

# **LÂMPADAS ELÉTRICAS E LUMINOTÉCNICA**

# SUMÁRIO

1 - Introdução .....	1
2 - Conceitos Básicos de Luminotécnica .....	2
2.1 - Grandezas e Conceitos.....	4
Fluxo Luminoso .....	4
Intensidade Luminosa.....	4
Curva de Distribuição Luminosa .....	5
Iluminância (Iluminamento) .....	5
Luminância.....	6
3 - Lâmpadas Elétricas .....	7
3.1 - Lâmpadas Incandescentes .....	7
a) Lâmpada Incandescente Tradicional.....	8
Efeito da Variação da Tensão no Funcionamento das Lâmpadas Incandescentes .....	9
b) Lâmpada Incandescente Halógena .....	10
3.2 - Lâmpadas a Descarga.....	11
a) Lâmpadas a Descarga de Baixa Pressão .....	12
Lâmpadas Fluorescentes .....	12
Lâmpadas Fluorescentes Compactas .....	14
Lâmpadas de Vapor de Sódio de Baixa Pressão .....	14
b) Lâmpadas a Descarga de Alta Pressão .....	16
Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão .....	16
Lâmpada de Luz Mista .....	18
Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão .....	19
Lâmpadas de Vapor Metálico .....	20
3.3 - Características das lâmpadas.....	21
a) Vida Útil de uma Lâmpada .....	21
b) Eficiência Luminosa ou Energética.....	22
c) Temperatura de Cor .....	23
d) Índice de reprodução de cores .....	24
4 - Luminárias .....	25
Luminárias com refletor de chapa de aço pintada .....	26
Luminárias com refletor de alumínio.....	27
Luminárias com refletor de alumínio e aletas planas.....	28
Luminárias com refletor de alumínio e aletas parabólicas.....	29
Luminárias com difusor (translúcido ou leitoso) .....	30
5 - Reatores.....	30
6 - Fatores de Desempenho.....	32
6.1 - Fator ou Índice de Reflexão .....	33
6.2 - Eficiência de luminária (rendimento da luminária) ( $\eta_L$ ) .....	34
6.3 - Eficiência do Recinto ( $\eta_R$ ) .....	35
a) Índice do Recinto (K) .....	35
6.4 - Fator de Utilização ( $F_u$ ).....	36
6.5 - Fator de Fluxo Luminoso.....	37
6.6 - Fator de Depreciação ( $F_d$ ) .....	37
7 - Projeto de Iluminação.....	37
7.1 - Requisitos da Iluminação .....	38
a) Interiores de trabalho .....	38

b) Lojas, magazines e Salas de Exibições .....	39
c) Interiores Residenciais .....	39
d) Áreas de circulação .....	39
e) Áreas de trabalho externas .....	40
7.2 - Cálculo Luminotécnico .....	40
7.3 - Previsão de Carga (NBR 5410) .....	41
7.4 - Método dos Lúmens .....	41
a) Método Ponto a Ponto.....	47
8 - Referências Bibliográficas .....	51
Anexos .....	52

## 1 - Introdução

---

Desde o início da iluminação elétrica, há mais de cem anos, vêm sendo desenvolvidos sistemas cada vez mais aperfeiçoados de fontes de luz artificial, caracterizando-se principalmente por um aumento de sua durabilidade e eficiência [1].

Uma boa iluminação requer atenção a aspectos quantitativos e qualitativos da luz. A elaboração de um bom projeto luminotécnico deve considerar não apenas a quantidade de luz adequada a uma determinada atividade, mas também como essa luz é direcionada ao plano de interesse, a reprodução de cor e a aparência da luz e sua relação com as superfícies a serem iluminadas de modo a evitar ofuscamentos.

O objetivo principal de um bom projeto luminotécnico é criar ambientes visuais agradáveis que possibilitem a visualização dos objetos de forma apropriada, garantindo desempenho e segurança nas atividades a serem executadas, sem causar fadiga visual [2]. Desta forma, cada ambiente requer um tipo de iluminação específico para as condições próprias ao mesmo (cor das paredes, tipo de luminária, atividade principal do ambiente, localização dos pontos de luz, etc.), sendo os níveis mínimos de iluminamento indicados pela NBR 5413 [3]. Os valores especificados nesta norma garantem condições de segurança e de desempenho visual para as diversas atividades.

Na disciplina de instalações elétricas, inicialmente são apresentados os conceitos básicos de luminotécnica. Em seguida, os principais tipos de lâmpadas disponíveis atualmente são detalhados: lâmpadas incandescentes (convencionais e halógenas); lâmpadas de descarga (de baixa e de alta pressão) e lâmpadas de estado sólido (LEDs).

Por fim, através dos métodos mais utilizados para cálculo luminotécnico, o método dos lúmens e o método do ponto a ponto, são estabelecidos o tipo e o número de lâmpadas e luminárias necessárias para obtenção de uma iluminação adequada.

## 2 - Conceitos Básicos de Luminotécnica

**Luz** é uma radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual, ou seja, a luz é uma gama de radiações eletromagnéticas cujos comprimentos de onda são sensíveis ao olho humano. Qualquer comprimento de onda que se situa entre as radiações ultravioletas (380 nm) e as radiações infravermelhas (780 nm) são visíveis aos seres humanos, conforme indicado na Figura 1.

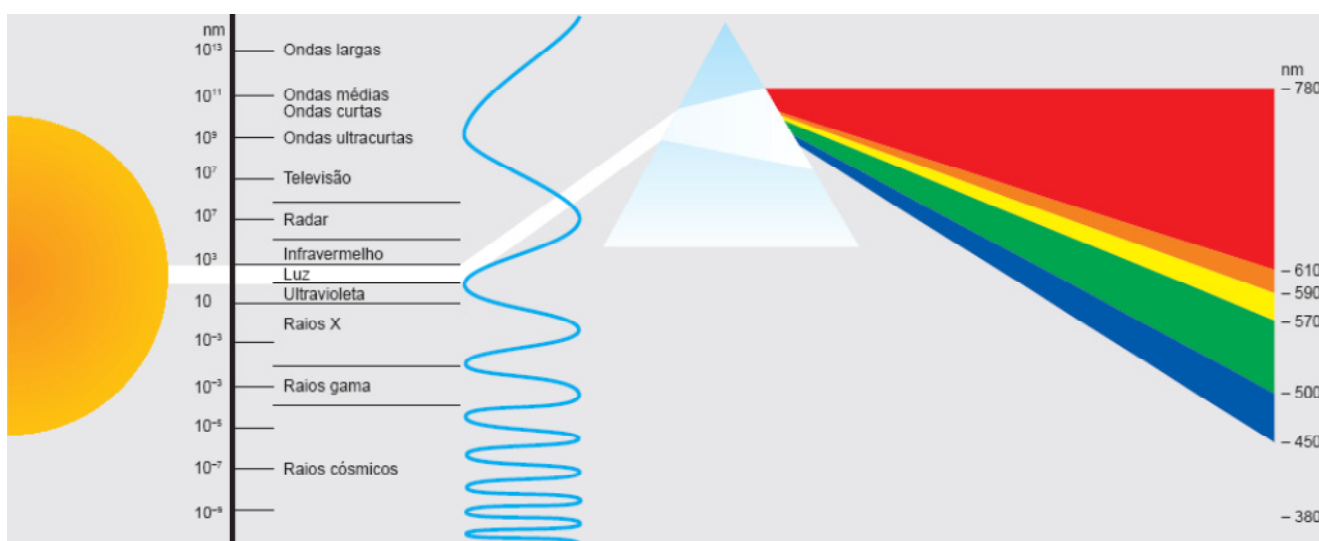


Figura 1 – Espectro eletromagnético.

A sensibilidade visual para a luz varia não somente de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade, conforme ilustrado pela Figura 2.

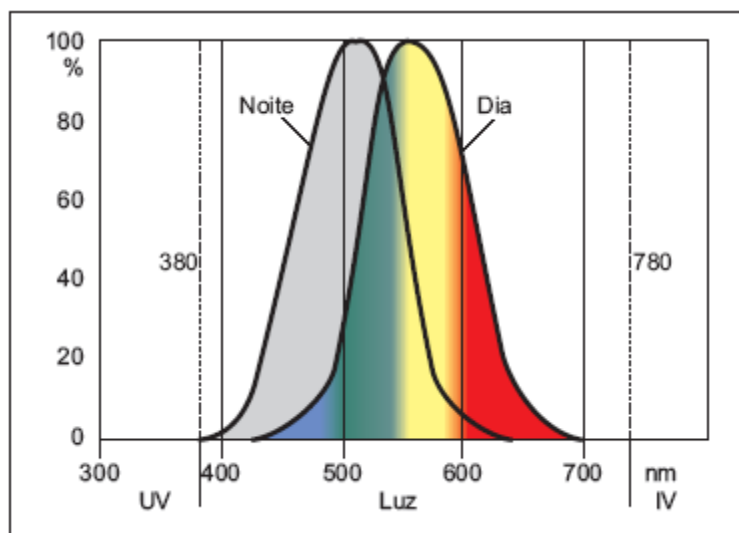


Figura 2 – Curva de sensibilidade do olho humano a radiações monocromáticas.

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.

Há uma tendência em pensarmos que os objetos já possuem cores definidas. Na verdade, a aparência de um objeto é resultado da iluminação incidente sobre o mesmo. Sob uma luz branca, a maçã aparenta ser de cor vermelha pois ela tende a refletir a porção do vermelho do espectro de radiação absorvendo a luz dos outros comprimentos de onda. Se utilizássemos um filtro para remover a porção do vermelho da fonte de luz, a maçã refletiria muito pouca luz parecendo totalmente negra. Os processos de avaliação da cor são fundamentados nas teorias de tricromaticidade, onde a luz é composta por três cores primárias. A combinação de duas cores primárias produz as cores secundárias - magenta, amarelo e cyan. 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”.



*Figura 3 – Composição das cores.*

## 2.1 - Grandezas e Conceitos

Luminotécnica é o estudo minucioso das técnicas das fontes de iluminação artificial, através da energia elétrica. Portanto, toda vez que se pensa em fazer um estudo das lâmpadas de um determinado ambiente, está se pensando em fazer um estudo luminotécnico. Na luminotécnica distinguem-se as seguintes grandezas:

### **Fluxo Luminoso**

Símbolo:  $\phi$

Unidade: lúmen [lm]

Fluxo Luminoso é a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda visíveis. Em outras palavras, é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. É a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direções.



Figura 4 – Fluxo luminoso.

### **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, cujo comprimento indica a *Intensidade Luminosa*. Portanto é o Fluxo Luminoso irradiado na direção de um determinado ponto.

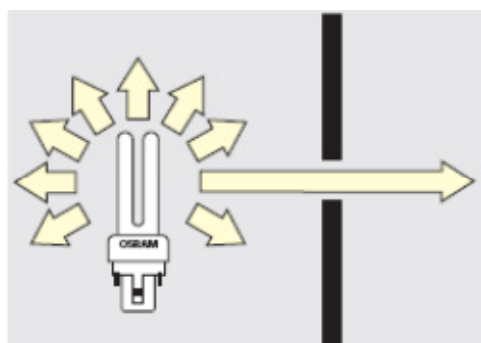


Figura 5 – Intensidade luminosa.

**Curva de Distribuição Luminosa**

Símbolo: CDL

Unidade: candela [cd]

Se num plano transversal à lâmpada, todos os vetores que dela se originam tiverem suas extremidades ligadas por um traço, obtém-se a Curva de Distribuição Luminosa (CDL). Em outras palavras, é a representação da Intensidade Luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano. Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar-se o valor encontrado na CDL pelo Fluxo Luminoso da lâmpada em questão e dividir o resultado por 1000 lm.

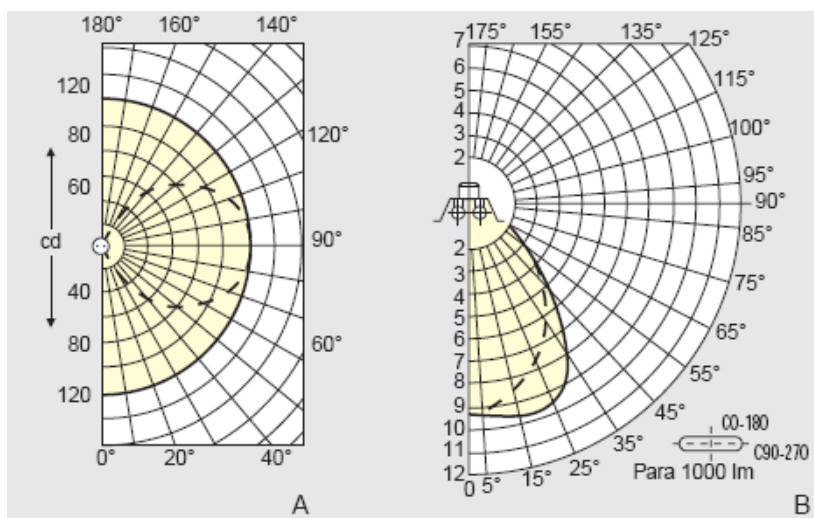


Figura 6 – Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).

**Iluminância (Iluminamento)**

Símbolo: E

Unidade: lux [lx]

É o fluxo luminoso que incide sobre uma superfície situada a certa distância da fonte, ou seja, é a quantidade de luz que está chegando em um ponto. Esta relação é dada entre a intensidade luminosa e o quadrado da distância, ou ainda, entre o fluxo luminoso e a área da superfície. Indica a quantidade de luz que atinge uma superfície por unidade de área.

$$E = \frac{\phi}{A} = \text{lm} / \text{m}^2 = \text{lux}$$

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. Desta forma, considera-se a iluminância média ( $E_m$ ) do ambiente avaliado. Existem normas especificando o valor mínimo de  $E_m$  (NBR 5413), para ambientes diferenciados pela atividade exercida relacionados ao conforto visual. A iluminância também é conhecida como nível de iluminação.



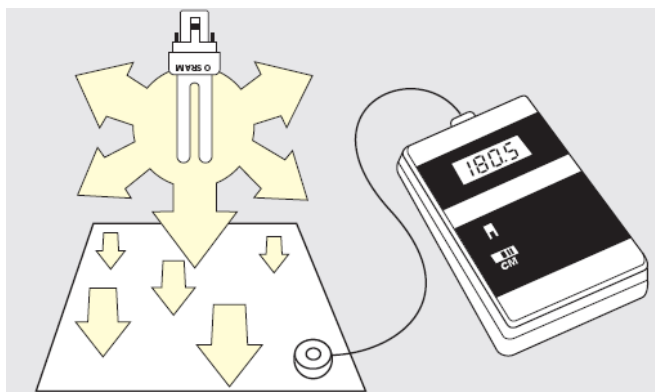


Figura 7 – Iluminância medida por um luxímetro.

### Luminância

Símbolo: L

Unidade: [cd/m<sup>2</sup>]

Das grandezas mencionadas, nenhuma é visível, isto é, os raios de luz não são vistos, a menos que sejam refletidos em uma superfície e aí transmitam a sensação de claridade aos olhos. Essa sensação de claridade é chamada de *Luminância*. Em outras palavras, é o brilho ou intensidade luminosa de uma fonte de luz emitida ou refletida por uma superfície iluminada em direção ao olho humano. Relativa à luz refletida, visível. A luminância depende tanto do nível de iluminação ou iluminância quanto das características de reflexão das superfícies. A equação que permite sua determinação é:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} = \text{cd} / \text{m}^2$$

Figura 8 – Luminância.

