

Manual Luminotécnico Prático



NOSSA VIDA É LUZ.

OSRAM

Conceitos básicos de Luminotécnica

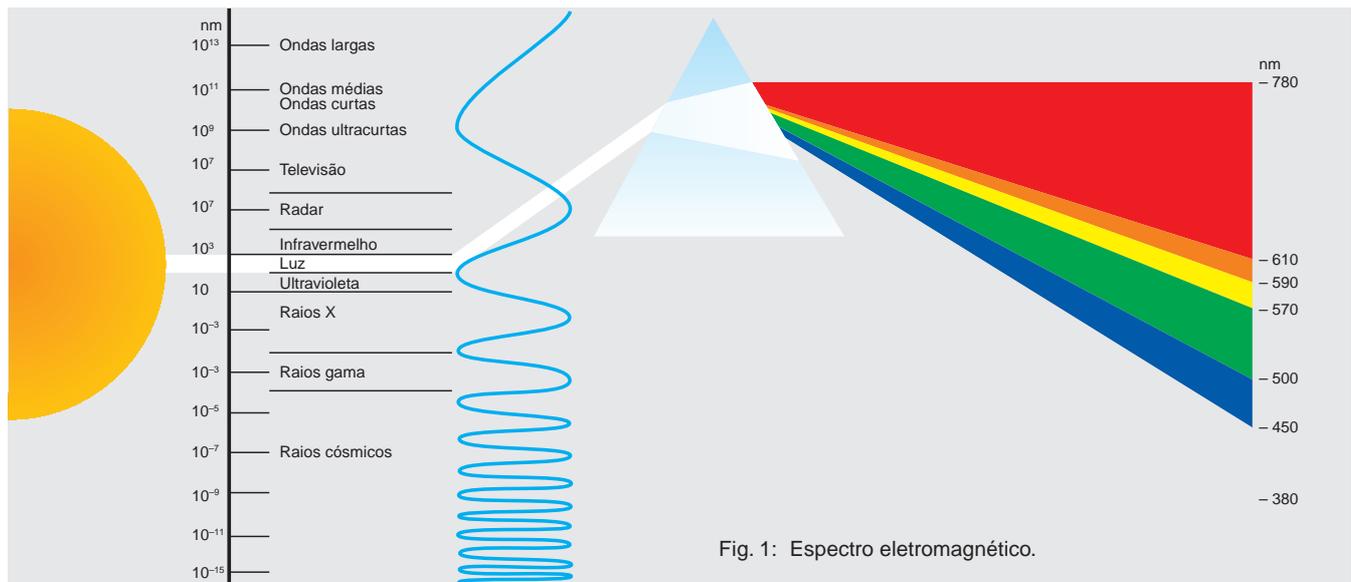
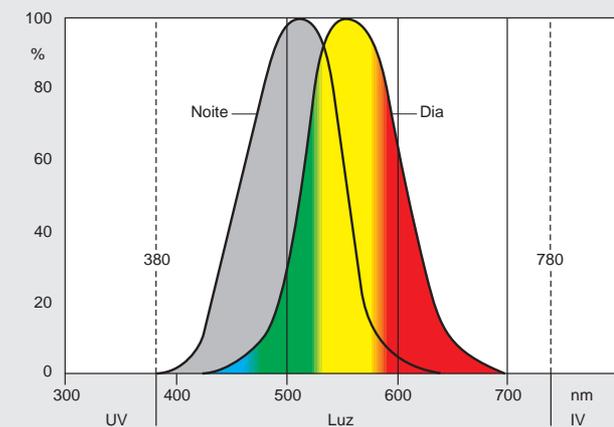


Fig. 1: Espectro eletromagnético.

O que é Luz ?

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas. Elas possuem diferentes comprimentos, e o olho humano é sensível a somente alguns. Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual (Figura 1). A sensibilidade visual para a luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade. A curva de sensibilidade do olho humano demonstra que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz (ex. crepúsculo, noite, etc.), enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário (Figura 2).

Fig. 2: Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas.



Luz e Cores

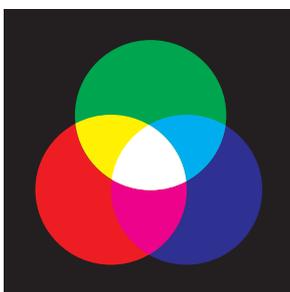


Fig. 3: Composição das Cores

Há uma tendência em pensarmos que os objetos já possuem cores definidas. Na verdade, a aparência de um objeto é resultado da iluminação incidente sobre o mesmo. Sob uma luz branca, a maçã aparenta ser de cor vermelha pois ela tende a refletir a porção do vermelho do espectro de radiação absorvendo a luz nos outros comprimentos de onda. Se utilizássemos um filtro para remover a porção do vermelho da fonte de luz, a maçã refletiria muito pouca luz parecendo totalmente negra. Podemos ver que a luz é composta por três cores primárias. A combinação das cores vermelho, verde e azul permite obtermos o branco. A combinação de duas cores primárias produz as cores secundárias - magenta, amarelo e ciano. As três cores primárias dosadas em diferentes quantidades permite obtermos outras cores de luz. Da mesma forma que surgem diferenças na visualização das cores ao longo do dia (diferenças da luz do sol ao meio-dia

e no crepúsculo), as fontes de luz artificiais também apresentam diferentes resultados. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, tendem a reproduzir com maior fidelidade as cores vermelha e amarela do que as cores verde e azul, aparentando ter uma luz mais “quente”.

Grandezas e conceitos

As grandezas e conceitos a seguir relacionados são fundamentais para o entendimento dos elementos da luminotécnica. As definições são extraídas do Dicionário Brasileiro de Eletricidade, reproduzidas das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. A cada definição, seguem-se as unidades de medida e símbolo gráfico do Quadro de Unidades de Medida, do Sistema Internacional - SI, além de interpretações e comentários destinados a facilitar o seu entendimento.

Fluxo Luminoso

Símbolo: ϕ

Unidade: lúmen (lm)

Fig. 4: Fluxo Luminoso



Fluxo Luminoso é a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda mencionados (380 e 780nm). (Figura 4)

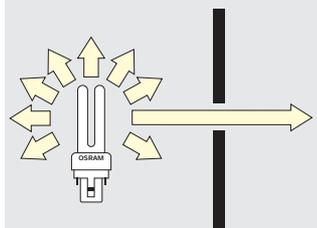
O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento.

Intensidade Luminosa

Símbolo: I

Unidade: candela (cd)

Fig. 5: Intensidade Luminosa



Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o Fluxo Luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor

dos lúmens emitidos em cada direção. Essa direção é representada por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa. (Figura 5)

Portanto é o Fluxo Luminoso irradiado na direção de um determinado ponto.

Curva de distribuição luminosa

Símbolo: CDL

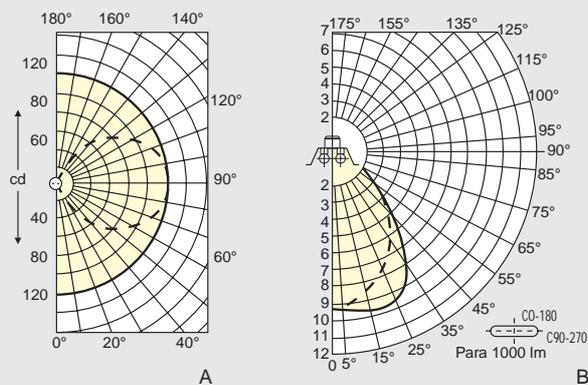
Unidade: candela (cd)

Se num plano transversal à lâmpada, todos os vetores que dela se originam tiverem suas extremidades ligadas por um traço, obtém-se a Curva de Distribuição Luminosa (CDL).

Em outras palavras, é a representação da Intensidade Luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano. (Figura 6)

Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar-se o valor encontrado na CDL pelo Fluxo Luminoso da lâmpada em questão e dividir o resultado por 1000 lm.

Fig. 6: Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).

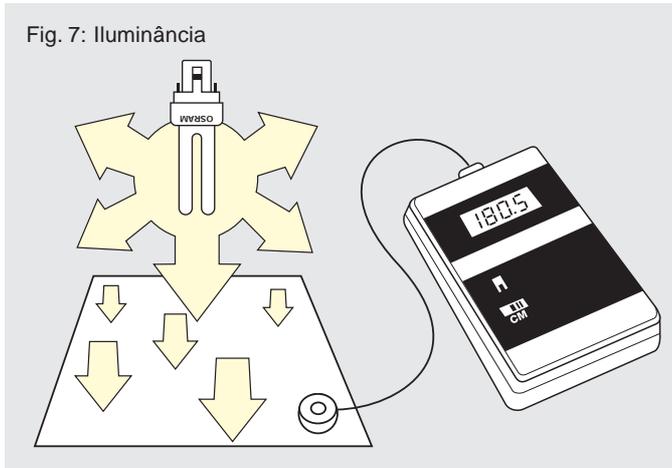


Conceitos básicos de Luminotécnica

Iluminância (Iluminamento)

Símbolo: E

Unidade: lux (lx)



A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície a qual incide, define uma nova grandeza luminotécnica, denominada de Iluminamento ou Iluminância. (Figura 7)

Expressa em lux (lx), indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância desta fonte.

Em outras palavras a equação que expressa esta grandeza é:

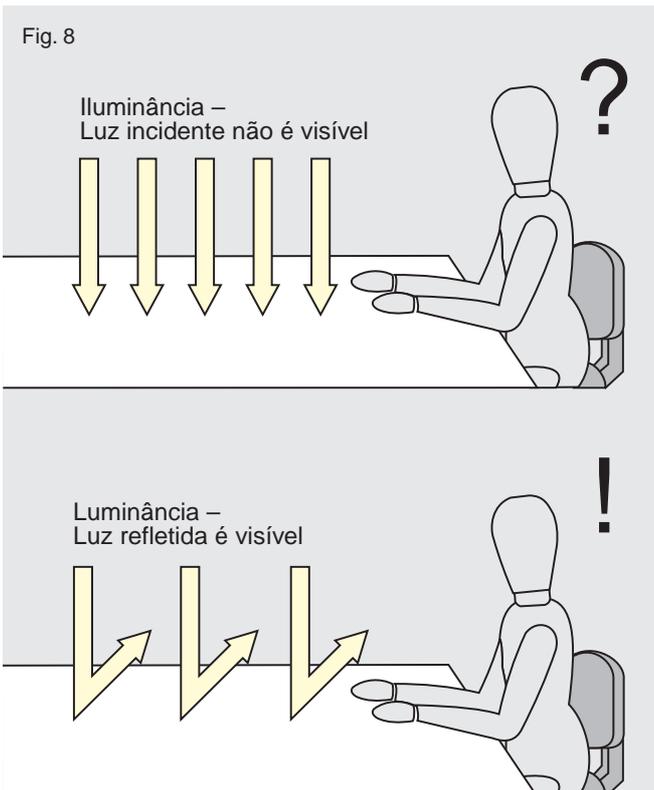
$$E = \frac{\phi}{A}$$

E também a relação entre intensidade luminosa e o quadrado da distância ($1/d^2$). Na prática, é a quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro. Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se por isso a iluminância média (E_m). Existem normas especificando o valor mínimo de E_m , para ambientes diferenciados pela atividade exercida relacionados ao conforto visual. Alguns dos exemplos mais importantes estão relacionados no anexo 1 (ABNT - NBR 5523).

Luminância

Símbolo: L

Unidade: cd/m²



Das grandezas mencionadas, nenhuma é visível, isto é, os raios de luz não são vistos, a menos que sejam refletidos em uma superfície e aí transmitam a sensação de claridade aos olhos.

