

"EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS ELÉTRICOS"

1. INTRODUÇÃO

A energia constitui um recurso vital para a sociedade. As fontes de energia baseiam-se principalmente em combustíveis fósseis tais como petróleo, carvão e gás natural, assim como a energia hidráulica.

Muitas companhias ignoram que existe uma porcentagem de perdas em seus processos produtivos; no entanto, devido ao mercado competitivo em que desenvolvem suas atividades, veem-se agora na necessidade de implementar medidas que permitam obter economias e assim assegurar a maximização das suas receitas ao mesmo tempo de incrementam a sua competitividade.

A eficiência energética tem a ver com a análise dos processos produtivos de uma indústria, negócio, ou moradia, identificando oportunidades de economia e execução de medidas corretivas.

Hoje em dia o esforço pela otimização no uso da energia é o objetivo de qualquer negócio que utiliza a energia em suas diferentes formas, como o é a iluminação, ar comprimido, vapor, refrigeração, força motriz, climatização e sistemas informáticos.

As perdas energéticas nos sistemas elétricos estão concentradas essencialmente nos condutores elétricos, nos sistemas de iluminação e nas cargas tais como, máquinas rotativas, transformadores e outras cargas diversas.

Assim, o presente capítulo tem por objetivo identificar as oportunidades de economia de energia elétrica nos sistemas de iluminação e nas perdas produzidas nos condutores elétricos. Temas importantes para obter a eficiência energética.

2. EFICIÊNCIA EM CONDUTORES ELÉTRICOS

A seguir analisaremos a eficiência dos alimentadores para fazer uma avaliação econômica que nos permita encontrar uma seção ótima.

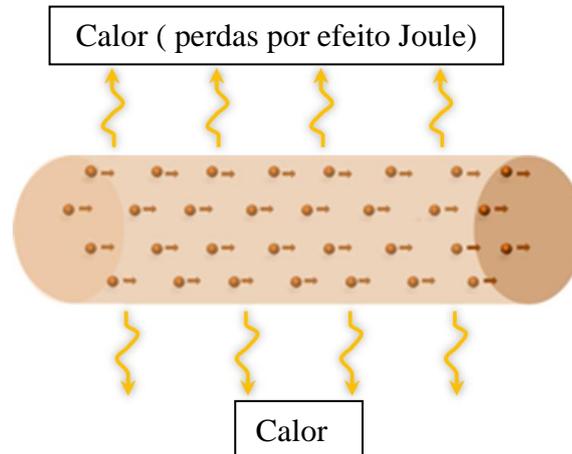


Figura 1.1 Perdas em condutor por efeito Joule.

2.1 OTIMIZAÇÃO DA SEÇÃO DO CONDUTOR

Para otimizar a seção de um condutor em um projeto existente temos as seguintes alternativas:

- a. **Substituir** os condutores por outros de maior seção nominal, capazes de suportar o aquecimento máximo associado à carga prevista e de assegurar uma queda de tensão inferior ao limite estabelecido pelas normas. Na medida em que o custo dos condutores não ultrapasse o valor monetário das perdas.
- b. **Agregar** condutores em paralelo aos já existentes, obtendo-se um condutor total de maior seção.
- c. **Incrementar** o nível de tensão de distribuição como segue:
 - Se as máquinas podem trabalhar em 220 / 380 volts, muda-se para trabalhar a 380 volts. A corrente de carga terá diminuído em 43% com relação à nominal. A nova corrente será 0,57% In.
 - Se as máquinas podem trabalhar em 220 / 440 volts, muda-se para trabalhar em 440 volts. A corrente de carga terá diminuído em 50% com relação à nominal. A nova corrente será 0,5% In.

Em ambos os casos tem que se considerar o custo da mudança em cada motor, o qual pode se desagregar nas economias posteriores durante um tempo estimado.

- d. **Acrescentar bancos de capacitores**, os quais, segundo sua instalação, têm os seguintes nomes:

- Compensação localizada ou individual.
- Compensação setorizada.
- Compensação centralizada.

O objetivo é melhorar o fator de potência, liberando desta forma uma porcentagem importante da carga reativa aos condutores elétricos e assim melhorar a capacidade de transporte das redes. Considerar que esta alternativa tem que ser avaliada com os custos que implicam os bancos de capacitores, o controle automático e o quadro de controle.

