

Iluminação: Conceitos e Projetos

A história da OSRAM está intimamente ligada à história da humanidade, suas relações e descobertas quanto à iluminação, pois sempre teve como meta o novo... o futuro. Isso só foi e é possível porque a OSRAM tem paixão por iluminação inteligente e busca ver o mundo em uma nova luz. Por isso, fornece esse bem, de forma responsável, para a população de mais de 159 países em todos os continentes.

Em 1910, a empresa criou as lâmpadas incandescentes com filamentos de tungstênio, mas, desde então, os investimentos em pesquisa resultaram em novas tecnologias como luzes que transportam dados e vozes a qualquer lugar no planeta, curam bebês, eliminam cicatrizes, purificam o ar e a água, além dos LEDs (diodo emissor de luz).

No Brasil, a OSRAM está presente desde 1922 e sempre contribuiu para o desenvolvimento socioeconômico do país. Em 1955, iniciou a fabricação nacional de lâmpadas no município de Osasco, na área metropolitana de São Paulo.

Hoje, a OSRAM se caracteriza como a empresa mais especializada do mundo na área de iluminação. Tem uma vasta quantidade de patentes, trabalhos científicos e prêmios internacionais que garantem um portfólio com cerca de cinco mil tipos de lâmpadas. Ao mesmo tempo, sua atuação reflete um engajamento incondicional na preservação do meio ambiente e na qualidade de vida das pessoas em todo o mundo.

Apresentação

A OSRAM tem o prazer de colocar à disposição o Curso de Iluminação: Conceitos e Projetos. Seu objetivo é ser um guia útil, principalmente para aqueles que se iniciam na área da iluminação artificial.

De maneira clara e bem estruturada, este curso apresenta os principais conceitos luminotécnicos para que o leitor possa se posicionar de maneira mais segura diante de todas as etapas que compõem o projeto e sua execução.

No início, nos referiremos também à luz natural, porque certos conceitos não são privilégio exclusivo da artificial. Além disso, lembramos a necessidade premente de trabalhar cada vez mais o projeto luminotécnico como um todo – luz natural e artificial, levando o melhor conforto, funcionalidade e economia às edificações.

Índice

Capítulo 01	Conforto luminoso	06
Capítulo 02	Objetivos da iluminação	10
Capítulo 03	Sistemas de iluminação	10
Capítulo 04	Conceitos básicos: grandezas fotométricas	15
	4.1 A radiação solar e a luz	15
	4.2 Luz e Cores	16
	4.3 Potência Total Instalada	17
	4.3.1 Densidade de Potência	17
	4.3.2 Densidade de Potência Relativa	18
	4.4 Fluxo Luminoso	19
	4.5 Eficiência Energética	19
	4.5.1 Eficiência de lâmpada	19
	4.5.2 Eficiência de luminária	20
	4.5.3 Eficiência do Recinto	20
	4.5.4 Fator de Depreciação (ou de Manutenção)	22
	4.6 Nível de Iluminância	23
	4.6.1 Nível Adequado de Iluminância	24
	4.7 Intensidade Luminosa	24
	4.7.1 Curva de distribuição luminosa	24
	4.8 Luminância	25
	4.9 Índice de reprodução de cor	27
	4.9.1 Espectro de Radiação Visível	28
	4.10 Temperatura de cor	28
	4.11 Fator de fluxo luminoso	32
	4.12 Vida útil, vida média e vida mediana	32
Capítulo 05	Critérios de desempenho do ponto de vista do projeto de iluminação	33
Capítulo 06	Modelos de avaliação em iluminação	35
	6.1 Método de cálculo de iluminação geral:	36
	Método das eficiências	
	6.2 Método de cálculo para iluminação dirigida:	37
	Método ponto a ponto	
	6.3 Avaliação de custos	39
	6.3.1 Custos de investimento	39
	6.3.2 Custos operacionais	40
	6.3.3 Cálculo de rentabilidade	40
	6.4 Softwares	42
Capítulo 07	Exemplos de aplicação	44
	7.1 Exemplo 1 - Cálculo de iluminação geral	44
	7.2 Exemplo 2 - Cálculo de iluminância	50
	7.3 Exemplo 3 - Cálculo de iluminação dirigida:	51
	Fonte de luz com refletor	
	7.4 Exemplo 4 - Cálculo de iluminação dirigida:	52
	Abertura do fecho de luz com refletor	
Capítulo 08	Anexos	53
	Anexo 1 - Equipamentos auxiliares utilizados em iluminação	53
	Anexo 2 - Níveis de Iluminância Recomendáveis para Interiores	54
	Anexo 3 - Coeficiente de Reflexão de alguns materiais e cores	55
	Anexo 4 - Planilha de cálculo - Método dos fluxos	56
	Anexo 5 - Fator de depreciação	58
Bibliografia	Referência bibliográfica	59



1. Conforto luminoso

O que todos nós queremos - arquitetos, engenheiros, decoradores de interiores, empresas fornecedoras de tecnologia, produtos e serviços e, principalmente, o usuário final - é que nossos ambientes tenham o melhor conforto luminoso, a melhor qualidade e o menor custo possível. Esta equação, que parece simples, depende de muitas variáveis.

Para que possamos entendê-la de maneira mais clara e objetiva, começaremos por discutir primeiramente o que é conforto luminoso.

O primeiro nível para avaliarmos o que é o conforto luminoso refere-se à resposta fisiológica do usuário.

Um determinado ambiente provido de luz natural e/ou artificial, produz estímulos ambientais, ou seja, um certo resultado em termos de

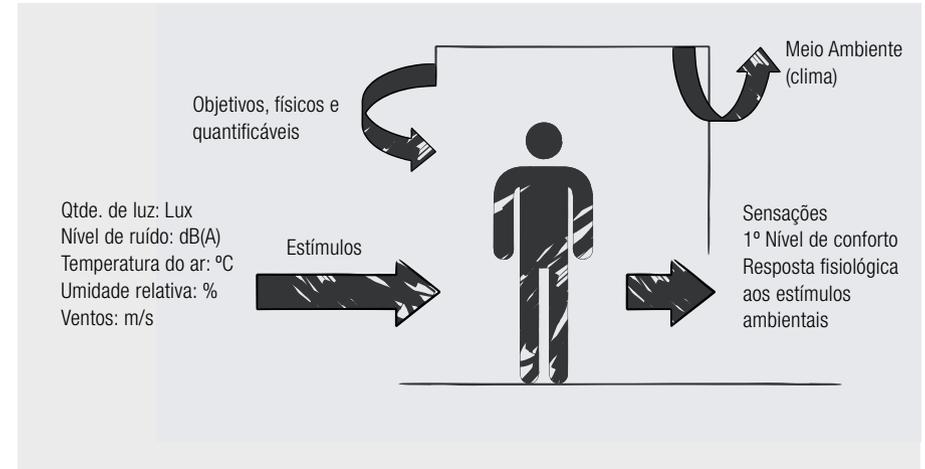


Figura 1 – O conceito de conforto: resposta fisiológica a estímulos ambientais

quantidade, qualidade da luz e sua distribuição, contrastes etc. O mesmo raciocínio serve para as outras áreas do conforto ambiental¹. Para a área de acústica, teremos um certo nível de barulho (ruído de fundo medido pelo seu nível de intensidade sonora em dB(A)), as frequências desse ruído, sua distribuição e propagação etc. Para a área de conforto térmico, teremos a temperatura do ar, a umidade relativa, a ventilação no ambiente, uma certa quantidade de insolação etc.

Todos esses estímulos ambientais são físicos, objetivos e quantificáveis. O usuário sentirá todas estas variáveis físicas do espaço por meio de seus sentidos - visual, auditivo e termo-metabólico - e a elas responderá, num primeiro momento,

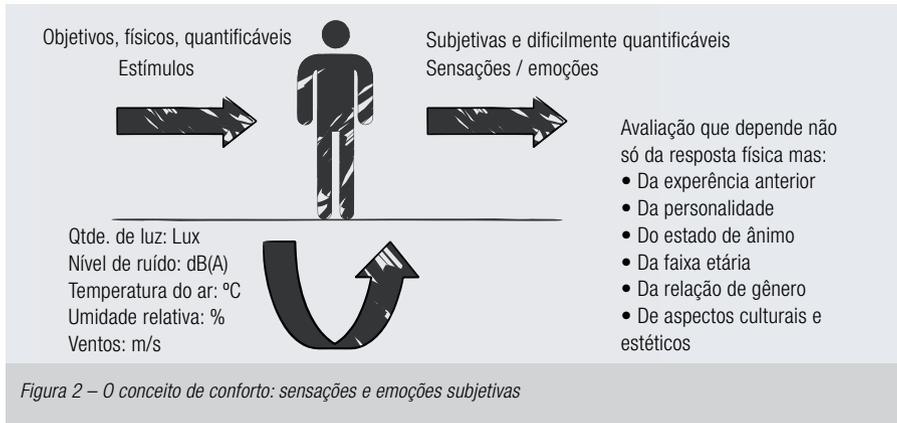
através de sensações.

Neste momento é pertinente, então, nos perguntarmos como podemos definir conforto, e, particularmente, o conforto visual.

Quanto menor for o esforço de adaptação do indivíduo, maior será sua sensação de conforto (fig. 1).

Mas o que seria este “esforço de adaptação”? Do ponto de vista fisiológico, para desenvolvermos determinadas atividades visuais, nosso olho necessita de condições específicas e que dependem muito das atividades que o usuário realiza. Por exemplo: para ler e escrever, é

¹ O conforto ambiental é uma área de formação técnica definida pelo MEC na estrutura curricular profissional de arquitetos e urbanistas. É composta de quatro sub-áreas: conforto térmico, iluminação (natural e artificial), acústica e ergonomia.



necessária uma certa quantidade de luz no plano de trabalho²; para desenhar ou desenvolver atividades visuais de maior acuidade visual (atividades mais “finas” e com maior quantidade de detalhes), necessita-se de mais luz³. Mas quantidade de luz não é o único requisito necessário. Para essas atividades, a boa distribuição de luz no ambiente e a ausência de contrastes excessivos (como a incidência direta do sol no plano de trabalho e reflexos indesejáveis) também são fatores essenciais.

Quanto melhores forem as condições propiciadas pelo ambiente, menor será o esforço físico que o olho terá de fazer para se adaptar às condições ambientais e desenvolver bem a atividade em questão. **É o enfoque fisiológico da definição de conforto ambiental.**

Mas será que, para desenvolvermos uma determinada atividade, conforto

pode e deve ser equacionado somente por esta “vertente fisiológica” de maior ou menor esforço? Não. Hopkinson diz: “Aquilo que vemos depende não somente da qualidade física da luz ou da cor presente, mas também do estado de nossos olhos na hora da visão e da quantidade de experiência visual da qual temos de lançar mão para nos ajudar em nosso julgamento... Aquilo que vemos depende não só da imagem que é focada na retina, mas da mente que a interpreta”⁴. Ou seja, não é possível fazer uma distinção marcante entre experiência sensorial e emocional, uma vez que a segunda certamente depende da primeira e ambas são elos inseparáveis. Qualquer fato visual terá sua repercussão, depois de interpretado, no significado psico-emocional que o homem lhe dá.

Esta resposta sensorial do indivíduo

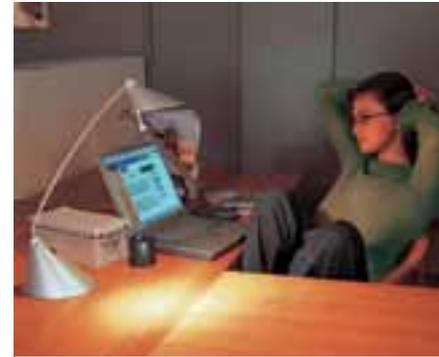


Figura 3 - Conforto como sensações a partir de estímulos físicos

ao seu meio ambiente tem, portanto, um componente subjetivo importante. No processo de atribuir significado a um determinado estímulo ambiental, o homem lança mão de uma série de fatores: sua experiência pessoal, sua personalidade, aspectos culturais, a relação de gênero e idade, entre outros fatores.

Este caráter subjetivo da definição de conforto ambiental, seja ele luminoso, térmico ou acústico, é muito importante e, em algumas situações de projeto, como veremos mais adiante, é vital. Quando pedimos para 100 pessoas definirem o que entendem por conforto, 99 o definirão com uma palavra subjetiva. Dirão: é uma sensação de bem estar, é sentir-se bem num ambiente, é não se sentir incomodado, é ter a satisfação plena dos sentidos, é estar em harmonia com o ambiente, é um ambiente aconchegante, agradável etc. Mas, quando perguntamos para estas mesmas

pessoas se elas estão se sentindo bem ou não em um determinado ambiente, sob determinadas condições ambientais, a totalidade delas faz automaticamente uma relação direta com os estímulos físicos, objetivos deste ambiente, mensurando-os. Dirão “sim” ou “não” dependendo se a temperatura está alta ou baixa, se tem muito ou pouco barulho, muita ou pouca luz, se está abafado ou bem ventilado etc.

