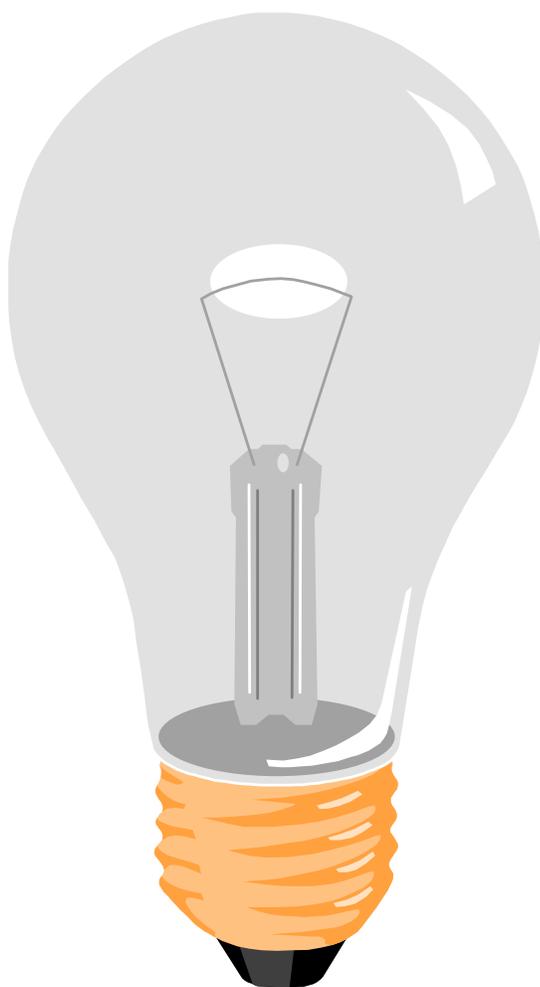


LUMINOTÉCNICA



Profa. Jeanine Marchiori da Luz

CURSO DE LUMINOTÉCNICA

1 – INTRODUÇÃO

Radiações Infra-vermelhas	5
Radiações Ultra-violetas	5

2- CONCEITOS E GRANDEZAS FUNDAMENTAIS

Fluxo luminoso	7
Eficiência luminosa	8
Intensidade luminosa	8
Curva de distribuição luminosa	8
Iluminância	8
Luminância	9
Índice de reprodução de cor	10
Temperatura de cor	11
Vida média	12

3- TIPOS DE LÂMPADAS

Lâmpadas incandescentes	13
Efeito da variação da tensão no funcionamento das lâmpadas incandescentes	15
Lâmpadas halógenas	16
Lâmpadas de descarga	18
Lâmpadas Fluorescentes	18
Lâmpadas de Luz Mista	21
Lâmpadas a Vapor de Mercúrio	22
Lâmpadas a Vapor de Sódio	23
Lâmpadas Multi-Vapor Metálico	23
Lâmpadas de Luz Negra	24

4- TIPOS DE LUMINÁRIAS

5- CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

Método dos Lumens ou Método do Fluxo Luminoso	26
Método do ponto a ponto	28

6 – EXEMPLOS E APLICAÇÕES

1- INTRODUÇÃO

Comparando a época que a luz artificial começou a ser utilizada com os dias atuais, constata-se que foi grande o passo dado pela indústria da iluminação no século XX. Desde a lâmpada criada por Thomas Edison até os produtos disponíveis hoje, houve um avanço espantoso.

Ao contrário do que normalmente se divulga, a lâmpada de Edison não foi a primeira a utilizar a eletricidade, pois no final do século XIX, já havia um sistema para iluminação pública, composto por dois eletrodos de carvão muito próximos, por onde passava uma descarga elétrica. Essa lâmpada era conhecida como lâmpada de arco, pois ela produzia uma luz intensa, muito branca e era utilizada, também, em faróis de navegação e outras aplicações específicas. O maior problema dessa lâmpada estava justamente na grande quantidade de luz produzida, o que impedia sua utilização em ambientes comerciais ou residenciais.

A primeira lâmpada disponível para uso residencial foi a de Edison, por isto considerada como a primeira lâmpada comercial. A lâmpada de Edison era constituída de um fio de linha carbonizado em um cadinho hermeticamente fechado, produzindo uma luz amarelada e fraca como a de uma vela e apresentando um rendimento de 1,41 lumens por watt.

De início, o invento enfrentou grandes barreiras à sua utilização, principalmente por ser uma tecnologia que necessitava de novas instalações. A energia elétrica era um luxo pouco disponível na época, sendo o próprio invento, uma ferramenta para tornar a energia elétrica mais difundida, pois era quase unânime a idéia de que o gás e o vapor seriam suficientes para o desenvolvimento do mundo.

Ficou marcada uma frase de Thomas Edison, ressaltando a diferença entre a visão futurista e a imediatista, ao ser questionado em relação ao preço de sua lâmpada comparada ao de uma vela: - “No futuro, somente os ricos queimarão velas”.

As novas tecnologias sempre causam esse tipo de conflito, da vantagem tecnológica contra o custo de investimento. O problema enfrentado por Edison também ocorre hoje em dia, com as novas tecnologias.

Nos últimos anos, houve um avanço na utilização de sistemas mais eficientes, certamente motivado pelo aumento nos custos da energia elétrica nos países desenvolvidos – principalmente nos EUA, onde a energia é gerada principalmente em usinas nucleares. O investimento necessário para construir usinas e sistemas de transmissão é tamanho que os governos adotam programas intensivos para promover a utilização de equipamentos de utilização energeticamente mais eficientes.

Recentemente foi decretada uma nova lei nos EUA para regulamentar a iluminação sob seu aspecto energético. Foi simplesmente proibido o uso de sistemas de iluminação com baixa eficiência, incluindo lâmpadas bastante utilizadas no Brasil, como as incandescentes, as fluorescentes tradicionais, as de vapor de mercúrio e as mistas. Em alguns produtos do EUA, como lâmpadas comuns e equipamentos auxiliares, encontra-se a inscrição “proibida a venda no território americano”, ou “somente para exportação”. A mesma lei dá prazo para que as instalações antigas sejam reformadas e, para motivar a população, prevê financiamento destinado à troca de sistemas, além da aplicação de pesadas multas.

O motivo pelo qual essa resolução foi tomada é lógico: minimizar o consumo de energia elétrica. Os governos pretendem reduzir ao máximo os investimentos em eletricidade, que, além dos custos financeiros, geram custos ambientais significativos. A estratégia para atingir esses objetivos reside no desenvolvimento de novas fontes de luz, equipamentos auxiliares, sensores e luminárias mais econômicas.

A luz é uma modalidade da energia radiante verificada pela sensação visual de claridade. A faixa de radiações das ondas eletromagnéticas detectada pelo olho humano e situa entre 380 nm e 780 nm. (1 nanometro = 10^{-9} m).