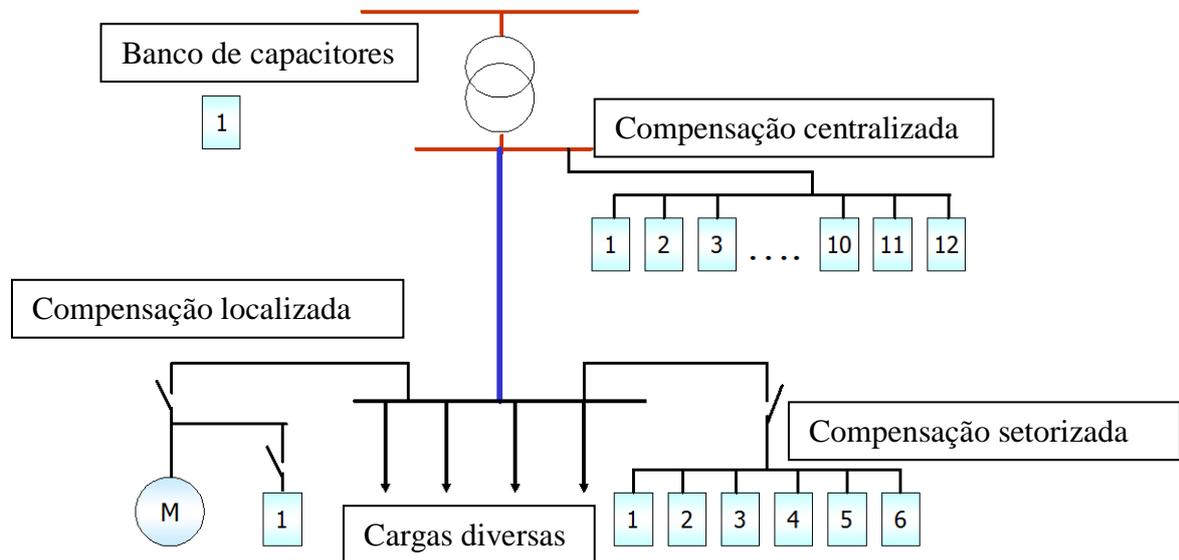


Figura 1.2 Esquema unifilar de diferentes tipos de compensação reativa.

- e. **Equilibrar** as correntes das fases do sistema trifásico para contar com um sistema balanceado.
- f. **Selecionar** transformadores eficientes que apresentem baixos níveis de perdas, o que implica que terão que ser adquiridos em alguns casos transformadores de maior custo.

2.2 SEÇÃO ECONÔMICA

Quando a eletricidade flui por um condutor elétrico, certa quantidade de energia se perde na forma de calor. A perda de calor dependerá da resistência elétrica (R) do condutor e da corrente que transporta (I^2); portanto, a fórmula I^2R permite determinar as perdas elétricas. Isso significa que, se a quantidade de corrente que passa por um condutor elétrico é incrementada, será produzida uma maior perda de energia sob a forma de calor.

Para enfrentar a necessidade de aumentar a capacidade de transmissão dos condutores elétricos, nos últimos anos foram desenvolvidos materiais isolantes mais resistentes que tornam possível o projeto de condutores

capazes de transportar mais corrente, apesar a ter a mesma seção nominal. Deste modo conseguiu-se diminuir o custo inicial. Não obstante, se consideramos o custo total de funcionamento do sistema, observaremos que o dinheiro inicialmente economizado perde-se através do maior custo gerado pela energia que se perde na forma de calor durante a vida útil da instalação. **Portanto, economizar no custo inicial é uma economia falsa.**

Empregar uma maior seção dos condutores elétricos permite reduzir a resistência destes e economizar energia.

E não somente se deve considerar a energia que se perde ao dissipar-se na forma de calor, mas também o maior custo que implica manter a eficiência operacional da instalação. Por exemplo, se uma planta de ar condicionado é projetada sob o critério de menor custo inicial, ao entrar em funcionamento trabalhará mais que o necessário para baixar a temperatura do ambiente, devido à maior quantidade de calor aportado pelas perdas de condutores elétricos de alta resistência.

Por conseguinte, é necessário e importante projetar com uma visão e avaliar as vantagens comparativas reais. A preocupação responsável pelo uso eficiente da energia não deve limitar-se ao curto prazo.

A seguir apresenta-se na tabela um exemplo de cálculo por perdas de energia elétrica nos condutores.