Conforto é, portanto, a interpretação de estímulos objetivos, físicos e facilmente quantificáveis, por meio de respostas fisiológicas (sensações) e de emoções, com caráter subjetivo e de difícil avaliação (Figs. 2 e 3).

² A norma 5413, da ABNT, estipula como mínimo 300 lux e máximo 750 lux.

³ A mesma norma estipula 1.000 lux para desenho, por exemplo.

⁴ HOPKINSON, R.G. & KAY, L.D. The light of building, ed. Faber and Faber Ltd, London, 1969.



Figura 4
Iluminação para atividade laborativa - escritório



Figura 5
Iluminação para atividade não laborativa - residência

As duas sub-áreas do conforto ambiental que têm maior grau de subjetividade são a ILUMINAÇÃO e a acústica, respectivamente.

2. Os objetivos da iluminação

Para a iluminação, tanto natural quanto artificial, **a função** é o primeiro e mais importante parâmetro para a definição de um projeto. Ela irá determinar o tipo de luz que o ambiente precisa.

O **primeiro objetivo** da iluminação é a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente. Este objetivo está intimamente associado às atividades laborativas e produtivas – escritório, escolas, bibliotecas, bancos, indústrias etc. É a luz da razão (fig. 4). O **segundo objetivo** da iluminação é a utilização da luz como principal

instrumento de ambientação do espaço – na criação de efeitos especiais com a própria luz ou no destaque de objetos e superfícies ou do próprio espaço. Este objetivo está intimamente associado às atividades não laborativas, não produtivas, de lazer, estar e religiosas – residências, restaurantes, museus e galerias, igrejas etc. É a luz da emoção⁵ (fig. 5).

3. Os sistemas de iluminação

Muitos profissionais cometem um erro primário num projeto luminotécnico, partindo inicialmente da definição de lâmpadas e/ou luminárias. O primeiro passo de um projeto luminotécnico é definir o(s) sistema(s) de iluminação, respondendo basicamente a três perguntas:

- 1^a. Como a luz deverá ser distribuída pelo ambiente?
- 2^a. Como a luminária irá distribuir a luz?

⁵ Algumas atividades estão, por essência, numa situação intermediária, como por exemplo as comerciais. Dependendo do tipo de loja, estaremos mais próximos de um caso ou de outro.

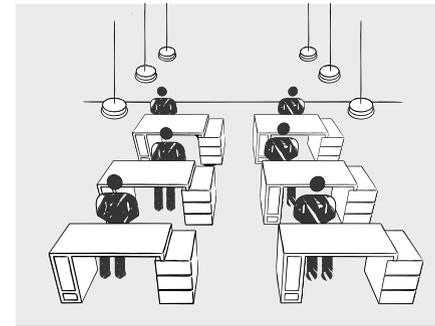


Figura 6 - Iluminação geral



Figura 7 - Exemplo de iluminação geral - Supermercado

3^a. Qual é a ambientação que queremos dar, com a luz, a este espaço?

Pelas questões acima, vemos que, qualquer que seja o sistema adotado, ele deverá sempre ser escolhido de uma forma intimamente ligada à função a ser exercida no local – novamente, as laborativas e não laborativas.

Para se responder a primeira pergunta, classificamos os sistemas de acordo com a forma que as luminárias são distribuídas pelo ambiente e com os efeitos produzidos no plano de trabalho. Esta classificação também é conhecida como Sistema Principal. Nela, os sistemas de iluminação proporcionam:

a) Iluminação geral: distribuição aproximadamente regular das luminárias pelo teto; iluminação horizontal de um certo nível médio; uniformidade (figs. 6 e 7).

Vantagens: uma maior flexibilidade na disposição interna do ambiente – layout.

Desvantagens: não atende às necessidades específicas de locais que requerem níveis de iluminância⁶ mais elevados, grande consumo de energia e, em algumas situações muito específicas, podem desfavorecer o controle do ofuscamento⁷ pela visão direta da fonte.

Este é o sistema que se emprega mais frequentemente em grandes escritórios, oficinas, salas de aula, fábricas, supermercados, grandes magazines etc.

b) Iluminação localizada: concentra-se a luminária em locais de principal interesse. Exemplo: este tipo de iluminação é útil para áreas restritas de trabalho em fábrica (figs. 8 e 9).

As luminárias devem ser instaladas suficientemente altas para cobrir as superfícies adjacentes, possibilitando altos níveis de iluminância sobre o plano

⁶ Vide item 4.6

⁷ Vide item 4.8

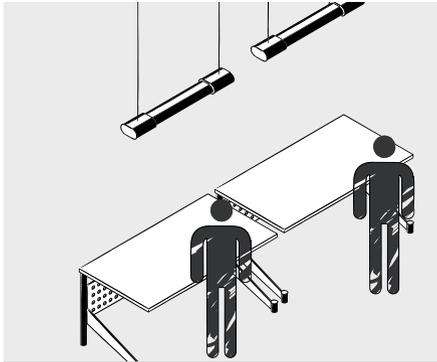


Figura 8 - Iluminação localizada



Figura 9 - Exemplo de iluminação localizada

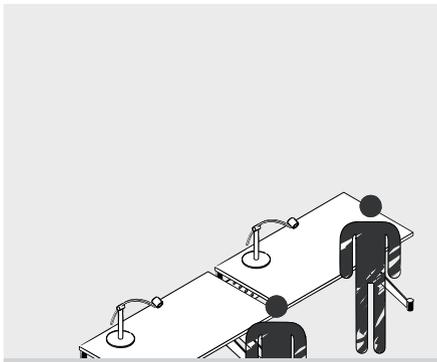


Figura 10 - Iluminação de tarefa



Figura 11 - Exemplo de iluminação de tarefa

de trabalho⁸, ao mesmo tempo em que asseguram uma iluminação geral suficiente para eliminar fortes contrastes.

Vantagens: maior economia de energia, e podem ser posicionadas de tal forma a evitar ofuscamentos, sombras indesejáveis e reflexões veladoras, além de considerar as necessidades individuais.

Desvantagens: em caso de mudança de layout, as luminárias

devem ser reposicionadas.

Para atividades laborativas, necessitam de complementação através do sistema geral de controle de uniformidade de luz do local. Para outras situações, não necessariamente.

c) Iluminação de tarefa: luminárias perto da tarefa visual e do plano de trabalho iluminando uma área muito pequena. (figs. 10 e 11)

⁸ Tanto para a iluminação localizada como para a de tarefa, que muitas vezes destinam-se a proporcionar altos níveis de iluminação (1.000-2000 lux).

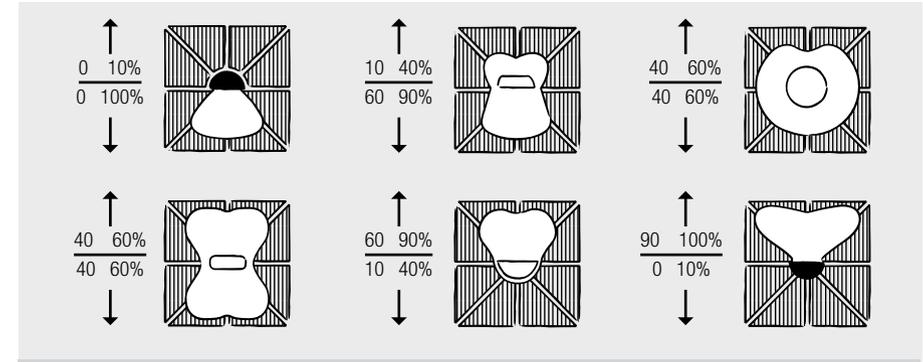


Figura 12 - Classificação das luminárias segundo a radiação do fluxo luminoso

Vantagens: maior economia de energia, maior controle dos efeitos luminotécnicos.

Desvantagens: deve ser complementada por outro tipo de iluminação, e apresenta menor flexibilidade na alteração da disposição dos planos de trabalho.

Para responder a segunda pergunta, “Como a luminária irá distribuir a luz?”, classificam-se os sistemas de iluminação de acordo com a forma pela qual o fluxo luminoso é irradiado pela luminária, ou, mais precisamente, de acordo com a quantidade do fluxo luminoso irradiado para cima e para baixo do plano horizontal e da luminária (e/ou lâmpada). Essa segunda classificação obedece ao esquema acima (fig. 12). Muitos autores classificam os sistemas simplesmente por: direto, indireto e direto-indireto (compreendendo, nesse último caso, as classificações intermediárias).



Figura 13 - Exemplo de sistema direto e indireto

Normalmente, quando temos um projeto de iluminação em mãos, o dividimos em **sistema principal**, aquele que resolverá as necessidades funcionais, e **sistema secundário**, que dará mais ênfase à “personalidade” do espaço, a sua “ambientação” por meio da luz (numa abordagem mais criativa, livre e não tão “funcional”). O sistema secundário relaciona-se mais à terceira pergunta, “Qual é a

Sistema Principal	Sistema Secundário
Geral	Luz de Destaque
	Luz de Efeito
Localizado	Luz Decorativa
	Modulação de Intensidade
De tarefa	Luz Arquitetônica

Figura 14 - Sistemas de iluminação

ambientação que queremos dar, com a luz, a este ambiente?”.

Luz de destaque: Coloca-se ênfase em determinados aspectos do interior arquitetônico, como um objeto ou uma superfície, chamando a atenção do olhar. Geralmente, esse efeito é obtido com o uso de spots, criando-se uma diferença 3, 5 ou até 10 vezes maior em relação à luz geral ambiente. Este efeito pode ser obtido também posicionando a luz muito próxima à superfície a ser iluminada. Exemplo: paredes, objetos, gôndolas, displays, quadros etc (fig. 15).

Luz de efeito: Enquanto na luz de destaque procuramos destacar algo, aqui o objeto de interesse é a própria luz: jogos de facho de luz nas paredes, contrastes de luz e sombra etc (fig. 16).

Luz decorativa: Aqui não é o efeito de luz que importa, mas o objeto que



Figura 15 - Iluminação de destaque



Figura 16 - Iluminação de efeito

produz a luz. Ex: Lustres antigos, arandelas coloniais e velas criam uma área de interesse no ambiente, destacando o objeto mais do que iluminando o próprio espaço (fig. 17).

Modulação de intensidade (dimerização): É a possibilidade de aumentar ou diminuir a intensidade das várias luminárias, modificando com isso a percepção ambiental.



Figura 17 - Iluminação decorativa

Luz arquitetônica: Obtida quando posicionamos a luz dentro de elementos arquitetônicos do espaço, como cornijas, sancas, corrimãos etc. Deve-se tomar cuidado com esse termo, pois toda a luz deve ser, por definição, arquitetônica. Ou seja, estar em perfeita integração com a arquitetura. Neste caso, estão apenas sendo escolhidos elementos arquitetônicos para servirem de suporte à luz (fig. 18).



Figura 18 - Luz arquitetônica

4. Conceitos básicos: grandezas fotométricas

As grandezas a seguir são fundamentais para o entendimento dos conceitos da luminotécnica. A cada definição, seguem-se as unidades de medida e o símbolo gráfico do Quadro de Unidades de Medida, do Sistema Internacional - SI, além de interpretações e comentários destinados a facilitar o seu entendimento.

4.1 A radiação solar e a luz

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda. A radiação solar tem três espectros principais desta radiação: o infravermelho - responsável pela sensação de calor - o espectro visível, ou luz, e o ultravioleta - responsável pelo efeito higiênico da radiação (pois mata bactérias e fungos), pela despigmentação de alguns tipos de tecidos, pelo bronzeamento da pele, etc.