O espectro eletromagnético visível esta limitado, em um dos extremos pelas radiações infravermelhas (de maior comprimento de onda) e no outro, pelas radiações ultravioletas (de menor comprimento de onda), conforme pode ser visto pela figura 1.

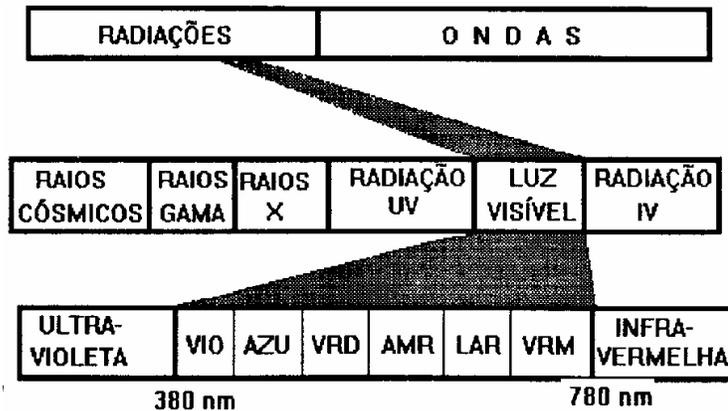


Figura 1 – Sensibilidade visual do olho humano

RADIAÇÕES INFRAVERMELHAS

São radiações invisíveis ao olho humano e seu comprimento de onda se situa entre 760 nm a 10.000 nm.

Caracterizam-se por se forte efeito calorífico e são radiações produzidas normalmente através de resistores aquecidos ou por lâmpadas incandescentes especiais cujo filamento trabalha em temperatura mais reduzida (lâmpadas infravermelhas).

As radiações infravermelhas são usadas na Medicina no tratamento de luxuações, ativamente da circulação, na indústria na secagem de tintas e lacas , na secagem de enrolamentos de motores e transformadores, na secagem de grãos, como trigo e café, etc.

RADIAÇÕES ULTRAVIOLETAS

Caracterizam-se por sua elevada ação química e pela excitação da fluorescência de diversas substâncias.

Normalmente dividem-se em 3 grupos:

- **UV-A:** Ultravioleta próximo ou luz negra (315 a 400 nm)
- **UV-B:** Ultravioleta intermediário (280 a 315 nm)
- **UV-C:** Ultravioleta remoto ou germicida (100 a 280 nm).

O UV-A compreende as radiações ultravioletas da luz solar, podendo ser gerado artificialmente através de uma descarga elétrica no vapor de mercúrio em alta pressão. Essas radiações não afetam perniciosamente a visão humana, não possuem atividades pigmentárias e eritemáticas sobre a pele humana, e atravessam praticamente todos os tipos de vidros comuns. Possuem grande atividade sobre material fotográfico, de reprodução e heliográfico ($\lambda \cong 380$ nm)

O UV-B tem elevada atividade pigmentária e eritemática. Produz a vitamina D, que possui ação anti-raquítica. Esses raios são utilizados unicamente para fins terapêuticos. São também gerados artificialmente por uma descarga elétrica no vapor de mercúrio em alta pressão.

O UV-C afeta a visão humana, produzindo irritação dos olhos. Essas radiações são absorvidas quase integralmente pelo vidro comum, que funciona como filtro, motivo pelo qual as lâmpadas germicidas possuem bulbos de quartzo.

Exemplos de Aplicações:

MEDICINA: atuação sobre os tecidos vivos e pigmentação da pele(UV-B); efeito germicida (UV-C);

INDÚSTRIA: identificação de substâncias pela fluorescência (A); combate ao mofo e fungos(C), produção de ozona (C).

BANCOS: identificação e verificação de papel moeda (A).

NO LAR: desodorização de ambientes, devido a produção de ozona (C).

O ESPECTRO VISÍVEL

Examinando a radiação visível, verifica-se que, além da impressão luminosa, obtém-se também a impressão de cor. Essa sensação de cor está intimamente ligada aos comprimentos de ondas das radiações. Verifica-se que os diferentes comprimentos de onda (as diferentes cores) produzem diversas sensações de luminosidade; isto é, o olho humano não é igualmente sensível a todas as cores do espectro visível.

2- CONCEITOS E GRANDEZAS FUNDAMENTAIS

FLUXO LUMINOSO (Φ): é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz, ou é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. O lúmen pode ser definido como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções e igual a 1 candela.

As lâmpadas conforme seu tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos:

- lâmpada incandescente de 100 W: 1000 lm;
- lâmpada fluorescente de 40 W: 1700 a 3250 lm;
- lâmpada vapor de mercúrio 250W: 12.700 lm;
- lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 17.000 lm

EFICIÊNCIA LUMINOSA: é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência elétrica desta lâmpada.

- lâmpada incandescente de 100W: 10 lm/W
- lâmpada fluorescente de 40 W: 42,5 lm/W a 81,5 lm/W.
- lâmpada vapor de mercúrio de 250W: 50 lm/W

- lâmpada multi-vapor metálico de 250W: 68 lm/W.

INTENSIDADE LUMINOSA: (I): é a potência da radiação luminosa numa dada direção. A intensidade luminosa é a grandeza de base do sistema internacional para iluminação, e a unidade é a candela (cd).

Para melhor se entender a intensidade luminosa, é importante o conceito da curva de distribuição luminosa.

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA: trata-se de um diagrama polar no qual se considera a lâmpada ou luminária reduzida a um ponto no centro do diagrama e se representa a intensidade luminosa nas várias direções por vetores, cujos módulos são proporcionais a velocidades, partindo do centro do diagrama. A curva obtida ligando-se as extremidades desses vetores é a curva de distribuição luminosa.

Costuma-se na representação polar, referir os valores de intensidade luminosa constantes a um fluxo de 1000 lumens.

ILUMINÂNCIA OU ILUMINAMENTO (E): é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide; ou seja é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A unidade é o LUX, definido como o iluminamento de uma superfície de 1 m^2 recebendo de uma fonte puntiforme a 1m de distância, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído.

EXEMPLOS DE ILUMINÂNCIA

Dia ensolarado de verão em local aberto $\approx 100.000 \text{ lux}$

Dia encoberto de verão $\approx 20.000 \text{ lux}$

Dia escuro de inverno $\approx 3.000 \text{ lux}$

Boa iluminação de rua $\approx 20 \text{ a } 40 \text{ lux}$

Noite de lua cheia $\approx 0,25$ lux

Luz de estrelas $\approx 0,01$ lux.