Essa sensação de claridade é chamada de Luminância. (Figura 8)

Em outras palavras, é a Intensidade Luminosa que emana de uma superfície, pela sua superfície aparente. (Figura 9)

A equação que permite sua determinação é:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha}$$

onde

L = Luminância, em cd/m²

I = Intensidade Luminosa, em cd

A = área projetada, em m²

α = ângulo considerado, em graus

Como é difícil medir-se a Intensidade Luminosa que provém de um corpo não radiante (através de reflexão), pode-se recorrer a outra fórmula, a saber:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$

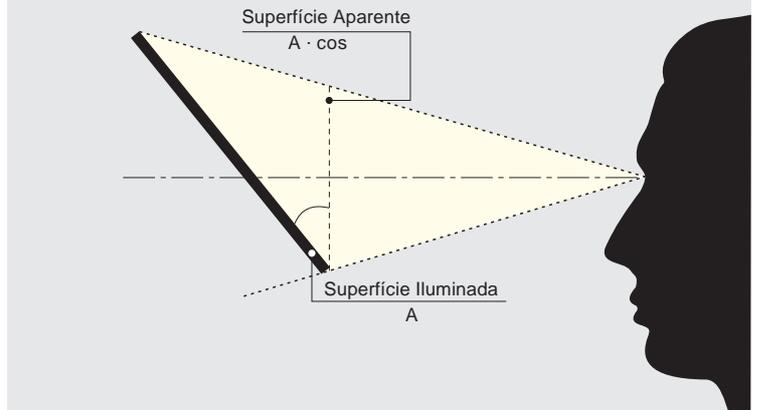
onde

ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão

E = Iluminância sobre essa superfície

Como os objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, fica explicado porque a mesma Iluminância pode dar origem a Luminâncias diferentes. Vale lembrar que o Coeficiente de Reflexão é a relação entre o Fluxo Luminoso refletido e o Fluxo Luminoso incidente em uma superfície. Esse coeficiente é geralmente dado em tabelas, cujos valores são função das cores e dos materiais utilizados (exemplos no anexo 2).

Fig. 9: Representação da superfície aparente e ângulo considerado para cálculo da Luminância.



Características das lâmpadas e acessórios

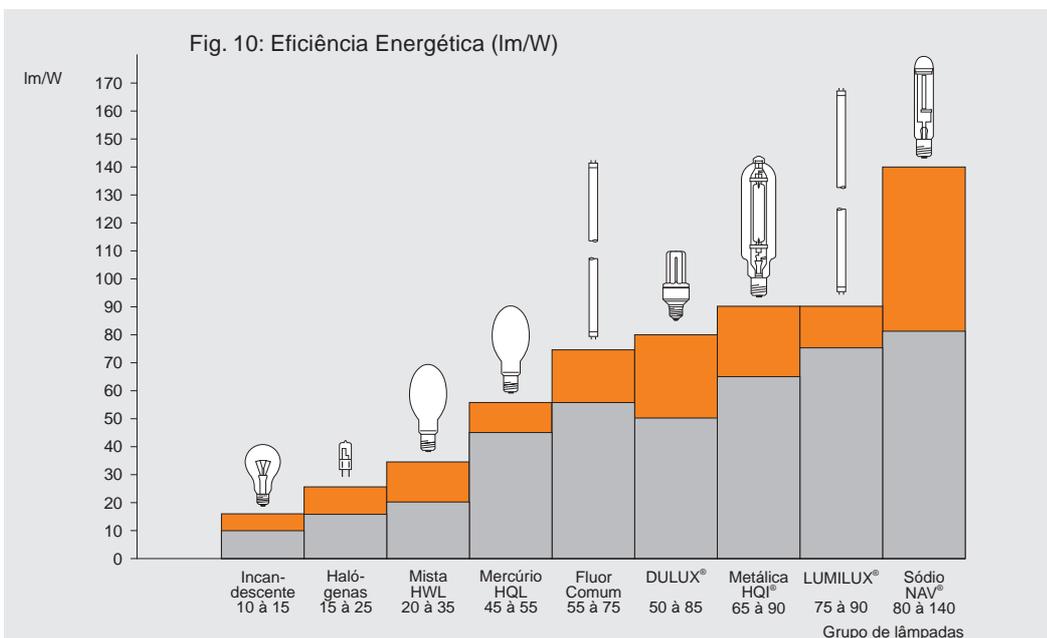
Estaremos apresentando a seguir características que diferenciam as lâmpadas entre si, bem como algumas características dos acessórios utilizados com cada sistema.

Eficiência Energética

Símbolo: η_w (ou K, conforme IES)

Unidade: lm / W (lúmen / watt)

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes Fluxos Luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência Energética (antigo "Rendimento Luminoso"). (Figura 10)



Conceitos básicos de Luminotécnica

Temperatura de cor

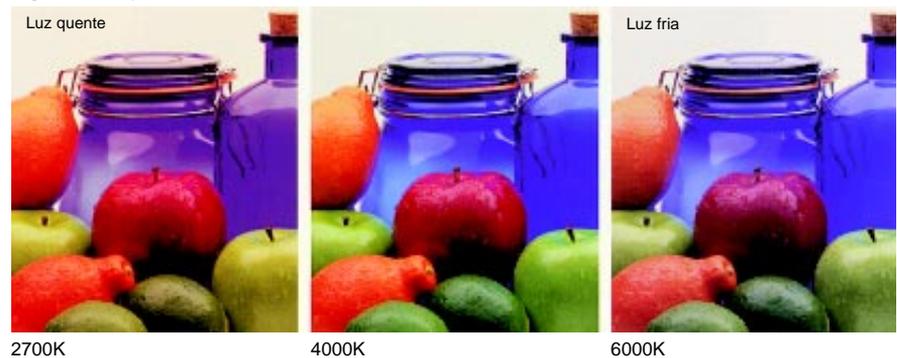
Símbolo: T

Unidade: K (Kelvin)

Em aspecto visual, admite-se que é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de Tonalidade de Cor de diversas lâmpadas. Para estipular um parâmetro, foi definido o critério Temperatura de Cor (Kelvin) para classificar a luz. Assim como um corpo metálico que, em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco, quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a Temperatura de Cor (aproximadamente 6500K). A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700 K. É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na Eficiência Energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada.

Convém ressaltar que, do ponto de vista psicológico, quando dizemos que um sistema de iluminação apresenta luz “quente” não significa que a luz apresenta uma maior temperatura de cor, mas sim que a luz apresenta uma tonalidade mais amarelada. Um exemplo deste tipo de iluminação é a utilizada em salas de estar, quartos ou locais onde se deseja tornar um ambiente mais aconchegante. Da mesma forma, quanto mais alta for a temperatura de cor, mais “fria” será a luz. Um exemplo deste tipo de iluminação é a utilizada em escritórios, cozinhas ou locais em que se deseja estimular ou realizar alguma atividade. Esta característica é muito importante de ser observada na escolha de uma lâmpada, pois dependendo do tipo de ambiente há uma temperatura de cor mais adequada para esta aplicação.

Fig. 11: Temperatura de Cor.



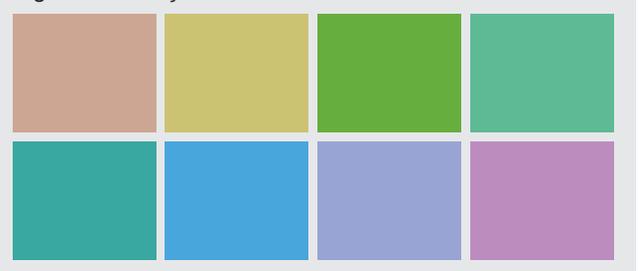
Índice de reprodução de cores

Símbolo: IRC ou Ra

Unidade: R

Objetos iluminados podem nos parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade. As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através de um outro conceito, Reprodução de Cores, e de sua escala qualitativa Índice de Reprodução de Cores (Ra ou IRC). O mesmo metal sólido, quando aquecido até irradiar luz, foi utilizado como referência para se estabelecer níveis de Reprodução de Cor. Define-se que o IRC neste caso seria um número ideal = 100.

Fig. 12: Avaliação do IRC



Sua função é como dar uma nota (de 1 a 100) para o desempenho de outras fontes de luz em relação a este padrão.

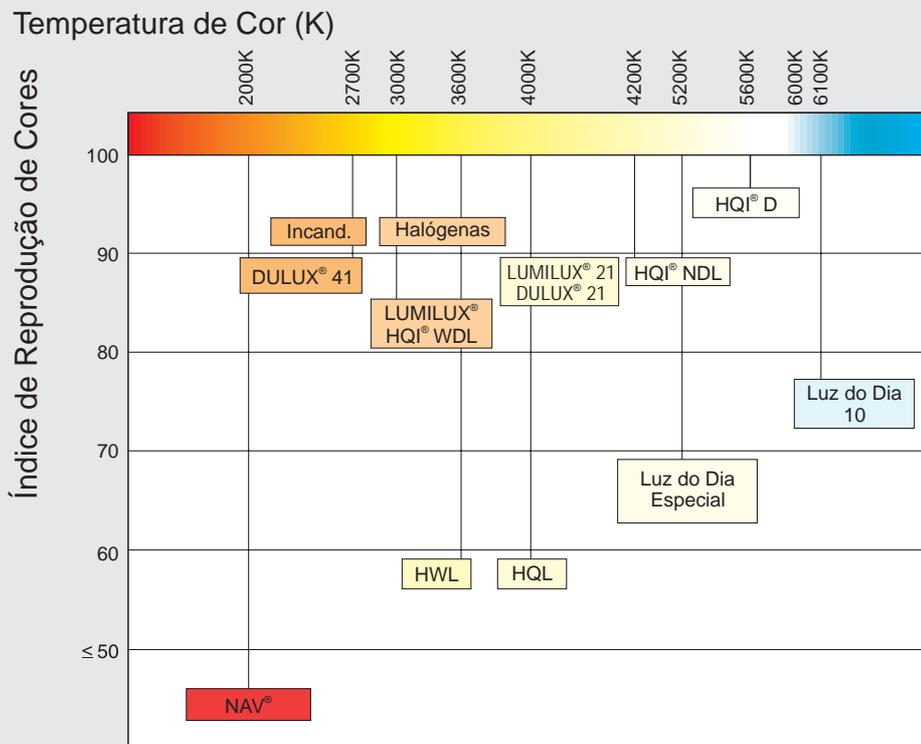
Fig. 13: Variação da Reprodução de Cor



A lâmpada incandescente iluminando a cena da esquerda apresenta um IRC de 100. Já a fluorescente tubular FO32/31 3000K iluminando a cena da direita apresenta um IRC de 85. (As fotos foram ajustadas para compensar variações no filme e na impressão).

Portanto, quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão (sob a radiação do metal sólido) menor é seu IRC. Com isso, explica-se o fato de lâmpadas de mesma Temperatura de Cor possuírem Índice de Reprodução de Cores diferentes.

Fig. 14: Tonalidade de Cor e Reprodução de Cores



Fator de fluxo luminoso

Símbolo: BF

Unidade: %

A maioria das lâmpadas de descarga opera em conjunto com reatores. Neste caso, observamos que o fluxo luminoso total obtido neste caso depende do desempenho deste reator. Este desempenho é chamado de fator de fluxo luminoso (Ballast Factor) e pode ser obtido de acordo com a equação:

$$BF = \text{fluxo luminoso obtido} / \text{fluxo luminoso nominal}$$

Equipamentos auxiliares utilizados em iluminação

- Luminária: abriga a lâmpada e direciona a luz.
- Soquete: tem como função garantir fixação mecânica e a conexão elétrica da lâmpada.
- Transformador: equipamento auxiliar cuja função é converter a tensão de rede (tensão primária) para outro valor de tensão (tensão secundária). Um único transformador poderá alimentar mais de uma lâmpada, desde que a somatória das potências de todas as lâmpadas a ele conectadas, não ultrapasse a potência máxima do mesmo.
- Reator: equipamento auxiliar ligado entre a rede e as lâmpadas de descarga, cuja função é estabilizar a corrente através da mesma. Cada tipo de lâmpada requer um reator específico.
- Reator para corrente contínua: oscilador eletrônico alimentado por uma fonte de corrente contínua, cuja função é fornecer as características necessárias para perfeito funcionamento das lâmpadas.
- Starter: elemento bimetalico cuja função é pré-aquecer os eletrodos das lâmpadas fluorescentes, bem como fornecer em conjunto com reator eletromagnético convencional, um pulso de tensão necessário para o acendimento da mesma. Os reatores eletrônicos e partida rápida não utilizam starter.
- Ignitor: dispositivo eletrônico cuja função é fornecer à lâmpada um pulso de tensão necessário para acendimento da mesma.
- Capacitor: acessório que tem como função corrigir o fator de potência de um sistema que utiliza reator magnético. Da mesma forma que para cada lâmpada de descarga existe seu reator específico, existe também um capacitor específico para cada reator.
- Dimmer: tem como função variar a intensidade da luz de acordo com a necessidade.