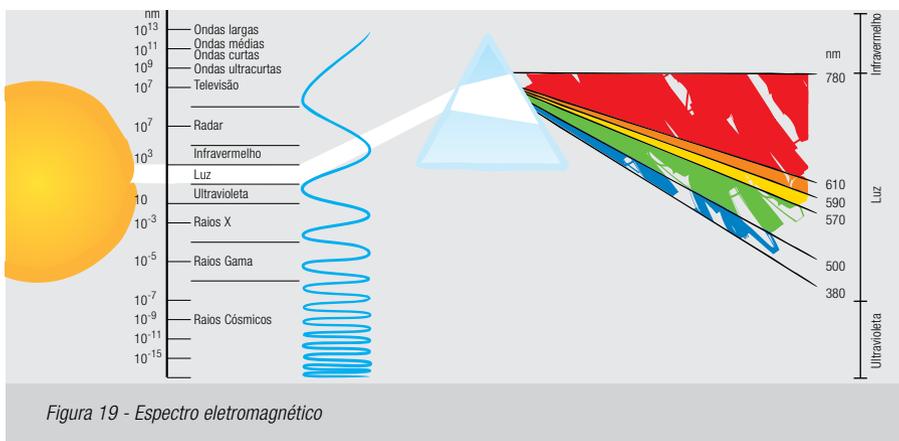


Figura 19 - Espectro eletromagnético

Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual e está compreendida entre 380 e 780 nm (Figs. 19 e 20). 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. O olho humano possui diferentes sensibilidades para a luz. Durante o dia, nossa maior percepção se dá para o comprimento de onda de 550 nm, correspondente às cores amarelo-esverdeadas. Já durante a noite, para o de 510 nm, correspondente às cores verdes azuladas (fig. 20).

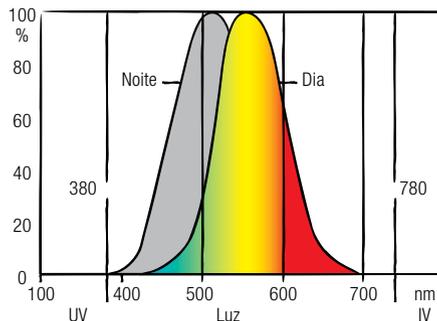


Figura 20
Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível

4.2 Luz e 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 ele. Por exemplo, 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

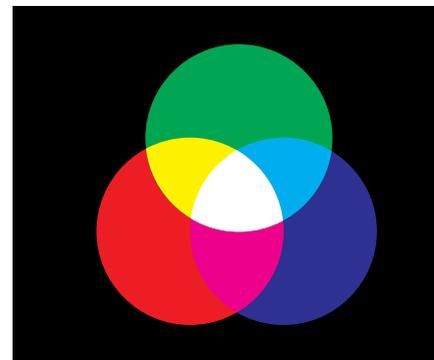


Figura 21 - Composição das cores da luz

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 (Sistema RGB: R=Red, G=Green, B=Blue).

A combinação de duas cores primárias produz as cores secundárias - magenta, amarelo e ciano. As três cores primárias, dosadas em diferentes quantidades, permitem 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”.

4.3 Potência Total Instalada (ou Fluxo Energético)

Símbolo: P_t

Unidade: W ou Kw

É a somatória da potência de todos os aparelhos instalados na iluminação. Trata-se aqui da potência da lâmpada, multiplicada pela quantidade de unidades utilizadas (n), somado à potência consumida de todos os reatores, transformadores e/ou ignitores. Uma vez que os valores resultantes são elevados, a Potência Total Instalada é expressa em quilowatts, aplicando-se, portanto, o quociente 1000 na equação.

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

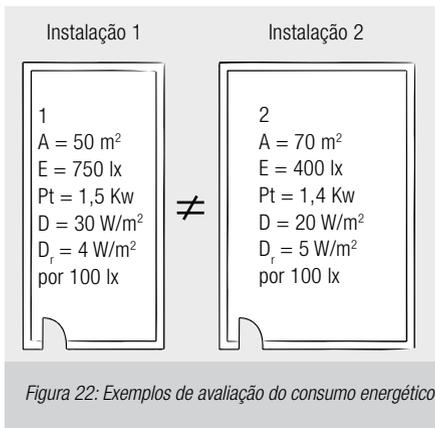
*W = potência consumida pelo conjunto lâmpada + acessórios.

4.3.1 Densidade de Potência

Símbolo: D

Unidade: W/m²

É a Potência Total Instalada em watt



para cada metro quadrado de área.

$$D = \frac{Pt \cdot 1000}{A} \text{ em W/m}^2$$

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 Iluminância⁹ 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.

4.3.2 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.

⁹ Vide item 4.6

Logo:

$$D_r = \frac{D}{\frac{A \cdot E}{100}} \text{ em W/m}^2 \cdot 100 \text{ lx}$$

Tomando-se como exemplo duas instalações comerciais, (fig. 22) 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: E₁ = 750 lx



E₂ = 400 lx

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

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

$$D_{r2} = \frac{20 \text{ W / m}^2}{\frac{400 \text{ lx}}{100 \text{ lx}}} = 5 \text{ W / m}^2 \text{ por } 100 \text{ lx}$$

Logo, a instalação 2 consome mais energia por metro quadrado, e também fornece menos luz. Portanto, a instalação 1 é mais eficiente.

4.4 Fluxo Luminoso

Símbolo: φ

Unidade: lúmen (lm)

Fluxo Luminoso é a radiação total da fonte luminosa entre os limites de comprimento de onda mencionados (380 e 780nm). O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por

uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento.

É chamado também de “pacote de luz” (fig. 23).

4.5 Eficiência Energética

Símbolo: ηw (ou K, conforme IES)

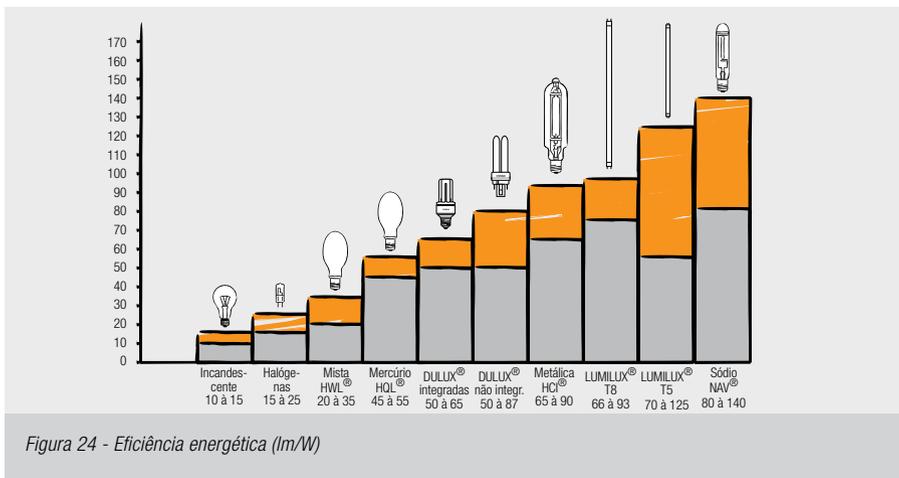
Unidade: lm / W (lúmen / watt)

4.5.1 Eficiência energética de lâmpadas

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes Fluxos Luminosos que irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem.

Para poder compará-las, é necessário saber quantos lúmens são gerados por watt consumido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência Energética (ou “Rendimento Luminoso”). A figura 24 exemplifica as eficiências de alguns tipos de lâmpadas.

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



são construídas as luminárias. O Fluxo Luminoso emitido pela luminária é avaliado através da Eficiência da Luminária (item 4.5.2). Isto é, o Fluxo Luminoso da luminária em serviço dividido pelo Fluxo Luminoso da lâmpada.

4.5.2 Eficiência de luminária (rendimento da luminária)

Símbolo: η_L

Unidade: não tem

“Razão do Fluxo Luminoso emitido por uma luminária, em relação à soma dos fluxos individuais das lâmpadas funcionando fora da luminária (fig. 25).” Normalmente, esse valor é 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 irá percorrer até alcançar o plano de trabalho. Essa condição mais ou menos favorável é avaliada pela Eficiência do Recinto (vide item 4.5.3).

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.

4.5.3 Eficiência do Recinto

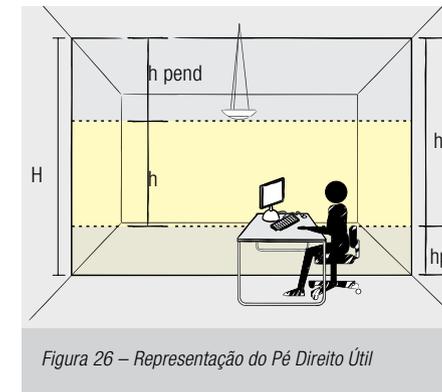
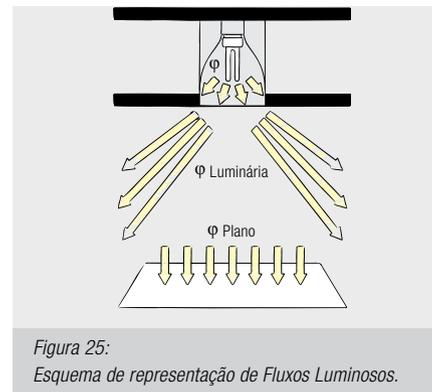
Símbolo: η_R

Unidade: não tem

O valor da Eficiência do Recinto é dado por tabelas, contidas nos catálogos dos fabricantes de luminárias, onde relacionam-se os valores dos coeficientes de reflexão do teto, paredes e piso, com a Curva de Distribuição Luminosa da luminária utilizada e o Índice do Recinto (para este último, vide p. 21).

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

Na interseção da coluna de refletâncias e linha de Índice do Recinto, encontra-se o valor da Eficiência do Recinto (η_R), via Fator de Utilização F_u (vide p.21).



Índice do Recinto

Símbolo: K

Unidade: não tem

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

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

para iluminação direta

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

para iluminação indireta, sendo

a = comprimento do recinto

b = largura do recinto

h = pé-direito útil

h' = distância do teto ao plano de trabalho

H = pé direito

hpt = altura do plano de trabalho

Pé-direito útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de

trabalho (hpt), menos a altura do pendente da luminária (hpend). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho (Fig. 26).

Como já visto, o fluxo luminoso pode ser alterado de acordo com o tipo de luminária empregada e as dimensões do recinto.

Obs: quando a luminária for embutida, $h = h'$.

Fator de Utilização

Símbolo: F_u

Unidade: não tem

O Fluxo Luminoso final (útil) que irá incidir 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 (F_u).

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

Determinados catálogos indicam tabelas de Fatores de Utilização para suas luminárias. Apesar destes 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.

Esta tabela nada mais é do que o valor da Eficiência do Recinto já multiplicado pela Eficiência da Luminária, encontrado pela interseção do Índice do Recinto (K) e das Refletâncias⁽¹⁾ do teto, paredes e piso, nesta ordem (Fig. 27).

4.5.4 Fator de Depreciação (ou Fator de Manutenção)

TETO (%)	70			50			30			0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0	0
PISO (%)	10			10			10			0
Kr	Fator de utilização									
0,60	34	29	26	33	29	26	29	26	25	25
0,80	40	36	33	39	35	32	35	32	31	31
1,00	45	41	38	44	41	38	40	38	36	36
1,25	50	46	43	49	45	43	45	42	41	41
1,50	53	50	47	52	49	46	48	46	45	45
2,00	58	55	52	56	54	52	53	51	50	50
2,50	60	58	56	59	57	55	56	55	53	53
3,00	62	60	58	61	59	58	58	57	55	55
4,00	64	63	61	63	62	60	61	59	58	58
5,00	66	64	63	64	63	62	62	61	59	59

Figura 27 - Exemplo de tabela de Fator de Utilização de Luminária

¹Refletância ou Reflexão, vide anexo 3

Símbolo: Fd

Unidade: %

Todo o sistema de iluminação tem, após sua instalação, uma depreciação no nível de iluminância ao longo do tempo. Esta é decorrente da depreciação do fluxo luminoso da lâmpada e do acúmulo de poeira sobre lâmpadas e luminárias. Para compensar parte desta depreciação, estabelece-se um fator de depreciação que é utilizado no cálculo do número de luminárias. Este fator evita que o nível de iluminância atinja valores abaixo do mínimo recomendado. Para efeitos práticos pode-se utilizar a tabela (Anexo 4).