LUMINÂNCIA: é um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta. É através da luminância que o homem enxerga. No passado denominava-se de brilhaça, querendo significar que a luminância está ligada aos brilhos. A diferença é que a luminância é uma excitação visual, enquanto que o brilho é a resposta visual; a luminância é quantitativa e o brilho é sensitivo. É a diferença entre zonas claras e escuras que permite que se aprecie uma escultura; que se aprecie um dia de sol. As partes sombreadas são aquelas que apresentam a menor luminância em oposição às outras mais iluminadas.

Luminância liga-se com contrastes, pois a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo e, assim, a leitura “cansa menos os olhos”. Entretanto, quando as luminâncias se aproximam, como é o caso da linha de costura e do tecido, a observação torna-se mais difícil (contraste reduzido) e há necessidade de mais luz. Grande é o efeito psicológico das luminâncias no indivíduo, quando o homem vê, compara luminâncias. Quando compara luminâncias pode ficar eufórico ou triste, estimulado ou abatido.

Por definição luminância é a razão da intensidade luminosa (dI), incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, para a área dA aparente vista pelo observador, quando esta área tende a zero. Área aparente significa que é a área projetada, aquela que é vista pelo observador. Por exemplo, quando a incidência da intensidade luminosa é normal à superfície esta área aparente é a própria área da superfície, caso contrário é proporcional ao cosseno do ângulo α .

Em matemática:

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos \alpha}$$

onde:

L luminância [cd/m^2]

A: área da superfície [m^2]

α : direção da observação [$^\circ$]

I: intensidade luminosa [cd]

ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR - IRC

O índice de reprodução de cor é baseado em uma tentativa de mensurar a percepção da cor avaliada pelo cérebro. O IRC é o valor percentual médio relativo à sensação de reprodução de cor, baseado em uma série de cores padrões. Para indicar de forma consistente as propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz, idealizou-se um índice de reprodução de cores padrões (no caso 8) sob diferentes iluminantes. O método de avaliação, numa explicação bem simplificada, consiste na avaliação das cores padrões, quando submetidas à luz da fonte a ser analisada e sob a luz de uma fonte de referência que deveria ser um corpo negro (radiador integral), que apresenta um valor de 100%. Costuma-se, então, afirmar que está relacionado com a lâmpada incandescente, pois esta tem um comportamento próximo ao do radiador integral. Então se uma fonte luminosa apresenta um índice de 60%, este está relacionado como radiador integral que é de 100%. Isto é verdade em parte. Como a percepção varia segundo o indivíduo e suas experiências anteriores, nem sempre esta avaliação corresponde à realidade. Para facilitar o esclarecimento, é costume, entre os fabricantes, a apresentação de uma tabela que informe comparativamente o índice de reprodução de cores, a temperatura de cor e a eficácia ou eficiência luminosa.

Um IRC em torno de 60 pode ser considerado razoável, 80 é bom e 90 é excelente. Claro que tudo irá depender da exigência da aplicação que uma lâmpada deve atender. Um IRC de 60 mostra-se inadequado para uma iluminação de loja, porém, é mais que suficiente para a iluminação de vias públicas.

Exemplos

Lâmpada	IRC
Incandescente	100
Fluorescente	60
Vapor de mercúrio	55
Vapor metálico	70
Vapor de sódio A. . P.	30
Vapor de sódio B. P.	0

TEMPERATURA DE COR

No instante que um ferreiro coloca uma peça de ferro no fogo, esta peça passa a comportar-se segundo a lei de Planck e vai adquirindo diferentes colorações na medida que sua temperatura aumenta. Na temperatura ambiente sua cor é escura, tal qual o ferro, mas será vermelha a 800 K, amarelada em 3.000 K, branca azulada em 5.000K. Sua cor será cada vez mais clara até atingir seu ponto de fusão. Pode-se então, estabelecer uma correlação entre a temperatura de uma fonte luminosa e sua cor, cuja energia do espectro varia segundo a temperatura de seu ponto de fusão. Por exemplo, uma lâmpada incandescente opera com temperaturas entre 2.700 K e 3.100 K, dependendo do tipo de lâmpada a ser escolhido. A temperatura da cor da lâmpada deve ser preferencialmente indicada no catálogo do fabricante.

A observação da experiência acima indica que, quando aquecido o corpo negro (radiador integral) emite radiação na forma de um espectro contínuo. No caso de uma lâmpada incandescente, grande parte desta radiação é invisível, seja na forma de ultravioletas, seja na forma de calor (infravermelhos), isto é, apenas uma pequena porção está na faixa da radiação visível, motivo pelo qual o rendimento desta fonte luminosa é tão baixo conforme pode ser visto na figura 2.

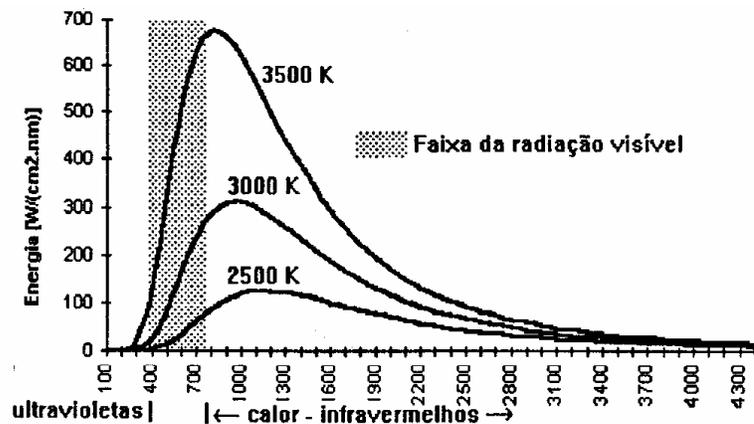


Figura 2 – Energia espectral dos radiadores integrais segundo a lei de Planck

A figura 2 permite observar que quanto maior for a temperatura, maior será a energia produzida, sendo que a cor da luz está diretamente relacionada com a temperatura de trabalho (mais fria quanto maior for a temperatura).

Um aspecto importante é que a temperatura da cor não pode ser empregada isoladamente e sim em conjunto com o IRC, mas independentemente deste aspecto, aceita-se que cores quentes vão até 3.000K, as cores neutras situam-se entre 3.000 e 4.000K e as cores frias acima deste último valor

As cores quentes são empregadas quando se deseja uma atmosfera íntima, sociável, pessoal e exclusiva (residências, bares, restaurantes, mostruários de mercadorias); as cores frias são usadas quando a atmosfera deva ser formal, precisa, limpa (escritórios, recintos de fábricas). Seguindo esta mesma linha de raciocínio, conclui-se que uma iluminação usando cores quentes realça os vermelhos e seus derivados; ao passo que as cores frias, os azuis e seus derivados próximos. As cores neutras ficam entre as duas e são, em geral, empregadas em ambientes comerciais.