Conceitos básicos de Luminotécnica

Fatores de Desempenho

Como geralmente a lâmpada é instalada dentro de luminárias, o Fluxo Luminoso final que se apresenta é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido à absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais com que são construídas.

O Fluxo Luminoso emitido pela luminária é avaliado através da Eficiência da Luminária. Isto é, o Fluxo Luminoso da luminária em serviço dividido pelo Fluxo Luminoso da lâmpada.

Eficiência de luminária (rendimento da luminária)

Símbolo: η_L

Unidade: -

“Razão do Fluxo Luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas especificadas, para a soma dos Fluxos individuais das lâmpadas funcionando fora da luminária em condições específicas.”

Esse valor é normalmente, indicado pelos fabricantes de luminárias.

Dependendo das qualidades físicas do recinto em que a luminária será instalada, o Fluxo Luminoso que dela emana poderá se propagar mais facilmente, dependendo da absorção e reflexão dos materiais e da trajetória que percorrerá até alcançar o plano de trabalho. Essa condição de mais ou menos favorabilidade é avaliada pela Eficiência do Recinto.

Eficiência do Recinto

Símbolo: η_R

Unidade: -

O valor da Eficiência do Recinto é dado por tabelas, contidas no catálogo do fabricante onde relacionam-se os valores de Coeficiente de Reflexão do teto, paredes e piso, com a Curva de Distribuição Luminosa da luminária utilizada e o Índice do Recinto.

Índice do Recinto

Símbolo: K

Unidade: -

O Índice do Recinto é a relação entre as dimensões do local, dada por:

$$K_d = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

para iluminação direta

$$K_d = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot h' (a + b)}$$

para iluminação indireta

sendo

a = comprimento do recinto

b = largura do recinto

h = pé-direito útil

h' = distância do teto ao plano de trabalho

Pé-direito útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho ($h_{pl.tr.}$), menos a altura do pendente da luminária ($h_{pend.}$). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho (Figura 15).

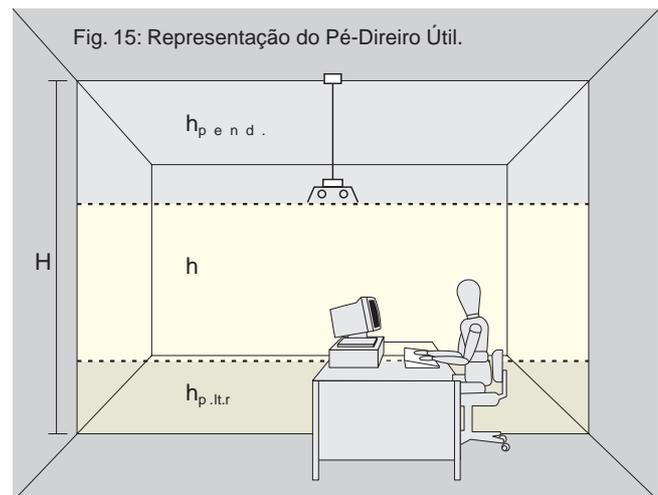


Fig. 15: Representação do Pé-Direito Útil.

Como já visto, o Fluxo Luminoso emitido por uma lâmpada sofre influência do tipo de luminária e a conformação física do recinto onde ele se propagará.

Fator de Utilização

Símbolo: Fu

Unidade: -

O Fluxo Luminoso final (útil) que incidirá sobre o plano de trabalho, é avaliado pelo Fator de Utilização. Ele indica, portanto, a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto.

O produto da Eficiência do Recinto (η_R) pela Eficiência da Luminária (η_L) nos dá o Fator de Utilização (Fu).

$$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$$

Determinados catálogos indicam tabelas de Fator de Utilização para suas luminárias. Apesar de estas serem semelhantes às tabelas de Eficiência do Recinto, os valores nelas encontrados não precisam ser multiplicados pela Eficiência da Luminária, uma vez que cada tabela é específica para uma luminária e já considera a sua perda na emissão do Fluxo Luminoso.

Localização de Dados em Tabelas

Fig. 16a: Exemplo de CDL de luminária

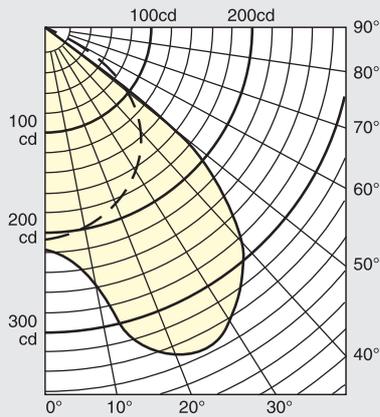


Fig. 16c: Exemplo de tabela de Fator de Utilização de luminária Teto/Parede/Piso

K	751	731	711	551	531	511	331	311
0,6	0,32	0,28	0,26	0,31	0,28	0,26	0,28	0,25
0,8	0,39	0,36	0,33	0,39	0,35	0,33	0,35	0,35
1,0	0,44	0,41	0,39	0,43	0,40	0,38	0,40	0,38
1,25	0,48	0,45	0,43	0,47	0,45	0,42	0,44	0,42
1,5	0,51	0,48	0,45	0,49	0,47	0,45	0,46	0,45
2,0	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,50	0,49
2,5	0,55	0,54	0,52	0,55	0,53	0,52	0,52	0,51
3,0	0,57	0,55	0,54	0,56	0,54	0,53	0,54	0,52
4,0	0,58	0,57	0,56	0,57	0,56	0,55	0,53	0,54
5,0	0,60	0,58	0,57	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55

Fator de Utilização

Eficiência do Recinto

Uma vez que se calculou o Índice do Recinto (K), procura-se identificar os valores da Refletância do teto, paredes e piso.

Escolhe-se a indicação de Curva de Distribuição Luminosa que mais se assemelha à da luminária a ser utilizada no projeto. Na interseção da coluna de Refletâncias e linha de Índice do Recinto, encontra-se o valor da Eficiência do Recinto (η_R).

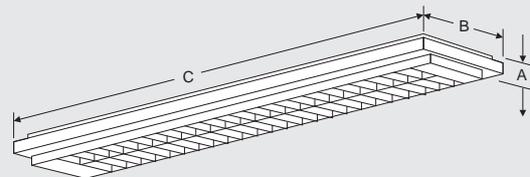
Eficiência da Luminária

Certos catálogos fornecem a Curva de Distribuição Luminosa junto à Curva Zonal de uma luminária. A Curva Zonal nos indica o valor da Eficiência da Luminária em porcentagem.

Fator de Utilização

Para se determinar o Fator de Utilização (F_u), deve-se multiplicar o valor da Eficiência do Recinto pelo valor da Eficiência da Luminária. Muitas vezes, esse processo é evitado, se a tabela de Fator de utilização for também fornecida pelo catálogo. Esta tabela nada mais é que o valor da Eficiência do Recinto já multiplicado pela Eficiência da Luminária, encontrado pela interseção do Índice do Recinto (K) e das Refletâncias do teto, paredes e piso (nesta ordem). (Figura 16c)

Fig. 16b: Exemplo de especificação de luminária



Luminária	Medidas		
	A	B	C
2x36W	75	260	1425
2x18W	75	260	815

Fundamentos do Projeto de Iluminação

Uma vez definidas as grandezas utilizadas nos projetos, pode-se partir para o planejamento de um sistema de iluminação.

Um projeto luminotécnico pode ser resumido em:

- Escolha da lâmpada e da luminária mais adequada.
- Cálculo da quantidade de luminárias.
- Disposição das luminárias no recinto.
- Cálculo de viabilidade econômica.

O desenvolvimento de um projeto exige uma metodologia para se estabelecer uma sequência lógica de cálculos.

A metodologia recomendada propõe as seguintes etapas

- 1) Determinação dos objetivos da iluminação e dos efeitos que se pretende alcançar.
- 2) Levantamento das dimensões físicas do local, layout, materiais utilizados e características da rede elétrica no local.
- 3) Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação.
- 4) Cálculo da iluminação geral (Método das Eficiências).
- 5) Adequação dos resultados ao projeto.
- 6) Cálculo de controle.
- 7) Definição dos pontos de iluminação.
- 8) Cálculo de iluminação dirigida.
- 9) Avaliação do consumo energético.
- 10) Avaliação de custos.
- 11) Cálculo de rentabilidade.

Supondo que os itens 1 e 2 sejam de domínio do leitor, analisaremos neste capítulo as etapas subsequentes.

Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação

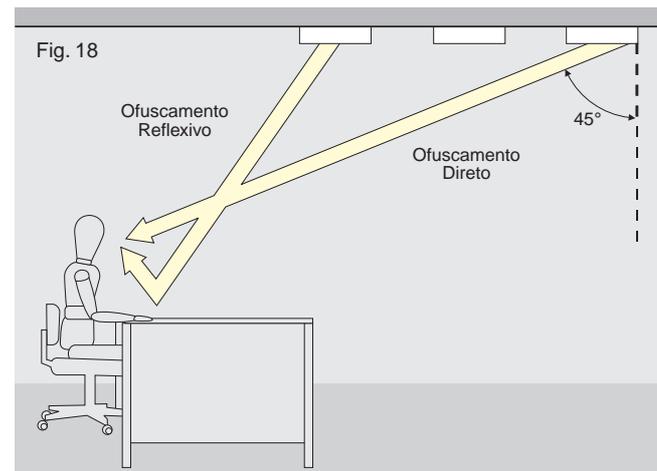
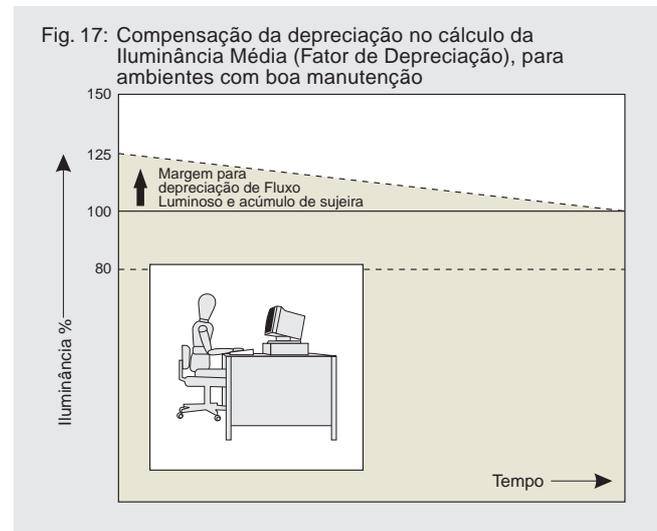
Nível de Iluminância Adequada

Quanto mais elevada a exigência visual da atividade, maior deverá ser o valor da Iluminância Média (E_m) sobre o plano de trabalho. Deve-se consultar a norma NBR-5413 para definir o valor de E_m pretendido. Deve-se considerar também que, com o tempo de uso, se reduz o Fluxo Luminoso da lâmpada devido tanto ao desgaste, quanto ao acúmulo de poeira na luminária, resultando em uma diminuição da Iluminância. (Figura 17)

Por isso, quando do cálculo do número de luminárias, estabelece-se um Fator de Depreciação (F_d), o qual, elevando o número previsto de luminárias, evita que, com o desgaste, o nível de Iluminância atinja valores abaixo do mínimo recomendado.