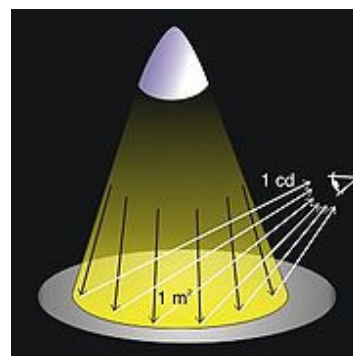
Onde:

L = Luminância

I = Intensidade Luminosa

A = área projetada

$\alpha$  = ângulo considerado, em graus.



A Luminância de uma fonte luminosa ou de uma superfície luminosa estabelece a reação visual da vista. Quando a luz de uma fonte ou de uma superfície que reflete a luz, atinge a vista com elevada Luminância, então ocorre o **ofuscamento**. Portanto, o ofuscamento é geralmente causado pelo brilho excessivo de luminárias e janelas, isto é, luminâncias excessivas, ou por contrastes elevados no campo visual. Pode ser direto ou refletido. É muito importante evitar o ofuscamento para evitar erros, fadiga e acidentes. As luminâncias preferenciais em um ambiente de trabalho podem variar entre as pessoas, principalmente se estiverem desenvolvendo tarefas diferentes. O melhor conceito de iluminância talvez seja “densidade de luz necessária para realização de uma determinada tarefa visual”. Isto permite supor que existe um valor ótimo de luz para quantificar um projeto de iluminação. Esses valores relativos a iluminância foram tabelados por atividade.

### 3 - Lâmpadas Elétricas

---

As lâmpadas comerciais utilizadas para iluminação são caracterizadas pela potência elétrica absorvida (W), fluxo luminoso produzido (lm), temperatura de cor (K) e índice de reprodução de cor (IRC). Em geral as lâmpadas são classificadas, de acordo com o seu mecanismo básico de produção de luz. Aquelas com filamento convencional ou halógenas produzem luz pela incandescência, assim como o sol. As de descarga aproveitam a luminescência, assim como os relâmpagos e as descargas atmosféricas. E os diodos utilizam a fotoluminescência, assim como os vaga-lumes [4].

Existem ainda as lâmpadas mistas, que combinam incandescência e luminescência, e as fluorescentes, cuja característica é o aproveitamento da luminescência e da fotoluminescência.

Os aspectos eficiência luminosa e vida útil são os que mais contribuem para a eficiência energética de um sistema de iluminação artificial e devem, portanto, merecer grande atenção, seja na elaboração de projetos e reformas, seja na implantação de programas de conservação e uso eficiente de energia.

#### 3.1 - Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente foi a primeira a ser desenvolvida e ainda hoje é uma das mais difundidas. A luz é produzida por um filamento aquecido pela passagem de corrente elétrica alternada ou contínua. O filamento opera em uma temperatura elevada e a luz é somente uma parcela da energia irradiada pela transição de elétrons excitados para órbitas de maior energia devido à vibração dos átomos.

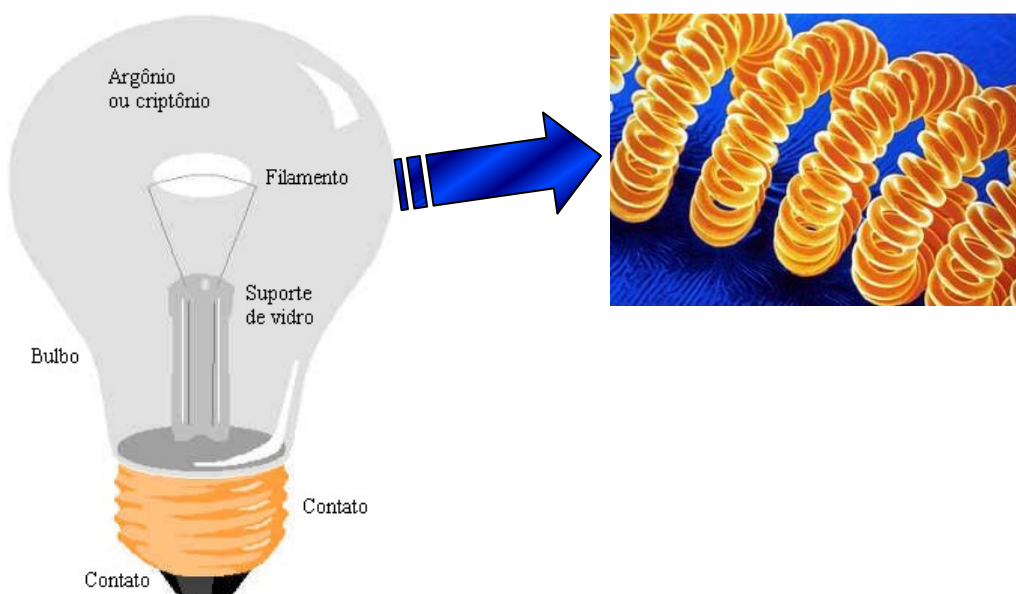
Em 1879, Thomaz A. Edison realizou a primeira lâmpada incandescente praticamente utilizável [5]. As primeiras lâmpadas incandescentes utilizavam filamento de bambu carbonizado no interior de um bulbo de vidro a vácuo. Seguiram-se as lâmpadas com filamento de carbono, até que, em 1911, com o desenvolvimento da trefilação do tungstênio combinadas com as características de emissão, as propriedades mecânicas e o elevado ponto de fusão (3.655 K) foram determinantes na escolha do

tungstênio como o material mais adequado para fabricação de filamentos para lâmpadas incandescentes.

As lâmpadas incandescentes podem ser classificadas de acordo com a sua estrutura interna em convencionais ou halógenas, abordadas neste subitem.

#### **a) Lâmpada Incandescente Tradicional**

A lâmpada funciona através da passagem de corrente elétrica pelo filamento de tungstênio que, com o aquecimento (efeito Joule), gera luz. Este filamento é sustentado por três ou quatro suportes de molibdênio no interior de um bulbo de vidro alcalino (suporta temperaturas de até 370 °C) ou de vidro duro (suporta temperaturas de até 470 °C). Sua oxidação é evitada pela presença de gás inerte (nitrogênio misturado com argônio ou criptônio) ou pela presença de vácuo dentro do bulbo que contém o filamento. O bulbo apresenta diversos formatos, sendo a forma de pêra a mais comum, podendo ser transparente ou com revestimento interno de fósforo neutro difusor.



*Figura 9 – Lâmpada incandescente tradicional*

A eficácia luminosa resultante cresce com a potência da lâmpada, variando de 7 a 15 lm/W. Estes valores são relativamente baixos, quando comparados com lâmpadas de descarga com fluxo

luminoso semelhante. No entanto, esta limitação é compensada, pois possui temperatura de cor agradável, na faixa de 2.700K (amarelada) e índice de reprodução de cores de 100%.

A resistência específica do tungstênio na temperatura de funcionamento da lâmpada (2.800 K) é aproximadamente 15 vezes maior do que à temperatura ambiente (25 °C). Portanto, ao ligar uma lâmpada incandescente, a corrente que circula pelo seu filamento a frio é quinze vezes a corrente nominal de funcionamento em regime. Ligações muito freqüentes reduzem a vida útil da lâmpada, pois a corrente de partida causa aquecimento excessivo e localizado nos pontos onde a seção do filamento apresenta constrições, provocando seu rompimento. A vida útil de uma lâmpada incandescente comercial é da ordem de 1000 horas.

### **Efeito da Variação da Tensão no Funcionamento das Lâmpadas Incandescentes**

A tensão de alimentação atua diretamente sobre a temperatura do filamento que, por sua vez, determina a vida útil da lâmpada incandescente. Quando uma lâmpada incandescente é submetida a uma sobretensão, a temperatura de seu filamento, sua eficiência, potência absorvida, fluxo luminoso e corrente crescem, ao passo que sua vida se reduz drasticamente. As variações podem ser calculadas pelas seguintes expressões empíricas:

$$\frac{\phi}{\phi_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{3,38}$$

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{1,54}$$

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{-13,1}$$

onde:  $\phi$  : fluxo luminoso

V: tensão

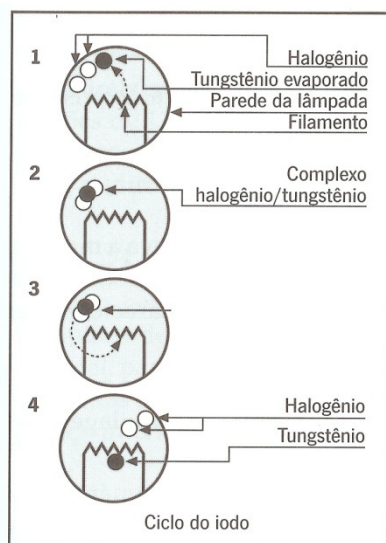
P: potência elétrica

L: vida útil

Obs.: os valores com sub-índice 0, são os valores nominais.

EXEMPLO: Seja uma lâmpada incandescente de 100 W, 1500 lumens e vida de 1000 horas, cuja tensão nominal é de 220 V. Calcule a expectativa de vida útil desta lâmpada quando suprida por uma tensão de 240 V.

## b) Lâmpada Incandescente Halógena



A lâmpada halógena usa o mesmo princípio da incandescente, mas o gás de enchimento é em geral criptônio ou xenônio com traços de um elemento halogênio (normalmente bromo ou iodo). O halogênio tem a propriedade de combinar com os átomos do tungstênio evaporado e depositá-los no filamento, ou seja, um processo de reciclagem. Assim, a temperatura de trabalho pode ser mais alta, para aumentar a parcela de luz visível e, por consequência, a eficiência. Os bulbos são menores, mais próximos

do filamento e em vidro de quartzo para suportar as temperaturas mais altas e também as pressões, que podem chegar até 25 bar. O resultado é uma lâmpada com vantagens adicionais, comparada às incandescentes tradicionais:

- Luz mais branca, brilhante e uniforme durante toda a vida;
- Maior eficiência energética (15 lm/W a 25 lm/W);
- Vida útil mais longa, variando de 2000 a 4000 horas;
- Dimensões menores, da ordem de 10 a 100 vezes.

A Figura 10 ilustra uma lâmpada halógena com refletor dicróico muito utilizada para decoração em ambientes residenciais.

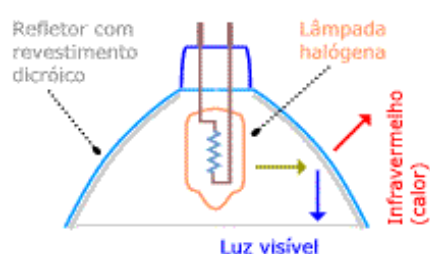


Figura 10 – Lâmpada incandescente halógena com refletor dicróico.

Lâmpadas halógenas emitem mais radiação ultravioleta que as lâmpadas incandescentes normais, porém os níveis são inferiores aos presentes na luz solar, não oferecendo perigo à saúde. No entanto, deve-se evitar a exposição prolongada das partes sensíveis do corpo à luz direta e concentrada.

### **3.2 - Lâmpadas a Descarga**

As modernas lâmpadas de descarga são constituídas por um tubo contendo gases ou vapores, através dos quais se estabelece um arco elétrico. Os gases mais utilizados são o argônio, o neônio, o xenônio, o hélio ou o criptônio e os vapores de mercúrio e sódio com alguns aditivos. A pressão do gás ou vapor dentro do bulbo pode variar desde fração de atmosfera até dezenas de atmosferas. Daí podemos classificar as lâmpadas como de baixa, média e alta pressão. As lâmpadas de neônio (anúncios de gás neônio) e as fluorescentes são lâmpadas de baixa pressão. As lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio, iodeto metálico e gás xenônio são de alta pressão.

A mistura gasosa encontra-se confinada em um invólucro translúcido (tubo de descarga) em cujas extremidades encontram-se inseridos eletrodos (hastes metálicas ou filamentos) que formam a interface entre a descarga e o circuito elétrico de alimentação. A corrente elétrica através da descarga é formada majoritariamente por elétrons emitidos pelo eletrodo negativo (catodo) que são acelerados por uma diferença de potencial externa em direção ao eletrodo positivo (anodo) gerando colisões com os átomos do vapor metálico.

Portanto, inicialmente é necessário um processo de ignição para o rompimento da rigidez dielétrica da coluna gasosa. Quando da ocorrência da descarga elétrica, os elétrons livres emitidos por um eletrodo (cátodo) se dirigem ao outro eletrodo (ânodo). No caminho, eles poderão colidir com um átomo do gás ou vapor contido no bulbo, de modo a retirar-lhe um elétron da órbita interna, passando-o para uma órbita mais externa (excitando o átomo). O retorno deste elétron à sua órbita original emite um fóton (energia radiante).

Nas lâmpadas com revestimento fluorescente, o fluxo luminoso provém diretamente da descarga elétrica nos gases ou vapores. Já nas lâmpadas com revestimento fluorescente, a maior parte do fluxo visível provém deste revestimento, que é excitado pelas radiações ultravioletas produzidas pela descarga elétrica no vapor de mercúrio.

Para que a descarga elétrica se inicie, é necessário que a diferença de potencial entre os eletrodos seja elevada. Assim, este tipo de lâmpada necessita de um equipamento auxiliar (reatores, ignitores, transformadores), seja para produzir pulsos de tensão necessários à partida, seja para estabilizar o valor da intensidade de corrente na descarga em regime permanente, ou mesmo para adaptar as características elétricas da lâmpada aos valores nominais da fonte de alimentação.

O reator é interface entre uma lâmpada de descarga e a rede elétrica, sendo composto por um circuito eletromagnético ou eletrônico.

### **a) Lâmpadas a Descarga de Baixa Pressão**

Existem basicamente dois tipos de lâmpadas comerciais: as lâmpadas de descarga de baixa pressão de vapor de mercúrio, conhecidas como lâmpadas fluorescentes, e as lâmpadas de descarga de baixa pressão de vapor de sódio.

#### **Lâmpadas Fluorescentes**

As lâmpadas fluorescentes são as lâmpadas de descarga gasosa a baixa pressão mais conhecidas. As lâmpadas podem ser tubulares ou compactas (de diversas formas: simples, dupla, tripla, longa, flat, etc.) e consistem de um tubo de vidro com eletrodos em cada extremidade, contendo vapor de mercúrio e uma pequena quantidade de gás inerte, geralmente o argônio a baixa pressão para acender a lâmpada. Desenvolvida na década de 1940 e conhecida comercialmente como lâmpada tubular fluorescente em função da geometria do seu tubo de descarga, este tipo de lâmpada encontra aplicações em praticamente todos os campos de iluminação. O tubo de descarga, de vidro transparente, é revestido internamente com uma camada de pó branco, genericamente conhecido como "fósforo".

O "fósforo" atua como um conversor de radiação, ou seja, absorve um comprimento de onda específico de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível.

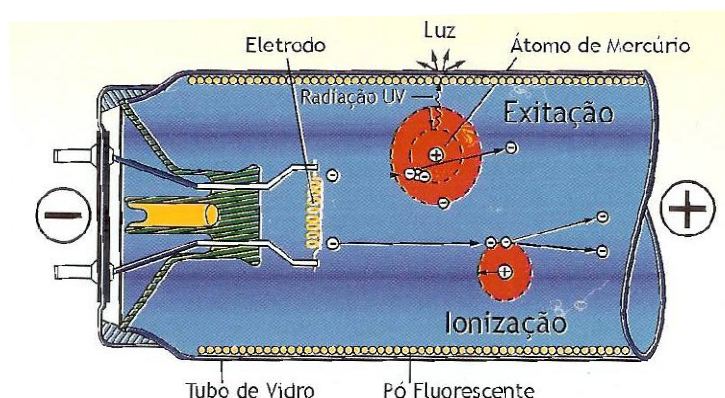


Figura 11 – Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma LF tubular.

As lâmpadas fluorescentes tubulares comercialmente disponíveis utilizam bulbos de vidro transparente, designados por uma letra T (de tubular) seguida de um número que indica o seu diâmetro máximo em oitavos de polegada. Por exemplo, T12 significa um bulbo tubular com diâmetro de 12/8 polegadas.