VIDA MÉDIA

Normalmente especifica-se a “vida média” válida para um lote de lâmpadas, funcionando em períodos contínuos de 3 h, quando 50% do lote está “morto”.

Considera-se “morta” a lâmpada que não mais se acende. O fluxo luminoso nominal é o fluxo produzido pela lâmpada depois de ter sido “sazonada”, isto é, tenha funcionado aproximadamente 10% de sua vida provável. O conceito de “vida” é bastante variável conforme os fabricantes e usuários.

Comparadas com as lâmpadas incandescentes, as lâmpadas de descarga têm vida média muito mais longa. Ciclos de funcionamento mais curtos, partidas mais freqüentes, encurtam a vida das lâmpadas de descarga e os ciclos de funcionamento mais longos, partidas menos freqüentes, aumentam a vida.

No passado a relação entre o número de operações liga/desliga e a redução da vida útil das lâmpadas fluorescentes era bastante crítica, hoje em dia já não é, uma vez que o volume de pó ionizante sobre o filamento é bastante grande. No entanto, não se deve ligar/desligar uma lâmpada fluorescente a cada um ou dois minutos. Se a freqüência for de 10 a 15 minutos, já vale a pena, pois o custo da lâmpada em relação ao consumo de energia é compensador.

3- TIPOS DE LÂMPADAS

3.1 – LÂMPADAS INCANDESCENTES

As lâmpadas incandescentes possuem bulbo de vidro, em cujo interior existe um filamento de tungstênio espiralado, que é levado a incandescência pela passagem da corrente (efeito Joule). Sua oxidação é evitada pela presença de gás inerte (~~Níquel~~ e Argônio) ou vácuo dentro do tubo. O alto fluxo luminoso das novas lâmpadas incandescente é obtido com filamentos de dupla espiralagem feitos de tungstênio puríssimo, pois as exigências da nova norma NBR IEC 64, ao definir que as novas lâmpada incandescentes apresentem fluxo luminoso mais alto, obriga os produtores a usarem essa tecnologia, que hoje constitui o ponto alto da fabricação de incandescentes. Embora o filamento duplo tenha custo bem maior que os filamentos normais, os fabricantes nacionais empenharam-se para que a norma incluísse a exigência de alto fluxo luminoso, de modo a dificultar a entrada em nosso mercado de lâmpadas importadas de qualidade inferior.

O bulbo pode ser incolor ou leitoso, este último usado para reduzir a luminância ou ofuscamento. A cor da luz é branco-avermelhada. Na reprodução de cores sobressaem as cores amarela e vermelha, ficando amortecidas as tonalidades verde e azul.

As principais finalidades dos bulbos das lâmpadas são:

- separar o meio interno, onde opera o filamento do meio externo
- diminuir a luminância da fonte de luz
- modificar a composição espectral do fluxo luminoso produzido
- alterar a distribuição fotométrica do fluxo luminoso produzido
- finalidade decorativa.

O vidro empregado na fabricação dos bulbos é normalmente o vidro cal, macio, de baixa temperatura de amolecimento.

Em lâmpadas ao ar livre, são empregados vidros duros ou vidros-borossilicatos, que resistem ao choque térmico. Em lâmpadas especiais tubulares, onde o filamento é colocado axialmente muito próximo ao bulbo são utilizados tubos de quartzo, que resistem a elevadas temperaturas sem ocorrer o seu amolecimento, como nas lâmpadas halógenas.

Para diminuir a luminância da fonte de luz, com o que se diminui a probabilidade de ofuscamentos os bulbos podem ser fosqueados internamente ou pintados. O fosqueamento interno corresponde ao tratamento do vidro com ácido fluorídrico, ficando a parte externa do bulbo lisa para evitar-se a aderência de poeira. Esse fosqueamento interno absorve de 1 a 2% do fluxo luminoso produzido pelo filamento. A pintura branca é executada com óxido de titânio diminuindo também a eficiência da lâmpada.

As bases têm por finalidade fixar mecanicamente a lâmpada em seu suporte e completar a ligação elétrica ao circuito de iluminação. A maior parte das lâmpadas

usa a base de rosca tipo Edison. Elas são designadas pela letra **E** seguida de um número que indica aproximadamente seu diâmetro externo em milímetros.

As bases tipo baioneta são indicadas quando se deseja uma fixação que resista a vibrações intensas (lâmpadas para trens e automóveis, etc.) ou nos tipos “focalizados”, onde a fonte de luz tenha uma posição precisa num circuito óptico (projetores de cinema, slides, etc.). Em casos particulares, são utilizadas bases de desenho especial. As bases tipo baioneta são designadas pela letra **B** seguida de seu diâmetro em milímetros.

Existem ainda as bases tipo pino as quais são designadas pela letra **T**, e são as bases utilizadas pelas lâmpadas fluorescentes tubulares, e os número escritos após a letra, significam o diâmetro em mm.

3.1.2 - EFEITO DA VARIAÇÃO DA TENSÃO NO FUNCIONAMENTO DAS LÂMPADAS INCANDESCENTES

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:

$$\Phi = \Phi_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{3,38}$$

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

$$T = T_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^{0,424}$$

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

onde:

Φ : fluxo luminoso

V: tensão

P: potência elétrica

T: temperatura

L; vida

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 120V. Calcule essas grandezas para o caso de uma variação de tensão de $\pm 5\%$ da tensão nominal.

3.1.3 – LÂMPADAS HALÓGENAS

São lâmpadas incandescentes nas quais se adicionam internamente ao bulbo, elementos halógenos como o iodo ou bromo. Realiza-se no interior do bulbo o chamado “ciclo do iodo, ou ciclo do bromo”. O tungstênio evaporado combina-se (em temperaturas abaixo de 1400° C com o halogênio adicionado ao gás presente no bulbo. O composto formado (iodeto de tungstênio), fica circulando dentro do bulbo, devido às correntes de convecção aí presentes, até se aproximar novamente do filamento. A alta temperatura aí reinante decompõe o iodeto, e parte do tungstênio se deposita novamente no filamento regenerando-o . O halogênio liberado começa o ciclo. Temos assim, uma reação cíclica que reconduz o tungstênio evaporado para o filamento. Com isso, o filamento pode trabalhar em temperaturas mais elevadas (aproximadamente 3200 a 3400K), obtendo-se maior eficiência luminosa, fluxo luminoso de maior temperatura de cor, ausência de depreciação do fluxo luminoso por enegrecimento do bulbo e dimensões reduzidas.

Para que o ciclo do iodo ocorra, a temperatura do bulbo deve estar acima de 250°C, obrigando a utilização de bulbos de quartzo, o que encarece a produção e exige que a lâmpada funcione nas posições para a qual foi projetada.