Nesse Manual consideraremos uma depreciação de 20% para ambientes com boa manutenção (escritórios e afins), e de 40% para ambientes com manutenção

crítica (galpões industriais, garagens, etc.), dando origem a Fatores de Depreciação, respectivamente, de $F_d=1,25$ e $F_d= 1,67$.



Limitação de Ofuscamento

Duas formas de ofuscamento podem gerar incômodos:

- Ofuscamento direto, através de luz direcionada diretamente ao campo visual.
- Ofuscamento reflexivo, através da reflexão da luz no plano de trabalho, direcionando-a para o campo visual. Considerando que a Luminância da própria luminária é incômoda a partir de 200 cd/m^2 , valores acima deste não devem ultrapassar o ângulo indicado na figura 18.

O posicionamento e a Curva de Distribuição Luminosa devem ser tais que evitem prejudicar as atividades do usuário da iluminação.

Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

Acentuadas diferenças entre as Luminâncias de diferentes planos causam fadiga visual, devido ao excessivo trabalho de acomodação da vista, ao passar por variações bruscas de sensação de claridade. Para evitar esse desconforto, recomenda-se que as Luminâncias de piso, parede e teto se harmonizem numa proporção de 1:2:3, e que, no caso de uma mesa de trabalho, a Luminância desta não seja inferior a 1/3 da do objeto observado, tais como livros, etc. (Figura 19)

Efeitos Luz e Sombra

Deve-se tomar cuidado no direcionamento do foco de uma luminária, para se evitar que essa crie sombras perturbadoras, lembrando, porém, que a total ausência de sombras leva à perda da identificação da textura e do formato dos objetos. Uma boa iluminação não significa luz distribuída por igual.

Reprodução de Cores

A cor de um objeto é determinada pela reflexão de parte do espectro de luz que incide sobre ele. Isso significa que uma boa Reprodução de Cores está diretamente ligada à qualidade da luz incidente, ou seja, à equilibrada distribuição das ondas constituintes do seu espectro.

É importante notar que, assim como para Iluminância média, existem normas que regulamentam o uso de fontes de luz com determinados índices, dependendo da atividade a ser desempenhada no local. (Figura 20)

Tonalidade de Cor da Luz ou Temperatura de Cor

Um dos requisitos para o conforto visual é a utilização da iluminação para dar ao ambiente o aspecto desejado. Sensações de aconchego ou estímulo podem ser provocadas quando se combinam a correta Tonalidade de Cor da fonte de luz ao nível de Iluminância pretendido. (Figura 21)

Estudos subjetivos afirmam que para Iluminâncias mais elevadas são requeridas lâmpadas de Temperatura de Cor mais elevada também. Chegou-se a esta conclusão baseando-se na própria natureza, que ao reduzir a luminosidade (crepúsculo), reduz também sua Temperatura de Cor. A ilusão de que a Tonalidade de Cor mais clara ilumina mais, leva ao equívoco de que com as "lâmpadas frias" precisa-se de menos luz.

Ar-Condicionado e Acústica

O calor gerado pela iluminação não deve sobrecarregar a refrigeração artificial do ambiente.

Há um consenso que estabelece que um adulto irradia o calor equivalente a uma lâmpada incandescente de 100W. Portanto, fontes de luz mais eficientes colaboram para bem-estar, além de se constituir numa menor carga térmica ao sistema de condicionamento de ar. O sistema de iluminação pode comprometer a acústica de um ambiente através da utilização de equipamentos auxiliares (reatores e transformadores eletromagnéticos). Uma solução bastante eficiente, com ausência total de ruídos é o emprego de sistemas eletrônicos nas instalações.



Fig. 19: Proporção harmoniosa entre Luminâncias

Fig. 20: Índice de Reprodução de Cores e exemplos de aplicação.

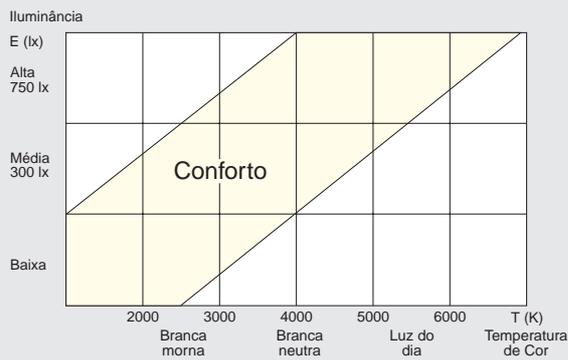
Índice de Reprodução de Cores	Classificação	Nível - Índice Ra	Exemplos de aplicação
100	Muito bom	Nível 1	1a Ra 90 - 100 1b Ra 80 - 89
80	Bom	Nível 2	2a Ra 70 - 79 2b Ra 60 - 69
60	Razoável	Nível 3	Ra 40 - 59
40	Ruim	Nível 4	Ra 20 - 39

Exemplos de aplicação detalhados:

- Nível 1: Testes de cor - Floricultura - Escritórios - Residências - Lojas
- Nível 2: Áreas de circulação - Escadas - Oficinas - Ginásios esportivos
- Nível 3: Depósitos - Postos de gasolina - Pátio de montagem industrial
- Nível 4: Vias de tráfego - Canteiro de obras - Estacionamentos

Normas: OSRAM - Linha de produtos; Normas ABNT - 5413

Fig. 21: Relação de conforto ambiental entre nível de Iluminância e Tonalidade de Cor da lâmpada.



Fundamentos do Projeto de Iluminação

Cálculo de Iluminação Geral (Método das Eficiências)

Seqüência de cálculo:

- 1 - Escolha da lâmpada adequada
- 2 - Escolha da luminária adequada
- 3 - Cálculo da quantidade de luminárias:

Para o cálculo da quantidade de luminárias, usa-se o seguinte método, necessário para se chegar à Iluminância Média (E_m) exigida por norma.

Sendo:

n = quantidade de lâmpadas

ϕ = fluxo luminoso de uma lâmpada

ϕ_{lum} = fluxo luminoso da luminária em funcionamento

$\Sigma\phi_{lum}$ = somatória dos valores de fluxo luminoso de todas as lâmpadas

$\Sigma\phi_{plano}$ = fluxo luminoso incidente sobre a área A (m^2) no plano de trabalho considerado

Fd = fator de depreciação ($Fd = 1,25$ para boa manutenção; $Fd = 1,67$ para manutenção crítica)

BF = fator de fluxo luminoso do reator (considerar apenas quando utilizado com lâmpadas de descarga)

A iluminância média E_m é dada por:

$$E = \frac{\phi_{plano}}{A} \quad \textcircled{a}$$

A eficiência do recinto corresponde a:

$$\eta_R = \frac{\phi_{plano}}{\Sigma\phi_{lum}}$$

Resultando :

$$\phi_{plano} = \eta_R \cdot \Sigma\phi_{lum}$$

E a eficiência da luminária é:

$$\eta_R = \frac{\phi_{lum}}{\phi \cdot BF}$$

$$\phi_{lum} = \eta_R \cdot \phi \cdot BF$$

O fluxo luminoso emitido no recinto é dado por :

$$\Sigma\phi_{lum} = \eta_L \cdot \Sigma\phi$$

Multiplicando-se ambos os lados por η_R , vem :

$$\eta_R \cdot \Sigma\phi_{lum} = \eta_R \cdot \eta_L \cdot \Sigma\phi$$

Logo,

$$\phi_{plano} = \eta_R \cdot \eta_L \cdot \Sigma\phi \quad \textcircled{b}$$

Substituindo-se (a) em (b):

$$E_m = \frac{\eta_R \cdot \eta_L \cdot \Sigma\phi}{A}$$

Como $\Sigma\phi = n \cdot \phi \cdot BF$, vem:

$$E_m \cdot A = \eta_R \cdot \eta_L \cdot \phi \cdot n \cdot BF$$

De onde resulta:

$$n = \frac{E_m \cdot A}{\eta_R \cdot \eta_L \cdot \phi \cdot BF}$$

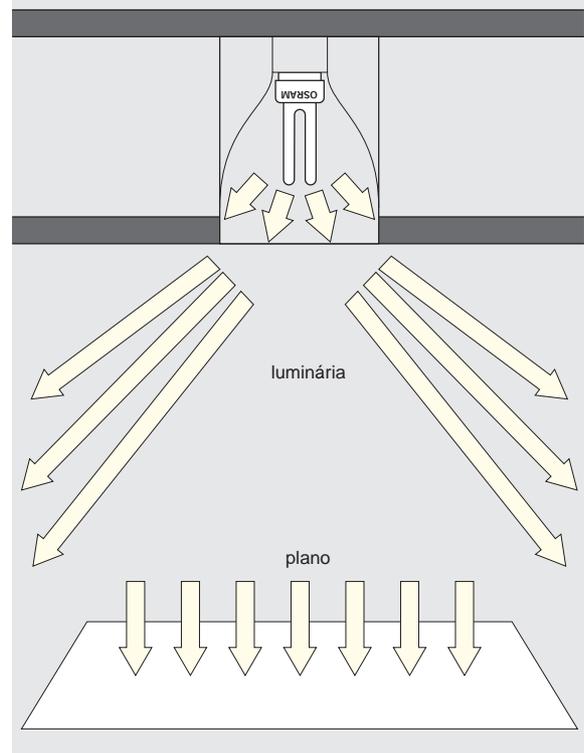
O número "n" de lâmpadas precisa ainda levar em consideração o fator de depreciação Fd , para compensar o desgaste e o tipo de manutenção dos equipamentos ao longo do tempo. No caso da utilização de lâmpadas de descarga, deve-se levar em conta ainda o fator de fluxo luminoso do reator (BF).

$$n = \frac{E_m \cdot A \cdot Fd}{\phi \cdot \eta_L \cdot \eta_R \cdot BF}$$

ou

$$n = \frac{E_m \cdot A \cdot Fd}{\phi \cdot F_u \cdot BF}$$

Fig. 22: Esquema de representação de Fluxos Luminosos.



Adequação dos Resultados ao Projeto

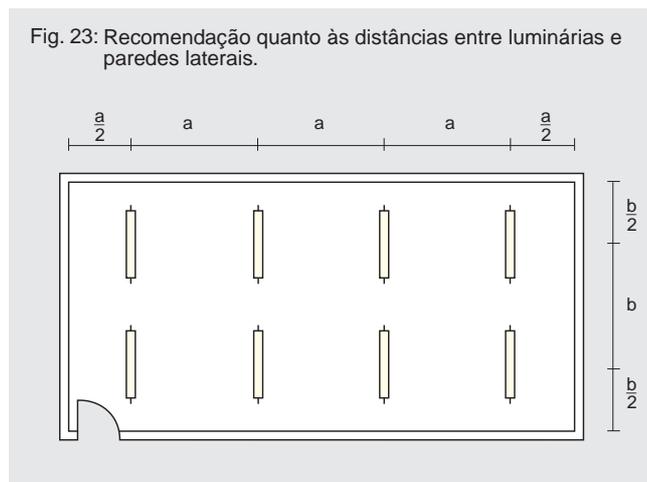
Se a quantidade de luminárias resultantes do cálculo não for compatível com sua distribuição desejada, recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias e não a eliminação, para que não haja prejuízo do nível de Iluminância desejado.

Cálculo de Controle

Definida a quantidade de luminárias desejada, pode-se calcular exatamente a Iluminância Média alcançada.

Definição dos Pontos de Iluminação

Os pontos de iluminação devem preferencialmente ser distribuídos uniformemente no recinto, levando-se em conta o layout do mobiliário, o direcionamento da luz para a mesa de trabalho e o próprio tamanho da luminária. Recomenda-se que a distância "a" ou "b" entre as luminárias seja o dobro da distância entre estas e as paredes laterais (vide Figura 23).



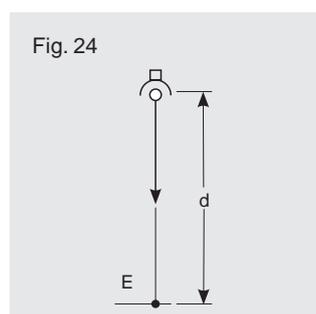
Cálculo de Iluminação Dirigida

Se a distância "d" entre a fonte de luz e o objeto a ser iluminado for no mínimo 5 vezes maior do que as dimensões físicas da fonte de luz, pode-se calcular a Iluminância pelo Método de Iluminância Pontual, aplicando-se a fórmula:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

onde:

I = Intensidade Luminosa lançada verticalmente sobre o ponto considerado.



