iluminação que ilumina alguns objetos e sombreia outros pode proporcionar melhor visibilidade.

Muitos profissionais da área recomendam um rácio máximo de 5:1 entre a iluminação local da área de trabalho e a iluminação geral.

A distribuição da luminância numa divisão é determinada pelas janelas, a posição das luminárias, a distribuição da luz e as superfícies refletoras na divisão. Uma distribuição de luminosidade bem equilibrada aumenta a acuidade visual e a sensibilidade ao contraste.

De uma forma geral, um **bom contraste e uma seleção apropriada da cor resulta melhor que uma iluminação muito elevada**, uma vez que o sistema visual humano é mais sensível ao contraste do que à iluminação elevada. As luminárias podem ser dirigidas na direção do posto de trabalho, do professor, do sinal ou outro objecto importante sem aumentar a iluminação geral. **Os benefícios de um bom contraste são: impressão visual melhorada (desde que não haja encandeamento) e baixo consumo energético.**

A iluminação também pode causar reflexos que interferem nos monitores dos computadores. A norma EN12464-1 especifica limites médios de luminância para as luminárias, de modo a evitar reflexos nos monitores. Os limites são especificados para ângulos de elevação de 65° ou superiores, e são tipicamente <1000 cd/m² ou 1500 cd/m². Para atividades críticas no monitor do computador o ângulo começa em 55°.

2.8 Encandeamento e segurança fotobiológica

O encandeamento surge quando existe luminância ou contraste de luminância elevados, frequentemente devido à falta de proteção de uma janela, reflexos ou a visão direta das fontes de luz LED na luminária. Normalmente, o olho adapta-se a qualquer tipo de situação de iluminação, mas se a iluminação do objeto ou do fundo for demasiado brilhante ou o contraste demasiado elevado, **a visão sofre por:**

- **Encandeamento incapacitante**, que afeta a capacidade visual e é provocado por luminâncias elevadas

em cenários de baixas luminâncias, tipicamente por um ponto de luz, como focos brilhantes direcionados aos olhos dos observadores, ou por uma grande área de fontes de luz, como um painel de LEDs.

- **Encandeamento desconfortável**, que surge sob a forma de desconforto visual sem afetar a capacidade visual. O encandeamento de desconforto é quantificado pelos valores-limite do índice de encandeamento unificado (UGRL) que variam de UGRL 10 (sem efeito) passando por UGRL 16 (desagradável) até UGRL 28 (intrusivo). A norma EN_12464-1 recomenda limites UGR para tipos específicos de salas e aplicações (ver Tabela 1). O encandeamento de desconforto pode provocar uma posição ergonomicamente incorreta (para tentar evitar o encandeamento), fadiga e dor de cabeça.

A norma EN12464-1 também especifica o ângulo de proteção mínimo em todas as direções, dependendo da luminosidade da lâmpada. Para instalações interiores, o encandeamento incapacitante é raro, enquanto o encandeamento de desconforto pode aparecer com mais frequência.

Com a reduzida dimensão dos LED e correspondente brilho, recomenda-se estar ciente que o encandeamento pode surgir ou até causar lesões oculares caso os utilizadores olhem diretamente para as fontes de luz LED durante um longo período.

O encandeamento pode ser evitado com:

- Projeto de iluminação sem transições bruscas / contraste;
- Controlo da luz de janelas (por exemplo, com persianas ou cortinas finas);
- Providenciar sombreamento fixo no edifício;
- Controlo manual das proteções das janelas (os utilizadores poderão assim desfrutar da luz do Sol num dia de inverno);
- Instalação de vidros refletivos ou absorventes nas janelas. O vidro colorido deve ser evitado porque reduz a luz em períodos de clima nublado;
- Tetos, painéis e paredes brilhantes (por exemplo, com iluminação ascendente e boa distribuição de luz);
- Utilização de luz difusa suave em salas com ecrãs de projeção;
- Iluminação dirigida para a zona de trabalho;
- Utilização de fontes de luz maiores com menor concentração de luz;
- Utilização parcial de iluminação ascendente;
- Utilização de difusores e grelhas nas luminárias;

- Proteção das lâmpadas em ângulos de visão normais, com uma distribuição uniforme leve;
- Em caso de dúvida sobre o encandeamento de uma lâmpada, pode colocar um pequeno espelho no posto de trabalho e mover a lâmpada até que não seja visível no espelho.

Uma preocupação que diz respeito à **segurança fotobiológica**, é a emissão de luz azul que penetra a córnea e é direcionada para a retina pela lente. Isto é conhecido como **perigo da luz azul**. De acordo com a experiência atual, nenhuma fonte de luz que emite luz branca utilizada em aplicações de iluminação geral é considerada perigosa para a retina de adultos saudáveis, mas lâmpadas especiais, p. ex. as lâmpadas com alta intensidade luminosa no espectro azul devem ser consideradas caso a caso. As fontes de luz utilizadas por pessoas sensíveis, isto é, crianças ou adultos com certos tipos de doenças oculares, requerem uma avaliação adicional.

As normas IEC 62471/CIE S009 e IEC/TR 62778: 2014: Aplicação da norma IEC 62471, especificam quatro grupos de risco (RG-Risk Groups) [13]. Para garantir a segurança ótica fotobiológica recomenda-se que as lâmpadas e luminárias LED recaiam nos grupos RG0 ou RG1 [1].

2.9 Temperatura da cor e Tolerância

Os sistemas de iluminação LED podem ser fornecidos com diferentes Temperaturas de Cor Correlacionadas (CCTs):

- **Quentes** (2700 – 3000 K) que criam um ambiente intimista adequado a enquadramentos domésticos, restaurantes e similares;
- **Branças neutras** (cerca de 4000 K), ideal para cenários empresariais uma vez que somos mais produtivos com este CCT;
- **Branças frias** (cerca de 6500 K e acima) usados quando a luz artificial se mistura com a luz natural.

A seleção da temperatura de cor apropriada da fonte de luz é em grande parte determinada em função da divisão. Estudos indicam que uma CCT elevada é preferível com níveis de iluminação elevados. A CCT elevada também é preferida em climas mais quentes, enquanto em climas mais frios, e na ausência de luz natural, a preferência recai numa CCT mais baixa (com uma aparência mais quente).

Quando os chips LED são produzidos, ocorrem tolerâncias que podem resultar em diferenças na cor

da luz. Deve-se ter cuidado para garantir pequenas diferenças de cores - especialmente em aplicações de iluminação onde as fontes de luz estão próximas e podem ser vistas simultaneamente. Os LEDs são testados após serem fabricados e classificados em classes de tolerância. Este processo é chamado de "compartimentalização de cores". Um compartimento de cores (elipse de MacAdam) corresponde a uma área específica do diagrama de cromaticidade CIE. A maioria das pessoas não consegue ver nenhuma diferença na cor dentro de uma etapa de uma elipse de MacAdam. A diferença de cor começa a ser notada dentro de duas etapas da elipse de MacAdam, que atualmente é considerada como uma boa prática na iluminação LED [9].

A norma ANSI C78.377: 2015 "Especificações para a cromaticidade de produtos de iluminação de estado sólido" recomenda a seleção de CCTs nominais especificados por quadrângulos de cromaticidade e tolerâncias de Duv (ver tabela 2 no capítulo 5). Tecnicamente, a tolerância à cromaticidade é a distância da cromaticidade de uma luz do local de Planck (corpo negro) e CCT pretendida. Este método também é recomendado pela IEA 4E SSL [1] porque o método alternativo com o uso de etapas MacAdam (as elipses referem-se a regiões no Diagrama de Cromatografia CIE) é mais difícil de medir no laboratório e é uma medida com menor detalhe.

A iluminação LED com controlo é capaz de variar a luminância e ajustar a temperatura de cor correlacionada. Os melhores sistemas são capazes de fornecer a mesma variação do ciclo de iluminação natural. Os conselhos sobre este tipo de controlo são apresentados no capítulo 4.

2.10 Restituição cromática

A restituição cromática define a capacidade de uma fonte de luz branca restituir, de uma forma precisa, as cores de um objeto. É expressa através do índice de restituição da cor geral (CRI) com valores entre os 0 e 100, onde 100 é o melhor (100 é fornecido pela luz natural).

Pode conseguir-se uma excelente restituição de cor com lâmpadas com um CRI superior a 90, necessário por exemplo, em áreas clínicas de hospitais, edifícios da área da saúde, museus, teatros, inspeção/controlo/seleção de cores e alguns tipos de lojas. De uma forma geral, um CRI superior a 80 é considerado suficiente

para o juízo preciso de uma cor na maioria dos espaços interiores.

A norma EN12464-1 especifica os requisitos mínimos da restituição da cor para praticamente todo o tipo de tarefas através da CRI (Ra). A tabela 1 mostra informação concreta sobre o nível de CRI recomendado.

O CRI é definido pela CIE como a média dos índices da restituição da cor para oito cores de teste com saturação cromática baixa. Contudo, existem 15 índices de cor. Os estudos mostram que o índice R9 (para a cor vermelha) é muito importante na restituição de cor das lâmpadas LEDs. Recomenda-se a utilização do requisito $R9 > 0$ da IEA 4E SSL [1].

De uma forma geral num projeto de iluminação, é importante ter em conta que a restituição de cor fornecida pela fonte de luz pode ser reduzida pela ótica, envidraçado e pelas superfícies coloridas.

2.11 Tempo de vida

Os LEDs de elevada qualidade conseguem manter a produção de luz durante dezenas de milhares de horas. No entanto, o driver eletrónico incorporado pode sofrer uma falha súbita e a vida útil de todo o sistema de iluminação pode ter de ser repensado.

A durabilidade de uma lâmpada LED é definida como o período durante o qual uma dada fração do número total de lâmpadas (By) fornecem mais do que uma percentagem pré-definida do fluxo luminoso avaliado (Lx), sob as condições de teste normalizadas, ou seja, um L70B50 > 25,000 horas significa que no máximo 50% das lâmpadas fornecem menos de 70% do fluxo luminoso avaliado depois de terem sido utilizadas durante 25,000 horas.

A durabilidade nominal deverá ser ponderada com o preço, tendo em conta que apesar das fontes de luz LED terem uma durabilidade prolongada, pode ser mais rentável substituí-las bem antes do seu fim de vida por produtos LED com maior eficiência – presentemente, em cada seis meses surgem novos produtos LED energeticamente mais eficientes

2.12 Temperatura ambiente

O desempenho das luminárias LED é influenciado pela temperatura ambiente. A temperatura ambiente nominal (t_a), é a temperatura mais elevada na qual a luminária consegue funcionar em condições normais.

A temperatura t_q (qualidade) indica a temperatura ambiente mais elevada permitida para um determinado nível de desempenho (inclui durabilidade nominal e as características da iluminação). Pode ser declarado mais do que um valor t_q para características de desempenho diferentes.

Quando $t_a = 25^\circ\text{C}$, não é necessária declaração para a luminária; qualquer outro valor de temperatura ambiente precisa de estar declarado (a mesma regra é aplicável ao t_q) [14]. Devido ao calor do verão e ao ar mais quente junto ao teto, a temperatura ambiente pode ser superior a 30°C em determinados momentos. Por esta razão, nalguns países, aconselha-se o uso de lâmpadas com $t_a = 30^\circ\text{C}$.

2.13 Manutenção

Em instalações novas, todas as superfícies das luminárias estão limpas, as lâmpadas emitem o fluxo luminoso total, e a superfície da luminária e da divisão têm propriedades refletoras ótimas.

À medida que o tempo passa, a sujidade acumula-se nas luminárias e nas superfícies da divisão. Com a idade, a eficácia da lâmpada deteriora-se, os difusores de plástico, os controladores prismáticos e os refletores descoloram. A depreciação da luz da luminária depende da limpeza do local e design da luminária, por exemplo, os pontos de luz ascendente são mais sensíveis à sujidade do que os de luz descendente.

O grau de proteção contra a entrada de lixo na luminária é especialmente importante. Após 3 anos, a depreciação devido à sujidade acumulada na luminária, pode variar entre 10% de redução da produção de luz em dispositivos fechados que estão localizados em ambientes limpos, para mais de 60% em dispositivos abertos que estão localizados em áreas sujas [28].

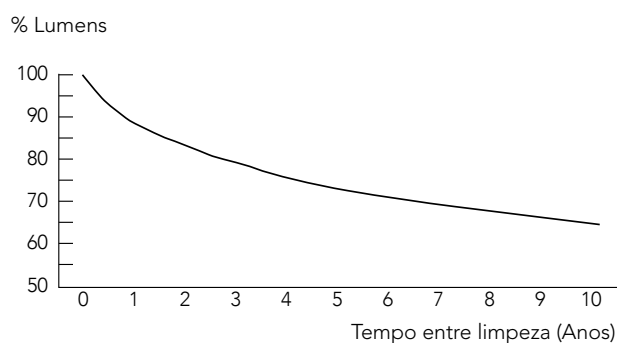


Figura 5 Exemplo das perdas de luz espectáveis resultantes da acumulação de pó em luminárias fechadas num ambiente de escritórios limpos

A EN12464-1 indica que, no projecto de uma solução de iluminação, é necessário usar um fator de manutenção que compense as reduções de luz. O fator de manutenção tem um grande impacto na eficiência energética e depende das características de manutenção da lâmpada e dos equipamentos de controlo, da luminária, do meio ambiente e do programa de manutenção.

A luz emitida por uma luminária após um determinado período de tempo como fracção do desempenho da luminária limpa é conhecido como o fator de manutenção da luminária (LMF - Luminaire Maintenance Factor).

A emissão de luz relativa da lâmpada após um número específico de horas de funcionamento é conhecida como o fator de manutenção de lúmens da lâmpada (LLMF - Lamp Lumen Maintenance Factor)

As instalações de iluminação são projetadas com base no nível de iluminância necessário para a aplicação específica estabelecida em normas e recomendações. Um valor de iluminância adequado é escolhido para garantir a iluminação mínima durante a vida útil das lâmpadas. A manutenção de muitas instalações de iluminação é frequentemente fraca, o que implica que os projetistas considerem, tipicamente, uma depreciação de lúmens da lâmpada entre 20 a 30% .

No entanto, no início do ciclo de manutenção, quando a luz emitida está acima dos requisitos, o excesso de iluminação pode ser limitado pelo uso de reguladores, o que economizará energia.

Uma solução é selecionar produtos, lâmpadas / luminárias LED, com fluxo luminoso constante durante toda a vida útil por regulação da corrente do driver.

A limpeza de luminárias LED deve ser realizada em intervalos regulares pré-determinados de acordo com os requisitos do fabricante, as condições do ambiente e a classificação IP da luminária. Medições do fluxo luminoso devem ser realizadas em conjunto com a limpeza.

2.14 Segurança

Os produtos de iluminação LED devem ser seguros não só quando instalados, quando estão em utilização, mas também quando atingem o final da vida.

Um critério fundamental para especificar e selecionar produtos e sistemas de iluminação LED é garantir que eles têm a marca CE como exigido para todos os produtos no mercado interno da UE.

As normas de segurança da IEC tornaram-se requisitos obrigatórios de segurança na UE, incluindo EN 60061, EN 60598, EN 61347, EN 62031, EN 62471, EN 62560 e EN 62663-1. Estas normas estão incluídas numa série de diretivas da UE, incluindo requisitos de baixa tensão, compatibilidade eletromagnética (EMC) e ecodesign, pelo que a conformidade é indicada nos produtos através da marca CE.

Para ajudar a garantir a compatibilidade, disponibilidade futura e apoio, a IET UK [9] recomenda que os projetistas e instaladores analisem a sua cadeia de fornecedores e comprem a empresas respeitáveis que possam demonstrar uma abordagem responsável à qualidade, disponibilidade de produtos, apoio contínuo e garantias.

Deve verificar-se se as declarações de conformidade CE e as folhas de teste fornecidas correspondem ao produto correcto. Recomenda-se que sejam solicitadas e obtidas cópias formais dos documentos de certificação CE para todos os produtos LED devido à existência de produtos falsificados indevidamente marcados com a marca CE atualmente em circulação.

Adicionalmente, também se pode solicitar ao fabricante que forneça os resultados de testes realizados aos seus produtos por entidades independentes.

3. Eficiência energética e custo do ciclo de vida



Para além da qualidade de iluminação, é também muito importante selecionar sistemas de iluminação energeticamente eficientes.

Este capítulo inclui secções sobre:

- Eficiência do sistema de iluminação;
- Retrofit de luminárias;
- Substituição por luminárias LED novas;
- Custo do ciclo de vida e período de retorno.

3.1 Sistema de iluminação

Neste guia, o “sistema de iluminação” é definido como a luminária, fontes de luz e driver / balastro (também chamado de dispositivo de controlo), onde diferentes tipos de controlo de iluminação podem ser adicionados. No entanto, noutros contextos, como o estudo preparatório da EU DG ENER Lot 37 [25], o “sistema de iluminação” também inclui o arranjo geométrico, a divisão, teto, etc.

Uma luminária tradicional inclui os seguintes componentes:

- 1 **Invólucro** que contém todos os componentes, como o balastro / driver, se este não estiver diretamente integrado nas lâmpadas (típico em algumas lâmpadas LED);
- 2 **Refletor** para direcionar a luz na direção desejada;
- 3 **Lâmpadas** (também chamadas de fontes de luz) e os seus respetivos suportes;
- 4 **Proteção** (lente, persiana ou similar) para reduzir o encandeamento de desconforto e também para controlar a distribuição da saída de luz.