As lâmpadas fluorescentes podem possuir diferentes temperaturas de cor e índices de reprodução de cor dependendo da composição química do fósforo. As lâmpadas com pó trifósforo apresentam ganhos significativos quanto à reprodução de cor e eficiência luminosa quando comparadas às lâmpadas com pó halofosfato.

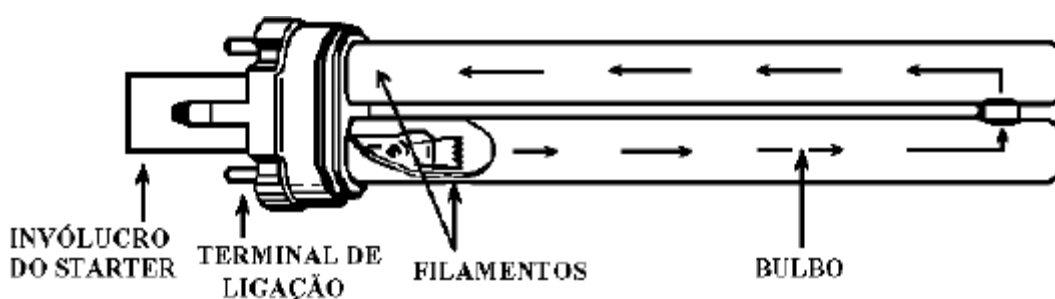
As lâmpadas de nova geração utilizam um tubo com diâmetro menor (T8 em vez de T12) e o custo mais elevado do tri-fósforo é compensado pelo aumento de eficiência resultante. São utilizadas para iluminação de interiores em instalações comerciais, industriais e residenciais. Não oferecem riscos à saúde, pois a quase totalidade da radiação ultravioleta emitida pela descarga é absorvida pelo pó fluorescente e pelo vidro do tubo de descarga.



### **Lâmpadas Fluorescentes Compactas**

A lâmpada fluorescente compacta LFC ou CFL (“Compact Fluorescent Lamp”) foi introduzida no mercado no início da década de 1980 para substituir a lâmpada incandescente. Estas lâmpadas apresentam alguns detalhes construtivos que as diferenciam das lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais, porém, seu princípio de funcionamento é idêntico.

A Figura 12 apresenta uma lâmpada fluorescente com dois tubos independentes, mostrando um de seus filamentos e o percurso da descarga no interior da lâmpada.



*Figura 12 – Lâmpada fluorescente compacta.*

### **Lâmpadas de Vapor de Sódio de Baixa Pressão**

A energia emitida concentra-se, na maior parte, em duas linhas próximas de ressonância, com comprimentos de onda de 589,0 e 589,6 nm. Como esses comprimentos de onda são próximos daquele para o qual a vista humana apresenta um máximo de acuidade visual, elas possuem grande eficiência luminosa.

A pressão do vapor dentro do tubo de arco desempenha um papel importante. Com a pressão muito baixa haverá poucos átomos de sódio na descarga que se deseja excitar, ao passo que, pressões demasiadamente elevadas, grande parte da radiação de ressonância do átomo de sódio se perde, por auto-absorção na própria descarga.

Sua composição espectral, sendo quase monocromática (luz amarela), distorce as cores, impedindo seu uso em iluminação interior. Devido a sua alta eficiência luminosa, são particularmente aplicáveis na iluminação de ruas com pouco tráfego de pedestres, túneis e auto-estradas.

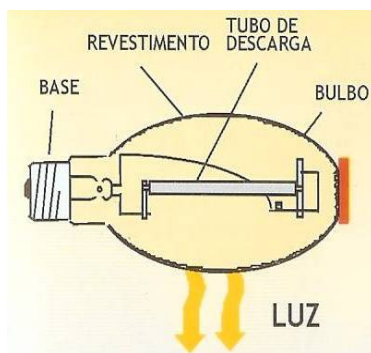


Figura 13 – Lâmpada vapor de sódio.

Constam de um tubo de descarga interno que contem gás neônio e 0,5% de argônio em baixa pressão, para facilitar a partida da lâmpada, e uma certa quantidade de sódio metálico, que será vaporizado durante o funcionamento. Nas extremidades encontram-se os eletrodos recobertos com óxidos emissores de elétrons.

Durante a partida, a descarga elétrica inicia-se no gás neônio (provocando a pequena produção de um fluxo luminoso de cor rosa), produzindo uma elevação de temperatura que progressivamente causa a vaporização do sódio metálico. Dentro de aproximadamente 15 minutos, a lâmpada adquire sua condição normal de funcionamento, produzindo um fluxo luminoso amarelo, característico da descarga no vapor de sódio.

A eficiência luminosa das lâmpadas vapor de sódio de baixa pressão, do tipo tradicional, é da ordem de 100 lm/W, e sua vida de 6.000 h. Como todas as lâmpadas de descarga elétrica exigem um reator e como seu fator de potência é extremamente baixo ( $\cos \phi \approx 0,35$ ), é necessário um capacitor para corrigi-lo.

Nos últimos anos, os fabricantes de lâmpadas elétricas têm lançado no mercado novas linhas de lâmpadas de vapor de sódio com elevadíssimas eficiências luminosas (180 lm/W para uma lâmpada de 180 W) e vida bem mais longa (18.000 h). Conseguiu-se esse aumento de eficiência revestindo-se a face interior da camisa de vácuo com uma camada refletora infravermelha de óxido de Índio que, refletindo a radiação infravermelha produzida na descarga novamente sobre o bulbo interno, permite que sua temperatura ideal (260°C) seja mantida com menos intensidade de corrente no arco

elétrico. Por outro lado, a transmitância dessa camada à luz é elevada, absorvendo pouco do fluxo luminoso produzido na descarga.

Com esses aperfeiçoamentos e com a atual crise mundial de energia, a lâmpada de sódio de baixa pressão torna-se opção atraente na iluminação de locais onde não existam problemas de reprodução de cores.

### **b) Lâmpadas a Descarga de Alta Pressão**

As lâmpadas à descarga de alta pressão, também conhecidas como lâmpadas HID (High Intensity Discharge) utilizam vapores metálicos (em geral mercúrio e/ou sódio) a pressões da ordem de 1 a 10 atmosferas e operam com uma densidade de potência de arco da ordem de 20 a 200 W/cm. Existem basicamente três tipos básicos de lâmpadas comerciais: a) a lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão; b) a lâmpada de sódio de alta pressão, e c) as lâmpadas de alta pressão de vapores metálicos.

#### **Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão**

A lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão HPM (High Pressure Mercury), é constituída de um tubo de descarga transparente, de dimensões reduzidas inserido em um bulbo de vidro, revestido internamente com uma camada de "fósforo" para correção do índice de reprodução de cor.

O tubo de descarga contém vapor de mercúrio à pressão de 2 a 4 atmosferas e argônio a 0.03 atmosferas. O argônio atua como gás de partida, reduzindo a tensão de ignição e gerando calor para vaporizar o mercúrio. O tubo de descarga é de quartzo para suportar temperaturas superiores a 340°C e evitar absorção da radiação ultravioleta emitida pela descarga.

O bulbo de vidro transparente, com formato ovóide, contém nitrogênio, formando uma atmosfera protetora para: reduzir a oxidação de partes metálicas, limitar a intensidade da radiação ultravioleta que atinge o revestimento de "fósforo" e melhorar as características de isolamento térmica.

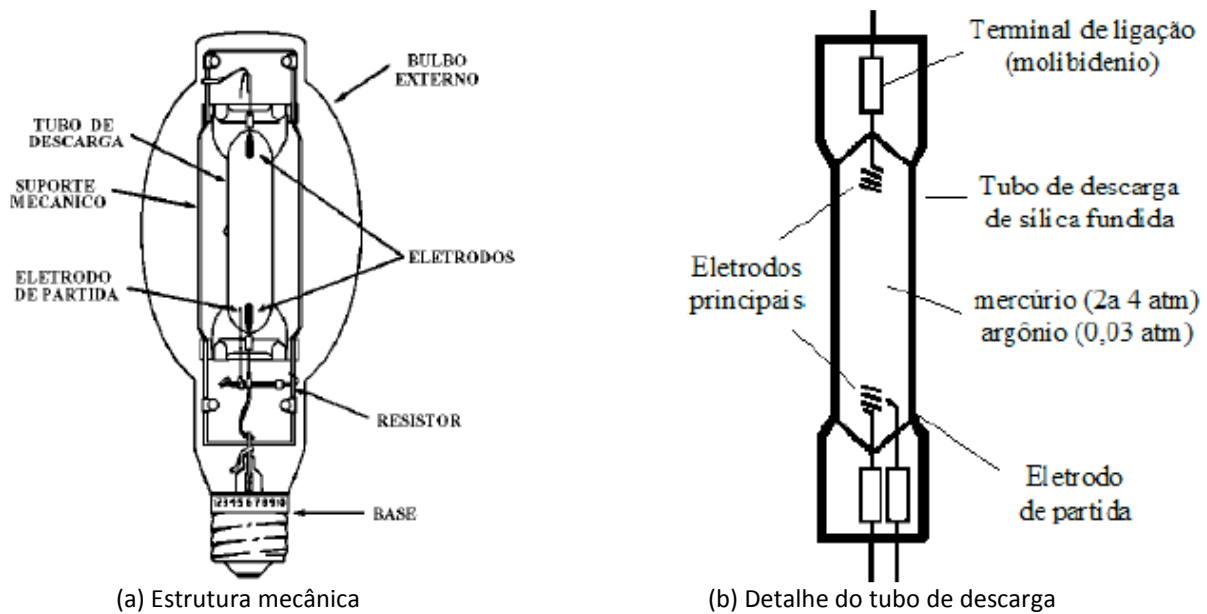


Figura 14 – Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão

A estabilização da descarga é realizada através de um reator indutivo. A tensão C.A. da rede é suficientemente elevada para realizar a ignição da descarga de argônio entre o eletrodo auxiliar e o principal adjacente, que vaporiza o mercúrio líquido e produz íons necessários para estabelecer o arco entre os eletrodos principais. Após a ignição do arco principal, a queda de tensão sobre o resistor de partida reduz a diferença de potencial entre os eletrodos auxiliar e principal adjacente, extinguindo o arco entre ambos.

A tensão de ignição da lâmpada aumenta com a pressão do vapor de mercúrio, ou seja, com a temperatura do tubo de descarga. Quando se desliga uma lâmpada alimentada por um reator indutivo convencional, a sua reignição só é possível após 3 a 5 minutos, intervalo de tempo necessário para o esfriamento da lâmpada e conseqüente queda de pressão.

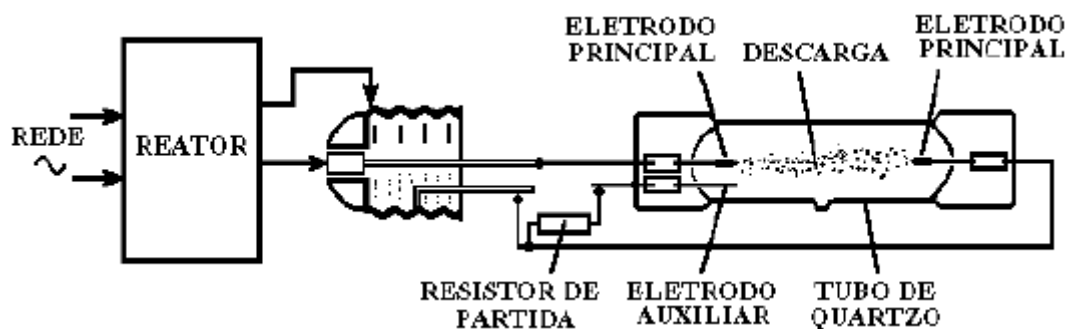


Figura 15 – Reator para lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão

Nos instantes iniciais da descarga, a lâmpada emite uma luz verde clara. A intensidade luminosa aumenta gradativamente até estabilizar-se após 6 a 7 minutos, quando a luz se torna branca com uma tonalidade levemente esverdeada.

A descarga de mercúrio no tubo de arco produz uma energia visível na região do azul e do ultravioleta. O fósforo, que reveste o bulbo, converte o ultravioleta em luz visível na região do vermelho. O resultado é uma luz de boa reprodução de cores com eficiência luminosa de até 60 lm/W.

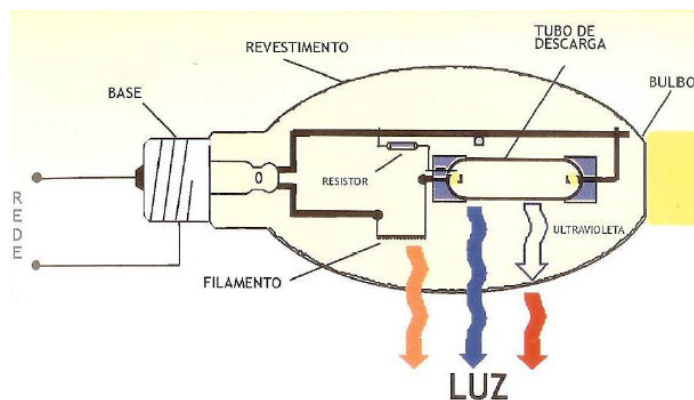
É importante salientar que devido à emissão de ultravioleta, caso a lâmpada tenha seu bulbo quebrado ou esteja sem o revestimento de fósforo, deve-se desligá-la, pois o ultravioleta é prejudicial à saúde, principalmente em contato com a pele ou os olhos.

A lâmpada de mercúrio apresenta fluxo luminoso elevado e vida útil longa, porém, a sua eficácia luminosa é relativamente baixa. Este tipo de lâmpada é utilizado em sistemas de iluminação de exteriores, em especial, na iluminação pública urbana.

### **Lâmpada de Luz Mista**

As lâmpadas de luz mista, como o próprio nome já diz, são uma combinação de uma lâmpada vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente, ou seja, um tubo de descarga de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente. O filamento controla a corrente no tubo de arco e ao mesmo tempo contribui com a produção de 20% do total do fluxo luminoso produzido. A combinação da radiação do mercúrio com a radiação do fósforo e a radiação do filamento incandescente, produz uma agradável luz branca.

As principais características da luz mista são: substituir diretamente as lâmpadas incandescentes em 220 V, não necessitando de equipamentos auxiliares (reator, ignitor e starter) e possuir maior eficiência e vida média 8 vezes maior que as incandescentes.



*Figura 16 – Lâmpada de luz mista*

Este tipo de lâmpada apresenta um índice de reprodução de cor variando de 50 a 70, porém sua eficácia luminosa é baixa em razão da potência dissipada no filamento, que determina a sua vida útil, em geral de 6.000 horas a 10.000 horas.

Esta lâmpada é utilizada no Brasil em sistemas de iluminação de interiores no setor comercial em substituição às lâmpadas incandescentes.

### **Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão**

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão HPS (“High Pressure Sodium”), é constituída de um tubo de descarga cilíndrico e translúcido, com um eletrodo em cada extremidade. O tubo de descarga é sustentado por uma estrutura mecânica, sob vácuo, no interior em um bulbo de vidro borossilicado, com formato tubular ou elipsoidal.

Em lâmpadas convencionais, o tubo de descarga contém vapor de sódio a pressão de 0.13 atmosferas, vapor de mercúrio a pressão de 0.5 a 2 atmosferas e xenônio, que atua como gás de partida, gerando calor para vaporizar o mercúrio e o sódio. O mercúrio, na forma de vapor e a uma pressão significativamente superior ao sódio, reduz a perda por calor e eleva a tensão de arco da lâmpada.

O eletrodo é construtivamente similar ao da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão.