Esse método demonstra que a Iluminância (E) é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Por exemplo, dobrando-se a distância entre a fonte de luz e o objeto, reduz-se a distância entre a fonte de luz e o objeto, reduz-se a Iluminância sobre o objeto a um quarto de seu valor anterior.

Se a incidência da luz não for perpendicular ao plano do objeto, a fórmula passa a ser:

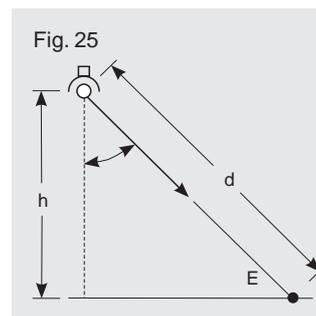
$$E = \frac{I \alpha \cdot \cos \alpha}{d^2}$$

como

$$d = \frac{h}{\cos \alpha}$$

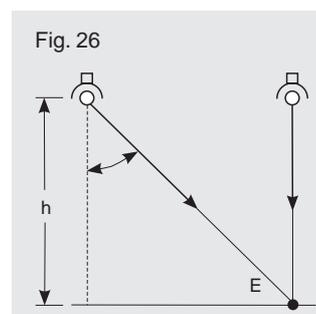
tem-se:

$$E = \frac{I \alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$



Assim a Iluminância (E) em um ponto é o somatório de todas as Iluminâncias incidentes sobre esse ponto oriundas de diferentes pontos de luz, ou seja:

$$E = \frac{I_1}{h^2} + \Sigma \left(\frac{I \alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \right)$$



Fundamentos do Projeto de Iluminação

Dimensionamento do Grau de Abertura do Facho Luminoso

O grau de abertura do fecho luminoso é função do ângulo β dado por:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r}{d}$$

$$r = d \cdot \operatorname{tg} \beta$$

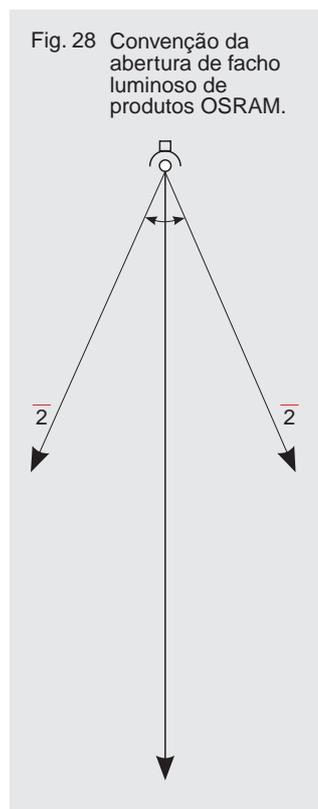
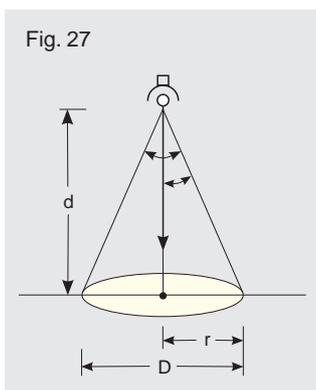
$$D = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

$$\beta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

$$2\beta = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

$$\beta = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

As grandezas são representadas na figura 27. O ângulo de radiação fornecido nos catálogos OSRAM é o ângulo definido pelo limite de 50% da Intensidade Luminosa máxima. (Figura 28)



Avaliação do Consumo Energético

Além da quantidade de lâmpadas e luminárias, bem como do nível de Iluminância, é imprescindível a determinação da potência da instalação, para se avaliar os custos com energia e assim desenvolver-se um estudo de rentabilidade entre diversos projetos apresentados. O valor da "Potência por m²" é um índice amplamente divulgado e, quando corretamente calculado, pode ser o indicador de projetos luminotécnicos mais econômicos. Para tanto, calcula-se inicialmente a potência total instalada.

Potência Total Instalada

Símbolo: P_t

Unidade: kW

É a somatória da potência de todos os aparelhos instalados na iluminação.

Trata-se aqui da potência a lâmpada, multiplicada pela quantidade de unidades utilizadas (n), somado à potência consumida de todos os reatores, transformadores e/ou ignitores.

Os catálogos OSRAM contêm dados orientativos referentes as perdas dos equipamentos auxiliares (em watts) para as respectivas lâmpadas. Uma vez que os valores resultantes são elevados, a Potência Total Instalada é expressa em quilowatts, aplicando-se portanto o quociente 1000 na equação.

$$P_t = \frac{n \cdot w^*}{1000}$$

*W = potência consumida pelo conjunto lâmpada + acessórios.

Densidade de Potência

Símbolo: D

Unidade: W/m²

É a Potência Total Instalada em watt para cada metro quadrado de área.

$$D = \frac{P_t \cdot 1000}{A}$$

Essa grandeza é muito útil para os futuros cálculos de dimensionamento de sistemas de ar-condicionado ou mesmo dos projetos elétricos de uma instalação.

A comparação entre projetos luminotécnicos somente se torna efetiva quando se leva em conta níveis de Iluminância iguais para diferentes sistemas. Em outras palavras, um sistema luminotécnico só é mais eficiente do que outro, se, ao apresentar o mesmo nível de Iluminância do outro, consumir menos watts por metro quadrado.

Densidade de Potência Relativa

Símbolo: Dr

Unidade: W/m² p/ 100 lx

É a Densidade de Potência Total Instalada para cada 100 lx de Iluminância.

Logo:

$$D_r = \frac{P_t}{\frac{A \cdot E}{100}}$$

$$D_r = \frac{D \cdot 100}{E}$$

Tomando-se como exemplo duas instalações comerciais, (Figura 29) tem-se a primeira impressão de que a instalação 2 é mais eficiente do que a 1, já que a Densidade de Potência é:

$$D_1 = \frac{1500}{50} = 30 \text{ W/m}^2$$

$$D_2 = \frac{1400}{70} = 20 \text{ W/m}^2$$

Porém, ao avaliar-se a eficiência, é preciso verificar a Iluminância em ambos os casos.

Supondo-se

$$E_1 = 750 \text{ lx}$$

$$E_2 = 400 \text{ lx}$$

Com esses dados, a Densidade de Potência Relativa (Dr) é:

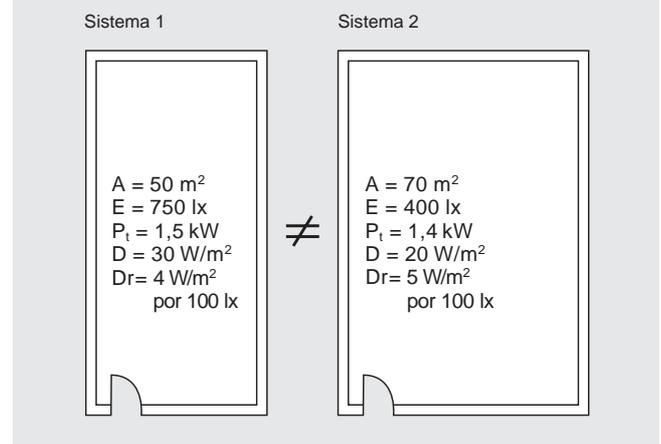
$$D_{r1} = \frac{30 \text{ W/m}^2}{\frac{750 \text{ lx}}{100 \text{ lx}}} = 4 \text{ W/m}^2 \text{ por } 100 \text{ lx}$$

e

$$D_{r2} = \frac{20 \text{ W/m}^2}{\frac{450 \text{ lx}}{100 \text{ lx}}} = 5 \text{ W/m}^2 \text{ por } 100 \text{ lx}$$

Logo, a instalação 2 consome menos energia por metro quadrado, mas também fornece menos luz. Na realidade, a instalação 1 é mais eficiente.

Fig. 29: Exemplos de avaliação do consumo energético.



Fundamentos do Projeto de Iluminação

Avaliação de Custos

Um projeto luminotécnico somente é considerado completo quando se atentar para o cálculo de custos, quais sejam:

Custos de Investimento

É a somatória dos custos de aquisição de todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação, tais como lâmpadas, luminárias, reatores, transformadores, ignitores e a fiação, acrescidos dos custos de mão de obra dos profissionais envolvidos, desde a elaboração do projeto à instalação final. (Figura 30)

Custos Operacionais

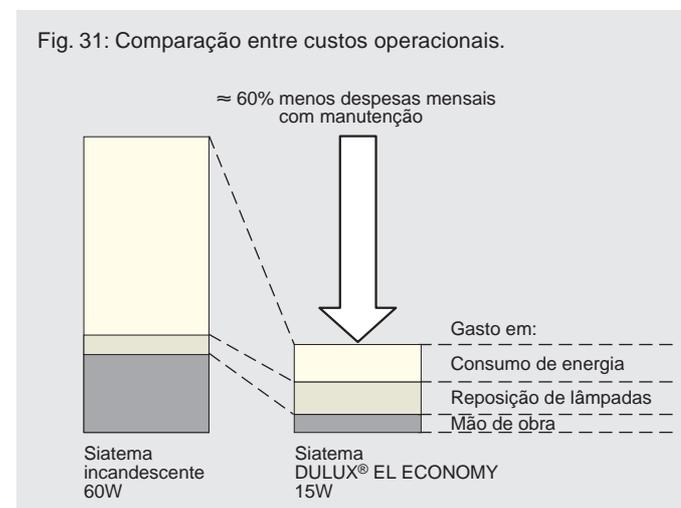
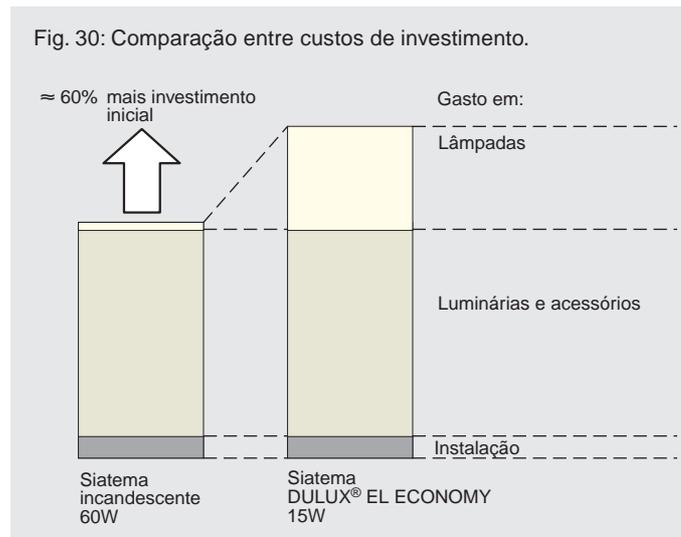
É a somatória de todos os custos apresentados após a completa instalação do sistema de iluminação, concentrados nos custos de manutenção das condições luminotécnicas do projeto e os custos de energia consumida. (Figura 31)

O custo mensal de manutenção das lâmpadas engloba o custo de aquisição de novas unidades e o custo da mão de obra necessária a executar a manutenção. Esse custo resulta da soma das horas mensais de utilização das lâmpadas dividida pela sua vida útil.

O quociente que assim se obtém, informa o número de lâmpadas que serão repostas, e seu valor deve ser multiplicado pelo preço da lâmpada nova. Já o custo da mão de obra para realizar essa reposição é dado em função da remuneração por hora de trabalho do respectivo profissional.

O tempo de reposição por lâmpada deve ser multiplicado pelo número de lâmpadas repostas por mês. Esse custo é bastante significativo nas instalações de difícil acesso, como iluminação pública, quadras de esporte, etc.

O fator decisivo no custo operacional é o custo de energia elétrica, que corresponde à Potência Total Instalada (P_t), multiplicada pelas horas de uso mensal e pelo preço do kWh. Ao se optar por um sistema mais eficiente, este custo sofre substancial redução.