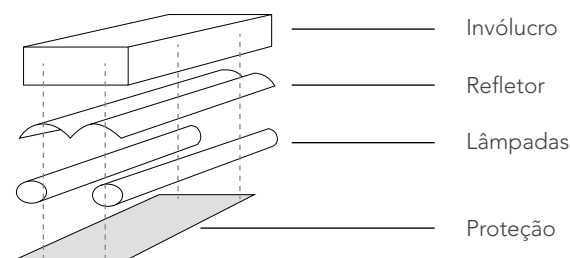


Figura 6 Construção de uma luminária

A eficiência de uma luminária depende do LOR:

$$\begin{aligned} \text{LOR} &= \text{Light Output Ratio} \\ &= \frac{\text{Total de lumens da luminária}}{\text{Total de lumens da lâmpada}} \end{aligned}$$

LOR pode ser especificado como ULOR (Upper Light Output Ratio) e DLOR (Downward Light Output Ratio).

A eficiência do sistema de iluminação é definida por:

$$\begin{aligned} \text{LEF} &= \text{Luminaire Efficiency Factor} \\ &= \text{Eficiência da fonte de luz} * \text{LOR} * \text{Eficiência do driver} \end{aligned}$$

A unidade do LEF é lm/W.

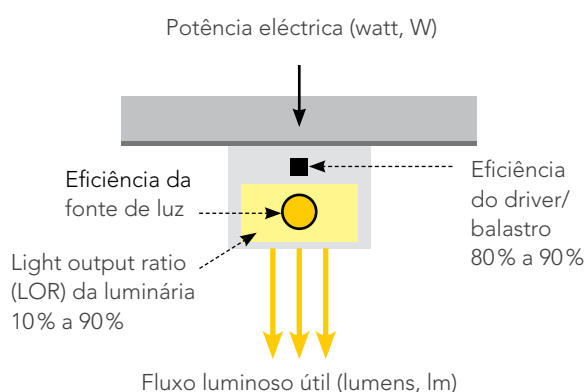


Figura 7 Eficiência de um sistema de iluminação e fluxo luminoso útil

Em alguns contextos LEF denomina a eficiência (luminosa) da luminária [lm/W] com o símbolo: η_L

Para a iluminação de tarefas, não é suficiente considerar apenas a LEF. É fundamental considerar a distribuição da intensidade luminosa da luminária, ou seja, uma lâmpada LED omnidirecional nua ou um módulo com 100% LOR pode fornecer uma iluminância mais baixa que uma lâmpada com 80% LOR apropriada.

Existem diferentes requisitos de eficiência para edifícios novos ou para instalações de novos sistemas de iluminação. Os requisitos mais comuns são:

- **W/m² máximo** para projetos de novas instalações, incluindo lâmpadas, balastro/drivers e dispositivos de controlo (ainda de acordo com os níveis de iluminância na EN12464-1:2011) [3, 6];
- **kWh/m², ano, máximo** utilizando a metodologia e os critérios de consumo de energia descritos na norma "EN 15193 Desempenho energético em edifícios – Requisitos energéticos para a iluminação" incluindo o indicador numérico da energia na iluminação (LENI) em kWh/m², ano. Alguns países têm legislação nacional relacionada com os requisitos do tempo de funcionamento, por ex: a Polónia. Quando não se conhecem as horas de funcionamento anual, o anexo G da EN 15193 fornece valores predefinidos para certos tipos de edifício.

3.2 Retrofit de lâmpadas T8

Os tubos fluorescentes com balastro eletromagnético podem ser substituídos por lâmpadas tubulares LED, se o fabricante das lâmpadas LED fornecer instruções e uma declaração assumindo a responsabilidade pela combinação específica da luminária e da lâmpada. O arrancador existente pode necessitar de ser substituído ou removido. Dependendo dos requisitos nacionais de segurança, pode não ser necessário que o trabalho seja executado por um eletricista.

Uma luminária que contenha tubos fluorescentes com balastro eletromagnético também necessita de uma intervenção/modificação técnica (conversão), ou seja, a substituição do equipamento de controlo e/ou ligações internas, que devem ser realizadas por um eletricista, garantindo que cumprem as normas de segurança e atendem aos requisitos necessários de compatibilidade eletromagnética. Nesse caso, a marca CE original deve ser removida e substituída por uma nova marca CE.

Para este tipo de retrofit, a distribuição da iluminação é alterada. Em comparação com o fluxo do tubo fluorescente, o tubo LED tipicamente emite apenas 50-60% do fluxo com a radiação num ângulo menor,

entre 135-160°, enquanto o tubo fluorescente irradia em 360°. Dependendo da luminária, da geometria de instalação e da aplicação, o mais pequeno ângulo de feixe do tubo LED normalmente compensa o menor fluxo direto debaixo da luminária com o fornecimento da quantidade de iluminação necessária. De qualquer forma, pode haver outros problemas com o LED, por exemplo, calor na luminária e/ou o cálculo da luz original já não ser aplicável, uma vez que a geometria e o reflector da luminária fornecem uma boa distribuição de luz na sala quando é utilizado o tubo fluorescente.

Caso a distribuição da iluminação exterior da luminária seja importante, esta solução de retrofit não é geralmente aceitável porque o cliente pode vir a verificar zonas escuras na divisão. Isto poderá ser compensado movendo as luminárias e instalando luminárias extras, no entanto, de uma perspetiva económica, a solução poderá deixar de ser competitiva.

Em geral, recomenda-se a recuperação da luminária e da fonte de iluminação de acordo com os conselhos apresentados na próxima subsecção. Esta solução proporcionará poupanças mais elevadas de energia devido ao uso de uma luminária LED dedicada que fornece uma boa distribuição de luz. Esta solução também pode incluir opções para controlo de iluminação.

3.3 Seleção das luminárias LED

Com o objetivo de obter boa qualidade de iluminação e selecionar luminárias LED com elevada eficiência energética, o instalador deve considerar e pesar uma série de parâmetros:

- A aparência;
- A distribuição de luz necessária;
- Existe a necessidade de combinar iluminação direta e indireta?
- Existe a necessidade de dirigir a luz por refletores?
- Selecionar os tipos de luminária adequados, com controlo de encandeamento, a distribuição de luz e iluminância (lux) necessárias, sendo o mais energeticamente eficiente possível;
- Existe necessidade de controlo de iluminação e quais os tipos de controlos necessários?
- Facilidade de manutenção, incluindo resistência à sujidade, limpeza, troca de componentes, design modular e reparação.



Figura 8 Diferentes tipos de luminárias para interiores

3.5 Custo do ciclo de vida e período de retorno

O investimento, frequentemente avultado, para sistemas de iluminação LED deve, sempre que possível, ser justificado por uma análise do Custo de Ciclo de Vida (LCC - Life Cycle Cost).

LCC = Investimento (projeto, sistema de iluminação, controle, instalação)
 + funcionamento (consumo de energia)
 + manutenção (limpeza e substituição das fontes de luz e drivers/balastos)
 – apoio à poupança de energia (subsídios, isenções fiscais)

LCC =

$$n \times (C_L + C_i) + \frac{(n \times L_p \times P_L \times C_E)}{1000} + a \times n \times \frac{L_p}{L_L} \times C_{m1} + C_{m2} - W \times C_T$$

- n Número de luminárias
- C_L Preço das luminárias incluindo fonte de luz
- C_i Preço da instalação de cada luminária
- P_L Potência por luminária incluindo fonte de luz e driver/balastro
- C_E Preço da electricidade
- C_T Preço do apoio à poupança de energia (€/kWh)
- W Poupanças anuais comparadas com o sistema de iluminação anterior
- h Horas de funcionamento anuais
- a Constante com valor "1" se $L_L < L_p$ ou caso contrário será "0"
- L_L Tempo de vida da fonte de luz
- L_p Tempo de vida do projeto (tipicamente da fonte de luz LED)
- C_{m1} Custo para substituição da fonte de luz

C_{m2} Outros custos de manutenção na vida útil do projeto

Os custos de aquisição são tipicamente mais elevados para os sistemas de iluminação LED quando comparados com os sistemas tradicionais, enquanto os custos de funcionamento e de manutenção são mais baixos. Uma avaliação de LCC pode justificar os custos do investimento inicial quando se considera os custos e as poupanças sobre o tempo de vida do sistema de iluminação. Os cálculos LCC devem incluir parâmetros como o custo da mão-de-obra, custos de energia, preço da compra, tempo de vida expectável das luminárias, custos de manutenção (trabalho para limpar e reparar, frequência da limpeza, etc).

Num projeto de retrofit com LEDs, o cálculo do período de retorno simples é suficiente para o custo de ciclo de vida:

Retorno de investimento

$$\text{simples (anos)} = \frac{\Delta IC}{\Delta OC + \frac{\Delta MC}{L_p/h}}$$

- ΔIC Diferença dos custos de investimento
- ΔOC Diferença dos custos anuais de funcionamento
- ΔMC Diferença dos custos de manutenção durante o tempo de vida do projeto
- L_p Tempo de vida do projeto
- h Número de horas de funcionamento anual
- (L_p/h) Tempo de vida do projeto em anos

O período de retorno simples não considera a taxa de juros anual, o que torna este método de avaliação pouco apropriado quando a taxa de juros for alta e/ou a vida útil do projeto for superior a 5 anos. Nessas situações, o período de retorno atualizado pode ser calculado somando as poupanças descontadas. O ano em que as economias descontadas resumidas são iguais a ΔIC é o período de recuperação.

$$\text{Retorno atualizado} = \text{poupanças anuais} / (1 + i)^n$$

i taxa de desconto

n ano no tempo de vida do projeto

Como alternativa, os custos do ciclo de vida podem ser calculados utilizando por exemplo uma das seguintes abordagens:

- 1 Método do valor atual líquido** tal como especificado pelo Relatório Técnico CIE 115:2010, p. 24. [CIE] incluindo a utilização do valor descontado das poupanças anuais;
- 2 Método dos custos médios anuais** tal como especificado pelo Relatório Técnico CIE 115:2010, p. 24. [CIE].

4. Controlo de iluminação



A iluminação representa uma grande parte do consumo de eletricidade no setor dos serviços. O tempo de funcionamento da iluminação é muitas vezes longo e constante. A implementação de diferentes tipos de controlo de iluminação é fundamental, pois pode levar a elevadas poupanças energéticas. Apresentam-se de seguida informações e orientações sobre estratégias de controlo, uso da luz natural, diferentes tipos de controlos e sensores, iluminação inteligente e iluminação centrada em humanos.

4.1 Seleção da estratégia de controlo

O controlo de iluminação pode ser executado por:

- Controlo manual usando interruptores localizados e reguladores;
- Controlo automático usando temporizadores e sensores de ocupação e fotoelétricos;
- Combinação de controlo manual e automático.

A Figura 9 mostra um método para selecionar uma estratégia de controlo com quatro etapas, verificando os aspetos da situação inicial e o tipo de utilização do prédio e das divisões [21]:

- 1 Disponibilidade de luz natural;
- 2 Padrão de ocupação;
- 3 Número de ocupantes;
- 4 Tipo de ocupação, incluindo:
 - Ocupação variável onde os ocupantes passam parte do seu tempo no seu espaço;
 - Estadias agendadas relativamente curtas (por exemplo: salas de aulas, salas de reuniões);
 - Ocupação total onde os ocupantes estão no local de trabalho todo o dia útil;
 - Ocupação intermitente para uma área visitada apenas ocasionalmente por períodos curtos.

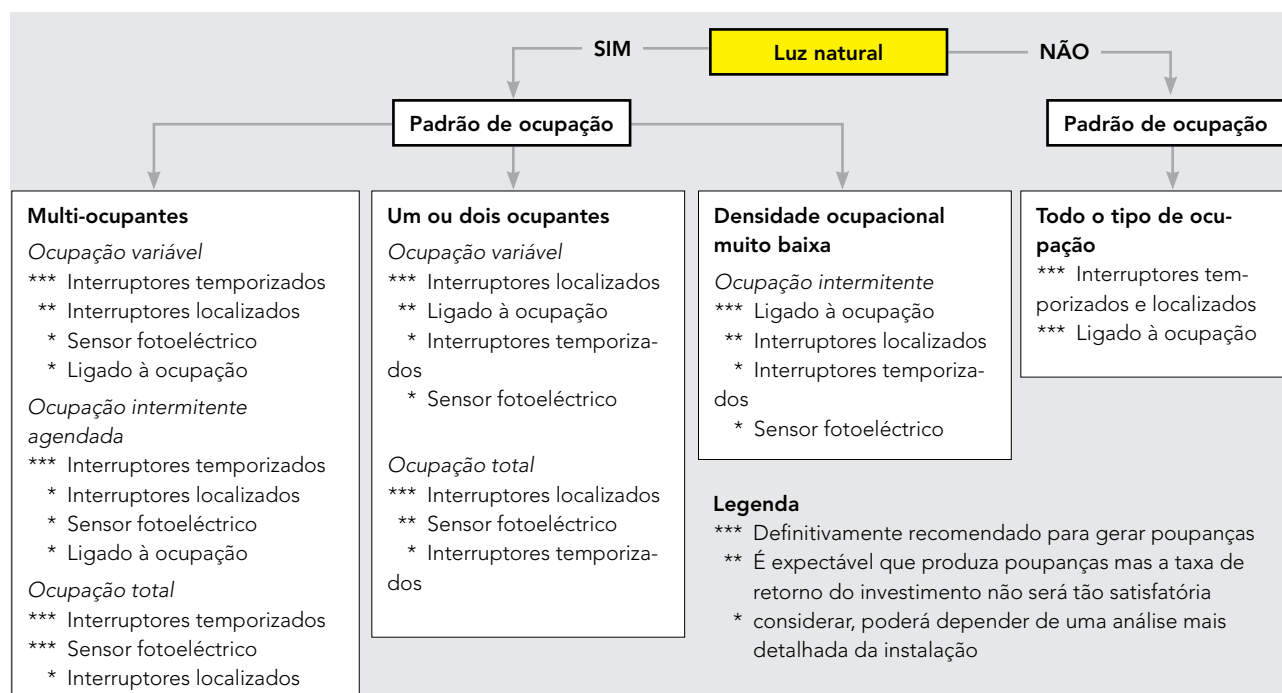


Figura 9 Seleção de uma estratégia de controlo

4.2 Utilização de luz natural

A luz do dia é considerada revigorante, proporcionando melhor qualidade de iluminação do que a luz artificial e cores mais confortáveis devido à variação contínua dos níveis de iluminância, direção e composição espectral da luz durante o dia [32]. A luz natural cria interiores mais saudáveis [veja a seção 4.4 sobre iluminação centrada nos seres humanos] e um nível de bem estar mais elevado para os ocupantes, levando a um melhor desempenho no trabalho e aumento da produtividade [31].

O potencial de poupança de energia utilizando a luz natural para a iluminação em edifícios depende da arquitetura do edifício (por exemplo, o tamanho das janelas e a transmissão de luz através do vidro), edifícios e vegetação circundantes, latitude geográfica e condições meteorológicas.

As janelas são uma entrada privilegiada de luz natural e o contacto visual com o exterior. No entanto, é importante garantir que estas não causem desconforto visual (encandeamento) ou desconforto térmico [30], ou perda de privacidade. De modo a evitar estes obstáculos, as oportunidades de iluminação natural devem ser tidas em consideração logo no início do projeto de construção.

Uma abordagem integrada, considerando a fachada do prédio e o sistema de iluminação em conjunto, proporcionará um aumento das poupanças energéticas e a melhoria do conforto em comparação com a prática convencional não integrada, onde os arquitetos responsáveis pela fachada do prédio raramente exploram, junto com os consultores do sistema de iluminação, a integração de luz natural através de janelas [15 e 16].

Nos edifícios novos, a utilização ideal da luz natural que leva a poupanças energéticas e maior conforto **exige que a fachada do prédio e o sistema de iluminação sejam projetados em conjunto.**

A concretização do potencial de poupança de energia através da utilização de luz natural requer um bom controlo da iluminação artificial. Os sistemas de controlo mais simples são bastante eficazes. Estudos mostraram [35] que é mais provável que um ocupante ligue as luzes ao vir de um espaço mais brilhante do que de um espaço escuro. Uma vez que os interruptores manuais são a forma mais comum de controlo de iluminação, uma forma simples de poupar energia é

garantindo que a iluminância nos corredores seja substancialmente menor do que na sala onde o trabalho está a ser realizado.

Alguns países têm legislação nacional que requer controlo da luz natural, p. ex: o regulamento dinamarquês da construção [24] exige que, no caso de existir luz natural suficiente nas salas de trabalho (escritórios, etc.) e áreas de acesso (por exemplo, corredores), estes devem ser providos de **controlo automático da luz natural.**

As janelas verticais são a solução mais comum para distribuir a luz natural. Para a maioria das tarefas visuais em edifícios comerciais, uma superfície envidraçada de aproximadamente 20% da área em planta proporcionará iluminação natural adequada a uma profundidade de aproximadamente 1,5 vezes a altura da sala [21].

A prática de maximizar as áreas das janelas geralmente prevalece como uma solução para aumentar a capacidade de iluminação natural. No entanto, esta prática pode contrariar as capacidades de poupança energética da iluminação natural, criando rácios de iluminância extremamente diferentes dentro do espaço, exigindo, consequentemente, mais luz artificial para equilibrar o ambiente iluminado [21] ou sistemas complexos para redirecionar a luz, como prateleiras e persianas de luz [36], tetos reflexivos e / ou falsos [38]. Em conclusão, **uma superfície de janela demasiado grande pode levar à necessidade de persianas para direcionar a luz e tetos falsos.**

Nos espaços com janelas laterais, a iluminação deve ser controlada em filas paralelas às janelas, de modo que as filas possam ser ligadas ou desligadas individualmente.

Os sistemas de luz natural simples (por exemplo, no telhado e fachada) geralmente apresentam melhores resultados do que os sistemas de fachada mais desenvolvidos que tentam direcionar a luz natural difusa para a construção através da adição de superfícies refletoras [30].

O desempenho dos sistemas de luz natural varia e depende da manutenção e durabilidade dos seus componentes. A sujidade, a condensação ou a deterioração da superfície reduzem rapidamente a eficiência ótica, por vezes em mais de 50% [30].