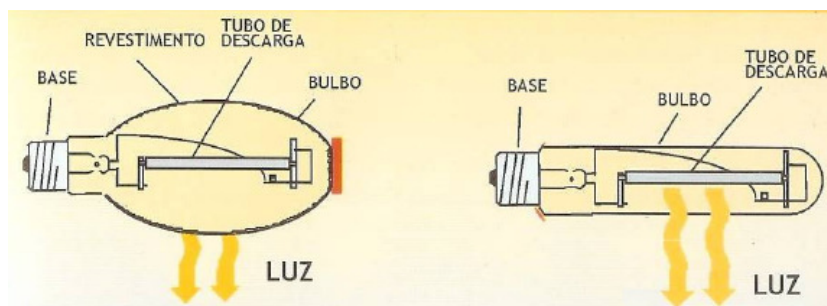


Figura 17 – Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão

O bulbo das lâmpadas HPS é em geral transparente ou apresenta um revestimento de “fósforo” neutro para tornar a superfície difusa, sem alterar a distribuição espectral da luz emitida. A lâmpada de vapor de sódio convencional apresenta, em geral, um baixo índice de reprodução de cor ( $CRI \approx 20$ ), porém, uma elevada eficácia luminosa (120 lm/W para a lâmpada de 400 W) e vida útil longa (24.000 horas). No entanto, existem lâmpadas especiais que apresentam um elevado índice de reprodução de cor ( $CRI = 85$ ), porém, com uma eficácia luminosa de 80 lm/W.

Para a estabilização da lâmpada, utilizam-se reatores indutivos do mesmo tipo usado em lâmpadas de vapor de mercúrio. Nas lâmpadas HPS convencionais, esta função é desempenhada por um dispositivo externo à lâmpada, conhecido por ignitor.

Quando se desliga uma lâmpada HPS alimentada por um reator indutivo com ignitor convencional, a sua reignição só é possível após 3 a 7 minutos, intervalo de tempo necessário para o esfriamento da lâmpada.

É indicada para iluminação de locais onde a reprodução de cor não é um fator importante.

### **Lâmpadas de Vapor Metálico**

A lâmpada de vapor metálico HPMH (High Pressure Metal Halide) é construtivamente semelhante à lâmpada de mercúrio de alta pressão, ou seja, utiliza um tubo de descarga de sílica fundida inserida no interior de um bulbo de quartzo transparente. Os modelos mais comuns são do tipo lapiseira.

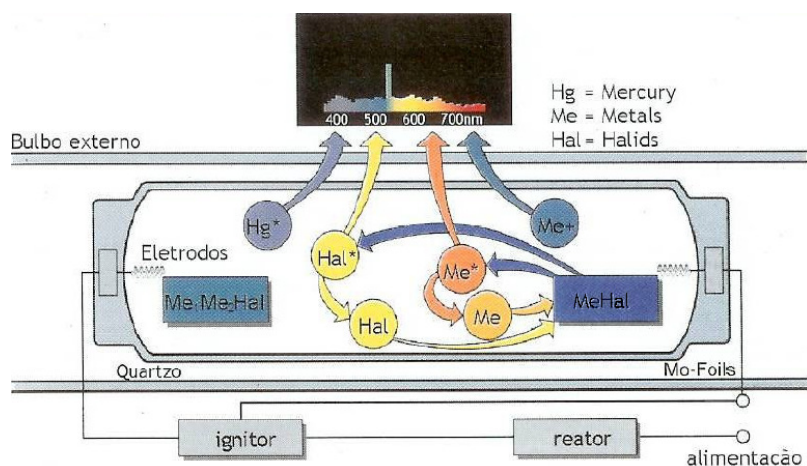


Figura 18 – Lâmpada de vapor metálico

O tubo de descarga contém vapor de mercúrio, um gás para ignição (argônio) e haletos metálicos. A temperatura de vaporização dos metais é em geral superior à máxima temperatura suportável pelo material do tubo de descarga. Já o metal na forma de um haleto vaporiza a uma temperatura significativamente inferior. Geralmente utilizam-se iodetos, pois são quimicamente menos reativos. A adição de metais introduz raios no espectro que melhoram as características de reprodução de cores da lâmpada. Um ciclo regenerativo similar ao das lâmpadas incandescentes halógenas ocorre nas lâmpadas HPMH.

As lâmpadas de vapor metálico apresentam uma eficácia luminosa de 65 a 100 lm/W e um índice de reprodução de cores superior a 80. A sua vida útil é em geral inferior a 8.000 horas. São comercialmente disponíveis lâmpadas de 70 W a 2.000 W, sendo utilizadas em aplicações onde a reprodução de cores é determinante, como por exemplo, em estúdios cinematográficos, iluminação de vitrines e na iluminação de eventos com transmissão pela televisão.

### 3.3 - Características das lâmpadas

#### a) Vida Útil de uma Lâmpada

É definida pela média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada ensaiada e é dado em horas.





Figura 19 – Gráfico da vida útil dos principais tipos de lâmpadas.

## b) Eficiência Luminosa ou Energética

Símbolo:  $\eta_w$  (ou K, conforme IES)

Unidade: lm/W

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes Fluxos Luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por watt absorvido, ou seja, a razão entre o fluxo luminoso total emitido  $\phi$  e a potência elétrica total  $P$  consumida pela mesma. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência Energética (antigo “Rendimento Luminoso”).

É útil para averiguarmos se um determinado tipo de lâmpada é mais ou menos eficiente do que outro. A Eficiência Luminosa é um indicador da eficiência do processo de emissão de luz utilizada sob o ponto de vista do aproveitamento energético.

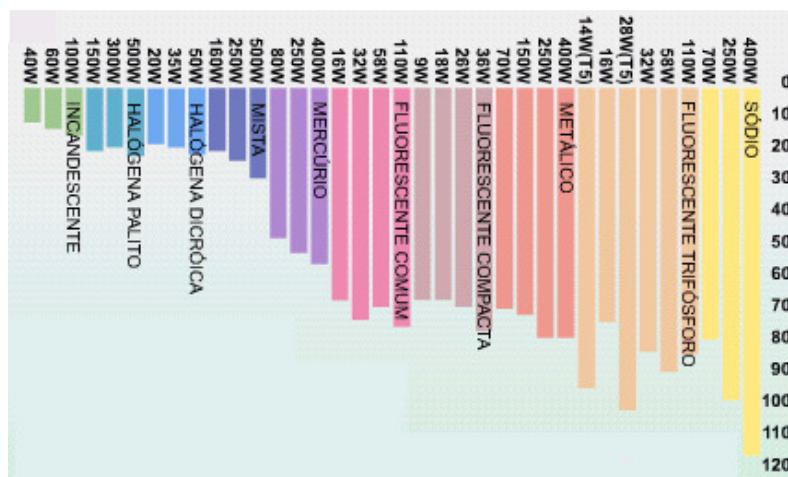


Figura 20 – Gráfico da Eficiência Energética dos principais tipos de lâmpadas .

### c) Temperatura de Cor

Símbolo: T

Unidade: K (Kelvin)

Em aspecto visual admite-se que é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de Tonalidade de Cor de diversas lâmpadas. Para estipular um parâmetro, foi definido o critério Temperatura de Cor (Kelvin) para classificar a luz. Assim como um corpo metálico que, em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco, quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a Temperatura de Cor (aproximadamente 6.500K). A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2.700 K. É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na Eficiência Energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada.

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



Figura 21 – Tonalidade de Cor.

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. A Figura 22 apresenta a área de conforto luminoso de acordo com estes estudos.

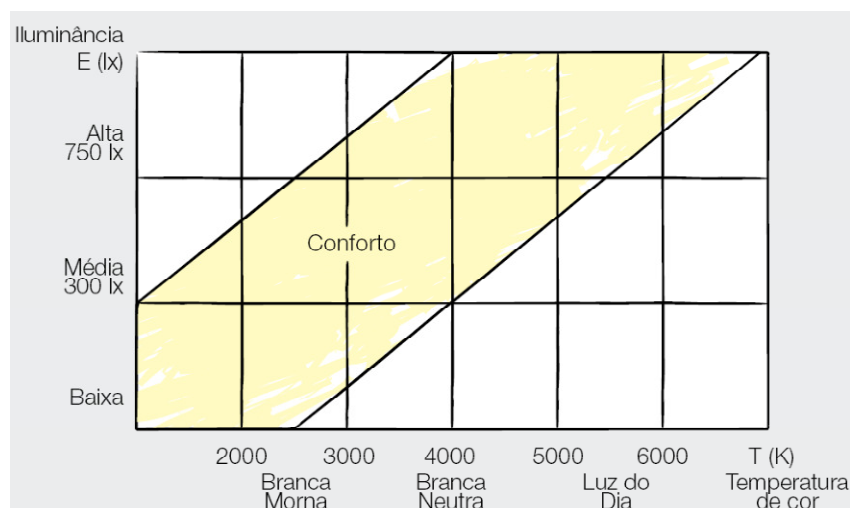


Figura 22 – Relação de conforto luminoso entre nível de Iluminância e Tonalidade de Cor da lâmpada (Osram).

#### d) Índice de reprodução de cores

Símbolo: IRC ou Ra      Unidade: R

Objetos iluminados podem nos parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade. As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através de um outro conceito, Reprodução de Cores, e de sua escala qualitativa Índice de Reprodução de Cores (Ra ou IRC). O mesmo metal sólido, quando aquecido até irradiar luz, foi utilizado como referência para se estabelecer níveis de Reprodução de Cor. Define-se que o IRC neste caso seria um número ideal = 100. Sua função é como dar uma nota (de 1 a 100) para o desempenho de outras fontes de luz em relação a este padrão.

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



Figura 23 – Iluminação com diferentes IRC.

## 4 - Luminárias

As luminárias são aparelhos que têm a função de distribuir, filtrar ou modificar a luz emitida pela(s) lâmpada(s). A iluminação emitida pode ser classificada conforme a sua distribuição: para cima (iluminação indireta) ou para baixo (iluminação direta). A Figura 22 indica os tipos de iluminação provenientes das luminárias.


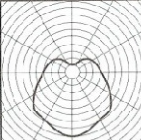


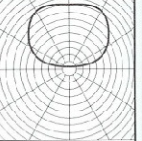
Diversos sistemas de iluminação			
Distribuição do fluxo luminoso (%)		Classificação	Curva fotométrica
Para o semi-espaço inferior	Para o semi-espaço superior		
100 – 90	0 – 10	Direta	
90 – 60	10 – 40	Semi-direta	
60 – 40	40 – 60	Mista	
40 – 10	60 – 90	Semi-incirc:ta	
10 – 0	90 – 100	Indireta	

Figura 24 – Classificação das luminárias conforme tipo de distribuição luminosa.

A forma como a luz é distribuída é dada pela fotometria da luminária. Fotometria é o ramo da ciência encarregado de medir a luz e como o seu brilho é percebido pelo olho humano. Segundo a Sociedade de Engenharia da Iluminação da América do Norte (IESNA), o desempenho de uma luminária pode ser considerado uma combinação entre a qualidade fotométrica, mecânica e elétrica. O desempenho fotométrico está relacionado com a eficiência e a eficácia da luminária ao direcionar luz para o alvo desejado. É determinado pelas propriedades fotométricas da lâmpada e do projeto da luminária e pela qualidade dos componentes de controle da luz. O desempenho mecânico descreve o

comportamento da luminária sob stress, incluindo condições extremas de temperatura, jatos de água ou pó, choques mecânicos e fogo. Já o desempenho elétrico descreve a eficiência da luminária e de seus equipamentos auxiliares ao produzirem luz e seu comportamento elétrico.

Para análise do desempenho fotométrico de luminárias, é necessário conhecimento de suas características fotométricas. Os principais tipos de luminárias para lâmpadas fluorescentes encontrados podem ser caracterizados por:

#### **Luminárias com refletor de chapa de aço pintada**

Apresentam curvas de distribuição luminosa (CDL) mais abertas principalmente no sentido transversal, devido ao refletor branco que difunde a luz nesse sentido. No sentido longitudinal, apresentam distribuição difusa, conforme pode ser visualizado na Figura 23. Resulta em um conjunto ótico com elevado rendimento e sem controle de ofuscamento. São indicadas para locais em que não é necessária a limitação de ofuscamentos, como em áreas de circulação, armazéns, vestiários, lavabos, áreas industriais, áreas de trabalhos ocasionais, entre outros. Para esse tipo de luminária, recomenda-se que o critério de espaçamento entre luminárias no sentido longitudinal não ultrapasse 1,3 vezes a altura entre a luminária e o plano de trabalho e no sentido transversal 1,5 vezes essa altura. Pode ser classificada como luminária de fecho aberto, pois possui uma relação espaçamento/altura de montagem entre 1,0 e 1,5.

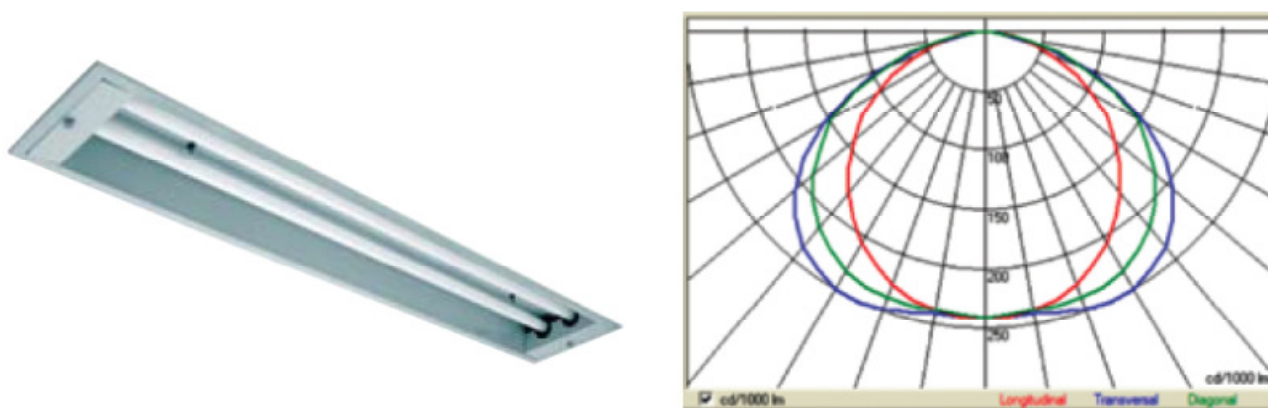


Figura 25 – Foto e CLD de uma luminária com refletor de chapa de aço pintada.

### Luminárias com refletor de alumínio

As luminárias com refletor de alumínio podem apresentar CDLs bem distintas em função do desenho ótico do refletor. Podem trazer CDLs com fechos mais concentrados ou abertos no plano transversal, como mostrado na Figura 24, no sentido longitudinal, apresentam geralmente distribuição difusa, devido à menor influência do refletor. Nota-se que existem luminárias de fecho muito aberto (espaçamento maior que 1,5), de fecho aberto (1,0 a 1,5) e fecho médio (0,7 a 1,0).



Figura 26 – Foto e CLD de duas luminárias com refletor de alumínio.

Esse tipo de luminária possui rendimentos elevados, porém, apesar de possibilitar o direcionamento do fluxo luminoso na direção desejada, resulta em um conjunto ótico com pouco controle de ofuscamento nos ângulos críticos de visão ( $45^\circ$  a  $85^\circ$ ). É indicada para locais com requisitos visuais de qualidades média e elevada para níveis de iluminância padrão em serviço de até 300 lux como lojas convencionais, salas de aula, auditórios, salas de espera, entre outros.



