

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

pequena. (figs. 10 e 11)

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 se 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

03 | SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

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 fachos 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



Figura 15 - Iluminação de destaque



Figura 16 - Iluminação de efeito

que 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 (dimmerização): 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. Nesse caso, estão apenas sendo escolhidos elementos arquitetônicos para servirem de suporte à luz (fig. 18).



Figura 18 - Luz arquitetônica

4. Conceitos básicos: grandezas fotométricas

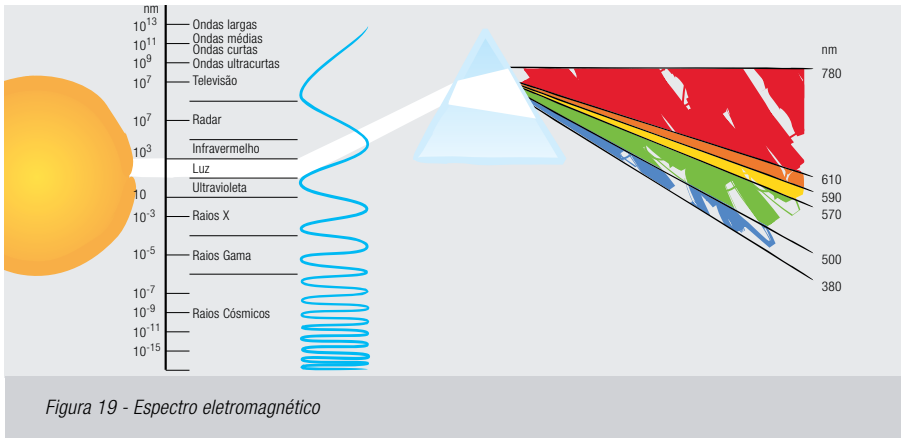
As grandezas a seguir são fundamentais para o entendimento dos conceitos da luminotécnica.

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.

04 | CONCEITOS BÁSICOS



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. De dia nossa maior percepção se dá para o comprimento de onda de 550 nm, correspondente às cores amarelo-esverdeadas. E de noite, para o de 510 nm, correspondente às cores

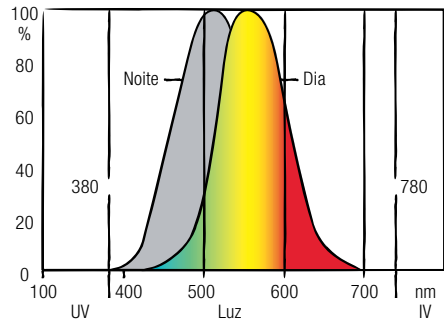


Figura 20

Curva de sensibilidade do olho humano à radiação visível verdes azulados. (fig. 20)

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 on-

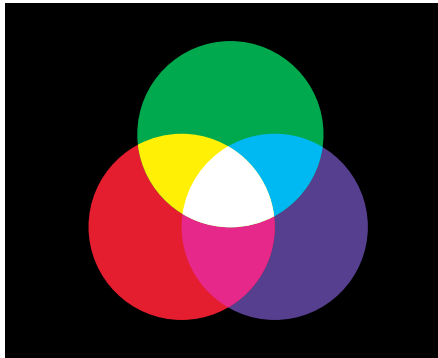


Figura 21 - Composição das cores da luz

da. 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. (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, apresentando 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.

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

*W = potência consumida pelo conjunto lâmpada + acessórios.

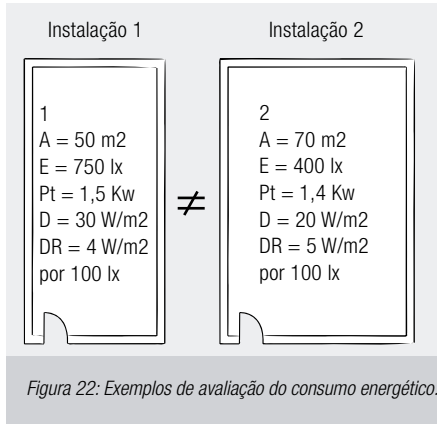
4.3.1 Densidade de Potência

Símbolo: D

Unidade: W/m²

É a Potência Total Instalada em watt

04 | CONCEITOS BÁSICOS



para cada metro quadrado de área.

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

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.

Logo:

$$D_1 = \frac{Pt}{A \cdot E} \quad \text{em W/m}^2 \cdot 100 \text{ lx}$$

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

⁹ Vide item 4.6



Figura 23 - Fluxo luminoso de uma lâmpada (lm)

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

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

$$D_{r1} = \frac{30 \text{ W} / \text{m}_2}{\frac{750 \text{ lx}}{100 \text{ lx}}} = 4 \text{ W} / \text{m}_2 \text{ por } 100 \text{ lx}$$

$$D_{r2} = \frac{20 \text{ W} / \text{m}_2}{\frac{400 \text{ lx}}{100 \text{ lx}}} = 5 \text{ W} / \text{m}_2 \text{ por } 100 \text{ lx}$$

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 emiti-

da 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: η_w (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, refle-