A utilização de uma claraboia horizontal fornece aproximadamente três vezes a quantidade de luz

natural de uma janela vertical do mesmo tamanho [21]. As claraboias podem ser colocadas mais perto do centro da área de utilização e, portanto, oferecer uma distribuição de luz mais uniforme por todo o espaço. No entanto, as claraboias horizontais recolhem mais luz e calor no verão do que no inverno, o que geralmente se opõe às condições desejadas. Consequentemente, as claraboias verticais ou quase verticais, são as mais utilizadas.

As claraboias verticais ou quase verticais projetadas de acordo com o ângulo do sol podem regular a quantidade de luz natural, obstruindo a luz solar direta no verão e admitindo a luz solar no inverno.

Existem “tubos de luz” que conduzem luz natural com ajuda dos helióstatos, concentrando a luz através de espelhos ou lentes e redirecionando-a para praticamente qualquer espaço em todo o edifício através de tubos ou fibra ótica. Além disso, os “tubos de luz” são altamente vantajosos, considerando que transmitem luz sem a transmissão de calor [21] [31]

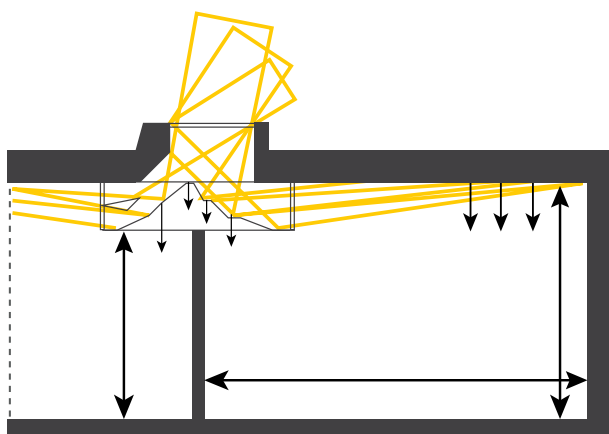


Figura 10 Exemplo de uma claraboia que divide e redireciona a entrada da luz do dia para o plano do teto em dois escritórios separados sem janela [33]

4.3 Controlo manual

Em áreas com ocupação elevada, é desejável o uso de interruptores localizados, com níveis variáveis de iluminação. Estudos efectuados em escritórios “open space” mostraram grandes variações nas preferências dos utilizadores, com alguns ocupantes a ligar a iluminação em quase todas as condições e outros só quando é realmente necessário.

Tipicamente, o controlo individual resulta em maiores poupanças de energia em comparação com o controlo centralizado de todo o espaço com apenas um interruptor.

A comutação localizada pode ser implementada de diversas formas com diversos graus de complexidade e técnicas distintas:

- Controlo manual;
- Controlos remotos de infravermelho;
- Controlo através de uma rede interna ligada a um sistema de controlo central [18].

A facilidade de utilização e a velocidade de operação afetam a forma como os ocupantes usam os controlos, por ex: quando os controlos são difíceis de usar, os ocupantes podem escolher condições de iluminação que minimizem a necessidade de uso de controlo, geralmente, um alto nível de iluminância.

No que diz respeito ao controlo de grupos de luminárias, uma regra prática diz que o número de interruptores num espaço não deve ser inferior à raiz quadrada do número de luminárias. Assim, 16 luminárias exigem pelo menos 4 interruptores.

4.4 Controlo automático

O controlo automático da iluminação - com anulação manual - oferece excelentes oportunidades para melhorar o desempenho, a satisfação dos ocupantes e a eficiência energética.

No entanto estes sistemas têm, por vezes, fracos desempenhos porque não foi dada atenção suficiente à forma como as pessoas reagem e fazem uso das opções de controlo [32] [37]. Frequentemente, os problemas surgem porque a tecnologia foi considerada como a solução em si mesma, sem compreensão ou análise suficiente de como a gestão, os ocupantes, os visitantes e outros utilizadores (como o pessoal de limpeza), poderão reagir a ela ou utilizar.

O estudo BRE [34] indicou que a elevada satisfação dos utilizadores e a elevada eficiência geralmente são associadas à instalação de um alto nível de controlo local, elevada consciencialização dos controlos e a controlos fáceis de usar.

Existem três formas principais de implementar o controlo automático:

1 Sistemas de controlo centralizados, visam regular a luz em várias salas, um piso ou um edifício inteiro. Luminárias, sensores e computadores estão conectados por uma rede. As luminárias são controladas por um computador dedicado ou por um sistema de gestão de edifícios. A mudança e / ou a regulação podem estar relacionados com a hora, luz natural e ocupação. As luminárias podem ser ligadas em grupos ou controladas em sequências particulares. O período de tempo em que uma luminária está ligada pode ser monitorizado, o que fornece importantes informações de gestão sobre o consumo de energia e manutenção. Por razões de segurança, as instalações de iluminação de emergência não devem ser incluídas no sistema de controlo centralizado do edifício [29].

2 Sistemas de controlo independente são semelhantes aos sistemas centralizados, mas são dedicados ao controlo da iluminação apenas numa divisão ou mesmo em partes de uma divisão.

3 As luminárias inteligentes possuem os seus próprios sensores de controlo que podem sinalizar o ligar/desligar, regulação ou outro. O controlo pode ser substituído por um controlador infravermelho de mão. As luminárias podem ser programadas para proporcionar uma iluminação constante ao longo do ciclo de manutenção da instalação. O nível de iluminação e o atraso de tempo, que funciona quando o sensor de ocupação deixa de registar o movimento, pode ser ajustado manualmente usando controlos dentro da luminária ou remotamente.

4.5 Controlo por temporização

Existem dois tipos de controlo de temporização:

1 Temporizador onde as luzes estão programadas para desligar depois de terem estado ativas por um período de tempo específico. Isto é particularmente eficaz para espaços onde a luz não utilizada é

frequentemente deixada ligada, como salas de descanso, armários e corredores.

2 Temporizador onde o sistema de luz está programado para fornecer iluminação através de períodos designados, desligando as luzes durante as pausas do almoço e no final do dia. A iluminação desligada pode ser reativada manualmente.

O temporizador é especialmente benéfico para desligar a iluminação em horários fixos quando o espaço fica desocupado (por exemplo, num museu ou num edifício com horário de funcionamento fixo), à noite ou no fim de semana.

O interruptor temporizado é útil onde a iluminação só é necessária por um período de tempo definido, por exemplo, para ver uma exposição.

4.6 Controlo ligado ao sensor de ocupação

Bem aplicados, os sensores de ocupação podem proporcionar poupanças elevadas assegurando que as luzes estão desligadas nas salas desocupadas. As aplicações mais apropriadas para sensores de ocupação são os espaços onde os padrões de ocupação são:

- **Intermitente:** sanitários, entradas, escadas, corredores, arrecadação e caves;
- **Imprevisível:** (caso contrário, deverá ser utilizado o interruptor temporizado) escritórios, salas de reuniões e conferências, salas de aula, laboratórios.

Os sensores de ocupação são dispositivos sensores de movimento que executam três funções primárias:

- Ligam as luzes quando se entra numa sala;
- Mantêm as luzes ligadas quando a sala está ocupada;
- Desligam as luzes quando a sala está desocupada. Este tipo de controlo garante que a iluminação seja desligada de noite e no fim de semana.

Existem três tipos de sensores de ocupação:

1 Sensores de ocupação PIR (Passive InfraRed) que funcionam em resposta ao movimento da energia infravermelha (ou calor) produzido pelo corpo humanos;

2 Sensores de ocupação ultrassónica que funcionam respondendo à mudança nas ondas de som refletidas num espaço causado por um objeto

em movimento. Eles não precisam de uma linha de visão direta para detectar o movimento, ao contrário dos sensores infravermelhos passivos, pois detectam movimentos menores. Os sensores ultrassônicos funcionam em frequências acima da sensibilidade humana (20 kHz); frequências de funcionamento típicas são 25, 30 e 40 kHz [11];

3 Os sensores de ocupação de tecnologia dupla (híbridos) combinam PIR e tecnologia ultrassônica. Eles mantêm as luzes acesas se uma das duas tecnologias detecta o movimento e desligam as luzes se nenhuma das duas tecnologias detecta o movimento. Estes produtos são mais fiáveis, pois reduzem a probabilidade das luminárias desligarem enquanto o espaço estiver ocupado.

Os sensores de ocupação estão disponíveis com uma variedade de opções de controlo manual e/ou automático:

- **Sensores automáticos ON/OFF:** acendem a luz quando o movimento é detectado e desligam-na quando nenhum movimento é detectado. O desligar normalmente ocorre com um atraso a partir da última deteção de ocupação. O atraso deve ser ajustado de acordo com a função da divisão, ou seja, curto para corredores, médio para sanitários e mais longo para escritórios. Estes produtos são apropriados quando o controlo automático sem anulação manual é desejado.
- **Manual ON/OFF e automático OFF:** são ligados manualmente. Os sensores desligam automaticamente as luminárias quando não detectam mais movimento, se o ocupante não desligar manualmente as luminárias. Esses produtos são adequados quando o ocupante, por vezes, escolhe deixar as luminárias desligadas quando a luz do dia é adequada ou quando o ocupante deseja manter o controlo.
- **Sensores dois níveis ON e automático OFF:** proporcionam um controlo semelhante a uma disposição de comutação de dois níveis com controlo separado das lâmpadas dentro de uma luminária ou luminárias individuais de comutação separadas. O utilizador tem a opção de selecionar manualmente a configuração “half-on” ou “full-on” no sensor.
- **Reguladores manual ON e automático OFF:** funcionam de forma semelhante aos sensores de ligação manual / ligação automático, exceto que incorporam um regulador da luminosidade.

Quanto à montagem, existem duas categorias de sensores de ocupação disponíveis com sensores PIR ou ultrassônicos:

- Os **sensores montados no teto** empregam um controlador independente e / ou uma fonte de alimentação. Podem ser montados na parede ou numa esquina, bem como no teto. Foram dos primeiros tipos de detetores de movimento a serem usados em aplicações de iluminação e permanecem ainda como o tipo de sensores mais populares [11]. A instalação dessas unidades requer a abertura do teto ou da parede, uma vez que eles devem ser ligados ao sistema de distribuição elétrica, o que implica um custo de instalação relativamente alto para aplicações de retrofit.
- Os **sensores montados numa caixa de parede** são projetados principalmente para retrofit com interruptores de parede comuns em escritórios mais pequenos [11]. Estas unidades têm todos os componentes numa única caixa e, portanto, podem ser facilmente ligadas aos interruptores existentes na sala. De qualquer forma, há pouca flexibilidade de design, uma vez que a localização da caixa de parede está tipicamente instalada a 110 cm acima do chão. Outra desvantagem é que a divisão e os móveis da divisão podem limitar a cobertura. Em pequenos escritórios e salas de conferências com interruptores de parede, os sensores montados na caixa de parede são muito rentáveis, pois os dispositivos são bastante baratos e o custo da instalação é quase insignificante.

Um evento “falso negativo” ocorre quando o sensor desliga a luz enquanto a sala está ocupada. Eles são a principal razão pela qual alguns ocupantes não estão satisfeitos com os sensores de ocupação. Eventos “falsos negativos” podem ser evitados com o uso de sensores de ocupação de tecnologia dupla e / ou configuração adequada dos sensores.

Eventos “falsos positivos” (ou seja, as luzes acesas quando a sala está desocupada) podem ser evitados com o uso de sensores manual ON/OFF e automático OFF.

As poupanças energéticas para aplicações com sensor de ocupação variam consideravelmente dependendo do tamanho da área coberta e do padrão de ocupação, mas são tipicamente entre 35 a 45% [11].

4.7 Controlo ligado à luz natural

Num sistema de controlo associado à luz natural, os sensores fotoelétricos medem a quantidade de luz natural presente e ajustam a quantidade de luz artificial em conformidade. Os sensores fotoelétricos podem

ser colocados centralmente para controlar várias luminárias, ou montados em cada luminária para controlo individual. O controlo individual de cada luminária, apesar de ter uma instalação mais cara, fornece uma regulação mais precisa do nível de iluminação para cada parte da área a iluminar.

Os sistemas de controlo ligados à luz natural funcionam de duas maneiras:

1 Interruptor fotoelétrico on/off onde é importante incorporar atrasos no sistema de controlo para evitar mudanças rápidas, por ex: causadas por nuvens em movimento rápido.

2 Regulação fotoelétrica que garante que a soma da iluminação natural e elétrica atinja sempre o nível de iluminação projetado, detetando a luz total na área controlada e ajustando a iluminação artificial.

A regulação fotoelétrica proporciona maior poupança energética do que os interruptores fotoelétricos on/off e é mais provável que garantam a satisfação dos ocupantes [29].

O interruptor ou a regulação automática da luz natural nos espaços iluminados são benéficos em salas com ocupação completa todo o dia, por ex: em receções e áreas de circulação.

4.8 Compatibilidade de controlos

A falta de compatibilidade representa uma potencial barreira para a utilização de iluminação LED eficiente no caso em que luminárias para lâmpadas incandescentes alimentadas por um regulador de 2 fios sejam reequipadas com lâmpadas LED.

Neste tipo de retrofit, recomenda-se a verificação da compatibilidade da solução LED com os reguladores existentes.

Na aquisição de um novo sistema de controlo de LED, recomenda-se que se exija que o mesmo seja compatível com outros equipamentos para evitar ficar preso a um sistema de controlo de LED que não pode ser utilizado com produtos LED diferentes dos fornecidos com o sistema original.

4.9 Iluminação inteligente

Lâmpadas e luminárias inteligentes combinam avanços tecnológicos em comunicações sem fio e LEDs. Algumas das funções inteligentes são:

- Ajuste da cor, regulação de fluxo, ligar/desligar e ajuste gradual da iluminação ao longo do tempo;
- Conectividade para ativação de serviços, monitorização de segurança e envio de dados;
- Monitorização do consumo de energia ou visitas/movimentos de clientes, além de armazenamento de dados;
- Amplificação / retransmissão de sinal;
- Detetor de presença embutido ligado ao sistema de automação do edifício para controlar a iluminação e a ventilação;
- Termopares integrados ligados ao sistema de automação do edifício para controlar o sistema AVAC (sem impacto na iluminação);
- Manutenção do fluxo luminoso constante durante a vida útil do equipamento.

As funções sem fios implicam que as luminárias inteligentes consumam energia sempre que ligadas à rede, mesmo quando não fornecem iluminação, mas aguardando uma instrução de um dispositivo de controlo. Muitos sistemas requerem ainda portas de comunicação adicionais para traduzir o sinal de comunicação entre o dispositivo de controlo e as lâmpadas/luminárias, que também consomem electricidade.

É muito importante solicitar informações sobre:

1 Consumo em standby para o controlo sem fios, bem como para controlo com fio. As primeiras medidas indicativas para produtos domésticos controlados sem fios [10] mostraram variações muito amplas no consumo em modo de standby para diferentes produtos, o que obviamente também acontece com os produtos e sistemas de iluminação inteligentes.

2 As fontes de alimentação em todos os componentes do driver no modo de standby. Se os drivers estiverem sempre ligados, isto terá uma grande influência no tempo de vida, por ex.: para uma vida útil de 30.000 h, um driver sempre ligado teria de ser substituído antes de 3,5 anos.

3 Para edifícios comerciais, muitos dos sistemas atuais dependem de hardware e software exclusivos e são geralmente usados protocolos diferentes nos sistemas de automação de edifícios. Por conseguinte, é importante saber se existe um protocolo

aberto utilizado na comunicação do sistema de iluminação inteligente, incluindo lâmpadas inteligentes, portas de comunicação, luminárias, controles, medidores e sistemas de gestão (software) e se o **sistema é interoperável com outros produtos / sistemas**? A falta de interoperabilidade entre produtos de iluminação inteligentes de diferentes fabricantes é um problema e um grande desafio.

Esforços para elaborar mais normas que suportem a interoperabilidade de sistemas estão em curso. Alianças entre fabricantes estão formadas para vários protocolos, mas cada um lida apenas com a utilização do seu próprio protocolo.

O potencial de mercado da iluminação inteligente é grande, assim que a plataforma que possibilita a funcionalidade esteja estabelecida. Os produtos de iluminação inteligente podem ser usados em museus, salas de exposições, centros comerciais e supermercados, onde as lâmpadas podem ser usadas como nós Wi-Fi ou LiFi para ajudar os consumidores com telefones inteligentes a navegar num prédio ou encontrar produtos numa loja [20, 19]. Nessas instalações, as horas diárias de funcionamento são tipicamente altas e a eficácia é relativamente alta, mas os recursos de controlo podem ser usados para aumentar as poupanças energéticas ao desligar as luzes que normalmente permaneceriam ligadas. A interação das luzes inteligentes e dos telefones inteligentes pode ativar informações visuais e auditivas para visitas de museu autoguiadas ou informações de produtos numa loja.

4.10 Iluminação centrada em humanos

Até há cerca de 200 anos, 90% do nosso tempo de vigília era passado no exterior. Os seres humanos evoluíram em harmonia com o ciclo de iluminação natural mais comum da Terra:

- Níveis de luz e CCT (Temperatura de Cor Correlacionada) baixos no início da manhã;
- Níveis de luz e CCT elevadas ao meio dia (até 10 000 K);
- Níveis de luz e CCT baixos ao entardecer;
- Níveis de luz extremamente baixos e um CCT médio sob o luar.