### Luminárias com refletor de alumínio e aletas planas

As luminárias com refletor de alumínio e aletas planas apresentam CDLs mais controladas, tanto no sentido transversal como no longitudinal, devido ao refletor de alumínio que direciona a luz para o plano horizontal e devido à presença das aletas planas brancas que reduzem o ofuscamento no sentido longitudinal. Dessa forma, resulta em um conjunto ótico com maior controle de ofuscamento e rendimento levemente reduzido devido à obstrução adicional das aletas. Podem apresentar diferentes formas de CDLs, devido às diversas configurações óticas de refletores e aletas.

A Figura 25 ilustra uma CDL característica de luminária com aletas. Verifica-se que há limitação das intensidades luminosas nos ângulos críticos de visão (ângulos superiores) e o fluxo luminoso é direcionado para os ângulos inferiores, próximos ao plano de trabalho.



Figura 27 – Foto e CLD de uma luminária com refletor de alumínio e aletas planas.

Esse tipo de luminária é recomendado para locais que necessitem de certo controle de ofuscamento e alto rendimento, tais como escritórios, bancos, escolas, entre outros. Observa-se que a aplicação recomendada da luminária deve ser ponderada conforme a classificação quanto ao ofuscamento, uma vez que a quantidade e tamanho das aletas influenciam na eficiência e no controle de ofuscamento da luminária. Existem luminárias com aletas planas com fachos muito abertos, mas a maior parte possui espaçamentos no sentido transversal entre 1,3 a 1,5. No sentido longitudinal, o espaçamento máximo recomendado entre luminárias não deve ultrapassar 1,3 vezes a altura útil da sala, isto é, a distância entre a luminária e o plano de trabalho.

**Luminárias com refletor de alumínio e aletas parabólicas**

As luminárias com refletor e aletas parabólicas de alumínio apresentam CDs controladas nos sentidos transversal e longitudinal, devido ao refletor que direciona a luz para o plano horizontal e devido à presença das aletas parabólicas que reduzem o ofuscamento no sentido longitudinal.

A Figura 26 ilustra uma curva típica desse tipo de luminária. Verifica-se que a curva é semelhante à luminária com aletas planas, porém, nos ângulos superiores, as intensidades luminosas são mais reduzidas. Desta forma, as luminárias deste tipo apresentam conjuntos óticos com maiores controles de ofuscamento e rendimentos reduzidos devido às obstruções das aletas parabólicas.



Figura 28 – Foto e CLD de uma luminária com refletor de alumínio e aletas parabólicas.

Luminária recomendada para áreas com necessidade de controle de ofuscamento rigoroso ou de qualidade muito elevada, como áreas com uso freqüente de computadores, como escritórios, CPDs, telemarketing, entre outros. Conforme a configuração do conjunto ótico, a luminária pode possuir fachos mais ou menos abertos no sentido transversal. Possui semelhanças com as luminárias com aletas planas: no sentido longitudinal as distâncias máximas recomendadas não devem ultrapassar 1,3 vezes a altura útil da sala e no transversal pode variar de 1,3 a 1,8.



**Luminárias com difusor (translúcido ou leitoso)**

As luminárias com difusor apresentam, geralmente, curvas com distribuição uniforme no sentido transversal e longitudinal, devido ao difusor que espalha a luz de forma semelhante em todos os sentidos. Resulta em um conjunto óptico com reduzido rendimento, devido à elevada perda de luz que o difusor acarreta e com pouco controle de ofuscamento nos ângulos críticos.

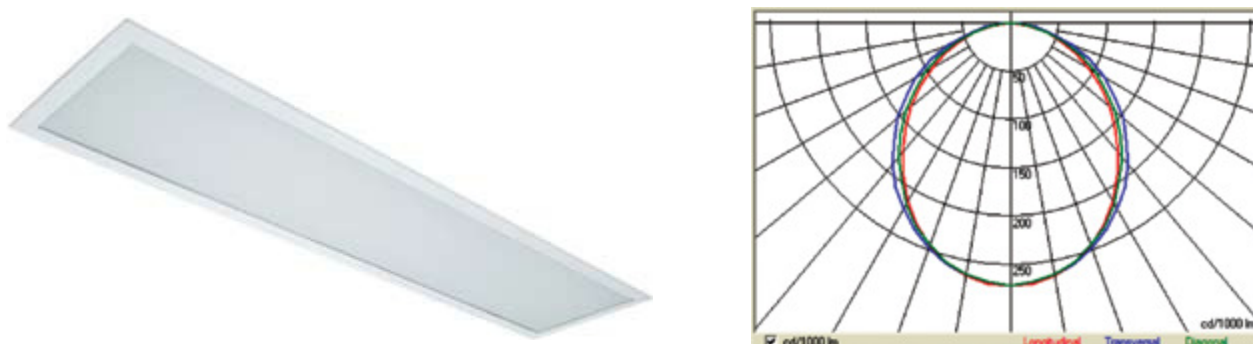


Figura 29 – Foto e CLD de uma luminária com difusor.

Indicadas para ambientes nos quais se evita o acúmulo de pó ou em que uma iluminação difusa seja mais conveniente como enfermarias, quartos e corredores de hospitais e refeitórios. Em áreas de escritório, não são recomendadas, pois são pouco eficientes e não limitam adequadamente o ofuscamento. Os espaçamentos máximos recomendados entre luminárias tanto no sentido longitudinal como transversal são próximos, entre 1,1 e 1,3 vezes a altura entre a luminária e o plano de trabalho.

## 5 - Reatores

Reatores são dispositivos com a finalidade de limitar a corrente da(s) lâmpada(s), tanto na partida como em funcionamento a valores preestabelecidos. São ligados entre a fonte de alimentação e uma ou mais lâmpadas de descarga (lâmpadas fluorescentes, vapor metálico, vapor de sódio, vapor de mercúrio), podendo ser de dois tipos: eletromagnéticos e eletrônicos.

Os reatores eletromagnéticos fazem uso de indutores e capacitores para atingir o controle de corrente necessário. Apresentam perdas da ordem de 10% a 20% da energia total consumida. Apesar de seus custos iniciais baixos, eles vêm sendo substituídos pelos reatores eletrônicos, que apresentam economias de energia da ordem de 20% a 30% e características de desempenho superiores.

Os reatores eletrônicos possuem a vantagem de trabalhar em altas frequências (20-50 kHz contra 60 Hz dos reatores eletromagnéticos), o que possibilita maior eficiência na operação da lâmpada e redução de problemas de ruído, efeitos flicker e estroboscópico. São ainda mais leves e de menores dimensões e podem ser dimerizáveis. Embora os reatores eletrônicos alcancem maiores níveis de eficiência que os eletromagnéticos, em raras aplicações em que a sensibilidade a interferências eletromagnéticas é uma preocupação, os reatores eletromagnéticos podem ser recomendados.

Os principais parâmetros para análise dos reatores são:

**Tipos de partida:** Os reatores eletromagnéticos podem ter partida convencional ou partida rápida e os reatores eletrônicos podem ter partida rápida, instantânea ou programada.

**Sistema de partida convencional:** Reatores eletromagnéticos de partida convencional necessitam de starters, dispositivos de acendimento, normalmente para lâmpadas fluorescentes, que asseguram o necessário preaquecimento dos eletrodos e, em combinação com a impedância em série do reator, provoca um surto de tensão aplicado à lâmpada.

**Sistema de partida instantânea (partida sem preaquecimento):**

Aplica-se uma tensão elétrica suficientemente elevada entre os filamentos da lâmpada, que possibilita a emissão de elétrons por efeito de campo elétrico, podendo ou não haver circulação de corrente pelos filamentos durante a partida. A partida da lâmpada ocorre em um intervalo de tempo

inferior a 100 ms após a aplicação de tensão sobre a lâmpada. O intervalo de tempo entre a energização do sistema e o instante no qual se aplica tensão sobre a(s) lâmpada(s) não pode exceder 400 ms.

**Sistema de partida rápida (partida com preaquecimento):** A ignição da lâmpada ocorre quando os filamentos estão aquecidos a uma temperatura tal que exista emissão adequada de elétrons por efeito termoiônico, sem o estabelecimento de fenômenos de ionização por efeito de campo elétrico nos filamentos. O processo de partida é realizado, aplicando-se um valor de tensão suficientemente elevado entre os filamentos da lâmpada ou entre a lâmpada e um dispositivo de partida após os filamentos terem alcançado a temperatura adequada para a emissão de elétrons. O aquecimento dos filamentos pode ser mantido, reduzido ou removido após a lâmpada entrar em funcionamento.

**Sistema de partida programada (partida com preaquecimento):** A ignição da lâmpada ocorre quando os filamentos estão aquecidos, similar à partida rápida, porém, o aquecimento dos filamentos é removido após a lâmpada entrar em funcionamento, evitando-se perdas de energia nos filamentos.

Os reatores de partida instantânea são geralmente os mais eficientes para lâmpadas fluorescentes T8, podendo, entretanto, diminuir a vida útil das lâmpadas em aplicações em que esta é ligada e desligada freqüentemente. Reatores de partida rápida e programada são preferíveis nestas aplicações. Para lâmpadas T5 e compactas, recomenda-se o uso de reatores de partida programada com preaquecimento dos filamentos.

## **6 - Fatores de Desempenho**

---

Como geralmente a lâmpada é instalada dentro de luminárias, o Fluxo Luminoso final que se apresenta é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido à absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais com que as luminárias são construídas. Desta forma, diversos fatores influenciam no rendimento do sistema de iluminação como um todo (lâmpadas, reatores, luminárias, ambiente,

acessórios, etc.). Na seqüência são apresentados os principais fatores de influência nos sistemas de iluminação.

## 6.1 - Fator ou Índice de Reflexão

Indica a razão entre a luz refletida por uma superfície pela luz incidente nela. Quanto maior a fração de luz refletida, mais “clara” será a cor do objeto. Para o cálculo luminotécnico é necessário estabelecer refletâncias para o teto, paredes e piso. Estes valores são obtidos conforme a cor ou o tipo de material das superfícies. A Tabela 1 apresenta as refletâncias aproximadas (em %) das principais cores e materiais.

*Tabela 1 – Fator de reflexão das cores e superfícies*

Tipo de material	Refletância (%) aproximada	Cor	Refletância (%) aproximada
Forro acústico	75-85	Branco	80-85
Alumínio escovado	55-58	Amarelo claro	55-65
Alumínio polido	60-70	Cinza claro	45-70
Vidro claro	8-10	Cinza escuro	20-25
Granito	20-25	Marfim branco	70-80
Mármore	30-70	Marfim	60-70
Aço inoxidável	55-65	Cinza perolado	70-75
Madeira clara	25-35	Marrom	20-40
Madeira escura	10-15	Verde	25-50
		Azul	35-40
		Rosa	50-70
		Vermelho	20-40
		Preto	5-10

De uma forma geral, as refletâncias são indicadas por três algarismos, correspondendo a teto-parede-piso. A Tabela 2 expressa os índices em função do tipo de superfície.

*Tabela 2 – Índices de reflexão.*

Índice	Reflexão	Superfície
1	10%	Escura
3	30%	Média
5	50%	Clara
8	80%	Branca

Os valores das Refletâncias serão utilizados em conjunto com a Curva de Distribuição Luminosa da luminária utilizada e o Índice do Local, cuja interpolação em uma tabela específica resultará no valor da Eficiência do Recinto e a partir deste, do Coeficiente de Utilização.

## 6.2 - Eficiência de luminária (rendimento da luminária) ( $\eta_L$ )

O rendimento ou a eficiência de uma luminária é definido como a razão do fluxo luminoso emitido pela luminária e o fluxo luminoso total da(s) lâmpada(s).

Uma questão muito importante a ser observada quanto ao rendimento é que ele não considera a distribuição luminosa da luminária, englobando tanto o fluxo emitido para o hemisfério inferior como para o superior. Para a escolha de uma luminária eficiente, devem-se considerar as luminárias com os maiores rendimentos no hemisfério inferior, visto que a luz emitida para o hemisfério superior participa da iluminância somente indiretamente, via reflexão do teto.

Nota-se que as luminárias com maiores rendimentos são luminárias sem componentes de controle de luz. Elementos como refletores, refratores, difusores e louveres diminuem o rendimento da luminária na medida em que absorvem, refletem e transmitem a luz pelos materiais utilizados na sua confecção.

Dessa forma, na especificação de uma luminária, o rendimento ou a eficiência deve ser ponderado, analisando-se conjuntamente a distribuição luminosa e o controle de ofuscamento que a luminária deve possuir para a atividade a ser desenvolvida. Recomenda-se, portanto, que o rendimento seja considerado para comparar luminárias do mesmo tipo.

O rendimento de uma luminária varia de acordo com a sua forma e curva ótica, com a presença de componentes de controle de luz, tais como refletores, aletas e difusores, com as características dos materiais da luminária e com o tipo de lâmpada utilizada e suas dimensões.

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

### 6.3 - Eficiência do Recinto ( $\eta_R$ )

O valor da Eficiência do Recinto é dado por tabelas, contidas no catálogo do fabricante onde se relacionam os valores de coeficiente de reflexão do teto, paredes e piso, com a curva de distribuição luminosa da luminária utilizada e o Índice do Recinto.

#### a) Índice do Recinto (K)

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

Para iluminação direta

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

Para iluminação indireta

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

Sendo: a = comprimento do recinto  
b = largura do recinto  
h = pé-direito útil  
h' = distância do teto ao plano de trabalho

Pé-direito útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho ( $h_{pl.tr.}$ ), menos a altura do pendente da luminária ( $h_{pend.}$ ). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho (Figura 23).

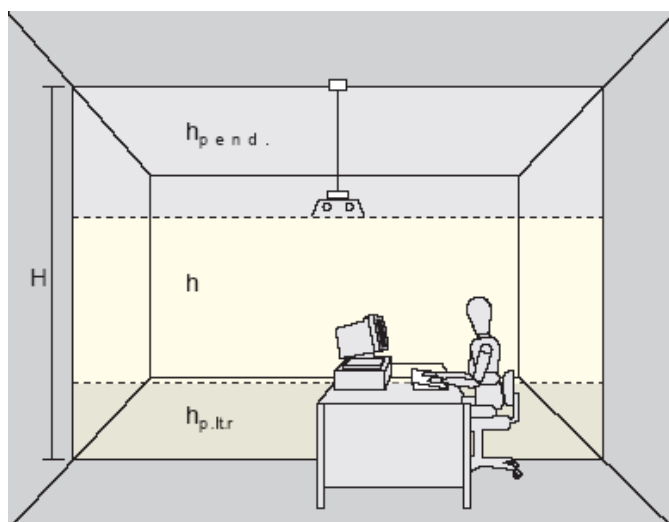


Figura 30 – Representação do pé direito útil.

A Figura 24 apresenta uma tabela na qual estão relacionados o índice do recinto K, com a classificação da luminária (iluminação direta – ver curva) e as refletâncias do teto, piso e parede. A

eficiência do recinto é o resultado do cruzamento destas informações. Ex: para K = 1, teto branco (80%), parede clara (50%) e piso de madeira escura (10%).

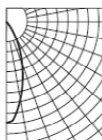
Luminária	Refletâncias														
	Teto	$\rho_1$			0,8		0,5		0,8			0,5		0,3	
	Parede	$\rho_2$			0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	$\rho_3$			0,3					0,1					
Índice do Recinto		K													
A 1		0,6	0,60	0,55	0,54	0,60	0,55	0,61	0,56	0,78	0,69	0,56	0,68		
		0,8	0,69	0,64	0,64	0,70	0,65	0,70	0,65	0,87	0,72	0,66	0,75		
		1	0,75	0,70	0,70	0,76	0,71	0,77	0,71	0,93	0,79	0,72	0,80		
		1,25	0,81	0,76	0,75	0,82	0,77	0,83	0,78	0,97	0,86	0,79	0,84		
		1,5	0,84	0,79	0,79	0,86	0,81	0,87	0,82	0,99	0,90	0,83	0,87		
		2	0,89	0,85	0,84	0,91	0,86	0,93	0,88	1,02	0,97	0,90	0,90		
		2,5	0,92	0,88	0,87	0,94	0,90	0,97	0,92	1,04	1,02	0,96	0,93		
		3	0,94	0,91	0,90	0,97	0,93	1,00	0,95	1,05	1,06	1,00	0,95		
		4	0,97	0,93	0,94	0,99	0,97	1,04	1,00	1,06	1,11	1,05	0,97		
		5	0,99	0,96	0,95	1,00	0,98	1,06	1,02	1,06	1,14	1,09	0,98		

Figura 31 – Eficiência do recinto.