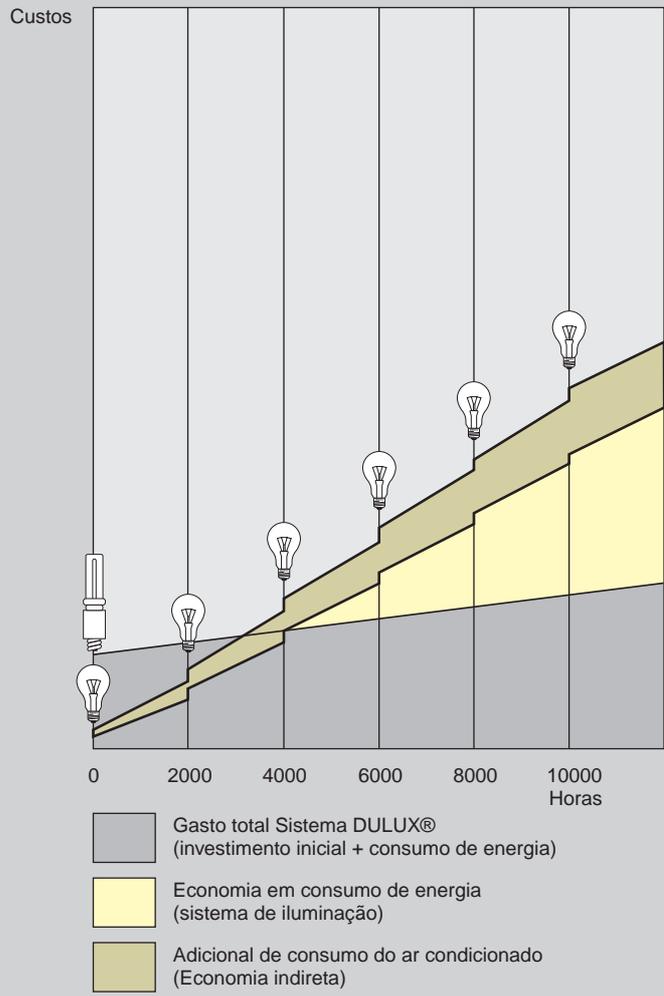
Cálculo de Rentabilidade

A análise comparativa de dois sistemas de iluminação, para se estabelecer qual deles é o mais rentável, leva em consideração tanto os custos de investimento quanto operacionais. Geralmente o uso de lâmpadas de melhor Eficiência Energética leva a um investimento maior, mas proporciona economia nos custos operacionais.

Decorre daí a amortização dos custos, ou seja, há o retorno do investimento dentro de um dado período. O tempo de retorno é calculado pelo quociente da diferença no investimento pela diferença na manutenção. Feitos os cálculos, os valores podem ser alocados em gráficos, como no da figura 32, onde se visualiza a evolução das despesas no tempo. O ponto de interseção das linhas indica o instante de equalização destes custos.

Nos anexos, segue uma planilha do Cálculo de Rentabilidade, podendo ser utilizada como instrumento prático para se chegar aos custos acima descritos, como também para análise comparativa entre sistemas diferentes de iluminação.

Fig. 32: Ilustração da evolução das despesas entre sistemas de iluminação incandescente e DULUX®



Exemplos de Aplicação

Exemplo 1 Cálculo de Iluminação Geral (Método das Eficiências):

Iluminação da sala de um escritório:

Empregando-se o Método das Eficiências para quantificar-se o número de luminárias ou calcular-se a luminância para um recinto qualquer, pode-se fazer uso da seqüência de cálculo a seguir, apresentada em forma de planilha. Foi elaborado um cálculo, como exemplificação, que desenvolve passo a passo o processo, e deve ser consultado como guia, sempre que necessário. A planilha completa se encontra anexa, e servirá de formulário de resolução da maioria dos casos de iluminação interna que se apresentarem. Para tanto, recomenda-se que suas colunas sejam mantidas em branco e que ela sirva de modelo para cópias.

Vamos seguir o processo descrito no capítulo anteriormente.

Dados Básicos Pré-Cálculo:

Local

- Escritório de contabilidade (Figura 33)

Atividades

- Administrativas (leitura, datilografia, etc.)
- Operação de microcomputadores.

Objetivos da iluminação

- Proporcionar boas condições de trabalho.
- Evitar reflexos no vídeo do terminal/conforto visual.
- Evitar alto consumo de energia.

Dimensões físicas do recinto

- Comprimento: 10,00 m
- Largura: 7,50 m
- Pé-direito: 3,50 m
- Altura do plano de trabalho: 0,80 m

Materiais de construção/equipamentos

• Teto:

Forro de gesso pintado/cor branco.

• Paredes:

pintadas/cor verde claro; duas paredes com persiana/cor verde claro.

• Piso:

carpete/cor verde escuro.

• Mobiliário:

mesas e armários de fórmica/cor bege palha; cadeiras forradas/cor caramelo.

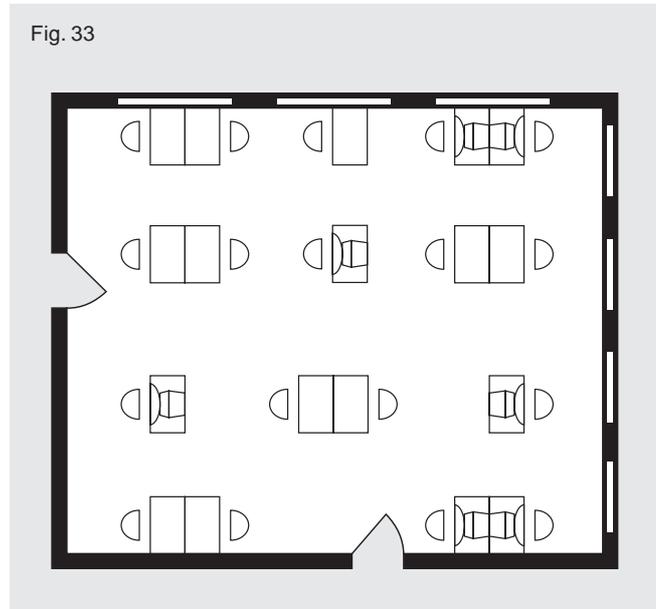
• Ar-condicionado central

com acionamento individualizado.

Características do fornecimento de energia elétrica

- Tensão estável na rede (220V)
- Custo de kWh: US\$ 0,15
- Acendimento individualizado (interruptor na entrada da sala)
- Pontos de energia próximo às mesas.

Fig. 33



Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação :

Nível de Iluminância Adequado

Consultando-se a norma NBR-5413 ou o resumo fornecido no anexo 1 deste Manual, estipula-se a Iluminância Média de escritórios em Em = 500 lx.

Fator de Depreciação (Fd): ambiente salubre, com boa manutenção (em caso de queima, troca imediata; limpeza das luminárias a cada 6 meses). Fd = 1,25 (corresponde a uma margem de depreciação de 20% da Iluminância Média necessária).

Limitação de Ofuscamento

Ofuscamento não deverá ocorrer, uma vez que superfícies dos móveis e objetos não são lisas ou espelhadas. O Ofuscamento Direto será evitado se forem empregadas luminárias, cujo ângulo de abertura de fecho acima de 45° não apresentar Luminância acima de 200 cd/m².

Obs.: algumas luminárias para lâmpadas fluorescentes são já indicadas pelos seus fabricantes para sua utilização em áreas de terminais de vídeo ou microcomputadores.

Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

Partindo-se do princípio de que a iluminação se distribuirá de uma forma homogênea ao longo da sala, e que as janelas estarão recobertas por persianas, conclui-se que não haverá diferenças muito grandes entre as Luminâncias, já que os Coeficientes de Reflexão dos componentes da sala (Refletâncias) também não se diferenciam acentuadamente. A proporção entre as Luminâncias recomendada será provavelmente alcançada através da natural variação de Iluminâncias incidentes sobre as diferentes superfícies.

Efeitos Luz e Sombra

As luminárias deverão ser colocadas lateralmente às mesas de trabalho, para se evitar que haja reflexo ou sombra que prejudique as atividades.

Recomenda-se que as janelas localizadas diante dos terminais de vídeo sejam protegidas por persianas ou cortinas, para se evitar que a alta Luminância seja refletida e que o operador faça sombra sobre a tela.

Tonalidade de Cor da Luz

Para o ambiente de um escritório, e Iluminância de 500 lx, recomenda-se que a Tonalidade de Cor da Luz seja Branca Neutra (aproximadamente 4000K).

Reprodução de Cores

Aconselha-se que o Índice de Reprodução de Cores para este tipo de trabalho seja acima de 80. As lâmpadas fluorescentes de pó trifósforo preenchem este requisito.

Ar-condicionado e Acústica

O ruído que fosse originado pelo funcionamento das luminárias, caso sejam elas equipadas com lâmpadas fluorescentes e seus respectivos reatores, seria facilmente absorvido pelo forro de gesso onde elas estariam embutidas, não prejudicando o trabalho no local. O ar-condicionado será cerca de 25% menos carregado se a instalação for feita com lâmpadas fluorescentes, e não incandescentes, já que as primeiras irradiam muito menos calor.

Escolha das Lâmpadas

Os dados anteriores nos levam a concluir que o tipo de lâmpadas indicado para este projeto é a fluorescente LUMILUX®. Ela existe nas versões de 18, 36 e 58W.

Optaremos pela versão LUMILUX® 36W/21-840, porque o salão é amplo, não há limitação física de comprimento da lâmpada, e sua aquisição é mais compensadora.

Os dados da lâmpada são obtidos nos catálogos OSRAM. À saber:

- LUMILUX® 36W cor 21-840
- Fluxo luminoso: 3350 lm
- Temperatura de cor: 4000K Branca Neutra
- Índice de reprodução de cor: 85

Escolha da Luminária

A luminária poderá ser de embutir, de alta eficiência e aletas metálicas que impeçam o ofuscamento. Os modelos mais modernos possuem refletores parabólicos que limitam a angulação do fecho luminoso, tornando-se adequados para o seu emprego em salas de computadores.

Exemplos de Aplicação

Cálculo da Quantidade de Luminárias

Uma vez já definidas todas as bases conceituais para o cálculo, seguiremos a sequência da planilha.

Cabeçalho

Seu preenchimento é recomendado, para uma futura identificação do projeto, ou mesmo para uma simples apresentação ao cliente.

Descrição do Ambiente

Estes dados já foram anteriormente levantados, quando da definição das dimensões físicas do recinto, dos materiais que o compõem e do Fator de Depreciação. É necessário, no entanto, definir-se o Grau de Reflexão do teto, paredes e piso, que servirão de parâmetro na tabela de Eficiência do Recinto. Para tal, deve-se consultar os dados do **anexo 2**.

Características da Iluminação

Esses dados vêm especificar o que se pretende como iluminação (Iluminância, Tonalidade de Cor e Reprodução de Cor). Já foram anteriormente definidos.

Obs.: a planilha agora se subdivide em duas colunas de preenchimento dos dados, para que possam ser feitas duas opções de iluminação e que se comparem uma com a outra. A Tonalidade de Cor e o Nível de Reprodução de Cores servem como referências para a especificação da lâmpada.

Empresa: Exemplo Construtora Ltda.	Obra: Sede geral
Recinto: Sala de contabilidade	Atividade: Administrativa
Projetista: Leitor	Data: maio/93

Descrição do Ambiente	01	Comprimento	a	m	10,00
	02	Largura	b	m	7,50
	03	Área	$A=a \cdot b$	m^2	75,00
	04	Pé-Direito	H	m	3,00
	05	Pé-Direito Útil	$h = H - h_{pl.tr} - h_{pend}$	m	2,20
	06	Índice do Recinto	$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)}$		1,95
	07	Fator de Depreciação	Fd		1,25
	08	Coeficiente de Reflexão	Teto ρ_1		0,70
	09	Coeficiente de Reflexão	Paredes ρ_2		0,50
	10	Coeficiente de Reflexão	Piso ρ_3		0,10

Lâmpadas e Luminárias

Aqui são discriminados os dados das lâmpadas e a Eficiência do Recinto e da Luminária (ou diretamente o Fator de Utilização da luminária). Temos no final todos os componentes da fórmula para cálculo do número de lâmpada/luminárias.