Passos	Características	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Dados
1	Distância (m)	50	50	50	50	
2	Potência (kW)	50	50	50	50	
3	Corrente (A)	164	164	164	164	
4	Cabo (mm ²)	25	35	50	70	Seções nominais
5	Resistência C.A.(ohm/km)	0,848	0,611	0,452	0,313	
6	Perda de potência (kW)	3,42	2,47	1,82	1,26	
7	Perda de energia (kwh)	6 840	4 940	3 640	2 520	167 h/mês 2.000 horas ano
8	Custo de perdas anuais por potência hora ponta (\$)	474,01	342,34	252,25	174,64	11,55 \$/kW-mês
9	Energia hora ponta (\$)	337,89	244,04	179,82	124,49	4,94 c\$/kWh
10	Total perdas hora ponta(\$)	811,90	586,38	432,07	299,13	
11	Diferença anual de perdas hora ponta (\$)		225,52	379,83	512,77	
12	Potência fora de ponta (\$)	434,61	313,89	231,29	160,12	10,59 \$/kW-mês
13	Energia fora de ponta (\$)	248,98	179,82	132,50	91,73	3,64 c\$/kWh
14	Total perdas hora fora de ponta (\$)	683,59	493,70	363,78	251,85	
15	Diferença anual de perdas hora fora de ponta (\$)		189,89	319,81	431,74	
16	Diferença custo de condutores (\$)		133,35	333,38	600,08	Custo médio mercado
17	Recuperação hora ponta		7 meses	10,5 meses	1 ano 2 meses	
18	Recuperação hora fora de ponta		8,4 meses	1 ano 0,5 meses	1 ano 4,6 meses	

O custo da energia é referencial para efeito do exemplo

Tabela 1.1 Cálculo por perdas de energia elétrica nos condutores.

A seguir explica-se o processo de cálculo para a alternativa 2 da tabela 1.1:

Passos 1, 2, 3, 4 e 5:

Dados do projeto e do fabricante de condutores.

Passo 6:

Perda de Potência (kW) = $3 \times I^2 \times R = 3 \times 164^2 \times 0,611 \text{ (ohm/km)} \times 0,050 \text{ (km)}$.

Perda de Potência (kW) = 2,47 kW

Passo 7:

Perda de Energia (kWh) = Perda de potência x horas-ano = 2,47 (kW) x 2 000 (h/ano).

Perda de Energia (kWh) = 4 940 kWh

Passo 8:

Custo de perdas anuais por potência hora ponta (\$) = Perda de potência (kW) x Custo (\$/kW-mês) x 12

Custo de perdas anuais por potência hora ponta (\$) = 2,47 (kW) x 11,55 (\$/kW-mês) x 12

Custo de perdas anuais por potência hora ponta = \$ 342,34

Passo 9:

Energia hora ponta (\$) = Perda de energia (kWh) x Custo energia hora ponta (c\$/kWh).

Energia hora ponta (\$) = 4 940 (kWh) x 4,94 c\$/kWh = \$ 244,04

Passo 10:

Total perdas hora ponta (\$) = Custo de perdas anuais por potência hora ponta + Custo Energia hora ponta.

Total perdas hora ponta (\$) = 342,34 + 244,04 = \$ 586,38

Passo 11:

Diferença anual de perdas hora ponta (\$) = Total perdas hora ponta (25 mm²) – Total perdas hora ponta (35 mm²) = 811,90 – 586,38 = \$ 225,52

Passo 12:

Custo de perdas anuais por potência fora de hora ponta (\$) = 2,47 (kW) x 10,59 (\$/kW-mês) x 12

Custo de perdas anuais por potência fora de hora ponta = \$ 313,89

Passo 13:

Energia fora de ponta = Perda de energia (kWh) x Custo energia fora de ponta (\$).

$$\text{Energia fora de ponta} = 4\,940 \text{ (kWh)} \times 3,64 \text{ c\$/kWh} = \$ 179,82$$

Passo 14:

Total perdas hora fora de ponta (\$) = Custo de perdas anuais por potência hora fora de ponta + Custo de energia hora fora de ponta.

$$\text{Total perdas hora ponta} (\$) = \$ 313,89 + \$ 179,82 = \$ 493,70$$

Passo 15:

Diferença anual de perdas hora fora de ponta (\$) = Total perdas hora fora de ponta (25 mm²) – Total perdas hora fora de ponta (35mm²) = \$ 683,59 - \$ 493,70 = \$ 189,89

Passo 16:

Preço do fabricante.