Recomenda-se os seguintes cuidados em sua instalação:

- não tocar o bulbo de quartzo com as mãos para evitar engordurá-lo; caso necessário, limpar as manchas com álcool;
- nas lâmpadas de maior potência, protegê-las individualmente por fusíveis pois, devido a suas reduzidas dimensões, no fim de sua vida, poderão ocorrer arcos elétricos internos;
- verificar a correta ventilação das bases e soquetes, pois temperaturas elevadas poderão danificá-los e romper a selagem na entrada dos lides;
- só instalar a lâmpada na posição para a qual foi projetada.

São lâmpadas de grande potência, mais duráveis, de melhor rendimento luminoso, menores dimensões e que reproduzem mais fielmente as cores, sendo todavia, mais caras. São utilizadas para iluminação de praças de esporte, pátios de

armazenamento de mercadorias iluminação externa em geral, teatros, estúdios de TV museus, monumentos, projetores, máquinas de xerox, etc.

LÂMPADAS HALÓGENAS DICRÓICAS

A lâmpada dicróica é uma lâmpada halógena com bulbo de quartzo, no centro de um refletor com espelho multifacetado numa base bipino. Possui fecho de luz bem delimitado, homogêneo, de abertura controlada e mais frio, pelo fato de transmitir aproximadamente 65% da radiação infravermelha para a parte superior da lâmpada. É disponível em duas versões com potência de 50W e tensão de 12 V, sendo necessário o uso de transformador, a saber:

- dicróica fechada: abertura de fecho de 12° , 24° e 36°, com refletor dicróico com vidro frontal
- dicróica aberta: abertura de fecho de 24° e 36°, com vidro refletor dicróico sem vidro frontal.

As lâmpadas halógenas com refletor dicróico possuem uma luz mais branca, mais brilhante e intensa , são ótimas para fins decorativos, transmitem menos calor ao ambiente e possuem um fecho de luz homogêneo bem definido.

3.2 – LÂMPADAS DE DESCARGA

Nessas lâmpadas o fluxo luminoso é gerado diretamente ou indiretamente pela passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores.

As lâmpadas de descarga podem ser:

- FLUORESCENTE
- LUZ MISTA
- VAPOR DE MERCÚRIO
- VAPOR DE SÓDIO
- MULTIVAPORES METÁLICOS
- LUZ NEGRA

3.2.1- LÂMPADAS FLUORESCENTES

São lâmpadas que utilizam a descarga elétrica através de um gás para produzir energia luminosa. As lâmpadas fluorescentes tubulares consistem de um bulbo cilíndrico de vidro, tendo em suas extremidades eletrodos metálicos de tungstênio recobertos de óxidos que aumentam seu poder emissor, por onde circula a corrente elétrica. Em seu interior existe vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão e as paredes internas do tubo são pintadas com materiais fluorescentes conhecidos por cristais de fósforo (phosphor, complexo de cálcio, bário, zinco, etc, conforme tipo e fabricante, contendo microcristais de fósforo).

Para as lâmpadas fluorescentes chamadas da “partida lenta”, são necessários dois equipamentos auxiliares: o starter e o reator.

O starter é um dispositivo constituído de um pequeno tubo de vidro dentro do qual são colocados dois eletrodos imersos em gás inerte, responsável pela formação inicial do arco que permitirá estabelecer um contato direto entre os referidos eletrodos e destina-se a provocar um pulso de tensão a fim de deflagrar a ignição da lâmpada.

Existem dois tipos de reatores, o eletromagnético que consiste essencialmente de uma bobina com núcleo de ferro, ligada em série com a alimentação da lâmpada, o qual tem por finalidade provocar um aumento da tensão durante a ignição e uma redução na intensidade da corrente durante o funcionamento da lâmpada; e o reator eletrônico, que tem a mesma função do reator eletromagnético e consiste basicamente de um circuito de retificação e um inversor oscilante (oscilador), de 16 a 50 kHz. Segundo os fabricantes, os reatores eletrônicos oferecem inúmeras vantagens em relação aos eletromagnéticos, a saber: menor ruído audível; menor aquecimento; menores níveis de interferência eletromagnética, menor consumo de energia elétrica e redução da cintilação (flicker).

PRÍNCIPIO DE FUNCIONAMENTO

Ao se fechar o interruptor, ocorre no starter uma descarga de efeito corona, o elemento bimetálico aquecido fecha o circuito, a corrente que passa aquece os eletrodos da lâmpada. Depois de fechados os contatos (no starter), cessa a descarga o que provoca rápido esfriamento do bimetálico, que dessa forma abrem os contatos e cessa a corrente pelo starter. Em consequência da abertura do contato, é gerado no reator uma sobretensão que faz romper o arco, e o circuito passa a fechar-se no interior da lâmpada. Os elétrons deslocando-se de um filamento a outro, esbarram em seu trajeto com átomos do vapor de mercúrio que provocam liberação de energia luminosa não visível (frequências muito elevadas) tipo radiação ultravioleta.

As radiações em contato com a pintura fluorescente do tubo, produzem radiação luminosa visível. A tensão final no starter é insuficiente para gerar uma nova descarga, o que faz com que o mesmo fique fora de serviço, enquanto a lâmpada estiver acesa.

Como os reatores eletromagnéticos são bobinas (indutâncias), absorvem potência reativa da rede e podem apresentar baixo fator de potência. Para melhorar o fator de potência e eliminar o efeito da interferência em rádio e TV, o starter é provido de um capacitor ligado em paralelo com o elemento bimetálico. Ainda, para melhorar o FP e reduzir o efeito estroboscópico pode-se executar uma ligação em paralelo de 2 lâmpadas fluorescentes, utilizando um reator duplo. Neste caso uma das lâmpadas é ligada normalmente com o reator e a outra em série com um reator e um capacitor de compensação constituindo um reator capacitivo.

Existem dois tipos de reatores eletromagnéticos:

Comuns ou convencionais: necessitam de starter para prover a ignição, podendo ser simples ou duplos;

De partida rápida: não necessitam de starter, podendo ser simples ou duplos.

O uso de reatores eletrônicos permite que seja feita a “dimerização” das lâmpadas fluorescentes. Existem reatores eletrônicos:

De alta frequência, que podem ser simples ou duplos;

De alta frequência dimerizável, que podem ser simples ou duplos.

TIPOS DE LÂMPADAS FLUORESCENTES:

Existem atualmente uma imensa gama de tipos de lâmpadas fluorescentes, desde tubulares, até compactas ou de formato circulares, podendo o projetista optar conforme suas necessidades e preferências. Cabe dizer, que sempre ao se pensar em projeto de iluminação, é adequado obter informações atualizadas dos diversos fabricantes de lâmpadas para obter informações sobre os últimos lançamentos.