Nesta publicação, iremos considerar uma depreciação de 20% para ambientes com boa manutenção / limpeza (escritórios e

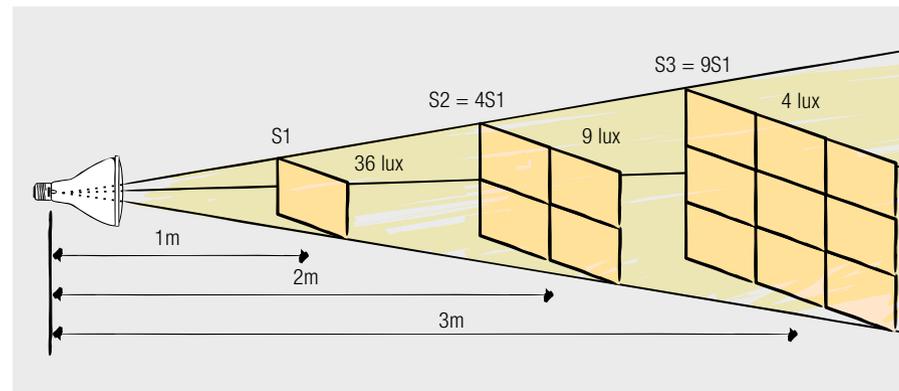


Figura 28 - Lei do inverso do quadrado da distância

afins) e de 40% para ambientes com manutenção crítica (galpões industriais, garagens etc.), dando origem a Fatores de Depreciação, respectivamente, Fd = 0,8 e Fd = 0,6.

4.6 Nível de Iluminância

Símbolo: E

Unidade: Lux (lm/m²)

A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície à qual incide, define uma nova grandeza luminotécnica denominada de Iluminamento, nível de iluminação ou Iluminância (fig. 28).

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

A equação que expressa esta grandeza é:

$$E = \frac{\phi}{A} \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right)$$

É também a relação entre intensidade luminosa e o quadrado da distância (l/h²) (fig.28). 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 (Em). Existem normas especificando o valor mínimo de iluminância média, para ambientes diferenciados pela atividade exercida, relacionados ao conforto visual. Alguns dos exemplos mais importantes estão relacionados no anexo 2 desta publicação (ABNT - NBR 5413).

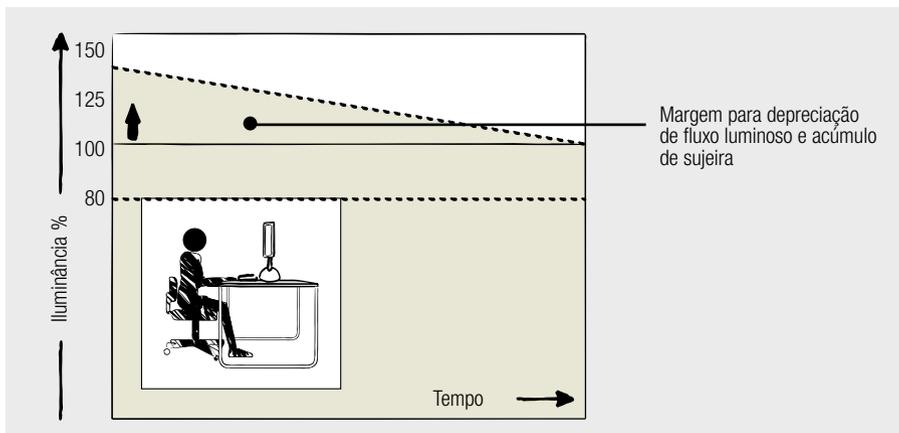


Figura 29 - Compensação da depreciação no cálculo da Iluminância Média (Fator de Depreciação) para ambientes com boa manutenção

4.6.1 Nível Adequado de Iluminância

Quanto mais elevada a exigência visual da atividade, maior deverá ser o valor da Iluminância Média (Em) sobre o plano de trabalho. Deve-se consultar a norma NBR-5413 para definir o valor de iluminância média pretendido. Como já foi mencionado anteriormente, 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. (Fig. 29) Por isso, quando do cálculo do número de luminárias, estabelece-se um Fator de Depreciação (Fd), o qual, elevando o número previsto de luminárias, evita que, com o desgaste, o nível de Iluminância atinja valores abaixo do mínimo recomendado.

4.7 Intensidade Luminosa

Símbolo: I

Unidade: candela (cd)

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, cujos comprimentos indicam as Intensidades Luminosas. Portanto, Intensidade Luminosa é o Fluxo Luminoso irradiado na direção de um determinado ponto (fig. 30 e 31).

4.7.1 Curva de distribuição luminosa

Símbolo: CDL

Unidade: candela (cd) X 1000 lm

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



Figura 30 - Ângulo de abertura FLOOD 38°



Figura 31 - Ângulo de abertura SPOT 10°

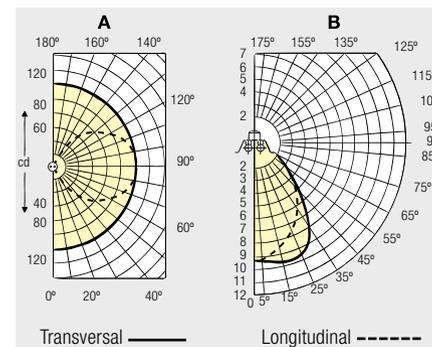


Figura 32: Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).

ângulos em que ela é direcionada num plano (fig. 32).

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

4.8 Luminância

Símbolo: L

Unidade: cd/m²

Das grandezas mencionadas, até então, 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 (fig. 33).

É a Intensidade Luminosa que emana de uma superfície, pela sua superfície aparente (fig. 34).

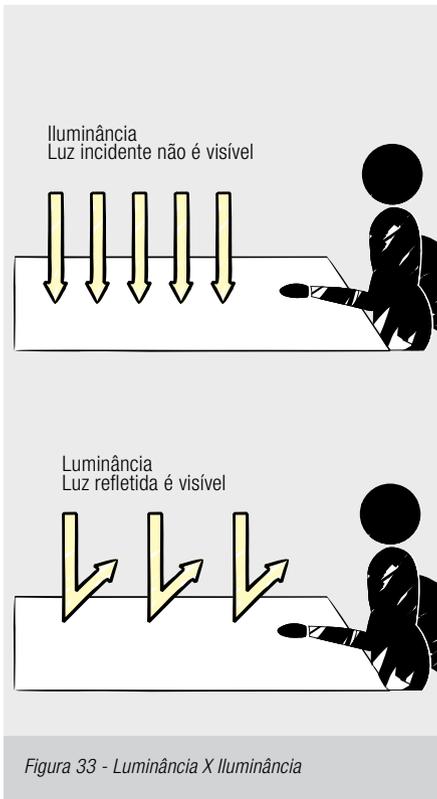
A equação que permite sua determinação é:

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

na qual:

L = Luminância, em cd/m²

I = Intensidade Luminosa, em cd

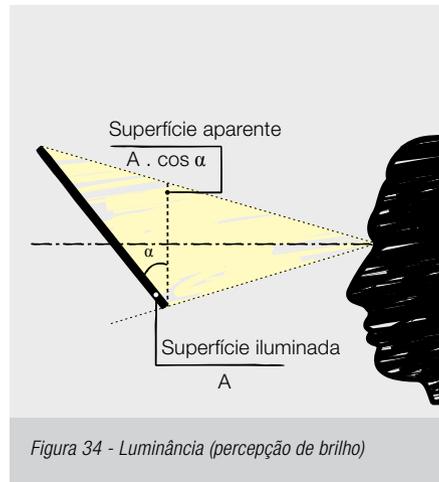


A = área projetada, em m²
 α = ângulo considerado, em graus

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

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

na qual:
 ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão
 E = Iluminância sobre essa superfície

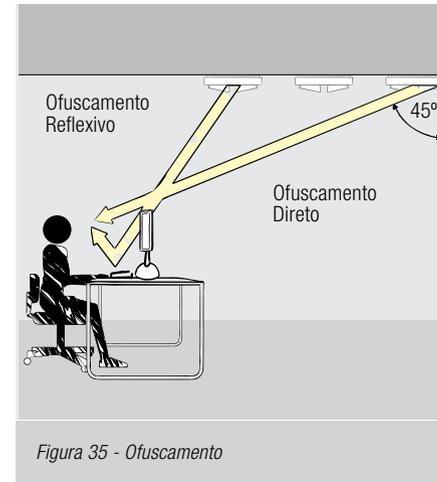


Como os objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, fica explicado porque a mesma Iluminância pode dar origem a Luminâncias diferentes. Vale lembrar que o Coeficiente de Reflexão é a relação entre o Fluxo Luminoso refletido e o Fluxo Luminoso incidente em uma superfície. Esse coeficiente é geralmente dado em tabelas, cujos valores são em função das cores e dos materiais utilizadas (exemplos no anexo 3).

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/m², valores acima deste não devem ultrapassar o ângulo de 45°, como indicado na fig. 35. O posicionamento e a Curva de Distribuição Luminosa devem ser tais que evitem prejudicar as atividades do usuário da iluminação.

Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

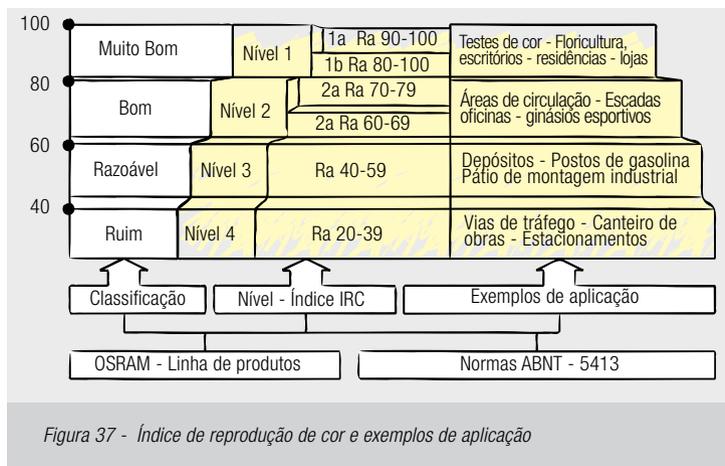
Acentuadas diferenças entre as Luminâncias de diferentes planos causam fadiga visual, devido ao excessivo trabalho de acomodação dos olhos, ao passar por variações bruscas de sensação de claridade. Para evitar esse desconforto, recomenda-se que as Luminâncias de piso, parede e teto se harmonizem numa proporção de 1:2:3, e que, no caso de uma mesa de trabalho, a Luminância não seja inferior a 1/3 da do objeto observado (fig. 36).



Efeitos Luz e Sombra
 Deve-se tomar cuidado no direcionamento do foco de uma luminária, para evitar que sejam criadas sombras incômodas, 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.

4.9 Índice de reprodução de cor

Símbolo: IRC ou Ra
 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, a Reprodução de Cor, e de sua escala qualitativa, o Índice de Reprodução de Cor (IRC ou Ra). O IRC é estabelecido em função da luz natural



que tem reprodução fidedigna, ou seja, 100. No caso das lâmpadas, o IRC é estabelecido entre 0 e 100, comparando-se a sua propriedade de reprodução de cor à luz natural (do sol).

Portanto, quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão, menor é seu IRC. Com isso, explica-se o fato de lâmpadas de mesma Temperatura de Cor possuírem Índice de Reprodução de Cor diferentes (figs. 37 e 38).

4.9.1 Espectro de Radiação Visível

Como já mencionamos nos itens 4.1 e 4.2, luz é uma faixa de radiação eletromagnética, com comprimento de onda entre 380 a 780 nm (nanômetros), ou seja, da cor ultravioleta à vermelha, passando pelo azul, verde, amarelo e roxo. As cores azul, vermelho e verde, quando somadas em quantias iguais, definem o aspecto da luz branca.

Espectros contínuos ou descontínuos resultam em fonte de luz com presença de comprimentos de ondas de cores distintas. Cada fonte de luz tem, portanto, um espectro de radiação próprio que lhe confere características e qualidades específicas.

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 Cor está diretamente ligada à qualidade da luz incidente, ou seja, à distribuição equilibrada das ondas constituintes do seu espectro. Ao lado, apresentam-se alguns espectros de lâmpadas (figs. 39 a 43).

4.10 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



Figura 38 - IRC

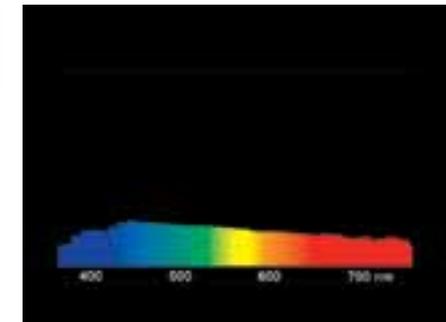


Figura 39 - Espectro da luz natural

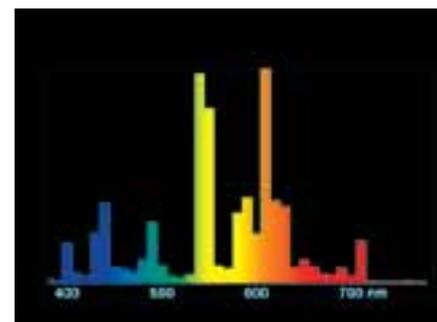


Figura 40 - Espectro das lâmpadas fluorescentes LUMILUX® 830.