Passo 17:

Recuperação hora ponta = Diferença custo de condutores (\$) / (Diferença anual de perdas hora ponta (\$)) / 12

$$\text{Recuperação hora ponta} = 133,35 / (225,52 / 12) = 7 \text{ meses.}$$

Passo 18:

Recuperação fora hora ponta = 133,35 / (189,89 / 12) = 8,4 meses.

Dos resultados podemos concluir que a recuperação do investimento ao usar condutores de maior seção dá-se em um tempo relativamente curto, onde depois de amortizada, a economia vai a favor da empresa pela economia do consumo de energia perdida; além dos benefícios técnicos que se obtêm como consequência de baixas quedas de tensão ao terem uma menor resistência os condutores.

2.3 VANTAGENS DOS CONDUTORES ELÉTRICOS DE COBRE

- O **cobre** tem **muito maior condutividade** elétrica que qualquer outro metal comum. Em consequência disso, para transportar a mesma quantidade de corrente, condutores de **cobre** requerem **menor diâmetro** que aqueles fabricados com outros materiais. Então, não somente diminuem os custos por menores requisitos na quantidade de metal, mas também nos materiais isolantes e

coberturas; além disso, não será necessário preparar dutos maiores para transportá-los.

Seção nominal (mm ²)	Intensidade máxima admissível (A)			
	Cobre		Alumínio	
	Tipo de isolação			
	PVC	XLPE	PVC	XLPE
4	36	41	-	-
6	47	52	-	-
10	64	72	50	56
16	86	95	67	75
25	115	130	89	100
35	140	155	110	120
50	170	190	135	150
70	220	245	170	190
95	265	295	205	230
120	-	-	240	265
150	-	-	275	305

PVC = Policloreto de vinil
XLPE = Polietileno reticulado

Tabela1.2 Intensidades máximas admissíveis em ampères para cabos isolados $t = 40^{\circ}\text{C}$.

- O **cobre** será mais **flexível e fácil de instalar**, comparado com qualquer outro metal alternativo que se ofereça como substituto.
- Dado que o **cobre** apresenta **excelente resistência à corrosão**, é muito fácil fazer uniões no material. Estas não se degradam com o correr do tempo e requerem ainda muito pouca manutenção.

3. EFICIÊNCIA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

A vida depende da luz. A visão somente é possível graças à presença da luz; mediante ela somos capazes de compreender o meio que nos rodeia e é através dos seus efeitos que podemos criar e transformar os espaços para a vida privada e urbana.

O homem, desde o começo da sua existência, tem-se esforçado para encontrar elementos produtores de luz para continuar suas atividades naquelas horas nas que já não podia receber a radiação solar.

Paralelamente, ao considerar os múltiplos benefícios psicológicos, fisiológicos, profissionais e produtivos que aporta à atividade humana um bom sistema de iluminação, é que consideramos importante a divulgação do tema.

O objetivo do tema é proporcionar dados e orientação que sirvam para fomentar a economia de energia elétrica em sistemas de iluminação.

3.1 CONCEITOS BÁSICOS

A técnica da iluminação consiste em conseguir uma adequada quantidade de luz para obter o máximo de comodidade para aqueles que habitam ou têm que trabalhar neste recinto, com o mínimo investimento em energia elétrica.

A luz é uma forma de energia radiante que consiste em ondas eletromagnéticas que excitam os órgãos visuais produzindo a sensação de visão.

As ondas luminosas ocupam uma parte muito pequena do espectro eletromagnético. Os limites da radiação visível não estão bem definidos e variam segundo o indivíduo; o limite inferior situa-se entre 380 e 400 nanômetros (nm) e o superior entre 760 e 780 nm (figura 1.3)

1 nanômetro (nm) = 10^{-9} metros.

Os diferentes comprimentos de onda da luz compreendida entre estes valores produzem as sensações de cor que vão do violeta ao vermelho.