Resumidamente pode-se citar o seguintes tipos de lâmpadas fluorescentes:

Lâmpadas fluorescentes compactas integradas : foram desenvolvidas visando obter grande economia de energia através de sua instalação em lugar das incandescentes comuns. São lâmpadas mais eficientes, pois economizam até 80% de energia em relação às lâmpadas incandescentes, vida longa (≈ 10.000 h), ótimo índice de reprodução de cores (≈ 80) e adaptável a base comum (E-27), com potências que variam de 9 a 23W.

Exemplos: PL * Eletronic da Philips, Dulux da Osram.

Lâmpadas fluorescentes compactas não integradas: são lâmpadas de 2 pinos constituídas por um grupo de pequenos tubos revestidos de pó fluorescente, interligados de modo a formar uma lâmpada “single-ended” com dimensões muito compactas, e reator eletromagnético acoplado. O revestimento das lâmpadas é feito com fósforos tricromáticos, e apresentam um IRC de 82, o que é considerado muito bom. São lâmpadas ideais para serem utilizadas de forma embutida, montadas em downlighters, luminárias de mesa, arandelas e luminárias de pedestais. São bastante utilizadas em iluminação comercial e ambientes residenciais.

Sistema fluorescente circular: composto de uma lâmpada fluorescente circular e um adaptador para soquetes comuns, também podendo substituir diretamente as lâmpadas incandescentes em cozinhas, áreas de serviço, garagens, etc.

Lâmpadas fluorescentes tubulares: são as tradicionais lâmpadas fluorescentes de comprimentos diversos que variam entre aproximadamente 400mm, 600mm, 1200mm e 2400mm, cuja potência varia de 15 a 110 W, tonalidades de cor distintas e em dois diâmetros (26mm e 33,5mm) para operação em partida rápida, convencional ou eletrônica. As lâmpadas fluorescentes da Série 80, apresentam IRC igual a 85, possibilitando muito boa reprodução de cores sendo muito utilizadas em iluminação de grandes áreas como escritórios, bancos, lojas, escolas, hospitais, hotéis, supermercados, etc.

3.2.2 – LÂMPADAS DE LUZ MISTA

Constam de um tubo de arco de vapor de mercúrio em série com um filamento incandescente de tungstênio que, além de produzir fluxo luminoso funciona como elemento de estabilização da lâmpada. Reúne características da lâmpada incandescente, fluorescente e vapor de mercúrio, pois:

- a luz do filamento emite luz incandescente;
- a luz do tubo de descarga a vapor de mercúrio emite intensa luz azulada;
- a radiação invisível (ultravioleta), em contato com a camada fluorescente do tubo, transforma-se em luz avermelhada.

As lâmpadas de luz mista dispensam o reator uma vez que o filamento além de produzir luz, limita a corrente de funcionamento, podendo ser ligados diretamente a rede, em tensões de 220V, pois tensões menores não seriam suficientes para a ionização do tubo de arco. O IRC dessas lâmpadas é 60, e a eficiência luminosa é em torno de 25 lm/W (muito baixa comparada com a lâmpada a vapor de mercúrio) e tem restrições quanto a posição de funcionamento, ou seja não é uma boa opção

para um sistema de iluminação, pois a vida útil é de aproximadamente 6000 horas. A potência varia entre 160W a 500W.

3.2.3 – LÂMPADAS A VAPOR DE MERCÚRIO

Constam de um tubo de descarga feito de quartzo para suportar elevadas temperaturas, tendo em cada extremidade um eletrodo principal, de tungstênio recoberto com material emissor de elétrons.

PRÍNCIPIO DE FUNCIONAMENTO

Quando uma tensão é aplicada à lâmpada cria-se um campo elétrico entre o eletrodo auxiliar e o principal. Forma-se um arco elétrico entre eles provocando o aquecimento dos óxidos emissores, a ionização do gás e a formação de vapor de mercúrio. Depois que o meio interno tornou-se ionizado, a impedância elétrica torna-se reduzida e, como a do circuito de partida é elevada (devido ao resistor), este torna-se praticamente inativo, passando a descarga elétrica a ocorrer entre os eletrodos principais. Com o aquecimento do meio interno a pressão dos vapores cresce com o conseqüente aumento do fluxo luminoso. O período de partida leva alguns segundos, e a lâmpada só entra em regime aproximadamente 6 minutos após ligada a chave. Se a lâmpada é apagada, o mercúrio não pode ser reionizado até que a temperatura do arco seja diminuída suficientemente, isto leva de 3 a 10 minutos, dependendo das condições externas e da potência da lâmpada.

O IRC é de 45, a eficiência luminosa varia entre 45 a 55 lm/W, e a vida varia em torno das 18.000 horas, sendo encontradas em vias públicas, fábricas, parques, praças , estacionamentos, etc.

3.2.4 – LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO

Produzem uma luz monocromática amarela, sem ofuscamento, e são apresentadas como a melhor solução para iluminação em locais onde existe névoa ou bruma.

As lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão têm um tubo de descarga de óxido de alumínio sinterizado, encapsulado por um bulbo oval de vidro. O tubo de descarga é preenchido por uma amálgama de sódio-mercúrio, além de uma mistura gasosa de neônio e argônio, utilizada para a partida.

As lâmpadas de sódio são produzidas para substituir as lâmpadas vapor de mercúrio diretamente nas potências equivalentes, devendo-se observar que as luminárias não devem causar um excessivo aumento da tensão de arco.

O IRC das lâmpadas a vapor de sódio é 23, a temperatura de cor é em torno de 2.000K e a vida varia em torno de 16.000 horas, necessitando de reator e ignitor de boa qualidade para operação e ignição confiável, não devendo ser utilizadas com circuitos capacitivos. São usadas em estradas, pontes, viadutos, túneis, aeroportos, etc.

3.2.5 – LÂMPADAS MULTI-VAPOR METÁLICO

São lâmpadas de vapor de mercúrio nas quais se introduzem outros elementos (iodetos, brometos) em seu tubo de descarga, de forma que o arco elétrico se realize numa atmosfera de vários vapores misturados. Obtém-se assim maiores eficiências luminosas, até 90 lm/W e melhor composição espectral.

São especialmente recomendadas quando se quer ótima qualidade na reprodução de cores como em lojas, shoppings, estádios, pistas de corrida, principalmente quando se pretende televisionamento em cores.

O IRC varia entre 65 e 85, conforme tipo e potência, bem como a temperatura de cor, que varia entre 3000K a 4900K.

Todas as lâmpadas a vapor metálico requerem um reator e um ignitor, os quais influenciam sua performance, ademais a tensão não deve flutuar mais que $\pm 5\%$ da tensão do reator

3.2.6 – LÂMPADAS DE LUZ NEGRA

São lâmpadas a vapor de mercúrio, diferindo destas somente no vidro utilizado na confecção da ampola externa. Nesse caso utiliza-se o bulbo externo de vidro com óxido de níquel (vidro de Wood), que sendo transparente ao ultra-violeta próximo absorve em grande parte o fluxo luminoso produzido.