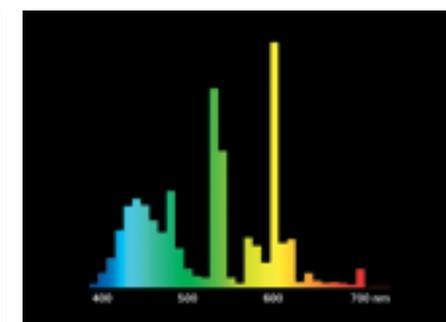


Figura 41 - Espectro das lâmpadas fluorescentes LUMILUX® 860.

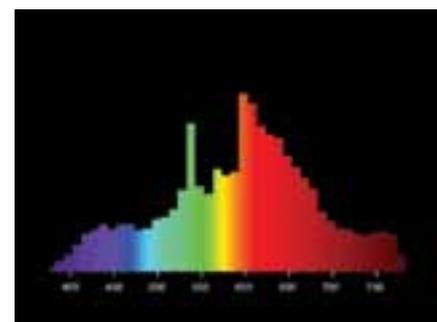


Figura 42 - Espectro das lâmpadas POWERSTAR® HC® 930.

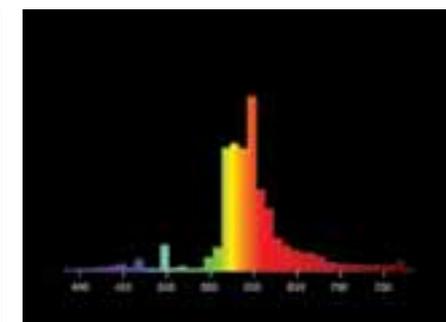
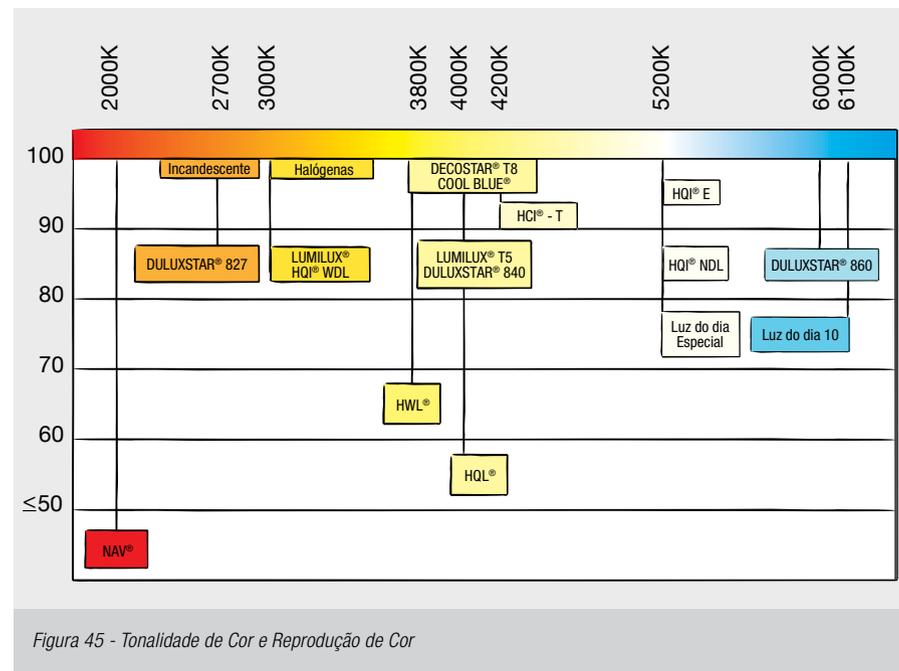
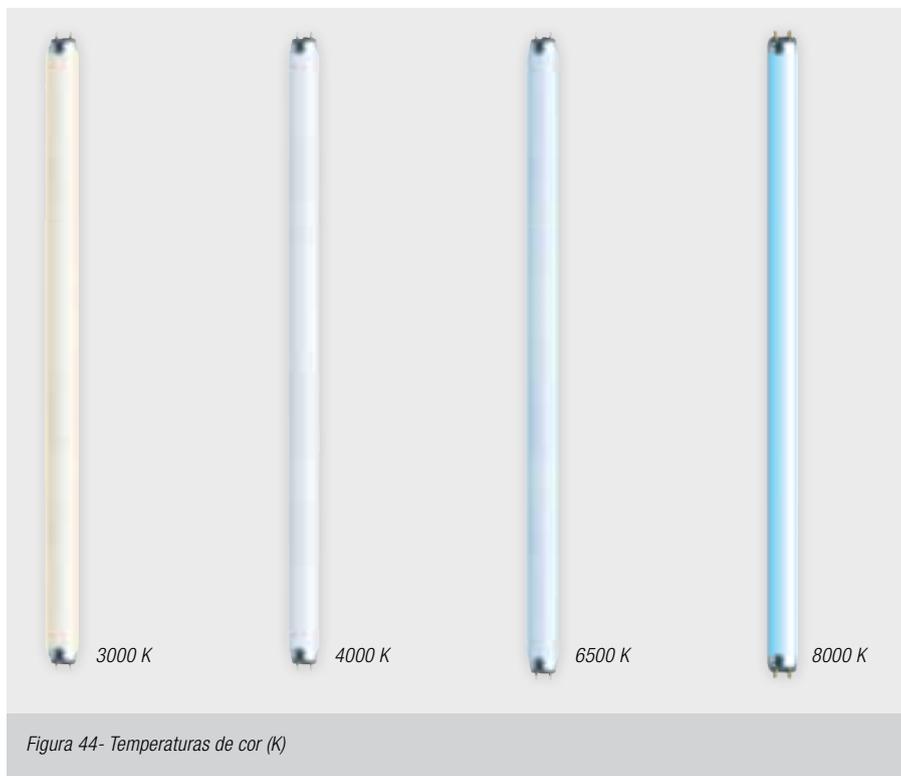


Figura 43 - Espectro das lâmpadas de sódio NAV®

04 | CONCEITOS BÁSICOS

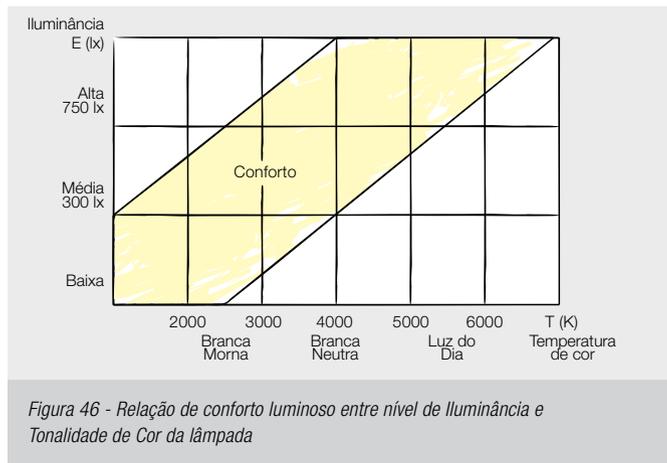
definido o critério Temperatura de Cor (Kelvin) para classificar a luz. Assim como um corpo metálico que, em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco, quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a Temperatura de Cor (aproximadamente 6500K). A luz amarelada, como 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 (figs. 44 e 45). Um exemplo deste tipo de iluminação é a utilizada em escritórios, cozinhas ou locais em que se deseja estimular ou realizar alguma atividade laborativa.



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. Os termos “luz quente” ou “luz fria”, portanto, referem-se à sensação visual de uma luz mais aconchegante ou mais branca, respectivamente. 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 Tonalidade de Cor correta da fonte de luz ao nível de Iluminância pretendido (fig. 46). 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.

4.11 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 depende do desempenho do 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.

Os reatores normalmente apresentam BF de 0,9 ; 1,0 ou 1,1.

4.12 Vida útil, vida média e vida mediana

Vida útil é o número de horas decorrido quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial devido à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada, somado ao efeito das respectivas queimas ocorridas no período, ou seja, 30% de redução da quantidade de luz inicial.

Vida Média é a média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada.

Vida Mediana é o número de horas resultantes, em que 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permanecem acesas.

5. Critérios de desempenho do ponto de vista do projeto de iluminação

Uma vez já vistos todos os conceitos luminotécnicos ligados à fotometria (capítulo 4), este capítulo irá tratar sobre os critérios de desempenho do ponto de vista da iluminação, tanto para as atividades laborativas quanto para as não laborativas (de lazer, estar, religiosas).

Sete critérios de desempenho nos possibilitam avaliar se os objetivos foram cumpridos nessas duas situações:

Um nível mínimo de iluminância (lux) fixado pela norma NBR 5413:

para que possamos desempenhar bem uma tarefa qualquer do ponto de vista visual, devemos ter uma quantidade de luz satisfatória. Por exemplo, para as atividades que envolvem leitura e escrita, a norma estipula valores mínimos e máximos de 300 e 750 lux, respectivamente. No caso de atividades laborativas, estes níveis adquirem maior importância e maiores valores que no caso das não laborativas;

Uma boa distribuição destes níveis pelo local:

quanto menor a uniformidade nesta distribuição, maiores os esforços de adaptação do olho em função de pontos mais e menos iluminados. Estes esforços

levam a um cansaço visual e uma queda consequente da produtividade do trabalho. A boa uniformidade adquire maior importância no caso de atividades laborativas e perde o significado no caso das não laborativas; **A não presença de ofuscamentos dentro do campo visual:** ofuscamento significa contrastes fortes e extremos de luminâncias e podem atrapalhar ou até inibir a realização de uma tarefa visual laborativa, realizada normalmente por longos períodos. No caso das não laborativas, os contrastes (e mesmo os deslumbramentos) são absolutamente fundamentais. São eles que criam os jogos de luz e de destaque. São, conseqüentemente, os grandes responsáveis pela ambientação do espaço. Contrastes de cores, de luminâncias e de claro e escuro;

Uma boa reprodução de cor (IRC): as fontes de luz artificial normalmente são comparadas com a luz natural em função de suas capacidades de reproduzir as cores. Em ambos os casos das atividades laborativas e não laborativas, a boa reprodução de cor é sempre desejável;

Uma temperatura de cor (K) adequada à função:

as aparências de cor quente, neutra e fria das lâmpadas interferem diretamente na ambientação e no estímulo das atividades humanas. Para atividades laborativas, as cores



neutras e frias são as mais recomendadas. Para as atividades não laborativas, as quentes são mais acolhedoras e nos levam ao relaxamento, intimidade e descanso.

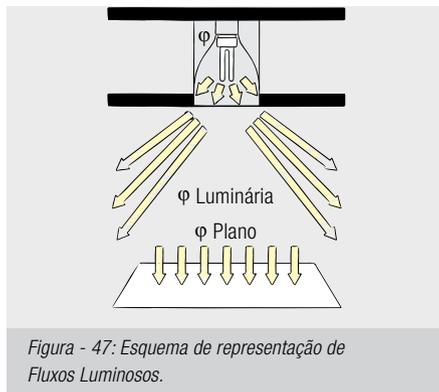
Uma mutabilidade/flexibilidade da luz: a luz natural caracteriza-se muito por grande mutabilidade não somente em termos de quantidade, mas também de aparência, cor da luz e de sua projeção no espaço (em função das posições do sol). A tecnologia hoje disponível para o controle da luz artificial também propicia estes efeitos por meio dos sistemas de automação e controle, tanto do ponto de vista de sua intensidade quanto de distribuição, espectro e aparência de cor (veja informações sobre os sistemas OSRAM DALI);

Uma economia da instalação: não só do ponto de vista de custos iniciais, mas também de manutenção e operação (conta de luz). Sistemas de iluminação - luminárias, lâmpadas e equipamentos complementares adequados proporcionam uma maior racionalidade a todo o projeto e instalação. É sempre desejável, mas torna-se imprescindível no caso das atividades laborativas.

6. Modelos de avaliação em iluminação

O desenvolvimento de um projeto exige uma metodologia para se estabelecer uma sequência lógica de cálculos. Esta metodologia pressupõe as seguintes etapas:

- a)** Levantamento das atividades do local, de suas dimensões físicas, de seu layout, dos materiais utilizados e das características da rede elétrica no local (dados iniciais do projeto);
- b)** Determinação dos objetivos da iluminação e dos efeitos que se pretende alcançar em função da(s) atividade(s) a ser(em) exercida(s) no ambiente (definidos principalmente em função dos sistemas de iluminação a serem adotados);
- c)** Escolha das lâmpadas (em função de todos os demais itens desta relação);
- d)** Escolha das luminárias (em função de todos os demais itens desta relação);
- e)** Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação (relacionados, principalmente, à definição dos níveis de iluminância, das relações de luminância-contrastes, do IRC e da Temperatura de Cor);



- f)** Cálculo da iluminação geral (Método das Eficiências);
- g)** Cálculo de controle;
- h)** Distribuição da luminária;
- i)** Definição dos pontos de iluminação;
- j)** Cálculo de iluminação dirigida;
- k)** Avaliação do consumo energético;
- l)** Avaliação de custos;
- m)** Cálculo de rentabilidade.