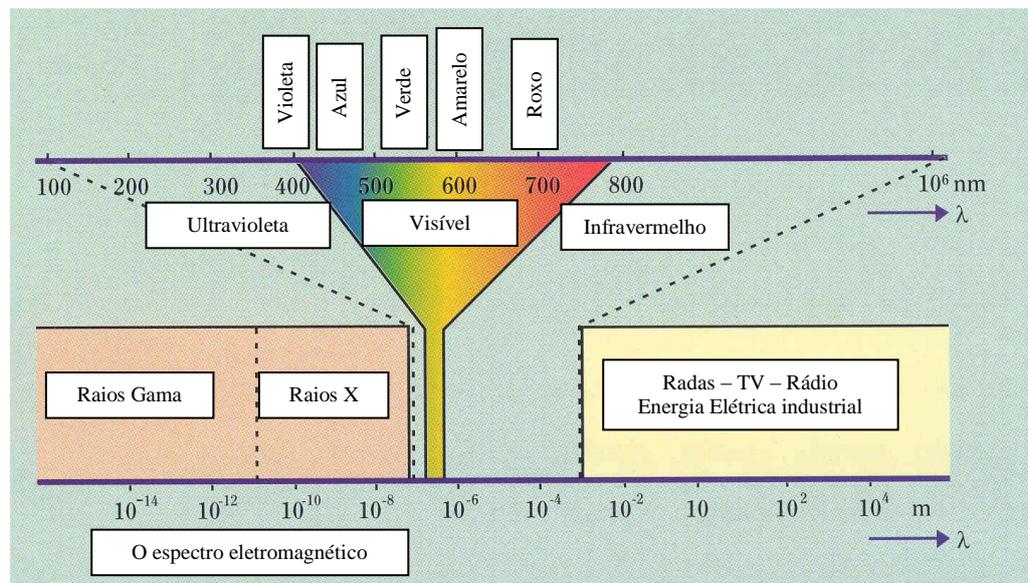


Figura 1.3 Comprimentos de onda de luz.

As radiações eletromagnéticas de comprimento de onda próxima aos extremos do espectro visível, violeta e vermelho conhecem-se como radiação ultravioleta e infravermelha, respectivamente.

Um objeto nos parece de uma determinada cor porque reflete os raios luminosos correspondentes a essa cor. Uma rosa vermelha a vemos dessa cor porque reflete os componentes vermelhos da luz solar.

3.2 UNIDADES E CONCEITOS

Fluxo Luminoso (ϕ)

É a quantidade de energia luminosa emitida por um foco luminoso em todas as direções na unidade de tempo (segundo). Sua unidade é o lúmen (lm).

A título de exemplo indica-se a seguir uma série de valores aproximados de fluxo luminoso de algumas fontes de luz:

- Vela de cera 10 lm
- Lâmpada incandescente de 100 W 1 380 lm
- Tubo fluorescente de 40 W 3 200 lm

Rendimento Luminoso

É o quociente entre o fluxo luminoso obtido e a potência elétrica necessária para gerá-lo.

Para poder avaliar a rentabilidade de uma fonte luminosa, deve-se conhecer qual proporção da potência elétrica se transforma em potência luminosa. Nem toda esta energia se transforma em luz, mas uma parte se transforma em calor e outra em energia radiante não visível.

Iluminância (E)

Mede a luz ou fluxo luminoso que chega a uma determinada superfície. A unidade de iluminância é o lux (lm/m²).

O valor da iluminância é o ponto de partida para fazer um projeto de iluminação e existe uma série de normas e recomendações que estabelecem os valores adequados para cada área visual. A título de exemplo indicam-se alguns valores significativos:

Luz do Sol em condições máximas	100 000	lx
Luz de meio dia de verão	10 000 – 20 000	lx
Luz em um posto de trabalho muito bem iluminado	1 000	lx
Luz em um posto de trabalho aceitavelmente iluminado	300 – 500	lx
Luz sobre estrada bem iluminada	40	lx
Luz de lua cheia	0,2	lx
Luz em noite sem lua	0,003	lx

$$E = \frac{\phi}{S} \text{ lx}$$

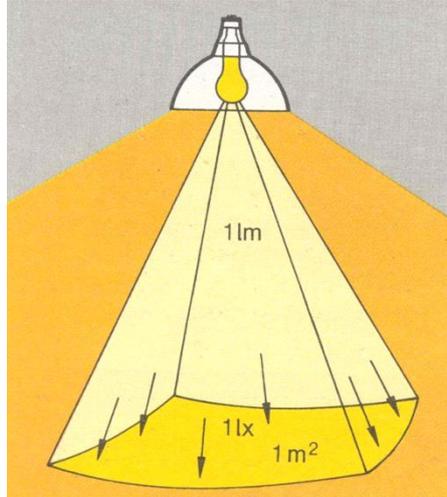


Figura 1.4 Relação entre o fluxo luminoso e a iluminância.