São usadas em exames de gemas e minerais, apuração de fabricações, setores de correio, levantamento de impressões digitais, na indústria alimentícia para verificar adulterações, etc.

4- TIPOS DE LUMINÁRIAS

As luminárias são constituídas pelos aparelhos com as lâmpadas, e têm função de proteger as lâmpadas, orientar ou concentrar o fecho luminoso, difundir a luz, reduzir o ofuscamento e proporcionar um bom efeito decorativo.

No caso de luminárias para edificações, embora se utiliza basicamente lâmpadas fluorescentes, a diversidade de tipos é extensa e variada, variedade esta provocada não só pelo número e potência das lâmpadas utilizadas e pelos modos de instalação e montagem, mas principalmente pela forma de controle de luz.

Devido a esta diversidade, a classificação dos tipos de luminárias é bastante problemático, porém será apresentado aqui a classificação feita pela CIE (Comission Internacionale de L'Eclairage) baseada na percentagem do fluxo luminoso total dirigido para cima ou para baixo de um plano horizontal de referência.

Para melhor compreender os diversos tipos de luminárias, é importante observar a tabela abaixo:

Classificação da luminária	Fluxo luminoso em relação ao plano horizontal (%)	
	Para o teto	Para o plano de trabalho
Direta	0-10	90-100
Semi-direta	10-40	60-90
Indireta	90-100	0-10
Semi-indireta	60-90	10-40
Difusa	40-60	60-40

5- CÁLCULO LUMINOTÉCNICO

Ao se pensar em cálculo luminotécnico, é necessário ter presente quatro critérios principais, quais sejam:

- a quantidade de luz;
- o equilíbrio da iluminação;
- o ofuscamento;
- a reprodução de cor.

A cada um destes critérios deve ser dada a maior atenção, pois estão diretamente relacionados com as necessidades visuais, conforto visual e, portanto, o bem estar humano.

Ao se iniciar um projeto luminotécnico deve-se realizar *opções* preliminares, ou seja, escolher o tipo de iluminação mais adequada (incandescente, fluorescente, etc.) o tipo de luminária (direta, semi-direta, etc), sendo que estas *opções* envolvem aspectos de decoração, tipo do local (sala, escritório, loja, etc) e as atividades que serão desenvolvidas (trabalho bruto de maquinaria, montagem, leitura, etc.)

Basicamente existem dois métodos para cálculo luminotécnico:

- Método dos Lumens ou Método do Fluxo Luminoso;
- Método Ponto por Ponto.

O método mais utilizado para sistemas de iluminação em edificações é o método dos Lumens, ou método do Fluxo Luminoso, que consiste em determinar a quantidade de fluxo luminoso (lumens) necessário para determinado recinto baseado no tipo de atividade desenvolvida, cores das paredes e teto e do tipo de lâmpada-luminária escolhidos.

O método ponto por ponto também chamado de método das intensidades luminosas baseia-se nas leis de Lambert e é utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação ao plano que deve ser iluminado. Consiste em determinar a iluminância (lux) em qualquer ponto da superfície, individualmente, para cada projetor cujo fecho atinja o ponto considerado. O iluminamento total será a soma dos iluminamentos proporcionados pelas unidades individuais.

5.1 – MÉTODO DOS LUMENS OU MÉTODO DO FLUXO LUMINOSO

A maneira de efetivar este método, é utilizando a fórmula abaixo:

$$\Phi = \frac{E * S}{\mu * d}$$

onde:

Φ : fluxo luminoso em lumens;

E: iluminância ou nível de iluminamento em lux;

S: área do recinto em m²;

μ : coeficiente de utilização;

d: fator ou coeficiente de depreciação.

A partir do fluxo luminoso total necessário, determina-se o número de lâmpadas da seguinte forma:

$$n = \frac{\Phi}{\phi}$$

onde:

n: número de lâmpadas;
 Φ : fluxo luminoso em lumens;
 ϕ : fluxo luminoso de cada lâmpada.

DETERMINAÇÃO DA ILUMINÂNCIA :

Segundo uma pesquisa da Weston e Fortuin, para uma tarefa de leitura, a iluminância adequada se comporta da seguinte forma:

Iluminância relativa necessária aos vários grupos etários para o desempenho de uma tarefa específica:

Aos 10 anos de idade	60 lux	≈ 1
Aos 20 anos de idade	100 lux	$\approx 1,5$
Aos 30 anos de idade	120 lux	≈ 2
Aos 40 anos de idade	200 lux	≈ 3
Aos 50 anos de idade	400 lux	≈ 6
Aos 60 anos de idade	1000 lux	≈ 15

De acordo com a NBR 5413 da ABNT, alguns níveis recomendados para iluminação de interiores constam da tabela abaixo. Segundo a mesma fonte, as atividades foram divididas em três faixas: A, B, C e cada faixa com três grupos de iluminâncias, conforme o tipo de atividade. A seleção da iluminância específica para cada atividade é feita com auxílio de uma outra tabela, que define qual o nível recomendado

COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO

Depende:

- 1) da distribuição e da absorção da luz, efetuada pelas luminárias;
- 2) das dimensões do compartimento que exprime-se através do *Índice do Local*;
- 3) das cores das paredes e teto, caracterizados pelo *Fator de Reflexão*.

A obtenção do Índice do local varia conforme o fabricante de luminárias, mas sempre é uma relação entre o comprimento, largura e altura do recinto.

A General Electric fornece o Índice do Local através de uma tabela, onde aparecem letras de A-J, que são funções da largura, comprimento do local e:

- altura do teto: se a luminária for indireta ou semi-indireta;
- distância do foco luminoso ao chão ou ao plano de trabalho se a luminária for direta ou semi-direta.

A Philips chama o Índice do Local de Fator do local (K) que pode ser calculado da seguinte forma:

$$K = \frac{C * L}{(C + L) * H}$$

onde:

K: Fator do Local;

C: comprimento do local em m;

L: largura do local em m;

H: altura do local em m, (ou altura da luminária ao plano de trabalho).

Fator de Reflexão:

Os fatores de reflexão variam conforme as cores. Para efeito de cálculo luminotécnico, utiliza-se a seguinte tabela simplificada:

Teto branco	75%
Teto claro	50%
Parede branca	50%
Parede clara	30%
Parede medianamente clara	10%

FATOR DE DEPRECIAÇÃO

O fator de depreciação corresponde a uma relação entre o fluxo luminoso no fim do período de manutenção e o fluxo luminoso no início da instalação. O fluxo luminoso emitido por um aparelho de iluminação decresce com o uso devido a três causas:

- diminuição do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas, ao longo a vida útil das mesmas;
- a sujeira que se deposita sobre os aparelhos;
- a diminuição do poder refletor das paredes e do teto em consequência de seu escurecimento progressivo.