Os itens de B a E já foram tratados nesta publicação. Vejamos agora os itens de F a M em função, obviamente, das definições do item A. Passemos a tratar um pouco sobre a metodologia de avaliação quantitativa do projeto luminotécnico.

6.1 Método de Cálculo de Iluminação Geral - Método das Eficiências (também conhecido como Método dos Fluxos ou de Cavidades Zonais)

Sequência de cálculo:

- a)** Escolha da lâmpada adequada
- b)** Escolha da luminária adequada

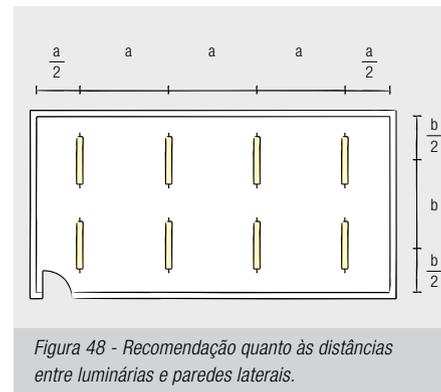
c) Cálculo da quantidade de luminárias

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

A = área do local
 n = quantidade de lâmpadas
 φ = Fluxo luminoso das lâmpadas em lúmens
 Fd = fator de depreciação (Fd = 0,8 para boa manutenção; Fd = 0,6 para manutenção crítica)
 BF = fator de fluxo luminoso do reator (considerar apenas quando utilizado com lâmpadas de descarga)
 Fu = Fator de Utilização (que já considera o rendimento da luminária - ηl - e do recinto - ηr).

A quantidade de lâmpadas (n) é dada pela fórmula:

$$n = \frac{E_m \cdot A}{\phi \cdot F_u \cdot B_F \cdot F_d}$$



Para se saber o número de luminárias, basta dividir o número de lâmpadas pela quantidade delas por luminária.

Distribuição das Luminárias

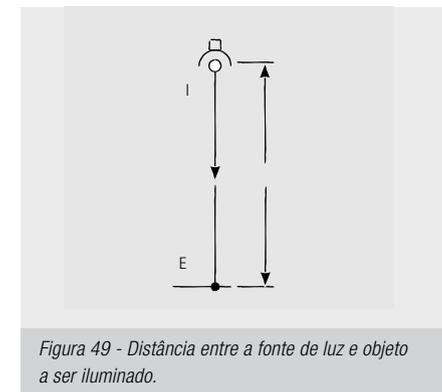
Se a quantidade de luminárias resultantes do cálculo não for compatível com sua distribuição desejada, recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias e não a eliminação, para que não haja prejuízo do nível de Iluminância desejado.

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 ser preferencialmente, distribuídos de maneira uniforme 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 (fig. 48).

6.2 Cálculo de Iluminação Dirigida (Método Ponto a Ponto)

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:

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

na qual:
 I = Intensidade Luminosa lançada verticalmente sobre o ponto considerado (fig. 49).

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,

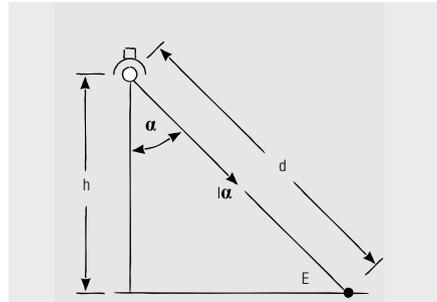


Figura 50 - Incidência de luz não perpendicular ao plano do objeto

reduz-se a Iluminância sobre o objeto a um quarto de seu valor anterior (fig. 28)
Se a incidência da luz não for perpendicular ao plano do objeto, a fórmula passa a ser (fig. 50):

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

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 provenientes de diferentes pontos de luz, ou seja (fig. 51):

$$E = \frac{I^1}{h^2} + \sum \left(\frac{I \alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \right)$$

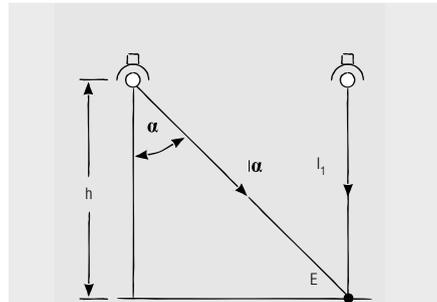


Figura 51 - Iluminância oriunda de diferentes pontos de luz

Dimensionamento do Grau de Abertura do Facho Luminoso

O grau de abertura do fecho luminoso é função do ângulo β dado por (fig. 52):

$$\text{tg } \beta = \frac{r}{h}$$

$$r = h \cdot \text{tg } \beta$$

$$D = 2 \cdot h \cdot \text{tg } \frac{\alpha}{2}$$

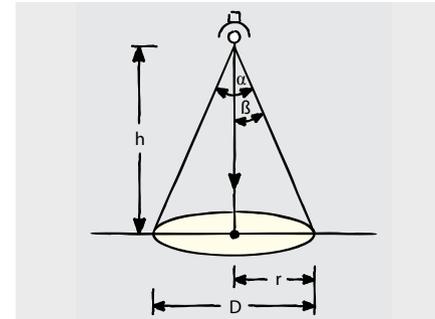


Figura 52 - Grandezas fotométricas

$$\beta = \frac{\alpha}{2} \text{ e } D = 2r$$

$$\text{tg } \beta = \frac{r}{h} \text{ e } \beta = \text{arc tg } \frac{r}{h}$$

$$\alpha = 2 \cdot \text{arc tg } \frac{r}{h}$$

O ângulo de radiação fornecido nos catálogos OSRAM é definido pelo limite de 50% da Intensidade Luminosa máxima (fig. 53).

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,

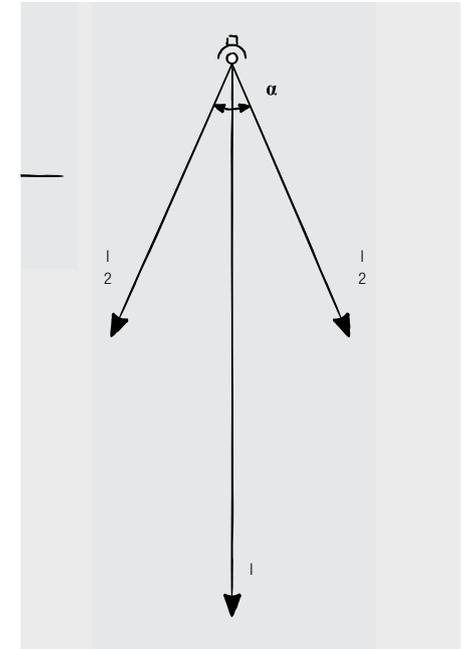


Figura 53 - Conversão da abertura de fecho

quando corretamente calculado, pode ser o indicador de projetos luminotécnicos mais econômicos. Para tanto, calcula-se inicialmente a potência total instalada.

6.3 Avaliação de Custos

Um projeto luminotécnico somente é considerado completo quando se atenta para o cálculo de custos, que são:

6.3.1 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 (fig. 54).

6.3.2 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 (fig. 55).

O custo mensal de manutenção das lâmpadas engloba o custo de aquisição de novas unidades e o custo da mão de obra necessária para executar a manutenção. Esse custo resulta da soma das horas mensais de utilização das lâmpadas dividida pela sua vida útil. O quociente obtido 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 da energia elétrica, que corresponde à Potência Total Instalada (Pt), multiplicada pelas horas de uso mensal e pelo preço do kWh. Ao se optar por um sistema mais eficiente, este custo sofre substancial redução.

6.3.3 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 encontrado quando se calcula o quociente da diferença no investimento pela diferença na manutenção. Feitos os cálculos, os valores podem ser alocados em gráficos, como no da figura 56, onde se visualiza a evolução das despesas no tempo.

O ponto de interseção das linhas indica o instante de equalização

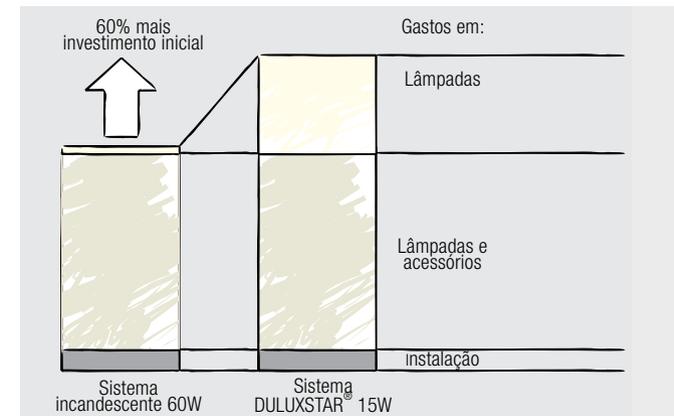


Figura 54 - Comparação entre custos de investimento.

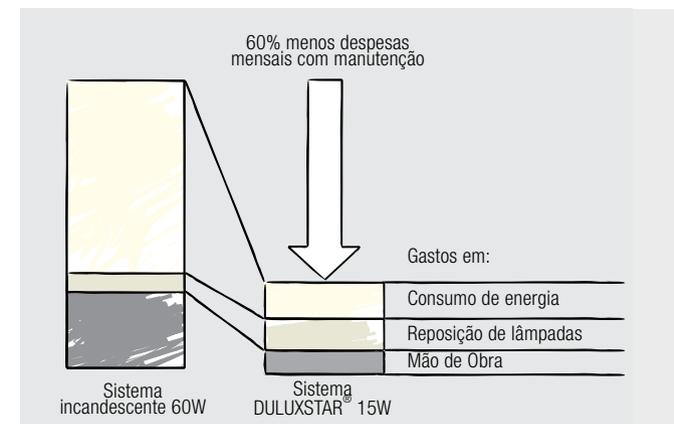
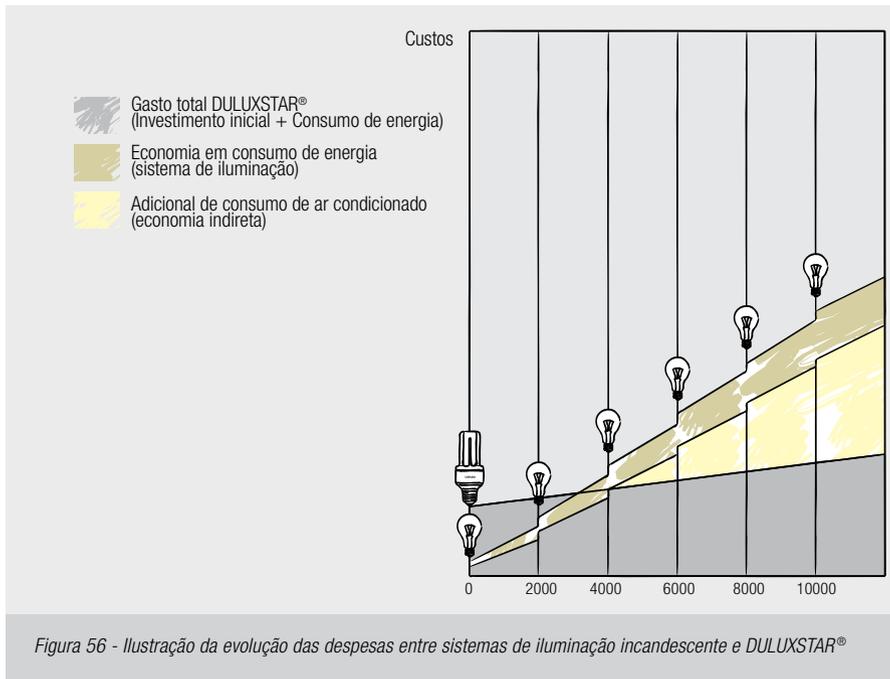


Figura 55 - Comparação entre custos operacionais.

destes custos.

Nos site da OSRAM existe uma planilha do Cálculo de Rentabilidade, podendo ser utilizada como instrumento prático para se chegar

aos custos acima descritos, assim como para análise comparativa entre sistemas diferentes de iluminação.