## 6.4 - Fator de Utilização ( $F_u$ )

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

O produto da Eficiência do Recinto ( $\eta_R$ ) pela Eficiência da Luminária ( $\eta_L$ ) nos dá o Fator de Utilização ( $F_u$ ).

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

Determinados catálogos indicam tabelas de Fator de Utilização para suas luminárias. Apesar de estas serem semelhantes às tabelas de Eficiência do Recinto, os valores nelas encontrados **não** precisam ser multiplicados pela Eficiência da Luminária, uma vez que cada tabela é específica para uma luminária e já considera a sua perda na emissão do Fluxo Luminoso. A Figura 30 ilustra esta situação.

ÍNDICE DE REFLEXÃO									
TETO(%)	70			50			30		
PAREDE(%)	50	30	10	50	30	10	30	10	10
PISO(%)	10			10			10		
K	FATOR DE UTILIZAÇÃO								
0,6	0,45	0,41	0,38	0,44	0,40	0,38	0,40	0,37	
0,8	0,52	0,48	0,45	0,51	0,48	0,45	0,48	0,45	
1	0,53	0,49	0,46	0,52	0,48	0,45	0,48	0,45	
1,25	0,59	0,56	0,53	0,59	0,56	0,53	0,55	0,53	
1,5	0,60	0,56	0,53	0,59	0,56	0,53	0,55	0,53	
2	0,67	0,64	0,62	0,65	0,63	0,61	0,62	0,60	
2,5	0,67	0,64	0,62	0,66	0,63	0,61	0,62	0,60	
3	0,73	0,70	0,69	0,71	0,70	0,68	0,69	0,67	
4	0,73	0,71	0,70	0,71	0,70	0,69	0,69	0,67	
5	0,73	0,71	0,70	0,72	0,70	0,69	0,69	0,68	

Figura 32 – Fator de utilização para a luminária RE-800 da INTRAL.

## 6.5 - Fator de Fluxo Luminoso

Símbolo: BF ou  $F_{FL}$

Unidade: %

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

$$F_{FL} = \frac{\text{fluxo luminoso obtido}}{\text{fluxo luminoso nominal}}$$

## 6.6 - Fator de Depreciação ( $F_d$ )

Com o tempo, paredes e tetos ficarão sujos. Os equipamentos de iluminação acumularão poeira. As lâmpadas fornecerão menor quantidade de luz. Alguns desses fatores poderão ser eliminados por meio de manutenção. Na prática, para amenizar-se o efeito desses fatores e admitindo-se uma boa manutenção periódica, podem-se adotar os valores de depreciação constantes na tabela abaixo.

*Tabela 3 – Fator de depreciação*

Ambiente	Período de Manutenção		
	2.500 h	5.000 h	7.500 h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

## 7 - Projeto de Iluminação

---

O projeto de iluminação tem por objetivo estabelecer o melhor sistema de iluminação para uma dada aplicação, notando que muitas vezes a definição de “melhor” é complexa e leva em conta fatores subjetivos. Na elaboração de um projeto de iluminação são considerados, por um lado, os diferentes tipos de lâmpadas e luminárias disponíveis comercialmente e, por outro lado, os requisitos da



aplicação, os quais incluem o tipo e o grau de precisão da atividade a ser desenvolvida no local, as pessoas que desenvolverão essa atividade, etc.

Ao se iniciar o planejamento de uma obra e antes de se começar o projeto de iluminação do prédio deve-se buscar uma estreita colaboração entre arquiteto, engenheiro e o cliente no sentido de se encaminhar a melhor solução para esta parte tópico.

Deve-se ter em mãos os desenhos de cada ambiente, juntamente com os detalhes construtivos dos tetos e das paredes. Estes detalhes permitirão o conhecimento preliminar das respectivas refletâncias, necessárias para a determinação do número e do tipo de equipamentos a serem utilizados na instalação. Da mesma forma, os cálculos referentes às proporções de luminância do interior necessitam de detalhes da decoração interna e dos móveis.

No caso de aplicação de um sistema de ar condicionado, por exemplo, o caminho dos dutos e a distribuição das luminárias deverão ser considerados juntamente.

## **7.1 - Requisitos da Iluminação**

Os requisitos da instalação de iluminação dependem principalmente do tipo de trabalho a ser executado no recinto em questão. Assim, o ponto de partida de cada projeto de iluminação será sempre o próprio espaço, seus detalhes de construção, sua finalidade, e a tarefa visual envolvida.

Desconsiderando-se requisitos especiais (como os de ambientes esportivos, hospitalares, etc.), pode-se fazer um agrupamento geral de ambientes como o que segue.

### **a) Interiores de trabalho**

O objetivo mais importante, projetando-se uma instalação de iluminação para um ambiente de trabalho é o provisionamento de boas condições visuais no plano de trabalho. Um objetivo adicional deverá ser a criação de um ambiente visual completo, proporcionando uma influência positiva no bem estar dos usuários.

### **b) Lojas, magazines e Salas de Exibições**

Em ambientes usados para a demonstração de artigos ou exposição, a finalidade principal da iluminação é obter uma apresentação atrativa e de impacto. Em vitrines, o valor estético e de propaganda da iluminação deverá predominar. Isto poderá ser assegurado usando-se luminâncias elevadas. Alternativamente, poderão ser usados “spots”, iluminação colorida, iluminação cinética, programada e outros dispositivos poderão ser empregados para se obter o mesmo resultado.

Em museus e galerias de arte, a iluminação usada deverá proporcionar corretamente a reprodução de cores de quadros, textéis, documentos, etc. Ao mesmo tempo, deverão ser tomadas precauções contra possível descoloração ou desbotamento, que poderá ser o resultado da exposição desses objetos a uma iluminação forte demais, ou de um tempo de uso prolongado.

Portanto, a iluminação resultante da luz natural e artificial deverá ser consideravelmente reduzida ou totalmente eliminada, no intervalo de tempo que a exposição estiver fechada ao público.

### **c) Interiores Residenciais**

Em salas de uso diário normal, a estética e o conforto visual da iluminação são fatores predominantes, para os quais somente uma orientação geral pode ser dada. Quando, porém, tarefas visuais severas devem ser executadas nesses ambientes, os requisitos de iluminação para ambientes de trabalho deve ser levado em conta.

### **d) Áreas de circulação**

Em vestíbulos, corredores, passagens e escadas, a iluminação é principalmente voltada para a orientação e segurança.

### **e) Áreas de trabalho externas**

Para áreas de trabalho externo, conjugadas a uma área interna iluminada (o pátio de um posto de gasolina, por exemplo), o iluminamento externo deverá ser similar ao do interior, dependendo da extensão das circunstâncias.

## **7.2 - Cálculo Luminotécnico**

A determinação da potência absorvida pelo sistema de iluminação, indispensável ao projeto elétrico da instalação, está relacionada à existência ou não de um cálculo luminotécnico (projeto de iluminação) para todos os ambientes desta instalação seja residencial, comercial ou industrial. No caso de instalações residências, na ausência de projeto de iluminação a NBR 5410 indica uma previsão de carga (potência elétrica) mínima a ser considerada no projeto.

Naturalmente, a realização de um cálculo luminotécnico culmina na determinação do número de luminárias e lâmpadas de acordo com o nível de iluminamento exigido para cada local. Neste caso, as potências elétricas consideradas são resultado destas lâmpadas (e reatores). Basicamente, um projeto de iluminação pode ser realizado das seguintes maneiras:

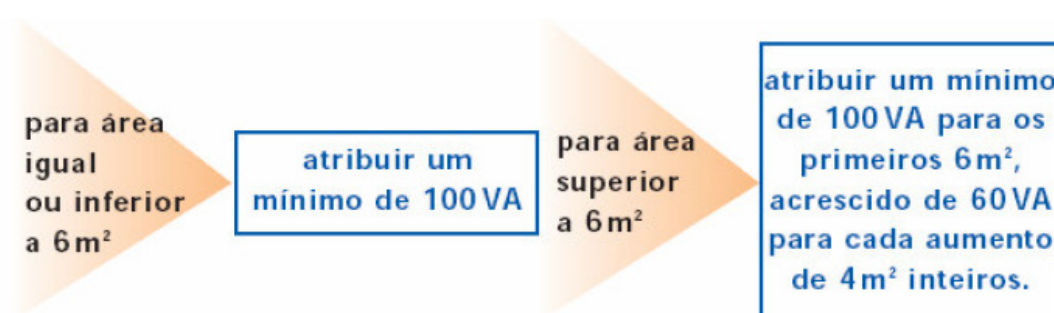
- Método dos Lúmens;
- Método das Cavidades Zonais;
- Método Ponto a Ponto.

Nos próximos itens serão apresentados o Método dos Lúmens e o Ponto a Ponto, além da previsão de carga prevista nas normas vigentes. Cabe ressaltar que o Método dos Lúmens se destina principalmente a projetar a iluminação de recintos fechados, onde a luz refletida por paredes e teto contribui significativamente no iluminamento médio do plano de trabalho (o plano onde serão desenvolvidas as atividades; por exemplo: o plano das mesas em um escritório). O Método Ponto a Ponto se destina principalmente ao projeto de iluminação de áreas externas, onde a contribuição da

luz refletida pode ser desprezada sem incorrer em erros significativos. Além disso, o Método Ponto a Ponto pode ser utilizado como cálculo verificador de um projeto elaborado pelo Método dos Lúmens.

### 7.3 - Previsão de Carga (NBR 5410)

Como regra geral, a NBR 5410 estabelece que as cargas de iluminação devem ser determinadas como resultado da aplicação da NBR 5413: *Iluminância de interiores – Procedimento*. Como alternativa ao uso da NBR 5413, e especificamente em unidades residenciais, a NBR 5410 apresenta o seguinte critério de previsão de carga de iluminação para cada cômodo ou dependência:



A norma adverte que os valores indicados são para efeito de dimensionamento dos circuitos, não havendo qualquer vínculo, com potência nominal de lâmpadas.

Em cada cômodo ou dependência de unidades residenciais deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, com potência mínima de 100 VA, comandado por interruptor de parede.

### 7.4 - Método dos Lúmens

O Método dos Lúmens tem por finalidade principal determinar o número de luminárias necessárias para garantir um valor de iluminamento médio especificado a priori. Ele pode ser resumido nos passos a seguir.

#### Passo 1

Estabelecer o iluminamento médio do local, em função das dimensões do mesmo e da atividade a ser desenvolvida. Conforme mencionado anteriormente, as normas técnicas possuem valores de referência para o iluminamento médio.

De acordo com a NBR 5413, para a determinação da iluminância conveniente é recomendável considerar as seguintes classes de tarefas visuais.

*Tabela 4 – Iluminância por classe de tarefas visuais.*

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de Atividade
<b>A</b> Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20-30-50	Áreas públicas com arredores escuros
	50-75-100	Orientação simples para permanência curta
	100-150-200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200-300-500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
<b>B</b> Iluminação geral para área de trabalho	500-750-1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000-1500-2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
<b>C</b> Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000-3000-5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000-7500-10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10000-15000-20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

O uso adequado da iluminância específica (valores tabela acima) é determinado por três fatores, de acordo com a Tabela 5.

*Tabela 5 – Fatores determinantes da iluminância adequada.*

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70%	30 a 70%	Inferior a 30%
Analisar cada característica e determinar o seu peso; Somar os três valores encontrados; Usar a iluminância inferior quando o valor total for igual a -2 ou -3; a iluminância superior quando a soma for +2 ou +3; e a iluminância média nos outros casos.			

A NBR 5413 também apresenta tabelas com a iluminância média por tipo de atividades. Da mesma forma, são apresentados 3 valores de iluminâncias, devendo ser utilizado o valor do meio em todos os casos. O valor mais alto deve ser utilizado quando:

- A tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes bastantes baixos;
- Erros são de difícil correção;
- O trabalho visual é crítico;
- Alta produtividade ou precisão são de grande importância;
- A capacidade visual do observador está abaixo da média.

O valor mais baixo pode ser utilizado quando:

- Refletâncias ou contrastes são relativamente altos;
- A velocidade e/ou precisão não são importantes;
- A tarefa é executada ocasionalmente.

A Tabela 6 apresenta exemplos de iluminâncias, em lux, por tipo de atividade.

*Tabela 6 – Iluminância por tipo de atividades.*

Local	Atividade	Iluminância
Escritórios	Registros, cartografia, etc	750-1000-1500
	Desenho, engenharia mecânica e arquitetura	750-1000-1500
	Desenho decorativo e esboço	300-500-750
Residências	Sala de estar:	
	Geral	100-150-200
	Local (leitura, escrita, bordado, etc.)	300-500-750
	Cozinhas:	
	Geral	100-150-200
	Local (fogão, pia, mesa)	200-300-500
	Quartos:	
	Geral	100-150-200
	Local( espelho, cama)	200-300-500
	Hall, despensa, garagens, escadas:	
	Geral	75-100-150
	Local	200-300-500
	Banheiros:	
	Geral	100-150-200
	Local (espelhos)	200-300-500

**Passo 2**

Estabelecer o tipo de lâmpada e de luminária a serem utilizadas no local. A experiência do projetista é muito importante neste passo, pois um determinado conjunto lâmpada/luminária disponível comercialmente pode-se adaptar melhor a algumas aplicações e não a outras. Por exemplo, iluminação fluorescente convencional é bastante indicada para iluminação de escritórios, e iluminação incandescente é a opção preferencial para galerias de arte, devido a sua excelente reprodução de cores.

**Passo 3**

Para a luminária escolhida no passo anterior determina-se o *Fator de Utilização* ( $F_u$ ). Este coeficiente, menor ou igual a 1, representa uma ponderação que leva em conta as dimensões do local e a quantidade de luz refletida por paredes e teto. A contribuição das dimensões do local é feita através do chamado *Índice do Recinto* ( $K$ ) (ver item 6.3).

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

Outra forma de obtenção do fator de utilização corresponde à utilização de tabelas de rendimento de recintos em função da curva de distribuição luminosa das luminárias. No Anexo estão apresentadas tabelas de rendimentos para diversos tipos de luminárias.

Conforme indicado em 6.4 o fator de utilização pode ser calculado por:

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

onde o rendimento do recinto é retirado da tabela anterior e o rendimento da luminária é obtido de catálogos de fabricantes que 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. Não havendo informação disponível, podem ser usados os valores da Tabela 7, que apresenta valores médios de eficiência para luminárias em geral, agrupadas por tipos.

*Tabela 7 – Eficiência aproximada de luminárias.*

<b>Tipo</b>	<b>Eficiência</b>
Luminárias abertas com lâmpadas nuas	0,9
Luminárias com refletor ou embutidas abertas	0,7
Luminárias com refletor e lamelas de alta eficiência	0,7
Luminárias com refletor ou embutidas com lamelas	0,6
Luminárias tipo "plafond" com acrílico anti-ofuscante	0,6
Luminárias de embutir com acrílico anti-ofuscante	0,5

#### **Passo 4**

Determina-se o número de lâmpadas ( $n$ ) necessárias de acordo com a seguinte expressão:

$$n = \frac{E \cdot S}{F_u \cdot F_d \cdot F_{fl} \cdot \phi}$$

Em que:

- $E$  - iluminamento médio (em lux) estabelecido no Passo 1;
- $S = C \cdot L$  - área do local ( $m^2$ ).
- $F_r$  - No caso da utilização de lâmpadas de descarga, deve-se considerar o fator de fluxo luminoso do reator.
- $\phi$  representa o fluxo luminoso (em lm) de uma lâmpada.