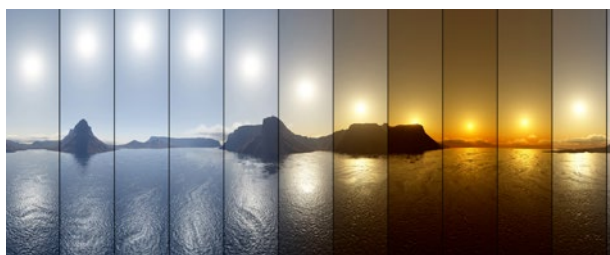


Figura 11 A luz solar num dia de verão acima do círculo polar

Estas variações nos níveis de luz são a base do relógio interno de 24 horas do ser humano, também chamado ritmo circadiano. Hoje, uma grande parte da população gasta cerca de 90% do tempo em espaços interiores com iluminação artificial. Enquanto estamos no trabalho, a nossa iluminação é geralmente mantida em níveis de luz e CCT constantes, o que não é consistente com o ritmo circadiano que pode ser perturbado sem exposição regular e direta à iluminação dinâmica. Esta situação pode causar problemas de saúde uma vez que a luz e a escuridão controlam a produção de hormonas específicas.

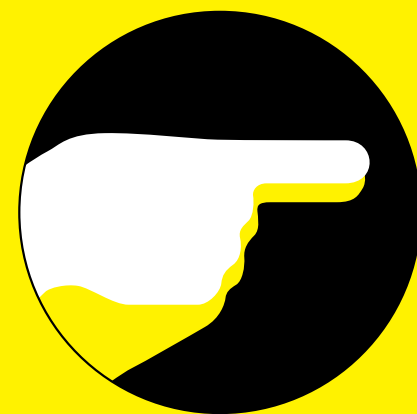
Com um ritmo circadiano natural, as seguintes hormonas são produzidas durante o dia [12]:

- Dopamina para o prazer, manutenção da atenção e coordenação muscular;
- Seratonina ue estabiliza o humor e ajuda na digestão;
- Cortisol para resposta ao stress;
- Melatonina para o sono.

A recente descoberta de células ganglionares intrinsecamente fotosensíveis (ipRGC) da retina indica que estas são muito importantes na regulação do relógio interno. A luz rica em conteúdo azul estimula os foto-receptores ipRGC, contrai as pupilas, encoraja a produção de dopamina, serotonina e cortisol, mas suprime a melatonina. A exposição prolongada a luz rica em conteúdo azul durante o dia pode levar as pessoas a serem mais atentas e produtivas no trabalho. No entanto, a exposição a demasiada luz azul no trabalho nocturno ou por turnos, pode levar à redução da produção de melatonina e consequentes problemas de sono.

A iluminação LED com controlo é capaz de variar a luminância e temperatura de cor (de 1800 a 6500 K), fornecendo o ciclo de iluminação natural que as pessoas necessitam - Iluminação Centrada em Humanos (HCL - Human Centric Lighting).

Vários hospitais onde foi instalada a HCL, relatam que os pacientes recuperam mais rápido e que as equipas de serviço se sentem mais confortáveis. A HCL também pode ser instalada em escritórios e outros tipos de salas.



5. Critérios para aquisição de equipamentos

Este capítulo é o núcleo do guia, como explicado na secção 1.3 e ilustrado pela figura 1. As pessoas afetas ao departamento de compras e outros decisores podem começar por ler este capítulo sobre os critérios de aquisição. Além disso, o leitor pode pesquisar informações de fundo nos capítulos de suporte sobre projeto de iluminação (qualidade de iluminação), eficiência energética e LCC e controlo da iluminação. O subsequente e último capítulo fornece informações sobre Boas Práticas para cada uma das principais categorias de consumidores no setor de serviços: escritórios, escolas, museus e exposições, lojas de comércio e setor da saúde.

O objetivo dos critérios é apoiar no processo de aquisição, tanto na instalação de iluminação em edifícios novos como no retrofit da iluminação em edifícios existentes. Os critérios incluem requisitos ao nível do sistema de iluminação e ao nível dos componentes.

Na transição em curso para o uso da tecnologia de iluminação LED, é importante concentrarmo-nos não só nas grandes oportunidades de eficiência energética como também na iluminação de alta qualidade. A tecnologia LED é muito diferente das antigas tecnologias de iluminação e possui muitas possibilidades de inovação, por ex: através de luminárias otimizadas, iluminação integrada, controlo flexível de iluminação, temperatura de cor, imitação da variação de iluminação exterior durante o dia, iluminação inteligente e melhor utilização da luz natural.

Os principais parâmetros estão incluídos nos critérios de aquisição, enquanto a inovação é abordada na especificação e análise do projeto de iluminação. Os critérios incluem parâmetros como potência e consumo de energia, eficácia das fontes de luz, standby, temperatura de cor, restituição de cor, vida útil, compatibilidade,

tremulação, controlo de iluminação, custo do ciclo de vida e manutenção.

Os principais modelos de negócio no setor terciário são os contratos ESCO, bilaterais e contratos-quadro [32, 33 e 34]. Dependendo do enquadramento nacional, os projetos podem ser realizados com uma combinação de diferentes opções financeiras: financiamento próprio, financiamento de terceiros, leasing, financiamento ESCO, prestações, incentivos e outros. Mais informações sobre este tópico podem ser encontradas em: www.premiumlightpro.eu/indoor-lighting/funding-concepts

5.1 Potência e consumo de energia para novos sistemas de iluminação

Em 2012, a UE definiu os critérios para os Contratos Públicos Ecológicos (GPP - Green Public Procurement) para a iluminação interior como um instrumento voluntário [6]. No entanto, esses critérios estão desatualizados devido aos constantes desenvolvimentos tecnológicos de LEDs.

Na Suíça, está prestes a ser publicada uma nova norma [3], incluindo o máximo de W/m^2 para um projeto de novas instalações, incluindo lâmpadas, balastros/driver e equipamentos de controlo (ainda de acordo com os níveis de iluminância na EN 12464-1: 2011). A norma Suíça funciona com um valor máximo de W/m^2 e um valor alvo mais baixo. Depois de avaliar esses dois conjuntos de valores, foi decidido calcular a média dos dois conjuntos de valores e usá-los como recomendações para os setores em questão [3]. Esta média entre os níveis alvo e máximo também é recomendada pelo programa Minergie [3].

A recomendação PremiumLightPro é usar os requisitos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Consumo máximo de energia em W/m² para sistemas de iluminação novos

Tipo de edifício e divisão		Máximo W/m ²
Arte	Teatro	5.8
	Salão	5.8
	Sala de exposições	5.8
Hospital	Quarto de paciente	5.6
	Sala de observações	10.3
	Sala de tratamentos	10.3
Hotel	Quarto	6.4
	Lobby	5.5
Escritório	Gabinete individual ou de grupo	10,3
	Gabinete grande	8,1
	Sala de reuniões	10.3
	Hall	5.9
Restaurante	Restaurante	4.9
	Cafetaria	2.9
	Cozinha em restaurante	15.5
	Cozinha em cafeteria	12.1
Loja	Vendas de comida	12.3
	Loja	12.3
	Venda de mobiliário	9.9
Escola	Sala de aulas	9.1
	Sala de professores	6.2
	Libreria	4.9
	Sala de concertos	8.1
	Laboratórios	9.1
Desporto	Ginásio	9.3
	Sala de fitness	5.3
	Piscinas	6.0
Parques de estacionamento, e outros	Zona de tráfego	2.9
	Zona de tráfego em	5.9
	Hospital	5.9
	Escadas	2.5
	Exterior dos edifícios	4.2
	Cozinha, Sala de chá	5.0
	WC, Duche	8.2
	WC	4.7
	Vestiário, balneário	1.2
	Parque de carros	7.0
	Lavandaria	2.3
	Sala de climatização	2.8
	Sala de servidores	

5.2 Fontes de Luz

Em novembro de 2016, a IEA 4E SSL [1] publicou requisitos de eficácia atualizados para fontes de luz. Nesta referência, o nível 2 abrange 20-30% dos produtos no mercado em 2015. Na sequência destes requisitos com simplificação para 5 tipos de fontes de luz, a recomendação PremiumLightPro é de exigir:

- $\geq 90 \text{ lm} / \text{W}$ para lâmpadas LED não direcionais que emitem $\geq 100 \text{ lm}$. $\geq 85 \text{ lm} / \text{W}$ para lâmpadas LED direcionais que emitem $\geq 100 \text{ lm}$.
- $\geq 100 \text{ lm} / \text{W}$ para lâmpadas LED lineares com comprimento nominal de 550 mm a 1500 mm.
- $\geq 90 \text{ lm} / \text{W}$ para pequenas luminárias LED integradas com equipamento de controlo remoto onde o fluxo luminoso $\geq 100 \text{ lm}$ e $< 2.500 \text{ lm}$.
- $\geq 105 \text{ lm} / \text{W}$ para grandes luminárias LED com equipamento de controlo remoto, onde o fluxo luminoso $\geq 2.500 \text{ lm}$ e $< 50.000 \text{ lm}$.

5.3 Consumo energético em Standby

Os avanços tecnológicos em comunicações sem fios e LEDs abriram as portas para um mercado em rápido crescimento com lâmpadas e luminárias inteligentes com muitos recursos: ajuste de cor, regulação, conectividade para ativação de serviços, monitorização de segurança e envio de dados, monitorização de consumos de energia ou visitas/movimentos de clientes mais armazenamento de dados, amplificação/ retransmissão de sinal, detetor de presença integrado ligado ao sistema de automação do edifício para controlar a iluminação e a ventilação, etc.

O uso de comunicação sem fios implica que as lâmpadas e luminárias inteligentes consumam energia sempre que ligadas à rede eléctrica, mesmo quando não fornecem iluminação, mas aguardam uma instrução de um dispositivo de controlo.

Para produtos e sistemas de iluminação com standby, a recomendação PremiumLightPro é de exigir:

- Informações sobre o consumo de energia em standby (W);
- Informações sobre se há alimentação de todos os componentes do driver no modo standby e como isso influenciará a vida útil do driver;
- Informações sobre interoperabilidade (uso de protocolo de comunicação aberto).

5.4 Controlo de iluminação

As horas de funcionamento da iluminação no setor de serviços são muitas vezes longas com a luz ligada

constantemente durante todo o dia. A implementação de diferentes tipos de controlo de iluminação pode gerar elevadas poupanças energéticas.

O adquirente tem que especificar os tipos de controlo de iluminação, níveis de iluminação e outras funcionalidades. Portanto, não pode ser especificado um critério geral.

Caso a aquisição inclua controlo de iluminação, a recomendação PremiumLightPro é de exigir:

- A entidade adjudicante deve informar o instalador sobre a forma como o espaço é ocupado e utilizado, bem como todos os requisitos específicos de controlo de iluminação, incluindo problemas de segurança e proteção;
- Incluir cláusulas de desempenho no contrato que exijam que todos os controlos de iluminação funcionem corretamente;
- Fornecer orientações aos ocupantes garantindo que possam usar corretamente os sistemas de controlo de iluminação;
- Informações para a equipa de manutenção a serem utilizadas para ajuste da iluminação caso a utilização da divisão mude.

5.5 Temperatura da cor, tolerância e manutenção

Os sistemas de iluminação LED podem ser fornecidos com diferentes temperaturas de cor correlacionadas (CCT). Portanto, é importante selecionar a CCT mais adequada para cada tipo de divisão e tarefa.

A recomendação PremiumLightPro é selecionar uma das CCTs nominais na tabela 3, consistente com os quadrângulos de cromaticidade especificados e as tolerâncias Duv (como na norma ANSI C78.377: 2015 Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products) [1, Tier 3]:

Tabela 3 CCTs nominais, quadrângulos e tolerâncias Duv

Nominal CCT (K)	Ponto Central do Circulo		Raio do circulo
	CCT (K)	Duv	
2200	2238	0.0000	0.0044 in (u', v') diagrama
2500	2460	0.0000	
2700	2725	0.0000	
3000	3045	0.0001	
3500	3465	0.0005	
4000	3985	0.0010	
4500	4503	0.0015	
5000	5029	0.0020	
5700	5667	0.0025	
6500	6532	0.0031	

A recomendação [1] relativa à **manutenção de cores** é assegurar um desvio máximo admissível nas coordenadas de cromaticidade após 6000 horas de operação:

- $\Delta u', v' (6000 \text{ horas}) \leq 0.004$.

Comparando com o método de etapas MacAdam, são recomendados os requisitos ANSI acima referidos, pois são especificados todas as CCTs nominais e os pontos centrais.

Se o método de etapas MacAdam for escolhido, as recomendações são:

Tolerância para a temperatura de cor dos LED:

- <= 5 SDCM como critério mínimo geral;
- <= 3 SDCM para tarefas visuais.

Tolerância para a temperatura de cor dos LED às 6000h:

- <= 7 SDCM como critério mínimo geral;
- <= 5 SDCM para tarefas visuais.

5.6 Restituição da cor

A restituição cromática define a capacidade de uma fonte de luz branca para restituir as cores do objeto com precisão. A norma EN_12464-1 especifica os requisitos mínimos de restituição de cor para praticamente todos os tipos de tarefas pelo CRI (Ra). Em geral, um CRI acima de 80 é considerado suficiente para um juízo acertado de cor na maioria dos espaços interiores. De qualquer forma, foi descoberto [1] que, para fontes de luz LED, a medida de cores vermelhas deve ser positiva para obter uma boa restituição de cores vermelhas $R_g > 0$.

A recomendação PremiumLightPro é de exigir:

- **CRI ≥ 80 e $R_g > 0$** como critério mínimo geral;
- **CRI ≥ 90 e $R_g > 0$** para trabalho com tarefas visuais de alta prioridade, por ex: áreas clínicas em hospitais, outros tipos de cuidados de saúde, museus, teatros, trabalho com inspeção / controlo / seleção de cores e alguns tipos de lojas, por ex: venda de roupas.

5.7 Tempo de vida efetivo

Os LEDs de alta qualidade podem fornecer luz por dezenas de milhares de horas. O driver eletrônico, no entanto, pode sofrer uma falha súbita. Portanto, é importante considerar a vida útil de todo o sistema de iluminação.

Os requisitos do PremiumLightPro relativos a durações mínimas nominais (F80B50 que é um pouco maior que o nível 2 em [1]) e a manutenção de lúmens a 6000h são[1]:

Tabela 4 Durações mínimas nominais e lúmens às 6000 h

Lâmpada/Luminária	Tempo de vida mínimo $L_{80}B_{50}$	Lúmen, 6000 h
Lâmpadas LED direcionais e não direcionais	20.000	≥ 93,5% do fluxo inicial
Tubos LED	35.000	≥ 96,2% do fluxo inicial
Luminárias LED pequenas integradas (< 2500lm)	40.000	≥ 96,7 % do fluxo inicial
Luminárias LED grandes integradas (2500 – 5000lm)	50.000	≥ 97,4% do fluxo inicial

A recomendação [1] relativa à taxa de falha precoce é exigir o máximo de 5% de falhas precoce às 6000 horas.

Também é recomendado exigir documentação, como os relatórios de teste dos fabricantes (incluindo extrapolação para atingir a vida útil avaliada).

5.8 Temperatura ambiente e tipo de driver

O desempenho da luminária LED é influenciado pela temperatura ambiente. A temperatura ambiente nominal (t_a) é a maior temperatura constante na qual a luminária pode funcionar em condições normais de funcionamento.

Dependendo da aplicação, a **recomendação PremiumLightPro** é considerar uma **temperatura ambiente $t_a = 30\text{ °C}$** , pois esta poderá ser a temperatura ambiente no verão com ar parado no teto.

No que diz respeito à longevidade do sistema de iluminação LED, recomenda-se a inclusão de controlos que assegurem que a temperatura de funcionamento permaneça abaixo do limite t_q .

Se o driver for substituível, é recomendado que para efeitos de manutenção se exijam informações sobre se o tipo de driver é SELV (Safety Extra Low Voltage) ou NON-SELV.

5.9 Fator de potência e distorção harmónica

Para o fornecedor de energia elétrica, o fator de potência é de grande importância. Os grandes clientes no setor de serviços podem estar sujeitos a uma taxa de penalização se o fator de potência for inferior a 0,9. A importância do fator de potência pode variar dependendo da combinação de cargas na rede de distribuição de energia.

A recomendação PremiumLightPro é exigir [1]:

Lâmpadas não direcionais e direcionais:
 < 25 W: PF > 0,50
 ≥ 25 W: PF > 0,90

Tubos LED (balastro incorporado): PF > 0,90

Pequenas e grandes luminárias LED: PF > 0,90

Para distorção harmónica, para produtos com potência > 25W, recomenda-se a utilização dos requisitos para os equipamentos de classe C na norma IEC 61000-3-2 [1] apresentados na tabela 5.

Tabela 5 Requisitos para a distorção harmónica

Ordem da harmónica (n)	Máxima corrente harmónica possível expressa em percentagem da frequência fundamental (%)
2	2
3	30 – CPF (CPF é o factor de potência do circuito)
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (apenas ímpares)	3

5.10 Tremulação (flicker)

As fontes de alimentação que usam modulação por largura de impulso fazem com que o LED pisque/tremule com uma certa frequência (tipicamente entre 100 e 150 Hz). A frequência de tremulação não é diretamente visível, mas pode causar distúrbios visuais como:

- Efeitos estroboscópicos em objetos rotativos (fazendo com que pareça que o objeto não está em movimento ou está a girar noutra velocidade ou direção);
- “Cascatas” de pontos brilhantes no campo visual ao mudar a direção visual rapidamente, isto é, ao rodar a cabeça.

O IEEE 1789: 2015 inclui requisitos de tremulação com restrição da modulação visível da luz (incluindo tremulação) em frequências ≤ 90 Hz, uma vez que é necessária mais pesquisa além de 90 Hz (ou seja, efeitos não visíveis). Atualmente, não há norma para a medição fotométrica de luz modulada.

Com base na IEA 4E SSL [1] and IEEE 1789:2015 a **recomendação PremiumLightPro** é exigir:

f: Frequência do flicker (Hz)	FM: Modulação máxima do flicker (%)
$f \leq 90\text{Hz}$	$FM \leq (0.025 \times f)$
$90\text{Hz} \leq f \leq 1250\text{Hz}$	$FM \leq (0.08 \times f)$
$f > 1250\text{Hz}$	Sem requisitos FM

No que concerne a regulação, recomenda-se exigir que não haja tremulação em todos os níveis de regulação importantes (ou seja 50% e 25%) [41].