6.4 Softwares

Como avaliar e medir as questões relativas à iluminação natural e artificial?

Todos os métodos de simulação e cálculo na área de iluminação natural e artificial baseiam-se em dois modelos clássicos de predição: método ponto a ponto e método dos fluxos, conforme apresentado anteriormente.

O método dos fluxos se aplica mais aos sistemas gerais. O método ponto a ponto satisfaz melhor as necessidades de dimensionamento dos sistemas localizados e locais. Apesar de práticos, estes métodos podem ser muito trabalhosos quando se necessita avaliar projetos de iluminação maiores

e mais complexos. Para isso, hoje em dia temos os softwares de iluminação. Alguns cuidados devem ser tomados quando da utilização de programas computacionais na área de iluminação:

1º • Se for para a área de iluminação natural, verificar para quais tipos de céu que o programa possibilita os cálculos, lembrando que o céu brasileiro é predominantemente “parcialmente encoberto”;

2º • se for para a área de iluminação artificial um dos principais aspectos a serem verificados é a possibilidade deles apresentarem uma atualização dos bancos de dados referentes às

luminárias com compatibilidade entre distintos fornecedores. Softwares fechados, ou seja, que só usam luminárias de um único produtor podem ser em muitos casos extremamente limitados para satisfazer nossas necessidades práticas de cálculo.

O número 7, de abril/maio de 2004, da revista Lume Arquitetura, pg.82, apresenta uma relação interessante dos principais softwares de iluminação, principalmente para a artificial, inclusive com endereços dos sites para download.

Os principais modelos na área de luminotécnica são:

- 1 • RADIANCE : <http://radsite.lbl.gov/radiance>
 - 2 • AGI32: <http://www.agi32.com>
 - 3 • LUMEN DESIGN: <http://www.lighting-technologies.com>
 - 4 • ECOTECT: <http://www.squ1.com>
 - 5 • RELUX: <http://www.relux.biz>
 - 6 • DIALUX: <http://www.dial.de>
 - 7 • SOFTLUX: <http://www.itaim.ind.br>
- Obs: os 4 primeiros são pagos. Os 3 últimos gratuitos.

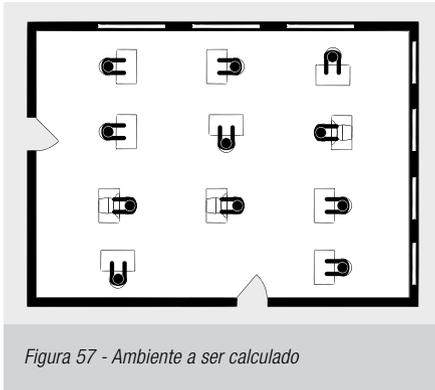


Figura 57 - Ambiente a ser calculado

7. Exemplos de aplicação

7.1 Exemplo 1

Cálculo de Iluminação Geral (Método das Eficiências)

Iluminação da sala de um escritório:

Empregando-se o Método das Eficiências para quantificar o número de luminárias ou calcular a Iluminância para um recinto qualquer, pode-se fazer uso da sequência de cálculo a seguir, apresentada em forma de planilha.

A planilha completa se encontra no anexo 4 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 anterior.

Dados Básicos Pré-Cálculo:

a) Local

- Escritório de contabilidade

b) Atividades

- Administrativas (leitura, concentração)
- Uso de computadores

c) Objetivos da iluminação

- Proporcionar boas condições de trabalho
- Evitar reflexos na tela do computador/ conforto visual
- Evitar alto consumo de energia

d) Cabeçalho

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

A partir deste ponto começaremos a preencher a tabela do anexo 4 ilustrando o exemplo 1.

e) Dimensões físicas do recinto

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

Empresa:		Obra:			
Recinto:		Atividade			
Projetista:		Data:			
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	Altura do plano de trabalho	hpt	m	0,80
	06	Altura do pendente da luminária	h pend	m	0
	07	Pé-direito útil	$h = H - h_{pt} - h_{pend}$	m	2,20
	08	Índice do recinto (direta)	$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)}$		1,95
		Índice do recinto (indireta)	$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot h' (a+b)}$		
	09	Fator de depreciação	Fd		0,80
	10	Coeficiente de reflexão do teto	ρ_{teto}	%	0,70
	11	Coeficiente de reflexão da parede	ρ_{parede}	%	0,50
12	Coeficiente de reflexão do piso	ρ_{piso}	%	0,10	

f) Nível de Iluminância Adequado

Consultando-se a norma NBR-5413, estipula-se a Iluminância Média de escritórios em $E_m = 500 \text{ lx}$.

Fator de Depreciação (Fd): ambiente salubre, com boa manutenção (em caso de queima, troca imediata; limpeza das luminárias a cada 6 meses). Fd = 0,8 (corresponde a uma margem de depreciação de 20% da Iluminância Média necessária).

g) Cores

- Teto: $\rho_{teto} = 0,70$.
Forro de gesso pintado / cor branca.
- Paredes: $\rho_{paredes} = 0,50$.
Pintadas / cor verde-claro; duas paredes com persiana/cor verde-claro.
- Piso: $\rho_{piso} = 0,10$.
Carpete / cor verde-escuro.

h) Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

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

Partindo 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 recomendada entre as Luminâncias será provavelmente alcançada através da variação natural de Iluminâncias incidentes sobre as diferentes superfícies.

07 | EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

TETO (%)	70			50			30			0
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0	
PISO (%)	10			10			10			0
Kr	Fator de utilização									
0,60	34	29	26	33	29	26	29	26	25	
0,80	40	36	33	39	35	32	35	32	31	
1,00	45	41	38	44	41	38	40	38	36	
1,25	50	46	43	49	45	43	45	42	41	
1,50	53	50	47	52	49	46	48	46	45	
2,00	58	55	52	56	54	52	53	51	50	
2,50	60	58	56	59	57	55	56	55	53	
3,00	62	60	58	61	59	58	58	57	55	
4,00	64	63	61	63	62	60	61	59	58	
5,00	66	64	63	64	63	62	62	61	59	

Figura 58 - Exemplo de tabela de Fator de Utilização de Luminária

i) Limitação de Ofuscamento

Ofuscamento não deverá ocorrer, uma vez que as 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 apresente Luminância acima de 200 cd/m².

Obs.: algumas luminárias para lâmpadas fluorescentes são indicadas por seus fabricantes para utilização em áreas de terminais de vídeo ou computadores.

j) Efeitos Luz e Sombra

As luminárias deverão ser colocadas lateralmente às mesas de trabalho, para evitar que haja reflexo ou sombra que prejudique as atividades. Recomenda-se que as janelas localizadas diante das telas de computadores sejam protegidas por persianas ou cortinas, para evitar que

a alta Luminância seja refletida e que o operador faça sombra sobre a tela.

k) 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 próximos às mesas.

l) Tonalidade de Cor da Luz

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

m) Reprodução de Cor

Aconselha-se que o Índice de Reprodução de Cor para este tipo de trabalho seja superior a 80.

As lâmpadas fluorescentes de pó trifósforo são as mais adequadas.

Carac. da Iluminação	13	Iluminância planejada	E_m	lx	500
	14	Tonalidade ou temp. da cor		K	4000
	15	Índice de reprodução de cor		IRC	89
Lâmpadas e luminárias	16	Tipo de lâmpada			LUMILUX® T5 HE
	17	Potência da lâmpada	P_{lamp}	Watt	35
	18	Fluxo luminoso de cada lâmpada	ϕ	lm	3650
	19	Lâmpadas por luminária	z	Unid.	2
	20	Tipo de luminária			-
	21	Fabricante / Modelo			-
	22	Eficiência da luminária	η_L		-
	23	Eficiência do recinto	η_r		-
	24	Fator de utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_r$		0,58
	25	Quantidade de lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A}{\phi \cdot F_u \cdot BF \cdot F_d}$	Unid.	22
	26	Quantidade final de lâmpadas	n	Unid.	22
	27	Quantidade de luminárias	$N = n/L$	Unid.	11
28	Quantidade final de luminárias	N	Unid.	12	

n) Ar-condicionado e Acústica

O ruído 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 poderá funcionar com uma intensidade 25% menor do que se a instalação for feita com lâmpadas fluorescentes, e não incandescentes, que irradiam muito calor.

o) Escolha das Lâmpadas

Os dados anteriores nos levam a concluir que o tipo de lâmpada indicado para este projeto é a fluorescente LUMILUX® T5 HE. Ela existe nas versões de 14, 21, 28 e 35W.

Optaremos pela versão LUMILUX® T5 HE 35W/840, porque o salão é amplo, não há limitação física de comprimento

da lâmpada e sua utilização é mais compensadora.

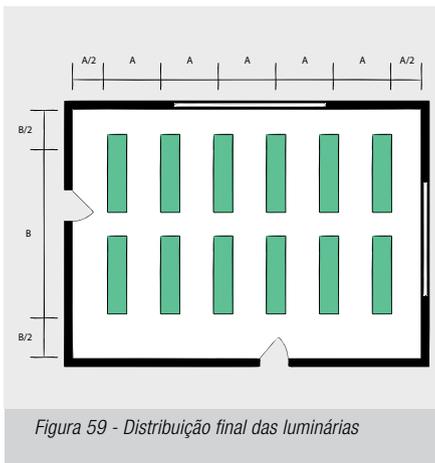
Os dados da lâmpada são obtidos nos catálogos OSRAM, também disponíveis para download no site da empresa.

A saber:

- LUMILUX® T5 HE 35W/840
- Fluxo luminoso: 3.650 lm
- Temperatura de cor: 4000K Branca Neutra
- Índice de Reprodução de Cor: 89

p) Escolha da Luminária

A luminária poderá ser de embutir, de alta eficiência e com 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.



q) Cálculo da Quantidade de Luminárias

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

r) 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.

s) 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 = 11) deverá ser elevada para N = 12, para que possa ser subdividida por dois. A dimensão de 10m comporta a linha contínua formada por 6 luminárias, cada uma de aproximadamente 1,67m, não havendo perigo de não adaptação ao projeto (fig. 59).

t) Cálculo de Controle

Uma vez de acordo com o resultado fornecido, podemos nos certificar do valor exato da Iluminância Média obtida, através dos itens 26 e 27.

u) Avaliação do Consumo Energético

Os itens 34, 35 e 36 da planilha podem ser calculados da seguinte maneira: Obs.: 70 W = Considerando a utilização do reator QT1 2x35W, uma vez que, devido à operação em alta

Cálculo de Controle	29	Iluminância alcançada	$E_m = \frac{n \cdot \phi \cdot Fu \cdot Bf \cdot Fd}{A}$	lx	542
	30	Tipo de reator			eletrônico
Reatores	31	Modelo			Qti 2x35w
	32	Qtde. lâmpada/reator		Lr	2
	33	Potência de cada reator		W	70
	34	Fator de fluxo luminoso		BF	1
	35	Nº total de reatores		n_{reator}	Unid
Consumo da Instalação	36	Potência total instalada	$P_t = \frac{(P_{\text{lamp}} \cdot n) \cdot 1,10}{1000}$	KW	0,92
		P/ reatores eletrônicos	$P_t = \frac{(P_{\text{lamp}} \cdot n) \cdot 1,10}{1000}$	KW	
		P/ reatores eletromagnéticos	$P_t = \frac{(P_{\text{lamp}} \cdot n) \cdot 1,20}{1000}$	KW	
	37	Densidade de potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m ²	12,32
	38	Densidade de potência relativa	$D_r = D \cdot 100 / E$	W/m ² p/100 lx	2,27

frequência, a potência entregue à lâmpada é menor.

$$P_t = \frac{(35 \cdot 24) \cdot 1,10}{1000} = 0,92 \text{ KW}$$

$$D = \frac{924}{75} = 12,32 \text{ W/m}^2$$

$$D_r = \frac{12,32}{542} = 2,27 \text{ W/m}^2 \text{ p/100 lx}$$

luminotécnico até aqui concluído e podem ser desenvolvidos utilizando-se o guia orientativo “Cálculo de Rentabilidade” que segue anexo.