#### **Passo 5**

Determina-se o número necessário de luminárias ( $N$ ), dividindo a quantidade de lâmpadas pelo número de lâmpadas por luminária.



**Passo 6**

Ajusta-se o número de luminárias de forma a produzir um arranjo uniformemente distribuído. Recomenda-se que o espaçamento que deve existir entre as luminárias seja condicionado à sua altura útil, que por sua vez pode conduzir a uma distribuição adequada de luz. Assim, a distância máxima entre os centros das luminárias deve ser de 1 a 1,5 da sua altura útil. O espaçamento da luminária à parede deve corresponder a metade deste valor.

Recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias quando a quantidade resultante do cálculo não for compatível com a distribuição desejada. As seguintes fórmulas podem ser empregadas para obter uma distribuição de luz uniforme no interior do ambiente:

$$Q_c = \frac{c}{\sqrt{\frac{c \cdot l}{N}}}$$

para quantidade de luminárias no comprimento  $c$  e

$$Q_l = \frac{l}{\sqrt{\frac{c \cdot l}{N}}}$$

Para quantidade de luminárias na largura ( $l$ ).

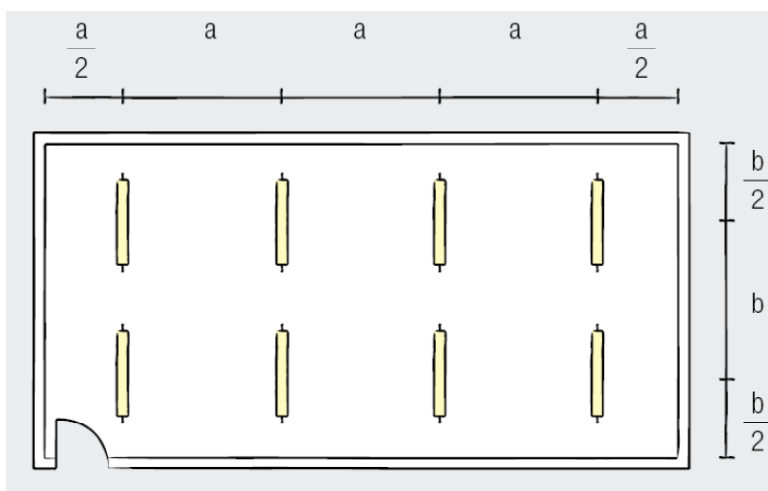


Figura 33 – Distribuição das luminárias.

**a) Método Ponto a Ponto**

Para descrever o Método Ponto a Ponto é imprescindível apresentar antes duas leis básicas da Luminotécnica, a Lei do Inverso do Quadrado e a Lei dos Cosenos. A Lei do Inverso do Quadrado estabelece que o iluminamento médio diminui com o quadrado da distância à fonte luminosa. De fato, conforme ilustra a Figura 34, o mesmo fluxo luminoso  $\Delta\phi$  atravessa as superfícies  $S_1$  e  $S_2$ , situadas a distâncias  $d_1$  e  $d_2$  da fonte luminosa, respectivamente.

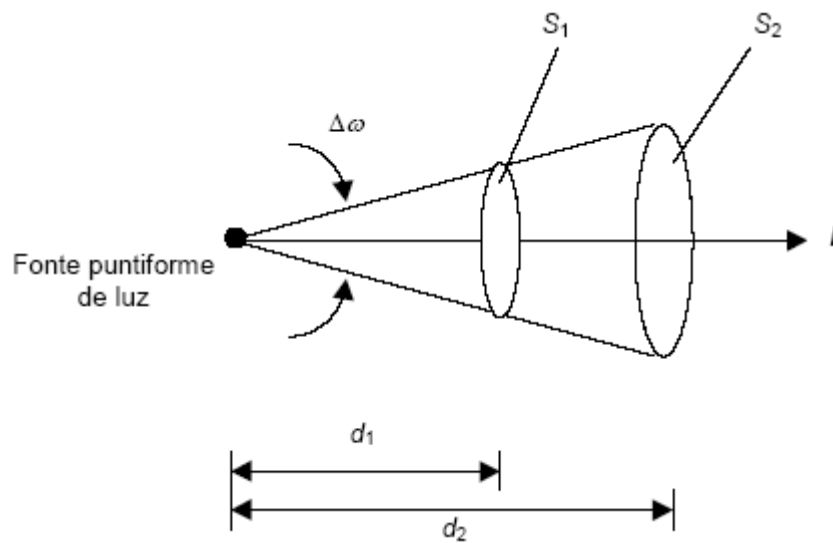


Figura 34 – Lei do Inverso do Quadrado

Como o ângulo sólido correspondente às duas superfícies é o mesmo, conclui-se que é válida a seguinte relação:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\Delta\omega \cdot d_1^2}{\Delta\omega \cdot d_2^2} = \left( \frac{d_1^2}{d_2^2} \right)^2$$

Por outro lado, da definição de intensidade luminosa  $I = \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega}$  resulta:

$$I = \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\phi}{\left( \frac{S_d}{d_d^2} \right)} = \frac{\Delta\phi}{S_d} \cdot d_d^2 = E_d \cdot d_d^2$$

Em que  $E(d)$  indica o iluminamento médio a uma distância genérica  $d$  da fonte luminosa.

A equação

$$E_d = \frac{I}{d^2} \quad \text{é a expressão matemática da Lei do Inverso do Quadrado.}$$

A Lei dos Cosenos estabelece que se a superfície (plana) considerada não for normal à direção definida pela intensidade luminosa, o iluminamento médio na superfície será menor que no caso da superfície ser normal e, ainda, a relação entre ambos valores é dado pelo cosseno do ângulo formado entre as normais das duas superfícies.

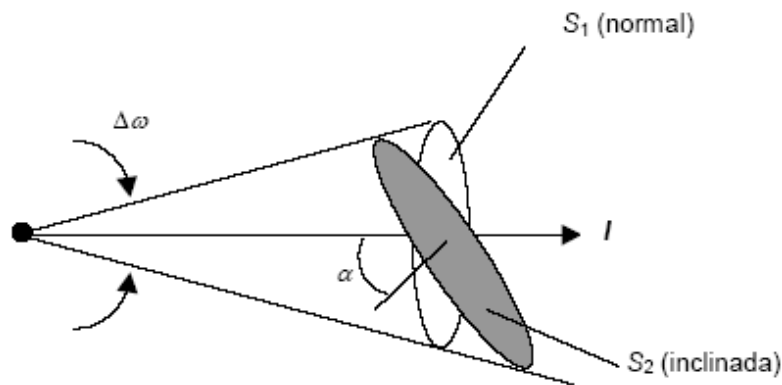


Figura 35 – Lei dos Cosenos

Entre as superfícies  $S_1$  e  $S_2$  é válida a relação:

$$\frac{S_1}{S_2} = \cos \alpha$$

Nestas condições, a relação entre os iluminamentos médios em  $S_1$  e  $S_2$  é:

$$E_2 = \frac{\Delta\phi}{S_2} = \frac{I \cdot \Delta\phi}{\left(\frac{S_1}{\cos \alpha}\right)} = \frac{I \cdot \Delta\phi}{S_1} \cdot \cos \alpha = E_1 \cdot \cos \alpha$$

Que é a própria expressão matemática da Lei dos Cosenos.

O Método Ponto a Ponto permite calcular, em qualquer ponto do plano de trabalho, o iluminamento médio causado por uma fonte luminosa localizada em qualquer ponto do local. Inicialmente considere-se a situação da Figura 35. O problema é determinar o iluminamento médio no plano horizontal no ponto  $P$ , causado pela fonte luminosa.

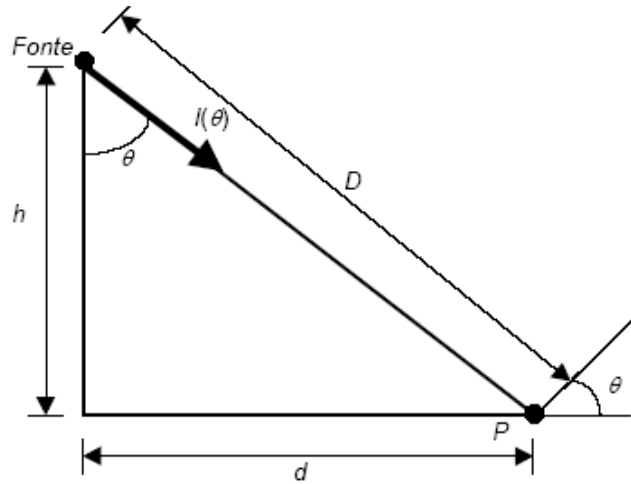


Figura 36 – Método Ponto a Ponto

Destaca-se que a intensidade luminosa  $I(\theta)$  é dada pela curva fotométrica da luminária, considerada conhecida. O iluminamento no ponto  $P$ , no plano perpendicular à intensidade luminosa, é calculado através da Lei do Inverso do Quadrado:

$$E_P = \frac{I(\theta)}{D^2} = \frac{I(\theta)}{\left(\frac{h}{\cos \theta}\right)^2} = \frac{I(\theta)}{h^2} \cdot \cos^2 \theta$$

No ponto  $P$ , o iluminamento no plano horizontal é determinado através a Lei dos Cosenos:

$$E_{PH} = E_P \cdot \cos \theta = \frac{I(\theta)}{h^2} \cdot \cos^3 \theta$$

Finalmente, considerando todas as luminárias existentes no local, o iluminamento total no plano horizontal em  $P$  é determinado através de:

$$E_{PH\_TOTAL} = \sum_{i=1}^n E_{PH\_i}$$

Em que  $n$  indica o número total de luminárias e  $E_{PH\_i}$  é o iluminamento horizontal em  $P$  causado pela luminária  $i$ .

Para obter o iluminamento médio do local, aplica-se esta equação a um conjunto adequado de pontos de verificação e calcula-se finalmente a média aritmética de todos os valores de iluminamento obtidos.

Na prática o iluminamento total em um determinado ponto tem contribuição significativa apenas das luminárias mais próximas ao ponto, sendo que a contribuição das luminárias distantes é muito pequena por causa da Lei do Inverso do Quadrado. De todo modo, o cálculo do iluminamento através do Método Ponto a Ponto é feito normalmente através de programa computacional, pois o cálculo manual só é viável em casos simples com poucas luminárias e poucos pontos de cálculo.

## 8 - Referências Bibliográficas

---

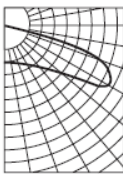
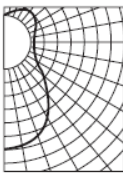
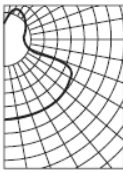
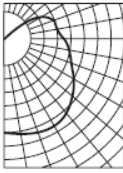
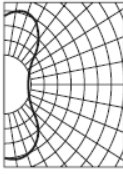
- [1] Osram, Manual Luminotécnico Prático.
- [2] Revista O Setor Elétrico – Luminotécnica Aplicada – Capítulo I ao VII – Iluminação de Interiores.
- [3] NBR-5413 - Iluminância de Interiores (Norma Técnica ABNT).
- [4] MOREIRA, Vinicius de Araújo, Iluminação Elétrica, 1ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda, 1999.
- [5] SILVA, Mauri Luiz da, Luz Lâmpadas & Iluminação, 3ª edição, Editora Ciência Moderna.
- [6] FONSECA, Rômulo Soares, Iluminação Elétrica, Editora McGraw-Hill do Brasil.
- [7] Philips Iluminação – Noções Básicas de Iluminação, Informação de produto – Informação de Aplicação.
- [8] RODRIGUES, Pierre, Manual de Iluminação Suficiente – PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 1ª edição, 2002.
- [9] KAEHLER, José Wagner Maciel, Parte III - II - Sistemas de Uso Final: Iluminação, 2006.
- [10] NBR-5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão (Norma Técnica ABNT).
- [11] COTRIM, Ademaro A. M. B., Instalações Elétricas, 4ª edição, Pearson Prentice Hall.

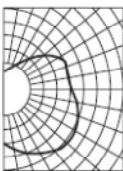
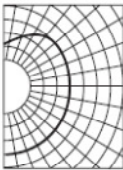
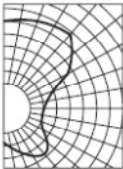
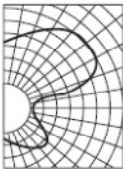
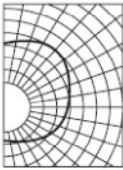
## **Anexos**

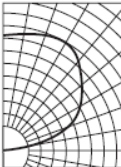
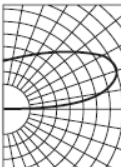
*Eficiência do recinto (segundo normas alemãs).*

Luminária	Refletâncias												
	Teto	$\rho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	$\rho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	$\rho_3$	0,3				0,1						
Índice do Recinto		K											
A 1		0,6	0,60	0,55	0,54	0,60	0,55	0,61	0,56	0,78	0,69	0,56	0,68
		0,8	0,69	0,64	0,64	0,70	0,65	0,70	0,65	0,87	0,72	0,66	0,75
		1	0,75	0,70	0,70	0,76	0,71	0,77	0,71	0,93	0,79	0,72	0,80
		1,25	0,81	0,76	0,75	0,82	0,77	0,83	0,78	0,97	0,86	0,79	0,84
		1,5	0,84	0,79	0,79	0,86	0,81	0,87	0,82	0,99	0,90	0,83	0,87
		2	0,89	0,85	0,84	0,91	0,86	0,93	0,88	1,02	0,97	0,90	0,90
		2,5	0,92	0,88	0,87	0,94	0,90	0,97	0,92	1,04	1,02	0,96	0,93
		3	0,94	0,91	0,90	0,97	0,93	1,00	0,95	1,05	1,06	1,00	0,95
		4	0,97	0,93	0,94	0,99	0,97	1,04	1,00	1,06	1,11	1,05	0,97
		5	0,99	0,96	0,95	1,00	0,98	1,06	1,02	1,06	1,14	1,09	0,98
A 1.1		0,6	0,93	0,74	0,70	0,74	0,69	0,89	0,73	0,70	0,72	0,68	0,82
		0,8	1,01	0,82	0,77	0,81	0,76	0,91	0,78	0,77	0,80	0,76	0,93
		1	1,05	0,88	0,82	0,86	0,82	0,98	0,83	0,82	0,84	0,81	1,00
		1,25	1,10	0,93	0,88	0,91	0,87	1,01	0,90	0,86	0,88	0,85	1,06
		1,5	1,13	0,97	0,92	0,94	0,90	1,03	0,93	0,89	0,92	0,88	1,09
		2	1,17	1,03	0,97	0,99	0,95	1,05	0,87	0,93	0,95	0,92	1,14
		2,5	1,20	1,07	1,01	1,03	0,98	1,05	0,99	0,96	0,97	0,94	1,17
		3	1,21	1,10	1,05	1,05	1,00	1,06	1,00	0,98	0,98	0,96	1,20
		4	1,24	1,15	1,10	1,08	1,03	1,06	1,02	1,00	1,00	0,98	1,23
		5	1,25	1,17	1,13	1,10	1,06	1,07	1,03	1,01	1,01	0,99	1,24
A 1.2		0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,68	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66
		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82
		3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86
		4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90
		5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92
A 2		0,6	0,63	0,39	0,33	0,39	0,33	0,61	0,38	0,34	0,37	0,33	0,32
		0,8	0,78	0,53	0,45	0,51	0,45	0,74	0,51	0,45	0,50	0,45	0,44
		1	0,88	0,62	0,54	0,60	0,54	0,82	0,60	0,53	0,58	0,53	0,52
		1,25	0,95	0,71	0,63	0,68	0,62	0,88	0,68	0,62	0,66	0,60	0,60
		1,5	1,02	0,78	0,70	0,76	0,69	0,93	0,75	0,68	0,72	0,68	0,66
		2	1,10	0,89	0,81	0,85	0,78	0,98	0,83	0,77	0,80	0,77	0,74
		2,5	1,14	0,96	0,88	0,91	0,85	1,01	0,89	0,83	0,85	0,82	0,80
		3	1,17	1,01	0,94	0,95	0,89	1,03	0,92	0,87	0,88	0,86	0,84
		4	1,21	1,07	1,01	1,00	0,95	1,04	0,96	0,92	0,93	0,90	0,89
		5	1,23	1,12	1,06	1,03	0,98	1,05	0,99	0,95	0,96	0,93	0,92
A 2.1		0,6	0,61	0,36	0,29	0,35	0,29	0,58	0,33	0,29	0,35	0,29	0,28
		0,8	0,74	0,47	0,39	0,45	0,38	0,69	0,46	0,39	0,45	0,38	0,37
		1	0,82	0,55	0,46	0,52	0,45	0,77	0,53	0,45	0,51	0,44	0,45
		1,25	0,90	0,63	0,54	0,61	0,53	0,82	0,61	0,53	0,59	0,53	0,51
		1,5	0,95	0,69	0,60	0,66	0,59	0,87	0,67	0,59	0,64	0,57	0,56
		2	1,02	0,79	0,70	0,75	0,68	0,92	0,75	0,67	0,72	0,65	0,64
		2,5	1,08	0,87	0,78	0,81	0,74	0,96	0,81	0,73	0,77	0,72	0,70
		3	1,13	0,93	0,84	0,86	0,79	0,99	0,85	0,78	0,81	0,78	0,75
		4	1,17	1,01	0,92	0,94	0,87	1,02	0,90	0,85	0,88	0,83	0,81
		5	1,18	1,04	0,96	0,95	0,90	1,02	0,93	0,87	0,89	0,85	0,83