5.11 Encandeamento e segurança fotobiológica

O encandeamento aparece quando os níveis de luminância ou o contraste de luminância é muito elevado, muitas vezes devido à falta de proteções nas janelas, reflexos ou visão direta para as fontes de luz LED.

A **recomendação PremiumLightPro** é exigir:

- 1 Relativamente ao encandeamento direto [norma EN_12464-1]:
 - Especificação do ângulo mínimo de proteção em todas as direções, dependendo da luminância da lâmpada;
 - Especificação do brilho de desconforto pela UGR_L .
- 2 No que se refere à prevenção do encandeamento de ângulo alto [1, 42]:
 - Quando o ângulo gama (γ) exceder 60 graus, a luminância da fonte de luz não deve exceder 10.000 cd/m^2 .
- 3 No que se refere à segurança fotobiológica, certifique-se de que o olho humano não é prejudicado pela radiação intensiva de luz azul (risco de luz azul) [1]:
 - Lâmpadas LED e luminárias com RG0 ou RG1 [ver norma IEC 62471 / CIE S009].

5.12 Compatibilidade e funcionamento do regulador

A compatibilidade do regulador é de grande importância, uma vez que muitos produtos LEDs não são compatíveis com os reguladores atualmente instalados. Como os fabricantes ainda estão a tentar definir e adotar um novo padrão de regulação, a compatibilidade dos reguladores com os produtos LED provavelmente continuará a ser um problema.

No que diz respeito à compatibilidade dos reguladores, recomenda-se que o fabricante:

- Forneça um endereço web que liste os reguladores compatíveis;
- Para cada regulador compatível, liste a gama de níveis de fluxo luminoso que uma determinada combinação de luminária/regulador poderá alcançar.

No que diz respeito ao funcionamento do regulador, recomenda-se que exijam:

- Diminuição suave até 30% do fluxo luminoso total sem tremulação observável e sem ruído audível;
- Quando o regulador é ajustado para 100%, a saída da luz deve ser $\geq 90\%$ do fluxo luminoso sem regulador.

5.13 Manutenção

A recomendação **PremiumLightPro** é exigir:

- Fator de manutenção do lúmen da lâmpada (LLMF);
- Fator de Manutenção da Luminária (LMF);
- Fator de Manutenção (MF);
- O plano de manutenção deve ser fornecido, incluindo a especificação dos intervalos para manutenção e limpeza.

Recomenda-se considerar os seguintes requisitos:

- Luminárias com controlo de fluxo luminoso constante para algumas aplicações;
- Luminárias LED fechadas para algumas aplicações que se possam sujar significativamente.

5.14 Custo do ciclo de vida

Os custos de aquisição de um sistema de iluminação LED são tipicamente mais elevados em comparação com os sistemas de iluminação tradicionais, enquanto os custos de funcionamento e manutenção são mais baixos. Um cálculo do custo do ciclo de vida (LCC), pode justificar os custos iniciais de investimento, ao considerar os custos e as poupanças ao longo da vida útil do sistema de iluminação.

A recomendação **PremiumLightPro** é exigir:

- As soluções/alternativas do sistema de iluminação devem ser comparadas pelos cálculos de LCC pelo método LCC especificado pelo comprador.

5.15 Experiência e obrigações do contratado

Tanto para o projeto como para a equipa de instalação, a proposta deve demonstrar que possui experiência de pelo menos 5 projetos relevantes e qualificações profissionais adequadas em engenharia e construção. A experiência de 15 projetos relevantes é benéfica.

O contratante deve assegurar o seguinte:

Instalação

- O sistema de iluminação é instalado exatamente como especificado / exigido;
- Entrega de um cronograma para a instalação do sistema de iluminação com as faturas ou notas de entrega dos fabricantes anexadas;
- Fornecimento de informações para que os ocupantes saibam como controlar a iluminação e para que a equipa de manutenção a possa ajustar se necessário (por exemplo, quando a disposição das divisões mudar).

Funcionalidade

- Os sistemas de iluminação instalados, novos ou renovados, estão a funcionar corretamente e não usam mais energia do que o especificado;
- Os controlos ligados à luz natural devem ser calibrados para garantir que desligam a iluminação quando a luz do dia é adequada;
- Os sensores de ocupação devem ser verificados para detetar objetos em movimento;
- O temporizador (físico e / ou software) deve ser configurado para se desligar;
- Se após o comissionamento houver partes dos sistemas de iluminação que parecem não ir ao encontro de todas as especificações e requisitos, o contratado deve ajustar / recalibrar os sistemas.

Formação

- O contrato deve, de preferência, incluir a formação dos utilizadores concentrando-se esta no funcionamento, controlo de iluminação e manutenção.

Avaliação do desempenho

- O contrato deve, de preferência, incluir a instalação de um sistema para identificação de falhas e monitorização do consumo de energia, conforme especificado.

Disponibilidade de produto

- É recomendável exigir que os fabricantes garantam a disponibilidade do produto durante um período de tempo designado.

Substâncias indesejáveis

- Recomenda-se exigir que os fabricantes não utilizem substâncias potencialmente perigosas nos seus produtos. A Agência Europeia de Produtos Químicos trabalha em conjunto com a CE e os Estados-Membros da UE para a segurança da saúde humana e do meio ambiente, identificando as

necessidades de gestão de riscos regulamentares ao nível da UE [39], incluindo o regulamento REACH. Desta forma, a Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental (EPA) [40] fez uma “Lista de Substâncias Indesejáveis” (LOUS) que inclui 40 substâncias. A lista LOUS destina-se a empresas dinamarquesas e serve de sinal e orientação sobre substâncias que as empresas devem usar menos ou eliminar completamente. Alguns dos municípios dinamarqueses exigem nas consultas ao mercado que nenhuma substância na lista LOUS esteja incluída nos produtos adquiridos.

Gestão de resíduos

- Durante a instalação de sistemas de iluminação novos ou renovados, os resíduos devem ser reduzidos e todas as peças devem ser separadas e recuperadas de acordo com a Diretiva REEE. Alguns municípios dinamarqueses consideram exigir que todas as peças de plástico e metal nos produtos sejam devidamente rotuladas para que possam ser recicladas.

5.16 Prequalificação

A pré-qualificação das empresas pode incluir:

- Apresentação da entrega de sistemas de iluminação semelhantes em projetos semelhantes (do mesmo tamanho e tipo) e tempo de entrega, etc.;
- Medições por um laboratório imparcial para documentar as poupanças de energia;
- Apresentação sobre a forma como poderão integrar as suas luminárias nos atuais edifícios;
- Apresentação das suas capacidades de manutenção do sistema de iluminação.

5.17 Avaliação das propostas

Os critérios e requisitos mínimos especificados nas secções anteriores deste capítulo devem ser cumpridos por qualquer proposta. Uma maior qualidade e eficiência além do mínimo podem ser premiadas e avaliadas por um esquema de pontuação. Naturalmente, a seleção dos critérios de adjudicação e a ponderação aplicada dependem do tipo de projeto, tipo de construção e tipo de ambiente. De seguida, são apresentados exemplos de seleção de critérios de adjudicação (tabela 6) e avaliação de propostas por esquema de pontuação (tabela 7).

Tabela 6 Exemplos dos critérios de adjudicação

Critérios	Critérios Mínimos	Critérios de adjudicação
Custo		
Custos de investimento	✓	
Custo do ciclo de vida	✓	✓
Eficiência Energética		
Potência e energia	✓	✓
Eficácia das fontes de luz	✓	
Energia em Standby	✓	
Controlos de iluminação	✓	✓
Qualidade e design da iluminação		
Nível de iluminância	✓	
Utilização de luz natural, distribuição de luz, uniformidade, contraste	✓	
Temperatura da cor, tolerância e manutenção	✓	
Restituição de cor	✓	✓
Vida útil	✓	✓
Fator de potência e distorção harmónica	✓	
Compatibilidade do regulador e transformador	✓	
Temperatura ambiente e tipo de driver	✓	
Tremulação	✓	
Brilho e segurança fotobiológica	✓	
Manutenção, Instalação, Funcionamento, Reparação, Reciclagem		
Manutenção	✓	
Experiência e obrigações do contratado	✓	
Formação do contratado	✓	✓
Garantias e disponibilidade de peças	✓	✓

A Tabela 7 mostra um exemplo de avaliação de propostas com a pontuação atribuída aos critérios.

Tabela 7 Exemplo da avaliação de propostas com ponderação e critérios de adjudicação

Critérios de adjudicação	Ponderação [%]
Custo	
Custo do ciclo de vida	30
Eficiência Energética	
Consumo de potência e energia	20
Qualidade e design da iluminação	5
Restituição de cor	
Vida útil	10
Controlo de iluminação (dependendo da quantidade de controlos instalados)	15
Instalação, Funcionamento, Reparação, Reciclagem	
Formação do contratado (incluída ou não)	10
Garantias e disponibilidade de peças	10
Total	100



6. Boas práticas

Este capítulo fornece conselhos de boas práticas para projetos de iluminação, possibilidades para melhorar a qualidade da iluminação e aumentar a eficiência energética através da utilização de sistemas de iluminação LED.

O capítulo inclui secções sobre escritórios, escolas, museus e exposições, lojas de comércio e o setor da saúde. Cada secção – incluindo subsecções sobre tipo de divisões – foi escrita como um documento independente que pode ser diretamente utilizado como uma lista de verificação no início de um projeto semelhante. Por esta razão, pode haver alguma redundância quando as secções são lidas sequencialmente.

As listas de verificação de boas práticas são, em grande parte, baseadas na vasta experiência de DCL [7] sobre como complementar a iluminação eficiente LED com o projeto de iluminação certo.

Uma abordagem geral para boas práticas com uma iluminação de elevada qualidade e eficiência energética inclui os seguintes pontos:

- 1 A iluminação deve ser considerada desde o início do projeto de um edifício novo ou em renovação;
- 2 Uso de técnicos, não só para o projeto como também para a instalação, com experiência em projetos semelhantes e com qualificações profissionais adequadas;
- 3 Diferenciar os principais tipos de divisões, atividades, períodos de funcionamento, faixa etária e tarefas visuais dos utilizadores;
- 4 Para uma renovação: que tipo de iluminação é atualmente utilizada (lâmpadas, potência, luminárias, direta/indireta, etc) e qual o consumo anual.
- 5 Para uma renovação: qual é a opinião dos utilizadores e dos clientes sobre a iluminação atual? Precisa de melhorias no posicionamento, tipo de lâmpadas ou luminárias, possibilidade de controlo, iluminância, encandeamento? Uma iluminação adequada contribui para a criação de um ambiente de trabalho;

- 6 Consulte os critérios de aquisição do PremiumLightPro e selecione os critérios para adjudicação e a sua ponderação;
- 7 Investigue a possibilidade de utilização de controlos adequados (manuais e automáticos). Os LEDs funcionam muito bem com os controlos, e as poupanças relacionadas com o uso de temporizadores, sensores de luz natural ou de ocupação geralmente são subestimadas. Considere o uso de soluções mais avançadas/inteligentes, por ex: iluminação centrada em humanos com sintonização de cores, cenários de iluminação específicos para tarefas e transmissão de dados, p. ex. usando LiFi.
- 8 Execute cálculos e avaliações económicas;
- 9 Certifique-se que as soluções de iluminação selecionadas vão ao encontro dos requisitos dos clientes, que funcionam bem, que são fáceis de usar e que é possível manter e adaptá-las a longo prazo.

De uma forma geral, os valores recomendados para os níveis de iluminância, uniformidade, brilho encandeante, e a restituição cromática encontram-se na norma europeia EN12464-1:2011, *“Luz e iluminação – Iluminação dos locais de trabalho – Parte 1: Locais de trabalho interiores”*. Por esta razão os valores não são indicados em todas as secções. Para mais informações sobre esta importante norma, consulte a secção 2.5.

Este capítulo inclui casos de boas práticas reunidos no âmbito do projeto PremiumLightPro. Para obter mais informações sobre estes casos, incluindo contactos, visite o website do projeto em:
www.premiumlightpro.pt.

6.1 Edifícios de escritórios

Uma boa iluminação em escritórios permite que os seus ocupantes desempenhem o seu trabalho de uma forma eficiente sem esforço ou fadiga excessivos.

Comum a todos os tipos de divisão

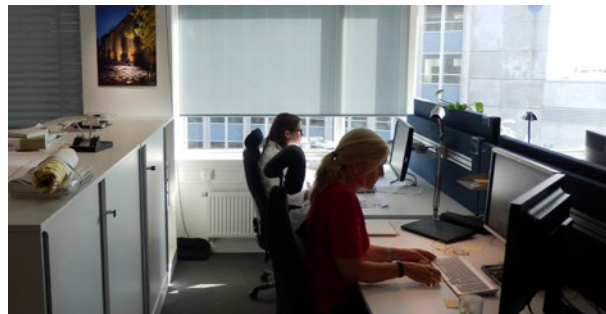
- Um nível de iluminação reduzido no pavimento pode ser compensado com uma perceção de brilho iluminando as paredes, por ex: com projetores de parede – define a totalidade do espaço e ajuda a equipa a estar alerta;
- Com acesso a luz natural, o controlo automático de iluminação pode fornecer poupanças elevadas. Persianas ou cortinas só devem ser usadas quando necessário;
- No caso da utilização de candeeiros de luz descendente, como iluminação do teto, devem também ser utilizadas luminárias com proteção de encadeamento.



Receção

- A área da receção é a primeira impressão para os visitantes. Deve refletir a imagem da organização em termos arquitetónicos, e parecer luminosa e acolhedora;
- Combine iluminação geral e localizada com luminárias dedicadas nos postos de trabalho e luz geral, mais baixa mas suficiente, as restantes áreas;
- Iluminação LED encastrada pode ser usada sob o balcão;
- Os candeeiros pendentes sobre o balcão e na zona de espera criam pequenas zonas de luz e aumentam o conforto;
- É muito importante que a equipa de receção consiga ver claramente as pessoas que chegam na entrada e não como silhuetas em contraluz. Também é importante que os visitantes possam facilmente ver os funcionários da receção;
- Um nível de iluminação fraco no pavimento pode ser compensado com uma perceção de brilho iluminando as paredes, por ex: com projetores de parede – definindo a totalidade do espaço;

- As entradas são zonas de transição de luz - portanto, recomenda-se uma mudança gradual da iluminação que começa fora do prédio (da luz natural ou da escuridão total). Os sistemas de iluminação LED podem fornecer esta mudança gradual com controlos automáticos.



Escritórios

- Faça uma planta do mobiliário e selecione a solução de iluminação ideal dependendo do tamanho da divisão, do número de postos de trabalho, do tipo de trabalho e da quantidade de luz natural;
- Em escritórios muito grandes, pode ser desejável criar pequenas “ilhas recreativas” com iluminação acolhedora para inspiração, relaxamento e pequenas discussões;
- A área de trabalho pode ser iluminada por iluminação geral ou luminárias dedicadas. Uma iluminação no plano de trabalho é recomendada por dois motivos principais: a atenção e os olhos do ocupante são automaticamente atraídos para áreas com mais luz e a redução da luz nas áreas circundantes diminui efetivamente o consumo de energia em comparação com a iluminação de tarefas com luminárias encastradas no teto;
- A iluminação da tarefa deve vir do lado oposto à mão dominante do ocupante;
- O trabalho intensivo em frente a um ecrã deve ser feito a 2 ou 3 metros das janelas;
- Os postos de trabalho e os equipamentos devem ser colocados com os monitores perpendiculares às janelas para evitar reflexo das janelas e o elevado contraste com a vista exterior;
- Em escritórios mais profundos, o controlo de presença e a automação com sensor crepuscular, pode ser usado para desligar as filas de iluminação geral perto das janelas;
- Para a iluminação geral, muitas vezes é benéfico instalar controlos com sensor de presença, especialmente em espaços que não são usados de forma contínua;
- Para iluminação geral, o início manual (+ off-set automático) num nível de luz baixo é uma opção eficaz de economia de energia. O início manual força os

ocupantes a escolher um nível de iluminação adequado e isso proporciona a sensação de controlo pessoal;

- Controlo ajustável individual simples e intuitivo (on/off, regulador, posição) é um grande benefício, que pode por ex: proporcionar um fluxo luminoso maior para pessoas mais velhas.



Fotografia: http://www.osram.com.au/osram_au/applications/office-buildings/conference-room/index.jsp

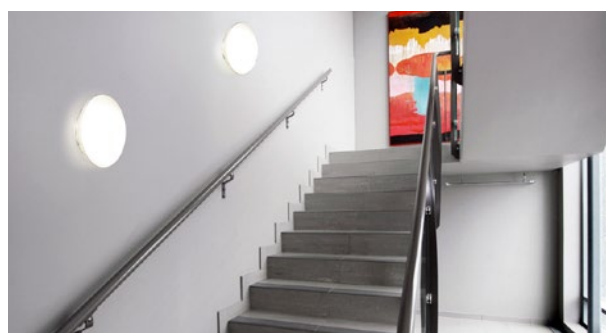
Salas de reuniões e conferências

- A iluminação geral deve ser controlada por reguladores, para facilitar a alteração dos níveis de luminosidade durante as apresentações audiovisuais, as discussões e as pausas;
- O uso de cortinas não transparentes ou escuridão quase completa durante as apresentações não é benéfico, uma vez que o público fica cansado e desatento;
- Para salas maiores, a iluminação LED integrada na mesa pode ser usada para criar pequenos pontos de luz não perturbadores durante as apresentações, úteis para leitura e anotações;
- Uma iluminação com baixo nível na parede atrás da tela/DSE cria um padrão de luminância mais uniforme no campo de visão do espectador e, portanto, uma experiência mais relaxante;
- Evite luminárias voltadas para o palco/quadro que ceguem o palestrante.