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

v) Cálculo de Custos e Rentabilidade

Na rotina de cálculo, os itens Cálculo de Custos e Cálculo de Rentabilidade são complementares ao cálculo

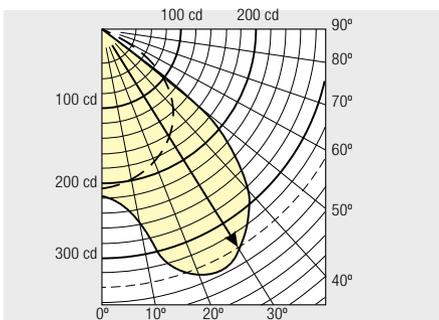


Figura 60 - Curva de distribuição luminosa da luminária escolhida

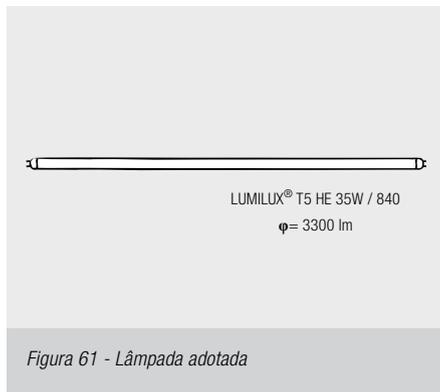


Figura 61 - Lâmpada adotada

7.2 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 (fig. 60).

Consultando a luminária, cuja CDL está representada na página x, e supondo que esta luminária esteja equipada com 2 lâmpadas fluorescentes LUMILUX® T5 HE 35W/840 (fig. 61), qual será a Iluminância incidida num ponto a 30° de inclinação do eixo longitudinal da luminária, que se encontra a uma altura de 2m do plano do ponto (fig. 62)?

LUMILUX® T5 HE 35W/840
φ = 3300 lm
Luminária para 2x LUMILUX® T5 HE 35W/840
n = 2
Na CDL, lê-se que: $I_{30°} = 340$ cd

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

$$I_{30°} = \frac{340}{1000} \cdot (2 \cdot 3300) = 2244 \text{ cd}$$

Seguindo-se a fórmula:

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

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

$$E = \frac{2244}{4} \cdot 0,65$$

$E = 365 \text{ lux}$

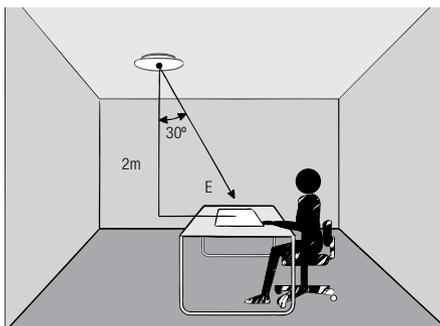


Figura 62
Cálculo de iluminância em cima do plano de trabalho

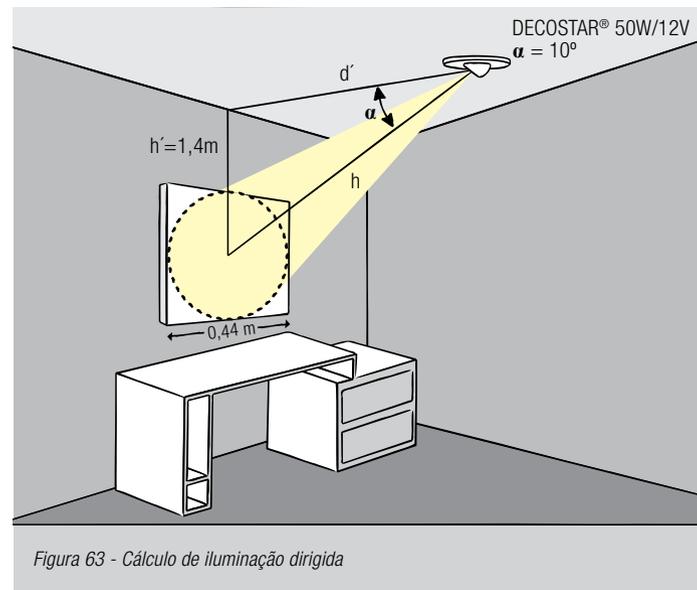


Figura 63 - Cálculo de iluminação dirigida

7.3 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 (fig. 63)?

$$D = 2 \cdot h \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$0,44 = 2 \cdot h \cdot \text{tg} \frac{10°}{2}$$

Portanto, $h = 2,5\text{m}$

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

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

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

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

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

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

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

Dado da lâmpada:
 $I = 12500 \text{ cd}$

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

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

$E = 2000 \text{ lux}$

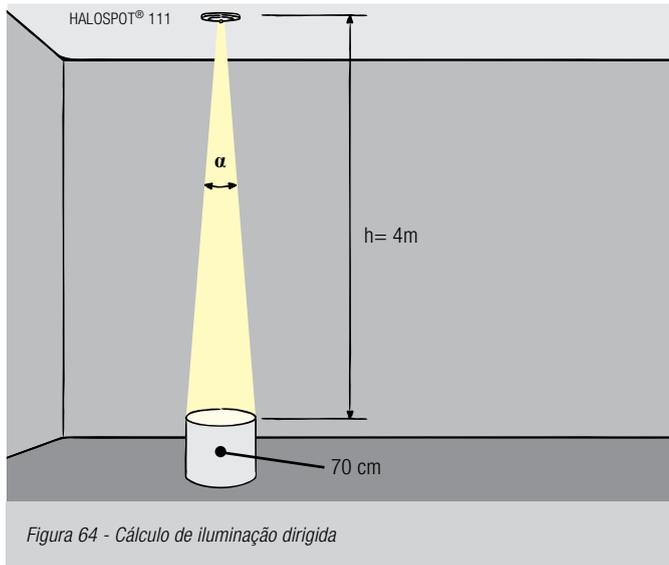


Figura 64 - Cálculo de iluminação dirigida

7.4 Exemplo 4

Cálculo de Iluminação Dirigida - Abertura do Facho 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 0,70m de diâmetro, a 4m de distância (fig. 64)?

$$\alpha = 2 \cdot \text{arc tg} \frac{r}{h}$$

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

$$\alpha = 10^\circ$$

Observação para todos os exemplos apresentados:

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 o 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.

Anexo 1 - 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 sua potência máxima.
- Reator: equipamento auxiliar ligado entre a rede e as lâmpadas de descarga, cuja função é estabilizar a corrente através da lâmpada. Cada tipo de lâmpada requer um reator específico.
- Starter: elemento bimetálico cuja função é pré-aquecer os eletrodos das lâmpadas fluorescentes, bem como fornecer, em conjunto com o reator eletromagnético convencional, um pulso de tensão necessário para o acendimento das lâmpadas. Os reatores eletrônicos e de partida rápida não utilizam starter.
- Ignitor: dispositivo eletrônico cuja função é fornecer às lâmpadas de descarga em alta pressão um pulso de tensão necessário para

seus acendimentos.

- 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.
- Sistemas de gerenciamento da iluminação: com a evolução da tecnologia eletrônica digital hoje, existem a preços bastante acessíveis sistemas com o protocolo DALI que apresentam inúmeros recursos para controlar a iluminação dos ambientes, criação de grupos e cenas, acionamentos por controles remotos e de paredes sem fio, sensores de luz e de presença, etc. Além do gerenciamento da iluminação, os mesmos sistemas podem criar efeitos especiais, como o efeito RGB (mistura das cores vermelho, verde e azul), simular a tonalidade de luz do sol dentro de um ambiente, resultando assim numa iluminação mais dinâmica para proporcionar conforto e criação de diferentes atmosferas. Para mais detalhes, acesse o nosso site ou catálogos com informações específicas sobre os sistemas de gerenciamento da iluminação OSRAM DALI.

Anexo 2 - Níveis de Iluminância Recomendáveis para Interiores

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

Exemplificação da Norma NBR-5413.

Os valores são fornecidos para observador com idade entre 40 e 55 anos, praticando tarefas que demandam velocidade e precisão médias.

Anexo 3 - 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
Marrom 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

Anexo 4 - Planilha para cálculo de iluminação geral: Método dos Fluxos

Empresa:	Obra:	
Recinto:	Atividade:	
Projetista:	Data:	unid.
Variável		
	Sistema A	Sistema B
01 Comprimento	a	m
02 Largura	b	m
03 Área	$A = a \cdot b$	m ²
04 Pé-direito	H	m
05 Altura do plano de trabalho	hpt	m
06 Altura do pendente da luminária	hpend	m
07 Pé-direito útil	$h = H - hpt - hpend$	m
08 Índice do recinto (direta)	$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$	
Índice do recinto (indireta)	$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot h' (a + b)}$	
09 Fator de depreciação	Fd	
10 Coeficiente de reflexão do teto	ρ_{teto}	%
11 Coeficiente de reflexão da parede	ρ_{parede}	%
12 Coeficiente de reflexão do piso	ρ_{piso}	%
13 Iluminância planejada	E_m	lx
14 Tonalidade ou temp. da cor	K	
15 Índice de reprodução de cor	IRC	
16 Tipo de lâmpada		
17 Potência da lâmpada	P_{lamp}	Watt
18 Fluxo luminoso de cada lâmpada	φ	lm
19 Lâmpadas por luminária	Z	Unid.

20 Tipo de luminária		
21 Fabricante / Modelo		
22 Eficiência da luminária	η_L	
23 Eficiência do recinto	η_r	
24 Fator de utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_r$	
25 Quantidade de lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A}{\varphi \cdot F_u \cdot BF \cdot Fd}$	Unid.
26 Quantidade final de lâmpadas	n	Unid.
27 Quantidade de luminárias	$N = n/L$	Unid.
28 Quantidade final de luminárias	N	Unid.
29 Iluminância alcançada	$E_m = \frac{n \cdot \varphi \cdot F_u \cdot BF \cdot Fd}{A}$	lx
30 Tipo de reator		
31 Modelo		
32 Qtde. lâmpada/reator	Lr	
33 Potência de cada reator	W	
34 Fator de fluxo luminoso	BF	
35 Nº total de reatores	n_{reator}	Unid.
36 Potência total instalada	$P_t = \frac{(P_{lamp} \cdot n) \cdot 1,10}{1000}$	KW
P/ reatores eletrônicos	$P_t = \frac{(P_{lamp} \cdot n) \cdot 1,10}{1000}$	KW
P/ reatores eletromagnéticos	$P_t = \frac{(P_{lamp} \cdot n) \cdot 1,20}{1000}$	KW
37 Densidade de potência	$D = P_t \cdot 1000/A$	W/m2
38 Densidade de potência relativa	$Dr = D \cdot 100 / E$	W/m2 p/100 lx

Obs: A planilha apresenta duas colunas - Sistemas A e B - para que duas soluções possam ser comparadas.

Anexo 5 - Fator de depreciação

TIPO LUMINÁRIA	CONDIÇÃO DO AMBIENTE	FATOR DE DEPRECIÇÃO (FD)
Aberta para iluminação de interiores	muito limpo	0.95
	limpo	0.89
	médio	0.81
	sujo	0.72
	muito sujo	0.61
Fechada para iluminação de interiores	muito limpo	0.94
	limpo	0.88
	médio	0.82
	sujo	0.77
	muito sujo	0.71
Fechada para iluminação de áreas externas		0.87

ARNHEIM, Rudolf. Arte e Percepção Visual – Psicologia de la visión creadora, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1962.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ARQUITETOS DE ILUMINAÇÃO. Manual de orientação profissional, ASBAI, São Paulo, 2006.

BONALLI, Natale. História da Iluminação Artificial, Altena, São Paulo.

COSTA, Gilberto José Correa da. Iluminação Econômica, Ed. a PUCRS, Porto Alegre, 2006.

DILAURA, David L. A history of light and lighting, IES of North America, New York, 2006

EGAN, M.J. Concepts in Architectural Lighting. New York, MacGraw-Hill, 1983.

FINESTRA BRASIL, Revista, São Paulo, SP.

IES. Illuminating Engineering Society of North America. IES Lighting Handbook - References and Applications, 8th edition, New York, IESNA, 1995.

KALF, L.C. Creative Light., London, Teh Macmillan Press, 1971.

LAM, William M.C. Perception and Lighting as Formgivers for Architecture. New York, McGraw-Hill, 1977.

LUME ARQUITETURA, Revista, São Paulo.

MASCARÓ, Lucia (Org.). A iluminação do espaço urbano, Ed. Masquatro, Porto Alegre, 2006.

MOREIRA, Vinícius de Araújo. Iluminação elétrica, Ed. Edgar Blucher Ltda, São Paulo, 1999.

NOBRE, Ana Luiza. Franco & Fortes – Ligthing Design, Ed. C4 – BKS, São Paulo, 2006.

SCHMID, Aloísio Leoni. A idéia de conforto – Reflexões sobre o ambiente construído, Pacto Ambiental, Curitiba, 2005

VIANNA, Nelson & GONÇALVES, Joana Carla Soares. Iluminação e Arquitetura, Geros Arquitetura, São Paulo, 2004, 2a. edição.

Agradecimento:

Consultor Nelson Solano Vianna
GEROS ARQUITETURA