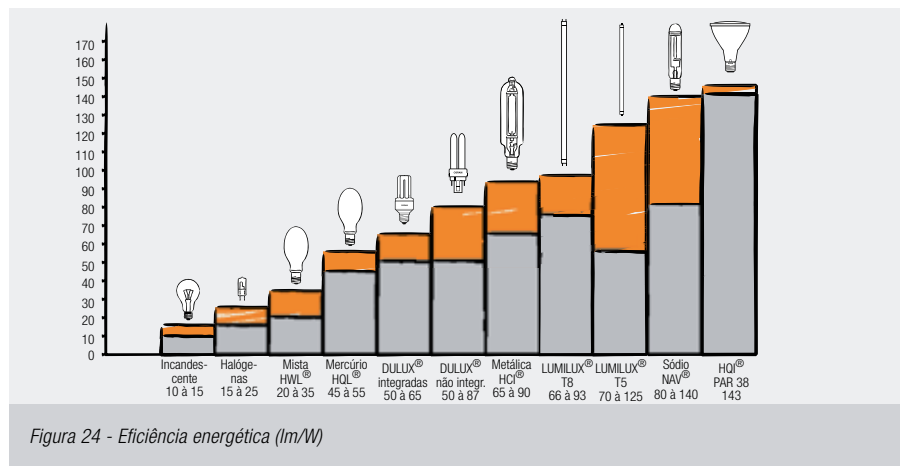


Figura 24 - Eficiência energética (lm/W)

xão 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).

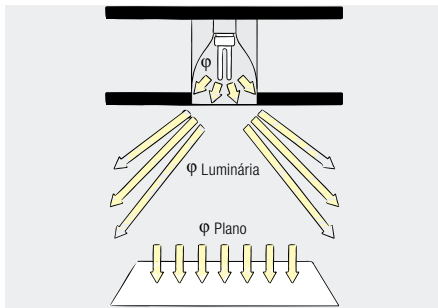


Figura 25:
Esquema de representação de Fluxos Luminosos.

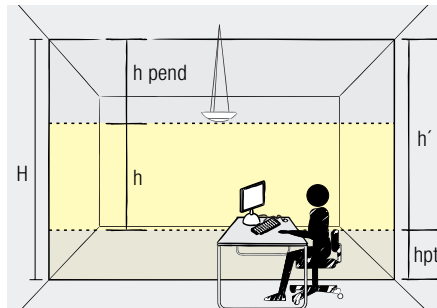


Figura 26 – Representação do Pé Direito Útil

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 pla-

no 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 emitido por uma lâmpada sofre influência do tipo de luminária e a conformação física do recinto onde ele se propagará.

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

Fator de Utilização

Símbolo: Fu

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 (Fu).

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

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)

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 (Fig. 27).

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

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 27 - Exemplo de tabela de Fator de Utilização de Luminária

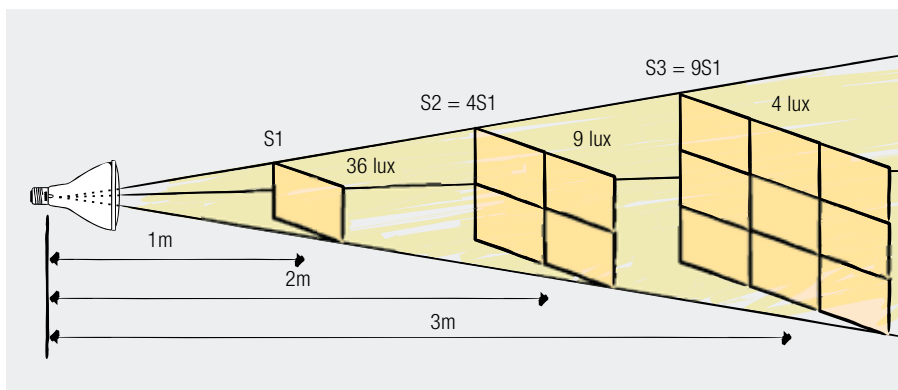


Figura 28 - Lei do inverso do quadrado da distância

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

4.6 Nível de Iluminância

Símbolo: E

Unidade: Lux (lm/m^2)

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/h^2) (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 (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 2 desta publicação (ABNT - NBR 5413).

¹Refletância ou Reflexão, vide anexo 3

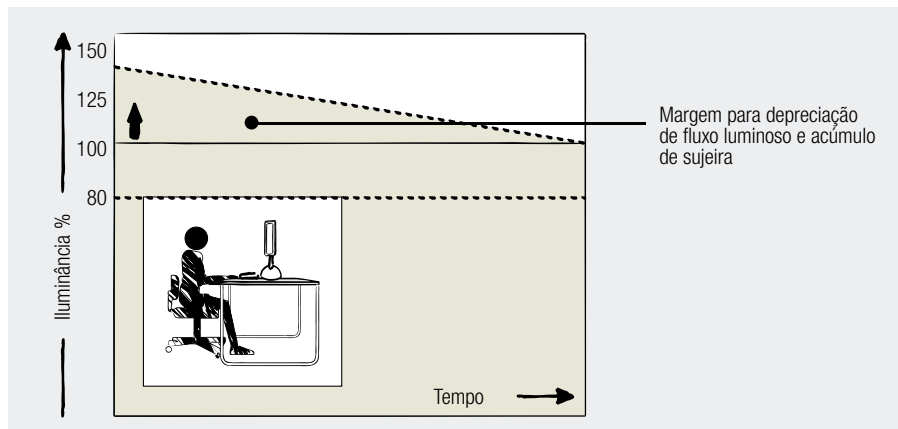


Figura 29 - Compensação da depreciação no cálculo da Iluminância Média (Fator de Depreciação) para ambientes com boa manutenção

4.6.1 Nível Adequado de Iluminância

Quanto mais elevada a exigência visual da atividade, maior deverá ser o valor da Iluminância Média (E_m) sobre o plano de trabalho. Deve-se consultar a norma NBR-5413 para definir o valor de E_m 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 (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.

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.

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