Cantina

- Use iluminação de teto ajustável para fornecer diferentes níveis de iluminação para pausas de café e almoço, reuniões internas, festividades e limpeza;
- É útil se os pendentes puderem ser levantados ou retirados para outras atividades;
- O uso de iluminação horizontal baixa, juntamente com iluminação vertical (paredes, móveis e portas), além de luzes de mesa ou pendentes, tornam a cantina agradável e acolhedora. A arte nas paredes deve ser iluminada por pontos dedicados;
- Nas áreas de buffet, recomenda-se uma iluminação direta e elevada para auxiliar o reconhecimento de alimentos e a velocidade de seleção. Um bom índice de restituição de cores, valoriza os alimentos.



Fotografia: <http://glamox.com/uk/solutions/stairwells>

Corredores e escadas

- Use entradas e degraus brilhantes com uma cor contrastante. Além disso, uma mistura de iluminação difusa e luz descendente cria uma boa percepção do espaço, aumenta o reconhecimento facial e das características das formas (por exemplo, ver bem os degraus);
- A uniformidade da iluminação deve ser suficiente para movimentações seguras sem áreas sombreadas;
- As luminárias que irradiam parcialmente luz contra um teto brilhante e/ou paredes brilhantes normalmente criam uma atmosfera agradável;
- Fora do horário de trabalho, o controlo por sensor de presença (talvez com etapas de nível de iluminação) pode ser vantajoso.



Exemplo de boas práticas: Novo Sistema de Iluminação LED de Elevada Qualidade

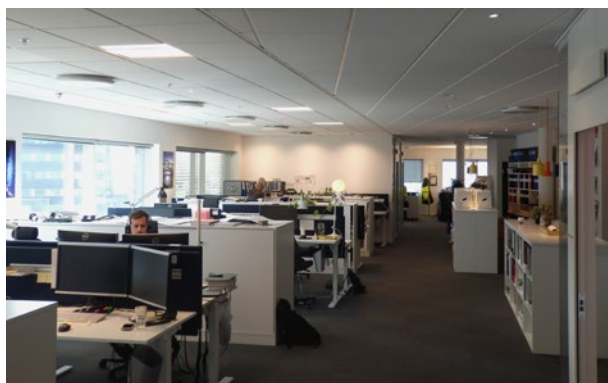
Por volta de 2015, a ÁF Lighting substituiu totalmente a iluminação no seu escritório de 350 m², em Malmö, por iluminação LED.

Antes: Luminárias LFL e CFL. 300 lux em todo o lado com apenas um interruptor de controlo para 20 postos de trabalho, sem praticamente nenhuma iluminação vertical e nenhuma iluminação de destaque.

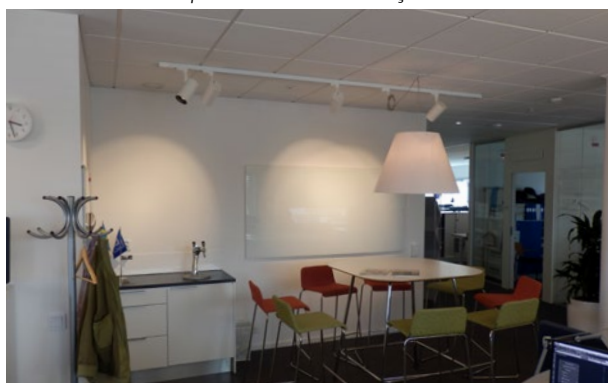
Depois: Controlo individual de todas as fontes de luz. Iluminação de destaque foi introduzida para iluminar portas, estantes, etc. As luminárias pendentes são usadas para variar a iluminação de acordo com as necessidades individuais. Foi ainda adicionada a possibilidade de controlar os valores RGB dos LEDs. Foram criadas várias pequenas zonas de iluminação localizada no escritório em forma de L. O resultado final foi uma distribuição de luz muito melhorada, combinações de cor mais atractivas e uma maior flexibilidade do controlo e melhor adaptação da luz às diferentes tarefas.

Novo sistema de iluminação

Melhoria da iluminação de trabalho com iluminação de destaque e vertical



Uso de luminárias pendentes e iluminação vertical



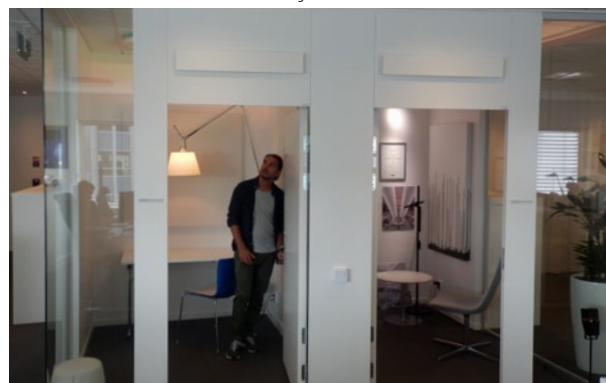
Fotografias: Casper Kofod

Nova iluminação com focos nas prateleiras e luminárias pendentes

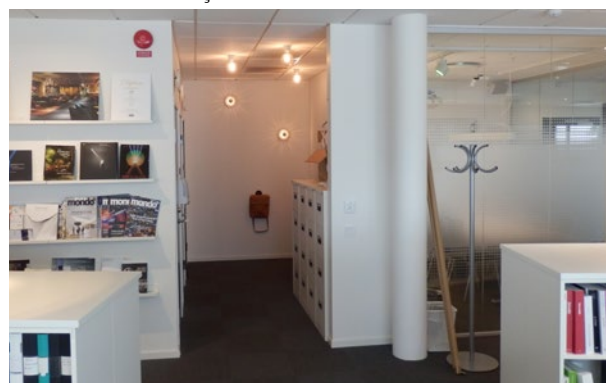


Resultado: O LOR foi quase duplicado para cerca de metade da potência instalada. Foram avaliados 92% de poupança energética - uma grande parte foi obtida por controlo. O período de retorno foi estimado em 7 anos. A melhoria do ambiente de trabalho foi muito apreciada pela equipa.

Uso de LED RGB em iluminação vertical



Adicionada iluminação vertical



6.2 Escolas

Aprender e ensinar dependem de uma boa iluminação. A nossa visão é tão resiliente que dificilmente estamos conscientes da desvantagem imposta por uma iluminação pobre, que pode resultar numa leitura mais lenta, parca compreensão do que lemos e diminuição da concentração.

Geralmente, se a manutenção, limpeza e substituições regulares do sistema de iluminação forem realizadas durante as férias escolares, a iluminação inicial sobre dimensionada pode ser reduzida com consequentes economias de energia.

Comum a todos os tipos de divisão

- Um nível de iluminação fraco nos pisos pode ser compensado com uma percepção de brilho iluminando as paredes, por ex: com projetores de parede – definindo a totalidade do espaço;
- O controlo automático de iluminação com aproveitamento da luz natural pode induzir poupanças elevadas. Persianas ou cortinas só devem ser usadas quando necessário;
- No caso da utilização de luminárias embutidas como iluminação de teto, deve-se evitar o encadeamento.

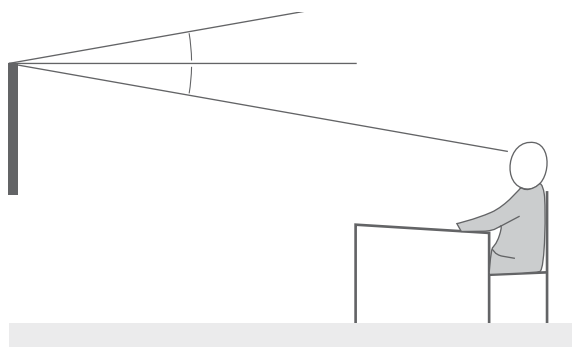


Salas de aulas

- Tradicionalmente, as salas de aula têm janelas grandes, ideais para o bem-estar, mas devem existir formas eficazes de bloquear a luz solar direta para as projeções, ecrans e quadros inteligentes;
- Em salas de aula maiores, a economia de energia pode ser obtida por meio de controlo da iluminação por zonas. Assim, se a luz natural for suficiente perto das janelas, as linhas de iluminação podem ser desligadas, de preferência através da automação por sensor crepuscular;
- No que diz respeito à iluminação geral, é necessário encontrar um equilíbrio entre a necessidade de

ter um espaço luminoso para manter os estudantes alerta e a capacidade de ver projeções baixo contraste num quadro;

- A iluminação geral pode ser otimizada para leitura, escrita e comunicação através de iluminação difusa fornecida por um número suficiente de luminárias (são preferíveis muitas luminárias a poucas maiores) ou luminárias que iluminem paredes e/ou o teto;
- Écrans e projetores devem ser colocados com o ecrã perpendicular às janelas e, idealmente, com as janelas do lado esquerdo;
- No que diz respeito à iluminação do quadro de apoio, a escolha das luminárias e a sua posição, combinada com a utilização de quadros mate, é crucial para a visibilidade dos quadros e para evitar o encadeamento;
- A luminária do quadro de apoio deve ser montada com alguma distância do quadro para garantir a iluminação adequada da parte inferior. No entanto, se montado muito longe com um pequeno feixe horizontal, os reflexos podem incomodar a fila da frente (ver a ilustração em baixo);



- Luz que permita uma boa diferenciação de cores, para disciplinas como química, biologia ou design/tecnologia, pode ser fornecida por grandes janelas voltadas a norte e/ou luminárias/lâmpadas com um espectro próximo da luz do dia e com um elevado índice de restituição de cor, por ex: Ra 90.



Fotografia: DCL, Denmark

Corredores e escadas

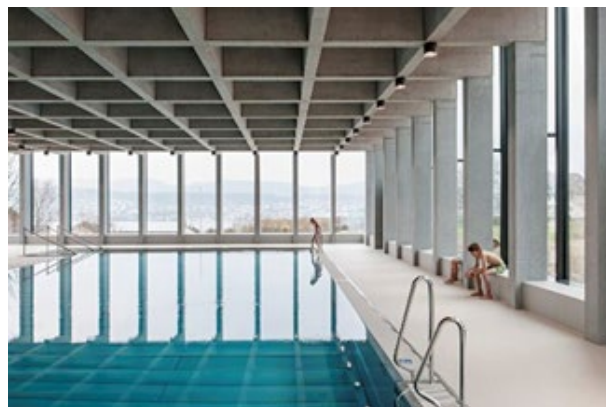
- A uniformidade da iluminação deve ser suficiente para movimentações seguras sem zonas escuras;
- Contraste apropriado, luz das janelas e cores diferentes (piso mais escuro que as paredes e teto mais brilhante do que as paredes) podem ajudar na visibilidade. A imagem mostra um excelente exemplo disso;
- A iluminação das escadas deve assegurar que os degraus pareçam brilhantes e as suas elevações pareçam escuras. Isso implica que a iluminação venha de cima em vez de vir de baixo. Além disso, uma mistura entre iluminação difusa e dirigida para baixo cria uma boa percepção do espaço e facilita o reconhecimento facial e das formas (boa visualização dos degraus);
- Corredores e escadas são usados principalmente durante as pausas e, portanto, um controlo de iluminação por sensor de presença pode poupar muita energia. Recomenda-se diminuir para 10-20% do fluxo luminoso, uma vez que a maioria das pessoas não gosta de entrar num corredor escuro e vazio.



Foyer e auditório

- Deve ser fornecida uma iluminação adequada para várias atividades diferentes que possam ocorrer, p.ex. apresentação, exames, teatro. Pode até ser apropriado instalar dois ou mais sistemas de iluminação independentes, como por ex: luz para apresentações, atividades de limpeza e iluminação de destaque/iluminação de palco;

- Num foyer com escadas ou auditório com teto alto, podem ser instaladas luzes de suspensão LED de longa duração. Alternativamente podem ser utilizadas luminárias LED de luz ascendente;
- Para as escadas no foyer, os degraus devem ser marcados com o uso de uma cor contrastante, pode ser instalada uma iluminação LED regulável e encastrada. Por razões de segurança, é importante que os degraus sejam claramente visíveis, mesmo que a luz esteja regulada até ao nível mais baixo;
- A iluminação regulada e difusa sem contraste deve ser evitada, pois diminuirá a concentração do público;
- Num auditório, pode ser uma boa ideia colocar o ecrã de projecção num local protegido da luz direta e que permita a iluminação do palco e do palestrante.



Picture: <http://www.archello.com/en/project/swimming-pool-de-vrolijkheid/2042222>

Ginásios e Piscinas

- A luz natural é muito bem-vinda, mas a segurança influenciará a escolha e a posição das luminárias, pois estas precisam de uma proteção robusta em zonas onde se está a praticar desporto;
- A regulação da iluminação geral é necessária se o ginásio também for utilizado para exames, celebrações, concertos de música e outros;
- Nas salas de natção, o projeto da iluminação deve minimizar os reflexos brilhantes na superfície da água. As luminárias LED podem ser muito resistentes à água e a gases (gases de cloro), sendo ideais para a maioria dos propósitos, exceto saunas;
- Recomenda-se a utilização de temporizadores para desligar a iluminação em horários fixos tendo em conta o plano de ocupação para o uso do ginásio ou da piscina;
- Mais recomendações podem ser encontradas na norma EN 12193: 2007 Luz e iluminação. Iluminação desportiva.



Exemplo de Boas práticas: Retrofit LED na escola técnica TGM em Viena

A GM Wien Technical School é especialista em eficiência energética e sustentabilidade. Em 2013, a escola decidiu adaptar as salas de aula com iluminação LED para obter uma melhor atmosfera de aprendizagem para os alunos e uma redução significativa dos custos de energia e funcionamento. Foram escolhidas luzes de teto LED para criar a sensação de ter luz natural na sala de aula.

Luminárias anteriormente instaladas com T8 fluorescentes



Foi ainda instalado um sistema de gestão de iluminação para medir a quantidade e intensidade da luz solar. O sistema é usado para controlar automaticamente a intensidade da luz artificial de acordo com os níveis de luz natural. Foi também instalado um painel de controlo em cada sala, possibilitando a escolha entre três níveis de iluminação. O retrofit foi finalizado em 2015 e resultou em 67% de economia de energia com um período de retorno de 6 anos.

Luminárias LED



6.3 Museus e exposições

Os LEDs podem ser combinados de muitas maneiras para produzir iluminação altamente eficiente. Os LEDs podem ser regulados individualmente, resultando num controlo dinâmico de luz, cor e distribuição. Os sistemas de iluminação LED bem projetados podem alcançar efeitos de iluminação fantásticos tanto para o olho, como para o bem estar e para a mente. Por isso, a iluminação LED oferece muitas oportunidades para museus e exposições.



Área de arte

- A iluminação LED produz pouca luz infravermelha, quase nenhuma emissão UV e pouca radiação de calor. É, portanto, ideal para objetos sensíveis como pinturas, galerias de arte, locais arqueológicos, etc. O uso de iluminação LED também diminui as necessidades de arrefecimento.
- Escolher a fonte de luz LED branca certa em termos de qualidades espectrais (temperatura de cor), restituição de cores, luminárias e tipo (imitar a luz diurna difusa ou algum tipo de iluminação direta) pode ter um impacto tremendo na percepção. Idealmente seria adaptado a cada obra de arte;
- A capacidade de ajuste de cores das lâmpadas LED RGB torna possível fornecer qualquer cor;
- A iluminação LED do museu pode ser usada para criar uma percepção diferente da arte à noite. Foi feito no museu Glyptoteket em Copenhaga (veja a figura seguinte com a claraboia durante o dia).

Corredores e escadas

- As luminárias que irradiam parcialmente luz contra um teto e / ou paredes normalmente criam uma atmosfera agradável;
- A uniformidade da iluminação deve ser suficiente para movimentações seguras sem zonas escuras;
- A iluminação das escadas deve assegurar que os degraus pareçam brilhantes e as suas elevações pareçam escuras. Isso implica que a iluminação venha de cima em vez de vir de baixo. Além disso, uma



mistura entre iluminação difusa e dirigida para baixo cria uma boa percepção do espaço e facilita o reconhecimento facial e das formas (boa visualização dos degraus);

- No caso de acesso a luz natural, o controlo automático de iluminação pode fornecer poupanças significativas.



Fotografias: Casper Kofod

Auditórios

- Luz natural e contato visual com o ambiente exterior são benéficos para o bem-estar e reduzem o consumo de energia, mas o controlo da luz solar é essencial;
- Deve ser fornecida iluminação adequada para diferentes atividades: apresentações, debates, teatro e limpeza. Pode até ser apropriado instalar mais do que um sistema de iluminação;
- Se o teto for alto, podem ser utilizadas luzes de suspensão LED de longa duração ou luminárias LED de luz ascendente;
- Para as escadas, os degraus devem ser marcados com uma cor contrastante ou também podem utilizar uma iluminação LED regulável e encastrada. No entanto, os degraus devem estar sempre visíveis;
- A iluminação regulável e difusa sem contraste deve ser evitada, pois isso pode diminuir a concentração do público.



Exemplos de Boas Práticas: Retrofit LED do edifício histórico da Câmara de Bremen

O edifício histórico da Câmara de Bremen, construído em 1405-1408, está listado como Património Mundial da Humanidade. A iluminação era conseguida através de lâmpadas incandescentes tradicionais.

Em 2014, foi reunido um painel de especialistas para procurar possibilidades de alteração para lâmpadas LED. A qualidade (temperatura de cor, restituição de

cores, design e peso) e os requisitos estéticos para a iluminação histórica eram muito elevados.

Após uma seleção criteriosa, foi identificado e instalado um sistema de iluminação LED satisfatório em 2016. O período de retorno foi inferior a 2 anos.