Obs.: O Grupo da Luminária é determinado consultando-se a tabela de Eficiência do Recinto do fabricante da luminária, localizando uma Curva de Distribuição Luminosa entre seus itens que seja semelhante à da luminária do projeto. Após a escolha do Grupo da Luminária, faz-se a consulta da sua tabela correspondente para a determinação da Eficiência do Recinto.

Quando a luminária escolhida já fornece os dados de seu Fator de Utilização, os itens 18, 19 e 20 poderão ser poupados de preenchimento e pode-se seguir diretamente ao item 21, Fator de utilização (Fu).

De posse de todos os dados necessários, pode-se calcular a quantidade de lâmpadas.

Adequação dos Resultados ao Projeto

A quantidade de lâmpadas deve ser arredondada para o valor múltiplo mais próximo da quantidade de lâmpadas por luminária (neste caso, não haveria necessidade), de tal forma que a quantidade de luminárias (N) sempre seja um número inteiro.

Características da Iluminação	11	Iluminância Planejada	E_m	lx	500	
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		lx	Branca fria	
	13	Índice de Reprodução de Cores		IRC	85	

Lâmpadas e Luminárias	14	Tipo de Lâmpada			LUMILUX® 36/21		
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	ϕ	lm	3350		
	16	Lâmpadas por Luminária	z	unid	2		
	17	Tipo da Luminária			–		
	18	Fator de Fluxo Luminoso			1,0		
	19	Grupo da Luminária (tab. Efic. Recinto)			–		
	20	Eficiência da Luminária	η_L		–		
	21	Eficiência do Recinto	η_R		–		
	22	Fator de Utilização	$Fu = \eta_L \cdot \eta_R$			0,54	
	23	Quantidade de Lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A \cdot Fd}{\phi \cdot Fu \cdot BF}$		unid	26	
24	Quantidade de Luminárias	$N = n/z$		unid	13		

Tabela de Fator de Utilização de luminária Teto/Parede/Piso

K	751	731	711	551	531	511	331	311
0,6	0,32	0,28	0,26	0,31	0,28	0,26	0,28	0,25
0,8	0,39	0,36	0,33	0,39	0,35	0,33	0,35	0,35
1,0	0,44	0,41	0,39	0,43	0,40	0,38	0,40	0,38
1,25	0,48	0,45	0,43	0,47	0,45	0,42	0,44	0,42
1,5	0,51	0,48	0,45	0,49	0,47	0,45	0,46	0,45
2,0	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,50	0,49
2,5	0,55	0,54	0,52	0,55	0,53	0,52	0,52	0,51
3,0	0,57	0,55	0,54	0,56	0,54	0,53	0,54	0,52
4,0	0,58	0,57	0,56	0,57	0,56	0,55	0,53	0,54
5,0	0,60	0,58	0,57	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55

Fator de Utilização

Exemplos de Aplicação

Definição dos Pontos de Iluminação

Escolhe-se a disposição das luminárias levando-se em conta o layout do mobiliário, o direcionamento correto da luz para a mesa de trabalho e o próprio tamanho das luminárias.

Neste exemplo, sugere-se a disposição destas em três linhas contínuas lateralmente às mesas de trabalho, evitando o ofuscamento sobre a tela de computador. Para tanto, a quantidade de luminárias ($N = 13$) deverá ser elevada para $N = 15$, para que possa ser subdividida por três. A dimensão de 10,00m comporta a linha contínua formada por 5 luminárias, cada uma de aproximadamente 1,20m, não havendo perigo de não adaptação ao projeto. (Figura 34)

Cálculo de Controle

Uma vez de acordo com o resultado fornecido podemos nos certificar do valor exato da Iluminância Média obtida, através dos itens 25 e 26.

Avaliação do Consumo Energético

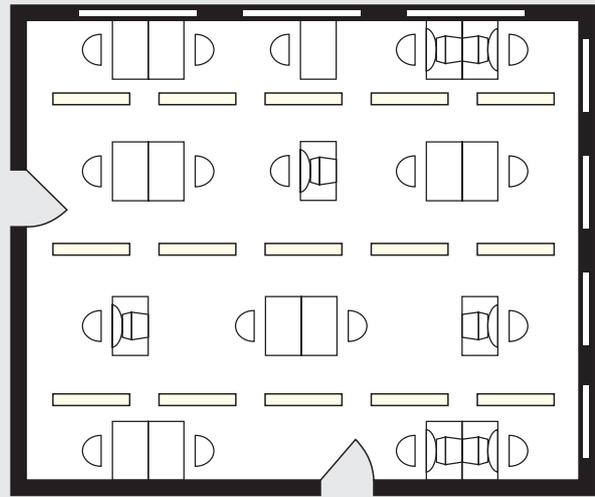
Os itens 27, 28 e 29 da planilha podem ser calculados da seguinte maneira:

$$P_t = \frac{30 \cdot 35}{1000} = 1,05 \text{ kW}$$

$$D = \frac{1,05 \cdot 1000}{75} = 14 \text{ W/m}^2$$

$$D_r = \frac{14 \cdot 100}{579} = 2,42 \text{ W/m}^2 \text{ p}/100 \text{ lx}$$

Fig. 34:



Obs.: 70 W = Considerando a utilização do reator QTISB 2x36W, que devido à operação em alta frequência, a potência entregue à lâmpada é menor.

Cálculo de Custos e Rentabilidade

Na rotina de cálculo, os itens Cálculo de Custos e Cálculo de Rentabilidade são complementares ao cálculo luminotécnico até aqui concluído, e podem ser desenvolvidos utilizando-se o guia orientativo "Cálculo de Rentabilidade" que segue anexo.

Cálculo de Controle	25	Quantidade de Luminárias na Instalação	N_i	unid	15	
	26	Iluminância Alcançada	$E = \frac{z \cdot N_i \cdot \varphi \cdot F_u \cdot BF}{A \cdot F_d}$	lx	579	

Consumo da Instalação	27	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W^*/1000$	kW	1,05	
	28	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m ²	14,0	
	29	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100/E$	W/m ² p/100 lx	2,42	

*W = Potência do conjunto lâmpada + acessório (Consultar Catálogo OSRAM para obter valores orientativos)

Exemplo 2
Cálculo de Iluminância
(Método Ponto a Ponto):

Exemplo orientativo para leitura das curvas de distribuição luminosa (CDL), cálculo da intensidade luminosa nos diferentes pontos e a respectiva iluminância. (Figura35)

Consultando-se a luminária, cuja CDL está representada na página 9 e supondo-se que esta luminária esteja equipada com 2 lâmpadas fluorescentes LUMILUX® 36W/21 (Figura36), qual será a Iluminância incidida num ponto a 30° de inclinação do eixo longitudinal da luminária, que se encontra a uma altura de 2,00 m do plano do ponto? (Figura37)

LUMILUX® 36W/21
 $\phi = 3350 \text{ lm}$

Luminária para
 2x LUMILUX® 36W/21
 $n = 2$

Na CDL, lê-se que :

$I_{30^\circ} = 340 \text{ cd}$

Como este valor refere-se a 1000 lm, tem-se que:

$$I_{30^\circ} = \frac{340}{1000} \cdot (2 \cdot 3350) = 2278 \text{ cd}$$

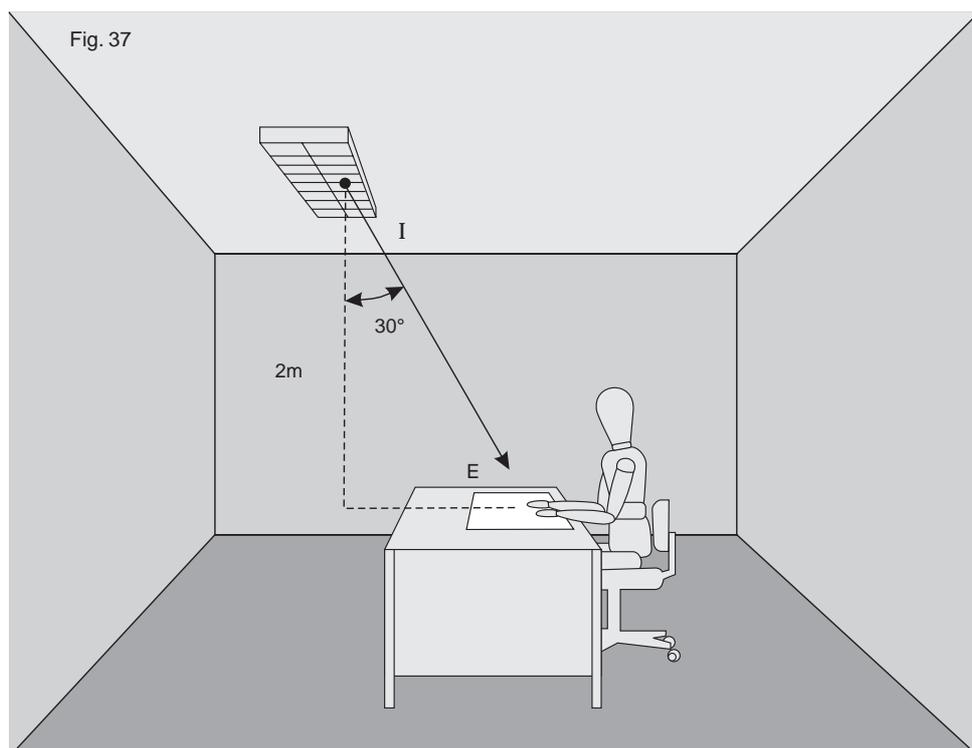
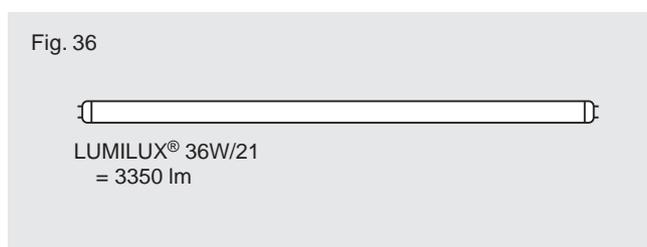
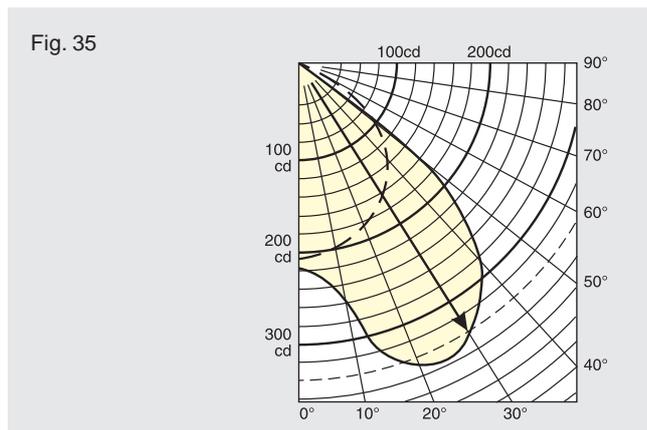
Seguindo-se a fórmula:

$$E = \frac{I \alpha}{h^2} \cdot \cos^3 a$$

$$E = \frac{I_{30}}{h^2} \cdot \cos^3 30^\circ$$

$$E = \frac{2278}{4} \cdot 0,65$$

$$E = 370 \text{ lx}$$



Exemplos de Aplicação

Exemplo 3 Cálculo de Iluminação Dirigida (Fonte de Luz com Refletor):

Qual será a distância (d') de uma luminária equipada com DECOSTAR® 51 50W/12V 10°, cujo fecho de luz incide em uma superfície de 0,44m de diâmetro (figura 38)?

$$D = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$0,44 = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$d = 2,5\text{m}$$

Partindo de um $h = 1,4\text{m}$ temos:

$$d^2 = h^2 + d'^2$$

$$d'^2 = d^2 - h^2$$

$$d' = \sqrt{d^2 - h^2}$$

$$d' = \sqrt{(2,5)^2 - (1,4)^2}$$

$$d' = 2,0\text{m}$$

Qual será também a Iluminância no ponto central da incidência do fecho de luz?