Luminária	Refletâncias												
	Teto	$\rho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	$\rho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	$\rho_3$	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
A 3		0,6	0,51	0,23	0,17	0,24	0,16	0,48	0,23	0,18	0,22	0,16	0,16
		0,8	0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,26
		1	0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	0,35
		1,25	0,87	0,57	0,48	0,54	0,46	0,80	0,55	0,47	0,52	0,45	0,44
		1,5	0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52
		2	1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,64
		2,5	1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	0,72
		3	1,15	0,94	0,86	0,89	0,82	1,02	0,87	0,81	0,83	0,78	0,77
		4	1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	0,84
		5	1,23	1,09	1,01	1,00	0,94	1,05	0,96	0,92	0,92	0,88	0,88
B 2		0,6	0,51	0,30	0,22	0,26	0,21	0,48	0,29	0,23	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,34	0,27	0,58	0,35	0,30	0,33	0,27	0,26
		1	0,70	0,43	0,35	0,39	0,32	0,64	0,41	0,35	0,38	0,31	0,30
		1,25	0,76	0,50	0,41	0,44	0,37	0,70	0,48	0,40	0,43	0,36	0,34
		1,5	0,82	0,56	0,47	0,48	0,42	0,74	0,54	0,45	0,47	0,40	0,37
		2	0,60	0,65	0,56	0,55	0,48	0,79	0,61	0,54	0,53	0,47	0,42
		2,5	0,95	0,72	0,62	0,60	0,53	0,83	0,67	0,60	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,77	0,68	0,64	0,57	0,85	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50
		4	1,04	0,86	0,77	0,70	0,63	0,87	0,78	0,71	0,65	0,60	0,55
		5	1,07	0,91	0,84	0,73	0,67	0,90	0,80	0,75	0,68	0,64	0,58
B 3		0,6	0,53	0,27	0,22	0,27	0,21	0,51	0,27	0,22	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,66	0,39	0,32	0,36	0,30	0,62	0,38	0,31	0,35	0,29	0,28
		1	0,75	0,47	0,39	0,43	0,36	0,69	0,46	0,38	0,42	0,30	0,34
		1,25	0,82	0,55	0,46	0,50	0,43	0,75	0,53	0,45	0,48	0,42	0,40
		1,5	0,88	0,61	0,52	0,55	0,49	0,80	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45
		2	0,96	0,72	0,63	0,64	0,58	0,86	0,67	0,60	0,61	0,56	0,52
		2,5	1,02	0,80	0,71	0,70	0,64	0,90	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57
		3	1,05	0,85	0,76	0,74	0,68	0,92	0,77	0,71	0,69	0,65	0,60
		4	1,09	0,92	0,84	0,79	0,74	0,94	0,83	0,77	0,74	0,70	0,65
		5	1,12	0,97	0,89	0,83	0,78	0,96	0,86	0,81	0,76	0,73	0,68
B 4		0,6	0,51	0,25	0,18	0,24	0,18	0,48	0,25	0,19	0,23	0,18	0,17
		0,8	0,62	0,34	0,26	0,32	0,25	0,58	0,33	0,26	0,31	0,25	0,24
		1	0,71	0,41	0,32	0,38	0,31	0,64	0,40	0,32	0,37	0,30	0,29
		1,25	0,78	0,48	0,39	0,44	0,37	0,71	0,47	0,39	0,43	0,35	0,34
		1,5	0,83	0,54	0,45	0,49	0,41	0,75	0,53	0,44	0,47	0,40	0,38
		2	0,91	0,64	0,54	0,57	0,49	0,81	0,60	0,52	0,55	0,47	0,45
		2,5	0,96	0,72	0,61	0,63	0,55	0,85	0,66	0,59	0,59	0,53	0,49
		3	0,99	0,77	0,67	0,67	0,59	0,88	0,70	0,63	0,63	0,57	0,52
		4	1,04	0,85	0,75	0,72	0,66	0,91	0,77	0,69	0,67	0,62	0,57
		5	1,07	0,90	0,81	0,76	0,70	0,92	0,80	0,73	0,70	0,66	0,60
C 2		0,6	0,51	0,27	0,21	0,23	0,18	0,48	0,27	0,20	0,23	0,19	0,18
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,32	0,26	0,58	0,34	0,28	0,31	0,26	0,24
		1	0,70	0,44	0,35	0,38	0,32	0,64	0,41	0,34	0,37	0,31	0,28
		1,25	0,77	0,50	0,41	0,43	0,37	0,70	0,48	0,41	0,42	0,36	0,33
		1,5	0,83	0,56	0,47	0,47	0,41	0,75	0,54	0,46	0,46	0,40	0,36
		2	0,91	0,66	0,57	0,55	0,48	0,80	0,62	0,55	0,53	0,46	0,41
		2,5	0,96	0,74	0,64	0,60	0,54	0,84	0,66	0,61	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,79	0,69	0,63	0,58	0,87	0,72	0,66	0,60	0,55	0,48
		4	1,04	0,87	0,78	0,69	0,64	0,90	0,78	0,72	0,64	0,60	0,53
		5	1,07	0,92	0,84	0,72	0,67	0,91	0,80	0,76	0,67	0,63	0,55

Luminária	Refletâncias												
	Teto	$\rho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	$\rho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	$\rho_3$	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
C 3		0,6	0,47	0,21	0,14	0,20	0,13	0,46	0,20	0,15	0,19	0,14	0,13
		0,8	0,58	0,30	0,22	0,27	0,21	0,55	0,29	0,22	0,26	0,20	0,19
		1	0,66	0,37	0,28	0,32	0,26	0,61	0,36	0,27	0,32	0,24	0,23
		1,25	0,73	0,43	0,33	0,38	0,30	0,67	0,42	0,33	0,36	0,29	0,27
		1,5	0,78	0,49	0,39	0,43	0,35	0,71	0,47	0,38	0,41	0,33	0,31
		2	0,87	0,80	0,49	0,51	0,43	0,77	0,56	0,47	0,49	0,41	0,37
		2,5	0,92	0,68	0,57	0,56	0,49	0,81	0,61	0,54	0,54	0,46	0,42
		3	0,96	0,74	0,63	0,60	0,53	0,85	0,66	0,59	0,57	0,50	0,46
		4	1,01	0,82	0,72	0,66	0,60	0,88	0,72	0,66	0,62	0,56	0,51
		5	1,05	0,87	0,78	0,70	0,64	0,90	0,77	0,70	0,65	0,60	0,54
C 4		0,6	0,47	0,21	0,14	0,19	0,14	0,45	0,20	0,16	0,19	0,14	0,14
		0,8	0,57	0,30	0,21	0,26	0,20	0,55	0,29	0,22	0,25	0,19	0,18
		1	0,65	0,36	0,27	0,31	0,24	0,61	0,35	0,27	0,30	0,23	0,21
		1,25	0,72	0,42	0,32	0,36	0,29	0,67	0,41	0,32	0,35	0,28	0,25
		1,5	0,77	0,48	0,37	0,40	0,33	0,71	0,46	0,36	0,39	0,32	0,28
		2	0,85	0,58	0,46	0,47	0,39	0,77	0,54	0,45	0,46	0,38	0,33
		2,5	0,90	0,65	0,54	0,53	0,45	0,81	0,60	0,51	0,50	0,43	0,38
		3	0,94	0,71	0,60	0,57	0,50	0,84	0,65	0,56	0,53	0,47	0,41
		4	0,99	0,79	0,70	0,63	0,56	0,87	0,71	0,64	0,58	0,53	0,46
		5	1,02	0,84	0,75	0,66	0,60	0,90	0,75	0,68	0,62	0,56	0,49
D 2		0,6	0,47	0,20	0,14	0,17	0,12	0,42	0,20	0,15	0,17	0,12	0,11
		0,8	0,55	0,28	0,21	0,24	0,18	0,52	0,27	0,21	0,24	0,18	0,16
		1	0,63	0,36	0,27	0,29	0,23	0,59	0,34	0,27	0,29	0,22	0,20
		1,25	0,70	0,43	0,33	0,34	0,28	0,65	0,41	0,33	0,33	0,27	0,24
		1,5	0,76	0,49	0,39	0,39	0,32	0,69	0,47	0,39	0,37	0,31	0,27
		2	0,84	0,59	0,49	0,46	0,39	0,74	0,55	0,48	0,44	0,37	0,31
		2,5	0,90	0,67	0,57	0,51	0,44	0,78	0,61	0,54	0,48	0,42	0,35
		3	0,93	0,72	0,63	0,55	0,49	0,82	0,65	0,59	0,51	0,46	0,39
		4	0,99	0,81	0,72	0,60	0,54	0,85	0,72	0,66	0,55	0,51	0,43
		5	1,02	0,86	0,78	0,63	0,58	0,87	0,76	0,70	0,58	0,54	0,45
D 3		0,6	0,44	0,19	0,13	0,17	0,11	0,42	0,19	0,14	0,16	0,12	0,10
		0,8	0,55	0,27	0,19	0,23	0,17	0,51	0,26	0,20	0,22	0,16	0,15
		1	0,63	0,34	0,25	0,28	0,22	0,58	0,33	0,25	0,27	0,21	0,18
		1,25	0,69	0,42	0,32	0,33	0,26	0,64	0,40	0,32	0,32	0,26	0,22
		1,5	0,75	0,48	0,38	0,37	0,31	0,68	0,46	0,37	0,36	0,30	0,25
		2	0,82	0,58	0,48	0,44	0,38	0,74	0,54	0,46	0,42	0,36	0,30
		2,5	0,88	0,66	0,56	0,49	0,44	0,78	0,60	0,53	0,46	0,41	0,34
		3	0,92	0,72	0,62	0,53	0,48	0,81	0,64	0,58	0,50	0,45	0,36
		4	0,97	0,80	0,71	0,58	0,53	0,84	0,71	0,65	0,54	0,50	0,40
		5	1,00	0,85	0,77	0,61	0,57	0,85	0,75	0,69	0,57	0,53	0,42
D 4		0,6	0,43	0,17	0,12	0,16	0,095	0,41	0,17	0,12	0,15	0,10	0,095
		0,8	0,53	0,25	0,17	0,21	0,14	0,49	0,24	0,17	0,20	0,14	0,13
		1	0,61	0,31	0,22	0,25	0,19	0,55	0,30	0,21	0,24	0,17	0,16
		1,25	0,68	0,38	0,28	0,30	0,23	0,61	0,36	0,27	0,29	0,22	0,19
		1,5	0,72	0,43	0,33	0,34	0,27	0,65	0,41	0,32	0,33	0,26	0,22
		2	0,80	0,53	0,42	0,41	0,34	0,71	0,50	0,41	0,40	0,33	0,27
		2,5	0,86	0,61	0,50	0,46	0,39	0,76	0,56	0,48	0,44	0,38	0,31
		3	0,90	0,67	0,56	0,50	0,43	0,79	0,61	0,53	0,48	0,42	0,34
		4	0,96	0,75	0,65	0,56	0,49	0,82	0,68	0,60	0,52	0,47	0,38
		5	0,99	0,81	0,72	0,59	0,53	0,84	0,71	0,65	0,55	0,51	0,41

Luminária	Refletâncias													
	Teto	$\rho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3	
	Parede	$\rho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	
	Piso	$\rho_3$	0,3					0,1						
Índice do Recinto		K												
E 2		0,6	0,39	0,15	0,095	0,11	0,06	0,34	0,15	0,10	0,12	0,08	0,05	
		0,8	0,48	0,21	0,14	0,15	0,095	0,44	0,21	0,14	0,16	0,10	0,085	
		1	0,56	0,28	0,20	0,18	0,13	0,51	0,27	0,19	0,19	0,13	0,085	
		1,25	0,62	0,35	0,26	0,22	0,17	0,57	0,33	0,25	0,22	0,16	0,11	
		1,5	0,68	0,41	0,31	0,26	0,20	0,62	0,39	0,30	0,25	0,19	0,13	
		2	0,76	0,51	0,41	0,32	0,26	0,68	0,48	0,40	0,30	0,25	0,16	
		2,5	0,81	0,59	0,49	0,36	0,31	0,72	0,54	0,47	0,34	0,29	0,18	
		3	0,85	0,65	0,55	0,39	0,34	0,75	0,58	0,52	0,37	0,32	0,20	
		4	0,90	0,72	0,64	0,43	0,39	0,77	0,64	0,58	0,40	0,36	0,22	
		5	0,93	0,77	0,70	0,45	0,42	0,78	0,68	0,63	0,43	0,39	0,24	
E 3		0,6	0,41	0,16	0,08	0,13	0,06	0,36	0,14	0,085	0,13	0,06	0,05	
		0,8	0,49	0,21	0,12	0,16	0,085	0,44	0,21	0,13	0,15	0,095	0,065	
		1	0,55	0,27	0,17	0,19	0,12	0,50	0,26	0,17	0,18	0,12	0,08	
		1,25	0,61	0,32	0,23	0,22	0,16	0,56	0,31	0,23	0,21	0,15	0,10	
		1,5	0,66	0,38	0,28	0,25	0,19	0,60	0,36	0,28	0,24	0,18	0,12	
		2	0,73	0,48	0,37	0,31	0,24	0,66	0,43	0,37	0,29	0,23	0,15	
		2,5	0,79	0,56	0,45	0,35	0,28	0,70	0,49	0,43	0,33	0,27	0,17	
		3	0,83	0,62	0,52	0,38	0,32	0,72	0,55	0,48	0,35	0,30	0,19	
		4	0,88	0,70	0,61	0,42	0,37	0,75	0,62	0,55	0,39	0,35	0,21	
		5	0,91	0,75	0,68	0,44	0,40	0,78	0,66	0,60	0,42	0,38	0,23	