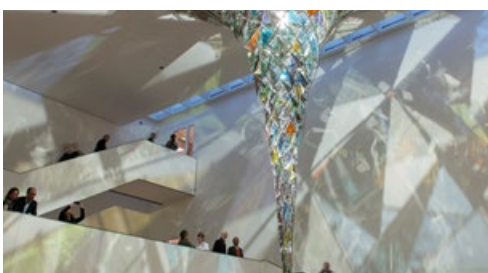
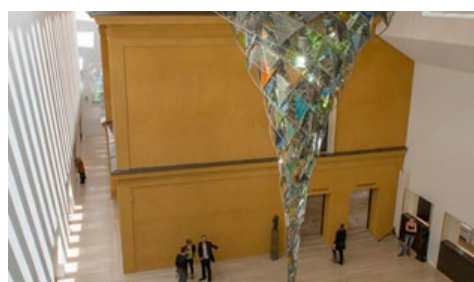
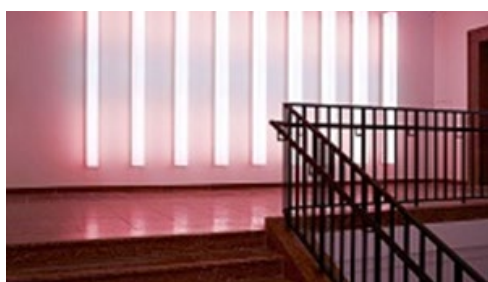
Novo sistema de iluminação



Exemplo de utilização da iluminação LED eficiente como meio artístico

O museu Lenbachhaus em Munique explora a utilização da luz LED energeticamente eficiente como um meio artístico, por ex: a escada do norte (ver foto) tem uma iluminação escultural vermelha-branca-vermelha.

Mais de 170.000 LEDs e controlo inteligente de iluminação permitem configurar quase 100 tons de cores e níveis de regulação diferentes. Os curadores podem assim exibir cada obra de arte na sua luz ideal. Há muitos outros museus interessados neste conceito inovador de iluminação.



6.4 Lojas de comércio

A competição numa área comercial é dura. Um sistema de iluminação bem pensado pode ser uma ferramenta eficaz para atrair a atenção dos clientes. A iluminação certa pode definir estados de espírito e incitar a vontade de comprar. Normalmente, as cadeias de lojas são obrigadas a seguir regras no projeto de iluminação de forma a garantir o reconhecimento da sua imagem de marca..

A iluminação LED fornece muitas oportunidades para alcançar efeitos de iluminação fantásticos, não só para os olhos, mas também para criar o ambiente desejado e proporcionar bem-estar.

É importante que os colaboradores tenham boas condições visuais sem encandeamento. Infelizmente, muitas lojas supõem que qualidade de iluminação é sinónimo de quantidade, resultando numa iluminação excessiva e distante das condições ótimas. A iluminação da loja deve ser diferenciada e orientar os clientes através da loja com pontos focais que os encorajam a parar e olhar.



- Muitas lojas já sentiram problemas com o calor gerado por iluminação incandescente ou de halógeno. A mudança para a iluminação LED resolve este problema, podendo assim também reduzir a fatura energética associada à climatização;
- A iluminação das montras atrai clientes e suporta o perfil e a imagem da loja. A iluminação com LED RGB torna possível variar a aparência dos itens exibidos. As mudanças de cores programadas ao longo do tempo podem ser parte da exposição;
- A iluminação na área de entrada deve atrair a atenção e proporcionar uma zona de transição suave entre a luz natural e a iluminação interior;



- Recomenda-se a divisão em zonas com diferentes necessidades de iluminação: caixa, entrada, exposição, mesas, prateleiras altas, zonas de passagem, provadores, etc;
- Uma vez que o olho é atraído e ajusta sua sensibilidade às partes mais brilhantes no campo de visão, é necessário colocar mais luz sobre os itens importantes que estão à venda, luz média nos “bens comuns” e menos luz na área de passagem;
- A iluminação de destaque com spots bem posicionados completa a cenografia destacando formas, cores e texturas. Isto cria vida na loja;
- Mudanças muito drásticas na luminosidade devem ser evitadas, uma vez que pode ser inconveniente e cansativo para os colaboradores;
- A iluminação LED encastrada em armários de vidro e lineares com produtos refrigerados, pode servir para chamar a atenção do cliente;
- Em geral, é necessário evitar o encandeamento das fontes de luz, bem como a reflexão das superfícies brilhantes;
- A iluminação funcional local sobre os balcões de vendas deve criar foco, uma atmosfera amigável e iluminação suficiente para ver dinheiro, cartões multibanco, etc;
- A iluminação nos armazéns e outras divisões deve ser a indicada para a tarefa, sendo muitas vezes vantajoso instalar sensores de movimento para controlo da iluminação.



Exemplo de Boas Práticas: Melhor qualidade, sem iluminação excessiva e com elevadas poupanças

A livraria La Capell em Barcelona efetuou um retrofit ao sistema de iluminação em 2015/2016 com LEDs.

Antes: 1170 CFLs, 70 pontos de halógeno e 10 LFLs algumas integradas nas prateleiras de livros. Uma grande parte das CFLs foram mal colocadas dentro das prateleiras dos livros e a iluminância era muito elevada.

Depois: apenas 54 focos LED e 18 luminárias LED finas foram usadas, com resultados não só no ambiente melhorado como com poupanças significativas e melhor apresentação dos livros. O novo fluxo luminoso é 20% do anterior.

Anterior sistema de iluminação



Resultados: O consumo de energia reduziu para 10% do anterior e o valor da potência instalada também reduziu consideravelmente. Os custos de manutenção foram reduzidos. O período de retorno foi inferior a um ano. Após a instalação da nova iluminação, as vendas aumentaram.

O instalador convenceu o dono da livraria sobre os resultados positivos que teria o retrofit, instalando uma amostra de produtos LED para que os gerentes pudessem ver a melhoria estética. O facto de a instalação ter sido realizada por um instalador experiente, que implementou a tecnologia sem problemas também contribuiu para o sucesso da instalação.



Novo sistema de iluminação





Exemplo de boas práticas: Substituição de lâmpadas incandescentes “gaiola de esquilo” em Leeds

Antes: As lâmpadas incandescentes em “gaiola de esquilo” foram muito populares nos últimos anos em bares, cafés, restaurantes e lojas. Estas lâmpadas permaneceram no mercado após a proibição das incandescentes em 2012 devido a uma lacuna na regulação da iluminação da UE. Essas lâmpadas fornecem uma luz amarela muito quente (cerca de 2200K) com um design vintage.

Depois: A lacuna acabou em 2016. Nessa fase, os retrofit LED de qualidade entraram no mercado. As lâmpadas LED criam o mesmo ambiente e aparência elegante, temperatura de cor e uma elevada restituição cromática de 90 Ra.

Resultados: A lâmpada LED usa um décimo da potência da lâmpada incandescente e tem uma vida útil avaliada de 15.000 horas. O período de retorno foi inferior a meio ano.

A estética da nova iluminação LED recebeu um feedback muito positivo por parte do dono, dos clientes e dos meios sociais.

Novo sistema de iluminação



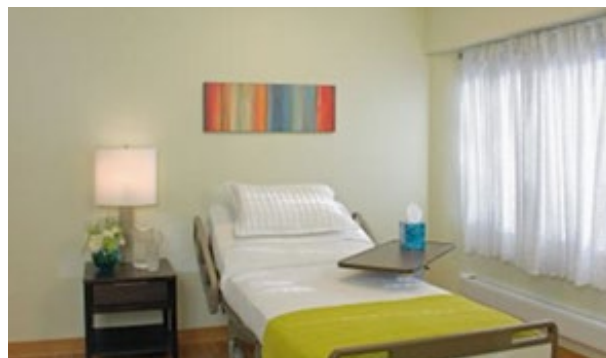
6.5 Setor da saúde

A qualidade e a quantidade de iluminação são importantes para a velocidade de recuperação e bem-estar nos cuidados de saúde. A maioria das atividades de saúde é realizada em ambientes fechados com uso a iluminação artificial.

Tradicionalmente, a iluminação na saúde é fixa num nível, com uma temperatura de cor constante. Isto não é coerente com o ritmo circadiano humano, onde durante o dia são segregadas quantidades apropriadas de dopamina, serotonina, cortisol e melatonina. Sem exposição regular e direta à luz natural, o ritmo circadiano pode ser perturbado, o que pode levar a problemas de saúde, incluindo problemas de sono, uma vez que a luz e a escuridão controlam a produção hormonal.

Algumas luminárias LED têm a capacidade de regular a temperatura de cor correlacionada, melhorando as condições físicas dos pacientes. Uma iluminação cuidadosamente projetada pode apoiar o ritmo circadiano nos seres humanos. A iluminação pode ser fornecida por luminárias LED reguláveis, por ex: com um intervalo entre 1800 a 6500 K.

Cada vez mais a iluminação centrada no ser humano está a ser utilizada, especialmente em hospitais onde os pacientes passam quase 100% do seu tempo em ambientes fechados. Estão demonstrados os benefícios da iluminação artificial que imita os efeitos não-visuais e fisiológicos da luz natural.



Fotografia: <http://www.visalighting.com/unity-patient-room-lighting-now-led>

Quartos dos pacientes

- A visualização do exterior, e a luz natural ajudam na recuperação;
- Iluminar as paredes e o teto cria uma sensação de brilho mesmo quando o nível de iluminância é baixo;
- Pode ser utilizada iluminação LED encastrada nas mesas para perturbar o mínimo possível os outros pacientes do mesmo quarto;
- De manhã, a luz brilhante é útil para o ritmo circadiano do paciente e também é um tratamento contra a depressão. A regulação da iluminação geral oferece flexibilidade o que permite uma iluminação elevada pela manhã e durante as atividades de limpeza;
- À noite, a iluminação noturna alaranjada evita perturbar o ritmo circadiano do paciente;
- A iluminação LED pode fornecer iluminação centrada nos seres humanos que imita os efeitos não-visuais e fisiológicos da luz do dia, incluindo os já mencionados;
- Controlo individual de p. ex. o candeeiro de mesa e luzes de leitura são altamente apreciadas pelos pacientes.





Corredores e escadas

- A uniformidade da iluminação tem de ser mantida para garantir movimentações seguras sem zonas escuras;
- A iluminação das escadas deve assegurar que os degraus pareçam brilhantes e as suas elevações pareçam escuras. Isso implica que a iluminação venha de cima em vez de vir de baixo. Além disso, uma mistura entre iluminação difusa e dirigida para baixo cria uma boa percepção do espaço e facilita o reconhecimento facial e das formas (boa visualização dos degraus);
- De uma forma geral, a iluminação do corredor e da escada deverá estar sempre ligada. As poupanças podem ser obtidas através da regulação da iluminação noturna nos corredores, com a utilização de uma cor avermelhada ou âmbar, evitando perturbar o ritmo circadiano e os padrões de sono do paciente.



Salas de operação

A iluminação nas salas de operação é altamente avançada e fornecida por especialistas. A orientação aqui é portanto limitada, devendo no entanto mencionar duas vantagens na utilização de sistemas de iluminação LED:

- O espectro da iluminação LED pode ser ajustado àquilo que é importante ver durante a operação;
- Muitas operações são realizadas laparoscopicamente, o que significa que o cirurgião precisa de excelente iluminação ao olhar para o paciente e para monitor. No monitor, o cirurgião tem de ser capaz de distinguir as variações de vermelho e outras cores, durante muitas horas. Os sistemas de iluminação LED são capazes de fornecer a flexibilidade necessária para este tipo de aplicações.



Exemplo de Boas Práticas: Iluminação centrada no ser humano sem encandeamento

Em 2016, o hospital dinamarquês Slagelse terminou o retrofit do seu sistema de iluminação onde foi requisito manter o teto acústico e algumas luminárias.

Antes: 1640 luminárias LFL com encandeamento, problemas de limpeza e baixa iluminância.

Depois: luminárias reguláveis LED fechadas (para evitar o pó), com melhor espectro e iluminação centrada nos humanos através do sistema de controlo DALI.

Resultados: 28% de aumento do fluxo luminoso, 33% de economia de energia e 5 anos de período de retorno do investimento.

Opcional: Pode ser adicionado mais controlo, incluindo sensores de luz natural e PIR. As potenciais poupanças estimam-se em mais 40%.

A nova iluminação LED aumentou a funcionalidade e a qualidade da luz, gerou poupanças, evitou o encandeamento, facilitou a limpeza e proporcionou maior bem-estar para pacientes, visitantes e funcionários. A nova iluminação LED serviu como inspiração para outros hospitais.

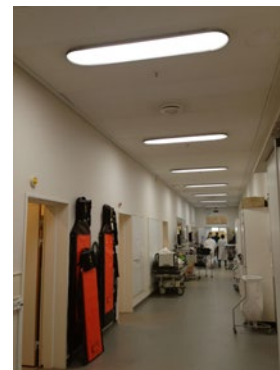
Instalação do novo sistema LED



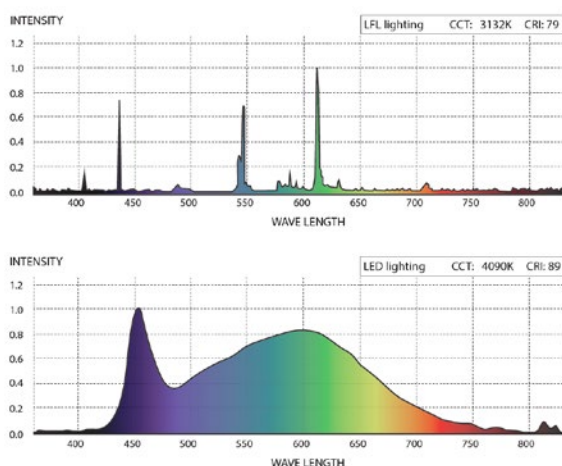
Novo sistema LED



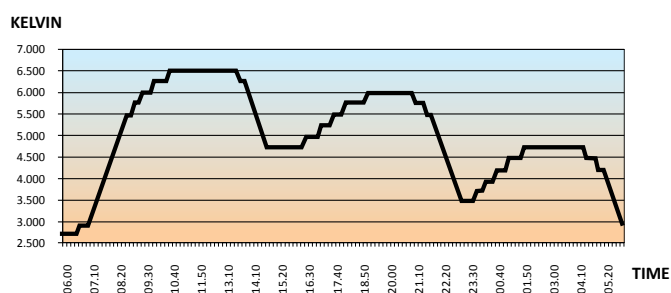
Anterior sistema LFL



Espectro melhorado com iluminação LED



Variação diária da iluminação centrada nos humanos





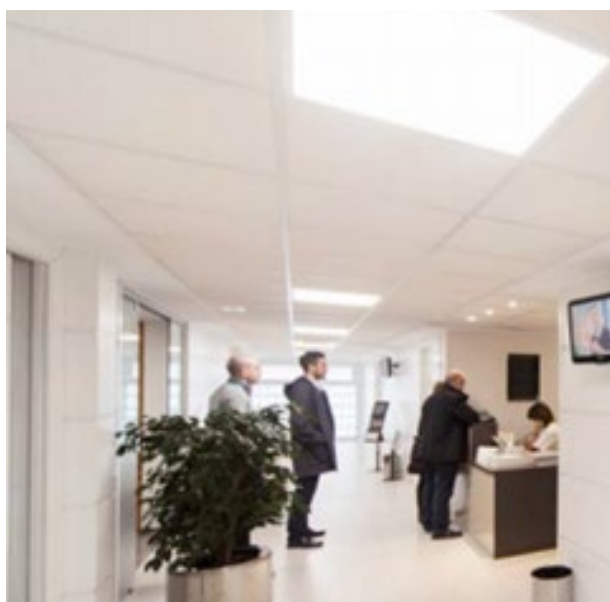
Exemplo de Boas práticas: Melhoria da qualidade da iluminação nos hospitais de Nisa, em Espanha

Estando conscientes da importância da iluminação para o bem-estar, o grupo Hospitais Nisa decidiu implementar um retrofit completo para usar iluminação LED com o objectivo de melhorar a uniformidade, níveis de iluminação, eficiência e conforto visual.

O retrofit nos sete hospitais gerou poupanças de cerca de 64% e 2169 toneladas de redução nas emissões de CO₂. Destaca-se o exemplo do hospital em Valência, onde 8500 pontos de luz (PLC de luz descendente, LFL e spots de halogéneo) foram substituídos por LEDs, gerando resultados superiores ao nível da eficiência, qualidade, uniformidade, níveis de iluminação, controlo DALI, com um período de retorno de apenas 0,6 anos.

A melhoria da qualidade de iluminação obtida é importante para os colaboradores e especialmente para a recuperação de pacientes.