Dado da lâmpada:

$$I = 12500 \text{ cd}$$

$$E = \frac{I}{d^2}$$

$$E = \frac{12500}{2,50^2}$$

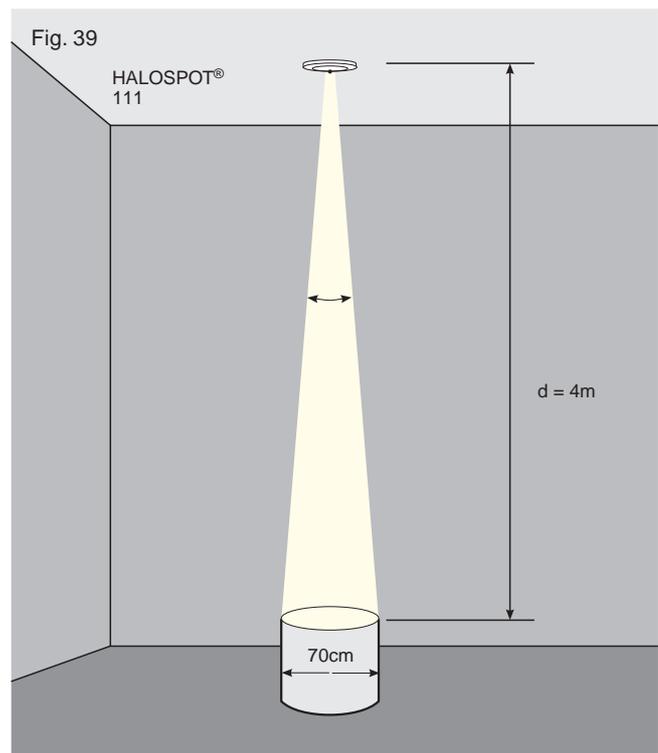
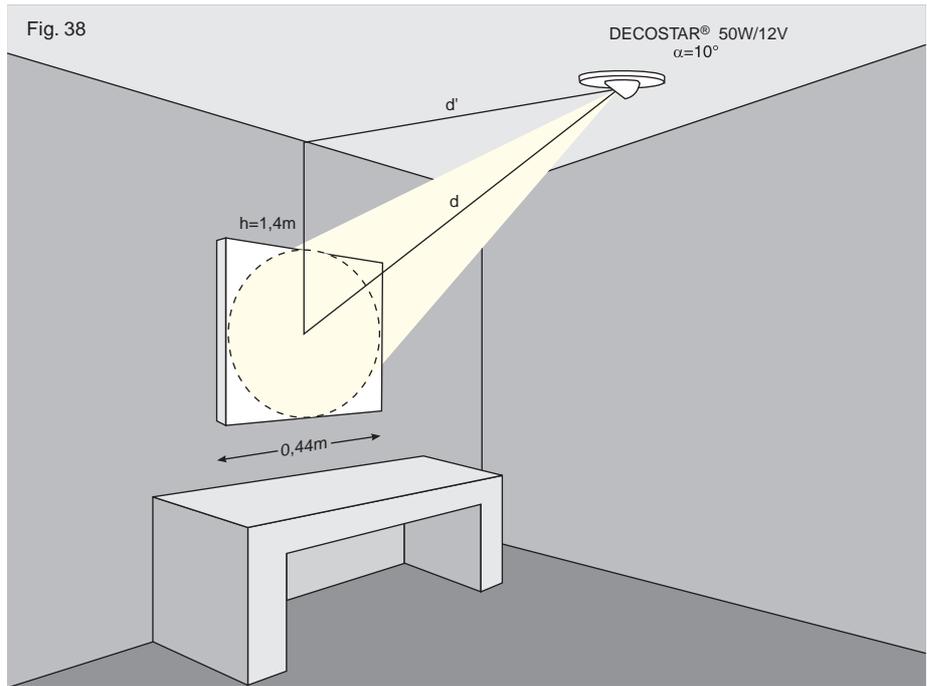
Exemplo 4 Cálculo de Iluminação Dirigida (Abertura do Facho de Luz Fonte de Luz com Refletor):

Qual será o ângulo de fecho de luz de uma lâmpada HALOSPOT® 111, para que se consiga iluminar uma área de 0,70 m de diâmetro, a 4,00 m de distância (Figura 39)?

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{0,35}{4,00}$$

$$\alpha = 10^\circ$$



Anexo 1 - Níveis de Iluminância Recomendáveis para Interiores

Exemplificação da Norma NBR-5413

Obs.: os valores são fornecidos para observadores com idade entre 40 e 55 anos, praticando tarefas que demandam velocidade e precisão médias

Descrição da Atividade	Em (lx)
Depósito	200
Circulação/corredor/escadas	150
Garagem	150
Residências (cômodos gerais)	150
Sala de leitura (biblioteca)	500
Sala de aula (escola)	300
Sala de espera (foyer)	100
Escritórios	500
Sala de desenhos (arquit.e eng.)	1000
Editoras (impressoras)	1000
Lojas (vitrines)	1000
Lojas (sala de vendas)	500
Padarias (sala de preparação)	200
Lavanderias	200
Restaurantes (geral)	150
Laboratórios	500
Museus (geral)	100
Indústria/montagem (ativ. visual de precisão média)	500
Indústria/inspeção (ativ. de controle de qualidade)	1000
Indústria (geral)	200
Indústria/soldagem (ativ. de muita precisão)	2000

Anexo 2 - Coeficiente de Reflexão de Alguns Materiais e Cores

Materiais	%
Rocha	60
Tijolos	5..25
Cimento	15..40
Madeira clara	40
Esmalte branco	65..75
Vidro transparente	6..8
Madeira aglomerada	50..60
Azulejos brancos	60..75
Madeira escura	15..20
Gesso	80

Cores	%
Branco	70..80
Creme claro	70..80
Amarelo claro	55..65
Rosa	45..50
Verde claro	45..50
Azul celeste	40..45
Cinza claro	40..45
Bege	25..35
Amarelo escuro	25..35
Marron claro	25..35
Verde oliva	25..35
Laranja	20..25
Vermelho	20..35
Cinza médio	20..35
Verde escuro	10..15
Azul escuro	10..15
Vermelho escuro	10..15
Cinza escuro	10..15
Azul marinho	5..10
Preto	5..10

Cálculo de Iluminação Interna
Método das Eficiências

Empresa:		Obra:			
Recinto:		Atividade:			
Projetista:		Data:			
Descrição do Ambiente	01	Comprimento	a	m	
	02	Largura	b	m	
	03	Área	$A=a \cdot b$	m^2	
	04	Pé-Direito	H	m	
	05	Pé-Direito Útil	$h = H - h_{pl.tr} - h_{pend}$	m	
	06	Índice do Recinto	$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$		
	07	Fator de Depreciação	Fd		
	08	Coeficiente de Reflexão	Teto ρ_1		
	09	Coeficiente de Reflexão	Paredes ρ_2		
	10	Coeficiente de Reflexão	Piso ρ_3		
Características da Iluminação	11	Iluminância Planejada	E_m	lx	
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		lx	
	13	Índice de Reprodução de Cores		IRC	
Lâmpadas e Luminárias	14	Tipo de Lâmpada			
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	φ	lm	
	16	Lâmpadas por Luminária	z	unid	
	17	Tipo da Luminária			
	18	Fator de Fluxo Luminoso			
	19	Grupo da Luminária (tab. Efic. Recinto)			
	20	Eficiência da Luminária	η_L		
	21	Eficiência do Recinto	η_R		
	22	Fator de Utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$		
	23	Quantidade de Lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A \cdot F_d}{\varphi \cdot F_u \cdot BF}$	unid	
24	Quantidade de Luminárias	$N = n/z$	unid		
Cálculo de Controle	25	Quantidade de Luminárias na Instalação	N_i	unid	
	26	Iluminância Alcançada	$E = \frac{z \cdot N_i \cdot \varphi \cdot F_u \cdot BF}{A \cdot F_d}$	lx	
Consumo da Instalação	27	Potencia Total Instalada	$P_t = n_i \cdot W^*/1000$	kW	
	28	Densidade da Potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m^2	
	29	Densidade da Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100/E$	W/m^2 p/100 lx	

*W = Potência do conjunto lâmpada + acessório (Consultar Catálogo OSRAM para obter valores orientativos)

*BF = Fator de fluxo luminoso do reator (considerar este valor no caso de utilização de lâmpadas de descarga)

Cálculo de rentabilidade

Compare, com seus próprios cálculos, dois sistemas de iluminação distintos. Verifique qual é o mais eficiente e em quanto tempo se dá o retorno de investimento.	Sistema A	Sistema B
---	--------------	--------------

Características do sistema de iluminação e ambiente

1 Modelo de lâmpada	-		
2 Fluxo luminoso nominal da lâmpada	lumens		
3 Modelo do reator	-		
4 Tecnologia do reator	-		
5 Fator de fluxo luminoso do reator	-		
6 Fluxo luminoso obtido por lâmpada = 2 x 5			
7 Modelo da luminária	-		
8 Nível de iluminação obtido (Iluminância)	lux		
9 Área do ambiente	m ²		
10 Vida útil da lâmpada	horas		
11 Quantidade total de lâmpadas	unidades		
12 Quantidade total de luminárias	unidades		
13 Potência instalada em cada luminária (lâmpadas + acessórios)	watts		
14 Potência total instalada = (12 x 13) : 1000	kW		

Características de uso

15 Tempo de uso mensal	horas/mês		
16 Consumo mensal de kWh = 14 x 15	kWh/mês		
17 Durabilidade média das lâmpadas nesta aplicação = 10 : 15	meses		

Custos dos equipamentos envolvidos

18 Preço de cada lâmpada	R\$		
19 Preço de cada luminária	R\$		
20 Preço de cada acessório por luminária	R\$		
21 Custo do projeto + instalação	R\$		
22 Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	R\$		

Custos dos investimentos

23 Custos de equipamento para instalação = 11x18 + 12x (19+20+21)	R\$		
24 Diferença entre os custos de investimentos = 23 B – 23 A	R\$		

Custos operacionais

25 Custo do consumo mensal de energia = 16 x 22	R\$		
26 Custo médio mensal de reposição das lâmpadas = (11x15x18) : 10	R\$		
27 Redução no consumo de energia do sistema de ar condicionado	R\$		
28 Somatório dos custos operacionais = 25 + 26 – 27	R\$		
29 Diferença mensal entre custos operacionais = 28 A - 28 B	R\$		

Avaliação de rentabilidade

30 Retorno do investimento = 24 : 29	meses		
--------------------------------------	-------	--	--

Dados comparativos de consumo da instalação

31 Densidade de potência Relativa = 1000* 14 : 100* 9 : 8			
---	--	--	--

Unidades de Vendas

Endereço	Tel.	Fax
Matriz: Av. dos Autonomistas, 4229 - CEP 06090-901 - Osasco - SP	0800 55 7084	(0xx11) 3683-2430/7875
Goiânia (Região Centro-Oeste): Rua 87, 560 - Sala 06 - Setor Sul - CEP 74093-300	(0xx62) 281-3500	(0xx62) 242-0814
Porto Alegre (Região Sul): Rua 24 de Outubro, 850 - Conj. 309 - CEP 90510-000	(0xx51) 3222-8584	(0xx51) 3222-8289
Recife (Região Norte e Nordeste): Rua Ernesto de Paula Santos, 960 - Sala 406 - CEP 51021-330	(0xx81) 3465-4083	(0xx81) 3465-4974

Informações técnicas

Disk-OSRAM: 0800 55 7084
e-mail: sac@osram.com.br
<http://www.osram.com.br>

A OSRAM se reserva o direito de atualizar
e modificar os dados desta publicação
sem prévio aviso