Neste método o fator de depreciação é fornecido pelo fabricante da luminária, e depende basicamente do modelo utilizado.

Exemplo:

Projetar a iluminação de uma sala de escritório de 15mX10m e 3,0m de altura.
(utilizar método da GE)

MÉTODO DA PHILIPS

Como foi dito anteriormente, a fórmula para o cálculo do fluxo luminoso é a mesma, o que varia neste caso, é o modo e obtenção do fator de utilização e do fator de depreciação, que devem ser obtidos em tabelas próprias do fabricante.

Para cada modelo de luminária, tem um fator de local K, e as refletâncias são dadas através de 3 (três) algarismos que representam as refletâncias do teto, paredes e piso respectivamente. Por exemplo, se o teto for branco (75% de reflexão), as paredes são claras (30% de reflexão) e o piso é claro (10%), o valor das refletâncias é caracterizado como 731.

O fator de depreciação é obtido levando-se em conta, não o modelo da luminária, mas sim o tipo de ambiente e o período previsto para a manutenção, conforme apresenta a tabela abaixo:

AMBIENTE	PERÍODO DE MANUTENÇÃO		
	2.500 hs	5.000 hs	7500 hs
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Exemplo:

Iluminar um escritório de 15 m de comprimento, 10m de largura e 3m de pé direito utilizando o método da Philips.

5.2 – MÉTODO PONTO POR PONTO

O método ponto por ponto, também chamado de método das intensidades luminosas, permite o cálculo do iluminamento em qualquer ponto da superfície, individualmente, para cada projetor cujo fecho atinja o ponto considerado. O iluminamento total será a soma dos iluminamentos proporcionados pelas unidades individuais.

Este método, que deve ser usado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação ao plano que deve ser iluminado, baseia-se nas leis de Lambert que diz:

“O iluminamento varia inversamente com o quadrado da distância “d” do ponto iluminado ao foco luminoso”.

$$E = \frac{I(\theta) \cos \theta}{d^2}$$

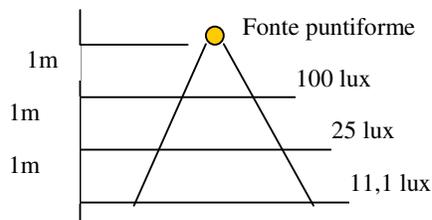
onde:

E: iluminamento em lux

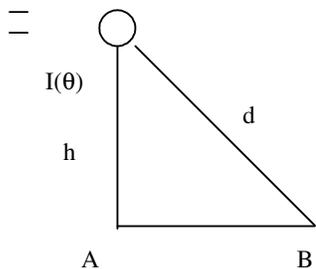
I: intensidade luminosa em candelas

θ : ângulo entre a vertical à superfície receptora e o ponto a ser iluminado

d: distância do foco luminoso ao ponto.



ILUMINAMENTO SOBRE UM PLANO HORIZONTAL



$$E_A = \frac{I(\theta) * \cos(0)}{h^2}$$

$$E_B = \frac{I(\theta) * \cos(\theta)}{d^2}$$

$$d = \frac{h}{\cos(\theta)}$$

$$E_B = \frac{I(\theta) * \cos^3(\theta)}{h^2}$$

ILUMINAMENTO SOBRE UM PLANO VERTICAL

$$E_v = \frac{I(\theta) * \text{sen}(\theta)}{d^2}$$

$$d = \frac{l}{\text{sen}(\theta)}$$

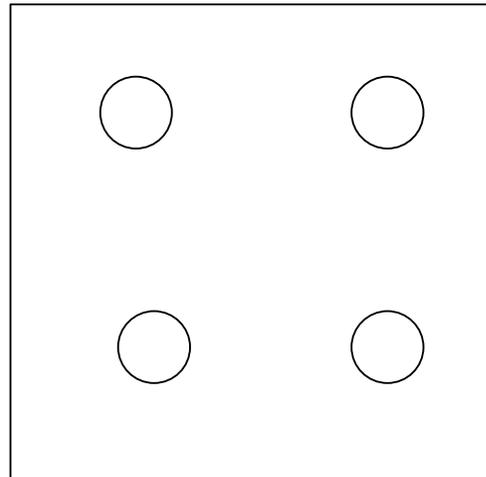
$$E_v = \frac{I(\theta) * \text{sen}^3(\theta)}{l^2}$$

Exemplo:

Um galpão industrial é iluminado através de lâmpadas a vapor de mercúrio de 400W, com fluxo luminoso inicial de 20.500 lumens. Calcular o iluminamento num ponto P na horizontal iluminado por 4 refletores A, B, C e D, conforme figura abaixo.

Distribuição luminosa em cd/1000 lumens

θ	$I(\theta)$
0°	208
10°	207
20°	205
30°	200
40°	180



6- EXEMPLOS E APLICAÇÕES

6.1- Determinar o número de lâmpadas e de luminárias para iluminar uma fábrica de móveis de 25X50X4m, cujo nível de iluminamento necessário é de 500 lux. O teto e as paredes são claros. O período previsto para manutenção do sistema de iluminação é de 5000 horas. O afastamento máximo entre luminárias é 0,9X pé direito. Mostre a disposição das luminárias no prédio.

6.2 - Um prédio industrial precisa ser iluminado, nele se fabricam equipamentos muito volumosos. A indústria está instalada num prédio com as seguintes características:

- pé direito: 8m;
- bancada de trabalho: 65cm,
- largura do prédio: 21m;
- comprimento do prédio: 84m;
- paredes de tijolo a vista
- teto de concreto

No processo produtivo a indústria necessita de um nível de iluminação de 600 lux, e não pode ter reprodução de cores parcial.

Determine o número de lâmpadas e de luminárias a serem instaladas neste prédio e represente a disposição das luminárias na planta baixa.

O afastamento máximo entre luminárias é igual a $0,95 \times$ pé direito, e a altura de montagem não pode ser inferior a 6,5 m.

6.3-. Se você fosse indagado sobre o tipo de iluminação mais adequado para iluminar os ambientes relacionados abaixo, qual(ais) o(s) tipo(s) de lâmpadas que você indicaria . Justifique sua resposta.

- a) escritório
- b) residência
- c) indústria de borracha com pé direito de 7m
- d) loteamento residencial (iluminação pública)
- e) quadra de esportes

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gilberto José Corrêa da Costa, Iluminação Econômica – Cálculo e Avaliação, EDIPUCRS, 1998.

Vinícius de Araújo Moreira, Iluminação e Fotometria – teoria e aplicação, Edgard Blucher Ltda, 1987.

Hélio Creder, Instalações Elétricas, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991,

Manuais da Philips

Manuais da Osram