Novo sistema de iluminação



Terminologia utilizada

Termo	Definição
Acomodar	Ajustar o comprimento focal da lente do olho com o objetivo de focar a imagem de um objeto – numa dada distância – na retina.
Adaptação	A capacidade do olho de se adaptar a diferentes níveis de luz.
Balastro	Dispositivo utilizado com uma lâmpada de descarga, que obtém as condições de circuito necessárias (voltagem, corrente e forma de onda) para dar início e operar, ou seja, limitar o valor da corrente de lâmpadas fluorescentes e HID (High Intensity Discharge)
Conjunto LED	Um conjunto LED é composto por uma lente ótica, fio de contacto (para unir o conjunto ao quadro do circuito), eletrodos e resina para encapsular o chip LED e protegê-lo
Contraste	A diferença entre o brilho de um objeto quando comparado com o fundo imediatamente envolvente.
Contraste de luminância	Quando um objeto ou superfície tem uma luminância diferente do fundo existe um contraste de luminância.
Controlo de iluminação	Controlo de iluminação (sistema) refere-se a um sistema de rede inteligente de dispositivos que podem incluir relé, sensores de ocupação, fotocélulas, interruptores de controlo de iluminação ou écran tátil e sinais de outros sistemas do edifício (como alarme de incêndio ou AVAC). O ajuste do sistema ocorre não só na localização dos dispositivos, via uma unidade sem fios e/ou computador central.
Difusor	Dispositivo para redirecionar ou distribuir a luz de uma fonte, principalmente através do processo de transmissão difusa.
Distribuição de luz	A distribuição de luz descreve a forma como a luz é distribuída quando radia da luminária ou da fonte de luz.
Distribuição espectral	A distribuição de energia espectral (SPD - spectral power distribution) é uma curva que demonstra precisamente a cor emitida de uma dada fonte de luz ao colocar em gráfico o nível de energia presente em cada comprimento de onda ao longo do espectro visível.
Distribuição fotométrica	A distribuição fotométrica é a medição da intensidade de luz em vários ângulos em unidades absolutas, medida em candelas (cd) e graus, comumente ilustrada através de "curvas de distribuição de luz" nos denominados "diagramas polares".
Driver	Uma unidade localizada entre a fonte de alimentação e o módulo LED de forma a fornecer a voltagem e corrente apropriada ao módulo LED. O driver também é chamado dispositivo de controlo eletrónico.
Eficiência luminosa	Rácio entre o fluxo luminoso total (lm) e a potência requerida à rede (W), lm/W.
Eficiência geral	A emissão de luz por unidade de potência tendo em conta a energia consumida em modo ligado e em standby. O período de tempo tem de ser pelo menos de um dia, mas a precisão melhora com o aumento dos períodos, como por exemplo um semana ou um ano.
Eficiência da Luminária	O rácio do fluxo luminoso (lúmen) emitido por uma luminária e do fluxo emitido por uma lâmpada/lâmpadas ali utilizadas. Igual ao LOR.
Elipse de MacAdam	A região num diagrama cromático que contém todas as cores que são indistinguíveis ao olho humano médio, desde a cor do centro da elipse. O contorno da elipse representa as diferenças de cromaticidade quase impercetíveis (uma elipse MacAdam de 1 etapa). As elipses de MacAdam têm normalmente uma escala de por ex: 3, 5 ou 7 vezes o original e são chamadas como as elipses de 3, 5 ou 7 etapas. Numa elipse de 7 etapas, as extremidades da elipse estão 14 etapas afastadas umas das outras.
Encandeamento	O desconforto ou interferência com a percepção visual quando se olha para um objeto extremamente brilhante contra um fundo negro.

Termo	Definição
Espectro	O espectro visível é a porção de espectro eletromagnético que é visível ao olho humano. A radiação eletromagnética nesta gama de comprimentos de onda é denominada luz visível ou simplesmente luz. Um olho humano responde a comprimentos de onda de cerca de 390 a 780 nm. O espectro não contém todas as cores que o olho e o cérebro humano conseguem distinguir. As cores não saturadas como por ex: cor-de-rosa ou variações de roxo como o magenta não aparecem porque só podem ser criadas com uma mistura de comprimentos de onda múltiplos. As cores que contêm apenas um comprimento de onda são denominadas cores puras ou espectrais.
Fator de luz natural	O rácio da iluminância recebida num ponto com uma distribuição de luminância conhecida (normalmente um céu encoberto) com a iluminância horizontal do exterior de um hemisfério desobstruído do mesmo céu. Este rácio é expresso em percentagem. A luz direta do sol é excluída dos dois valores de iluminância.
Fator de manutenção	Fator de correção utilizado nos projetos de iluminação para compensar a taxa de depreciação de lúmens, causada pelo envelhecimento da lâmpada (depreciação do lúmen e falha da lâmpada) e acumulação de pó (luminárias e ambiente). Determina o ciclo de manutenção necessário para assegurar que o valor de iluminância não cai abaixo do valor da manutenção.
Fluxo luminoso	Fluxo luminoso (em lúmen ou lm) é a medida da quantidade total de luz visual emitida. Radiometricamente é determinado pela potência radiante. Fotometricamente, um lúmen é definido como o fluxo luminoso emitido dentro de um esterradiano por um ponto com uma intensidade luminosa uniforme de uma candela.
Fonte de luz	Superfície ou objeto projetado para emitir radiação ótica visível produzida pela transformação de energia. O termo “visível” refere-se a um comprimento de onda de 380 - 780 nm.
Gestão térmica	A capacidade de controlar a temperatura (calor) das ligações do dispositivo no conjunto LED, tipicamente através da utilização de dissipadores de calor. O calor nas ligações pode ter um impacto negativo no desempenho do LED, incluindo a emissão, cor e vida útil.
Iluminação ambiente	A luz que rodeia um ambiente ou objeto.
Iluminação da tarefa	Iluminação dirigida a uma superfície ou área específica que fornece luz para tarefas visuais.
Iluminação de realce	Realce dos produtos expostos ou de características de uma loja ou edifício.
Iluminação difusa	Iluminação que não vem de uma determinada direção. A iluminação não direcional é normalmente descrita como iluminação difusa.
Iluminação indireta	Iluminação através de luminárias que distribuem 90-100% da luz emitida ascendentemente.
Iluminação média	A iluminação média (lux) sobre uma área.
Iluminância	Quantidade de luz que incide numa superfície/ plano, medida em lux
Iluminância cilíndrica	Fluxo total que cai na superfície curva de um pequeno cilindro dividido pela área da superfície curva do cilindro. Assume-se o eixo do cilindro como vertical salvo outra indicação. Esta é a medida da quantidade de luz que recai na face de uma pessoa.
Iluminância horizontal	Iluminância incidente numa superfície horizontal medida em lux.
Índice de restituição de cor (CRI)	Uma medida quantitativa até 100 Ra (100 é o melhor) da capacidade da fonte de luz de reproduzir fidedignamente as cores de vários objetos em comparação com uma fonte de luz de referência. As fontes de luz com um CRI elevado são preferíveis uma vez que as cores serão menos distorcidas.
Intensidade luminosa	O fluxo por unidade de ângulo sólido na direção em questão. É a medida da quantidade de luz emitida numa dada direção.
Lâmpada	Dispositivo para emissão de luz cujo desempenho pode ser avaliado de forma independente e que consiste numa ou mais fontes de luz. Pode incluir componentes adicionais necessários para o arranque como uma fonte de alimentação. Uma “lâmpada” pode consistir em uma ou mais “fontes de luz”.
Lâmpada inteligente	A lâmpada que pode ser controlada via sinal sem fios, utilizando um telefone inteligente, uma unidade de controlo remoto ou outro dispositivo. Algumas lâmpadas inteligentes pertencem a um sistema de automação dedicado que inclui várias aplicações e um sistema de gestão de energia integrado.
Lente	Elemento de vidro ou plástico utilizado nas luminárias para mudar a direção e controlar a distribuição de raios de luz.

Termo	Definição
Louvre	Uma série de placas utilizadas para proteger a fonte de uma visão direta em certos ângulos ou para absorver luz indesejada. As placas estão normalmente organizadas com um padrão geométrico.
Luminância	Medida fotométrica da intensidade luminosa numa direção específica. A unidade SI para a luminância é candela por metro quadrado (cd/m ²).
Luminária	Um aparelho que distribui, filtra ou transforma a luz transmitida por uma ou mais lâmpadas e que inclui todos os componentes necessários para apoiar, fixar e proteger as lâmpadas e, quando necessário, os circuitos auxiliares para ligar à fonte elétrica. Uma "luminária" pode acomodar uma ou mais "lâmpadas" / "fontes de luz".
Luz	Energia radiante que é capaz de excitar a retina e produzir uma sensação visual. A porção visual do espectro eletromagnético estende-se desde 380 a 780nm.
Luz descendente	Pequena unidade de iluminação direta que direciona a luz de forma descendente e pode ser encastrada, montada na superfície ou suspensa.
Manutenção de lumens	Porcentagem de diminuição de lúmens de uma fonte de luz ao longo do tempo. Cada tipo de lâmpada tem uma curva de depreciação de lúmen única, que compara a quantidade de luz produzida por uma fonte de luz quando é nova com a quantidade de luz emitida numa altura específica do seu tempo de vida.
Modo ligado	Modo onde a lâmpada está a produzir luz sem qualquer tipo de regulação. O consumo de energia para este modo é definido pela sua potência. Para fontes de luz com cores reguláveis, a magnitude do fluxo e do consumo de energia estão dependentes da CCT selecionada e este parâmetro não é normalmente especificado pelo fabricante. Para algumas lâmpadas, este modo pode também incluir serviços extra totalmente integrados como por ex: música da lâmpada, sendo estes serviços extra difíceis ou impossíveis de desligar.
Modo standby	Modo onde a lâmpada ou luminária está conectada à fonte de alimentação e pelo menos uma função inteligente está ativa. Na iluminação, o modo standby ocorre quando a lâmpada/luminária está desligada ou regulada para quase zero luz visível, mas a lâmpada/luminária continua a usar energia para poder estar pronta a receber a próxima comunicação sem fios.
Módulo LED	Uma unidade fornecida como uma fonte de luz. Para além de um ou mais LED, pode também conter componentes óticos, mecânicos, elétricos e eletrónicos, excluindo o driver.
Lâmpada LED	A combinação de um driver e um ou mais módulos LED.
Plano de trabalho	O plano onde uma tarefa visual é normalmente realizada, e onde a iluminância é especificada e medida. Salvo indicação contrária, na Europa assume-se um plano horizontal 0.85m acima do chão.
Gateway	Um dispositivo para interface entre duas redes que usam protocolos diferentes, e que podem utilizar diferentes velocidades de dados, voltagens e significados de dados.
Posto de trabalho	Combinação e arranjo espacial do equipamento de trabalho, cercado pelo ambiente de trabalho sob as condições impostas pelas tarefas de trabalho.
Socket	Componente que liga mecanicamente e eletricamente a lâmpada à luminária.
Probabilidade de conforto visual (VCP)	Classificação de um sistema de iluminação, expresso pela percentagem de pessoas que, quando olham para uma localização e direção específica, é expectável que considerem aceitável, no que concerne ao encandeamento de desconforto. A probabilidade do desconforto visual está relacionada com a classificação do encandeamento de desconforto (DGR - discomfort glare rating).
Qualidade da iluminação	Relativo à qualidade espectral das fontes de luz e da distribuição de luminância num ambiente visual. O termo é utilizado com um sentido positivo e implica que todas as luminâncias contribuem favoravelmente para o desempenho visual, conforto visual, facilidade de visualização, segurança e estética na tarefa visual específica envolvida.
Rácio de difusão	O rácio do fluxo deixando a superfície ou o meio através do reflexo difuso do fluxo incidente.
Refletor	Dispositivo utilizado para redirecionar o fluxo luminoso de uma fonte através do processo de reflexão.

Termo	Definição
Refletância	Rácio do fluxo luminoso refletido de uma superfície e que nela incide.
Reflexão difusa	O processo onde o fluxo incidente é redirecionado através de uma série de ângulos.
Reflexo	Característica de uma superfície que devolve (recupera) luz ou energia. As superfícies refletem a luz de forma diferente.
Temperatura de cor correlacionada (CCT)	Medida em graus Kelvin (K) para descrever a qualidade da fonte de luz ao expressar a aparência da cor correlacionada com a do corpo negro. As temperaturas de cor acima de 4000K parecem frescas enquanto as temperaturas de cor abaixo dos 3200K parecem quentes.
Tomada	Componente que liga mecânica e eletricamente a lâmpada à luminária.
Tremulação	A impressão de uma variação rápida e repetitiva do brilho de uma lâmpada ou da cor (menos comum).
Troffer	Uma luminária rectangular que encaixa num módulo preso ao teto (na Europa são luminárias de 60x60cm, nos EUS são 2' x 2' ou 2' x 4'). Tipicamente, as luminárias troffer foram desenhadas para acomodar lâmpadas fluorescentes normais (T12, T8 ou T5), mas atualmente são frequentemente desenhadas com fontes LED integradas. O termo deriva de "trough" e "coffer".
Vida útil	Medida através da combinação da manutenção de lúmens ou perda de luz e percentagem de falhas. A perda de luz é a redução de luz emitida pelo dispositivo na sua vida útil. Percentagem de falhas é a percentagem de falhas na sua vida útil

Referências

- 1 IEA 4E SSL Performance Tiers, <http://ssl.iea-4e.org/product-performance/performance-tiers>, 2016.
- 2 Minergie Efficacy criteria, <http://www.minergie.ch/>
- 3 Minergie Produktreglement zu den Gebäudestandards, v. 2017.2, part 11.1, Switzerland.
- 4 Lys-Emitterende Dioder (in Danish), LED, Rune Søgaard Larsen, 2011.
- 5 Light! On light in life and life in light, Tor Nørretranders & Olafur Eliasson, 2012.
- 6 EU GPP Criteria for Indoor Lighting, EU JRC, http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/-criteria/indoor_lighting.pdf, 2012.
- 7 How to complement efficient lighting with good lighting design to obtain best practice, Advice and comments provided by Danish Centre for Lighting (DCL), Anne Bay, 2017.
- 8 Lys i Læringsmiljø (Norwegian language), Lyskultur, 2015.
- 9 Code of Practice for the Application of LED Lighting Systems, IET, UK, 2014.
- 10 Smart Lighting impacting Energy Consumption, Casper Kofod, IEA 4E SSL Annex, Sep. 2016, <http://ssl.iea-4e.org/product-performance/new-product-features/standby-of-smart-lamps-first-report>.
- 11 Occupant Sensors, <http://www.qualitylight.com/tecniques/sensors/sensors.html>
- 12 Human Centric Lighting, Stan Walerczyk, <http://humancentriclighting.com/wp-content/uploads/2012/07/Stan-Article-SSL1.pdf>, 2012.
- 13 https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/opticalsafety_fact-sheet.pdf
- 14 http://en.licht.de/fileadmin/shop-downloads/1606_Reliable-Planning-with-LED-Lighting-2nd-Ed.pdf
- 15 <http://ieslightlogic.org/lighting-language/>
- 16 Light's Labour's Lost, Policies for Energy-efficient Lighting, IEA, 2006.
- 17 <http://www.allaboutvision.com/over60/vision-changes.htm>
- 18 The Use of the Internal Telephone Network for Control of Lighting in Large Office Buildings, <http://www.caddet-ee.org/register/data-ee/cce02091.htm>
- 19 <http://luxreview.com/article/2016/03/dubai-supermarket-is-first-in-middle-east-with-connected-lighting>
- 20 <http://luxreview.com/article/2015/04/exclusive-us-retail-giant-target-leads-the-way-in-lighting-based-in-store-navigation-systems>
- 21 Saving Energy with Efficient Lighting in Commercial Buildings, (only used information about lighting control), CADDET maxi Brochure 01, 1995.
- 22 Lamps and Lighting, (general lighting design), JR Coaton, AM marsden, Arnold, 1997.
- 23 Energy Efficient Lighting in Commercial Buildings, Stefan Aronsson, Per-Erik Nilsson, CADDET Analyses Series No. 6.
- 24 http://byggningsreglementet.dk/br15_02_id103/0/42, part 6.5.3 paragraph 2 (in Danish)
- 25 <http://ecodesign-lightingsystems.eu/documents>, 2016
- 26 Task and Building Lighting: the Link Between Lighting Quality and Energy Efficiency, David Loe, Right Light 4 p.11.
- 27 Strategies for Technologies Procurement in Creating Energy Efficient Lighting Installations, Arnold Buddenberg, Rienk Visser, Right Light 4.
- 28 Lighting Technology and maintenance, <http://www.facilitiesnet.com/NS/NS3mg6f.html>
- 29 Electric Lighting Controls – A Guide for Designers, Installers and Users, BRECSU, Good Practice Guide 160.
- 30 Daylight Performance of Buildings: 60 European Case Studies, m Fontoynt, Right Light 4 Vol.2 p.61.
- 31 A Study Performance of Light Pipes Under Cloudy and Sunny Conditions in UK, L Shao, SB Riffat, W Hicks, Right Light 4 Vol.1 p.155.
- 32 Advanced Lighting Control Technologies for User Satisfaction and Energy Efficiency, T Viljanen, L Halonen, J Lehtovaara, Right Light 4.
- 33 Envelope and Lighting Technologies to Reduce Electric Demand in Commercial Buildings, <http://eande.lbl.gov/CBS/NEWSLETTER/NL5/Envelope.html>
- 34 Give People Control of Lighting Controls, IAEEL Newsletter 3/96.
- 35 Preadaptation and manual Switching, JA Lynes, PJ Littlefair, AI Slater, Right Light 4.
- 36 Results from the Integrated Performance Appraisal of Daylight-Europe Case Study Building, JA Clarke, JW Hand, M Janak, Right Light 4 Vol.1 p.117.
- 37 Increased Energy Savings by Individual Light Control, Rob Embrechts, Chris Van Bellegem, Right Light 4.
- 38 Assessing the Energy Saving Potential of Daylight Technologies for Non-Residential Buildings in Germany, A Kovach-Hebling, m Goller, S Herkel, J Wienold, Right Light 4 Vol.2 p.115.
- 39 <https://echa.europa.eu/addressing-chemicals-of-concern>
- 40 <http://eng.mst.dk/topics/chemicals/assessment-of-chemicals/list-of-undesirable-substances/>
- 41 https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/files/documents/Lighting/eu_led_quality_charter.pdf
- 42 <http://www.ransen.com/Photometric/understanding-photometric-polar-diagrams.htm>

Parceiros do PremiumLightPro:



Austria
Austrian Energy Agency
www.energyagency.at



Czech Republic
SEVEn, The Energy Efficiency Center
www.svn.cz



Energy piano
Denmark
Energy piano



Portugal
Institute for Systems and Robotics,
University of Coimbra



United Kingdom
Energy Saving Trust
www.energysavingtrust.org.uk



Germany
co2online gGmbH
www.co2online.de



Italy
Politecnico Milano
www.energia.polimi.it



Spain
Ecoserveis
www.ecoserveis.net



Poland
FEWE, Polish Foundation for Energy
Efficiency, www.fewe.pl

Author:

Energy piano
Casper Kofod
ck@energypiano.dk
L.F.Cortzens Vej 3
2830 Virum
Denmark

Este guia foi finalizado em Setembro/2017