Reflexão, difusão, refração

Para compreender melhor os diversos fenômenos luminosos devem ser identificados alguns aspectos. Imaginemos, por exemplo, que uma fonte luminosa emite raios luminosos que se propagam todos na mesma direção. Os diferentes raios serão, pois, retilíneos e paralelos. Quando incidam sobre a superfície de um corpo fosco, liso e brilhante serão repelidos (refletidos) por ele, sendo o ângulo de incidência dos raios igual ao de reflexão.

Quando a superfície do corpo não é lisa, mas rugosa, nem todos os raios serão refletidos na mesma direção, levando à difusão da luz (figura 1.5).

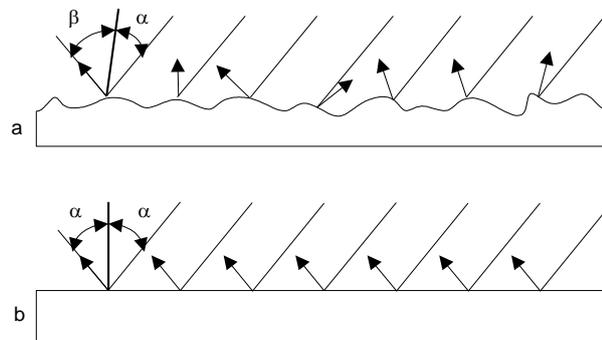


Figura 1.5 Reflexão em uma superfície: a) rugosa, b) lisa.

Se os raios de luz incidem obliquamente sobre um corpo transparente, uma parte deles será refletida, enquanto os restantes atravessarão o corpo.

Diremos então que os raios se refratam nos pontos de entrada e de saída (figura 1.6).

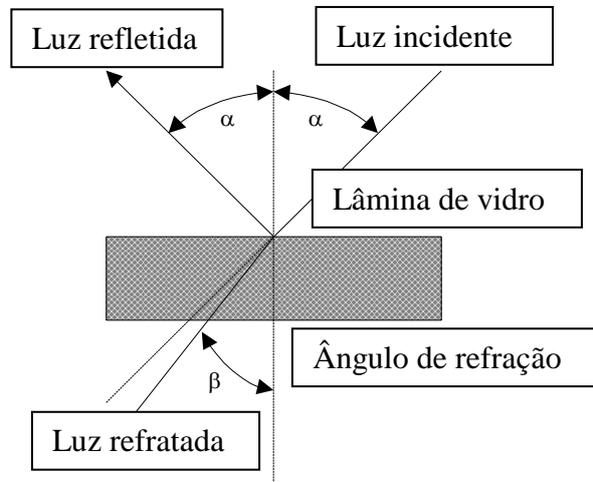


Figura 1.6 Reflexão e refração em um corpo transparente.

Nas lâmpadas e luminárias elétricas aproveitam-se as propriedades da luz que acabamos de descrever para dirigir os raios luminosos a fim de obter a qualidade de iluminação desejada.

Lâmpada

Dispositivo destinado a transformar a energia elétrica em luz. Podem ser classificadas em dois grupos primários: lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga.

Para as instalações internas podem ser usadas as seguintes:

- Lâmpadas incandescentes.
- Lâmpadas fluorescentes.
- Lâmpadas de descarga de alta pressão de mercúrio, de sódio e de haletos metálicos.
- Lâmpada de sódio de baixa pressão.
- Lâmpadas de luz mista.
- Lâmpadas de indução.

Luminária

Aparelho que distribui, filtra ou transforma a radiação luminosa procedente de uma lâmpada ou lâmpadas e que inclui todos os elementos necessários para fixar e proteger estas lâmpadas e para conectá-las à fonte de energia.

3.3 FONTES LUMINOSAS

A seguir descrevem-se os diferentes tipos de lâmpadas para conhecer suas características e identificar seu uso.

3.3.1 LÂMPADAS INCANDESCENTES

Neste tipo de lâmpadas a emissão luminosa se produz em um filamento de tungstênio que é levado à temperatura de incandescência pela passagem de uma corrente elétrica através dele. Os filamentos costumam ser fios muito finos cujo ponto de fusão se encontra acima dos 3600K.

Para que o filamento não se queime é extraído o ar da ampola e enche-se de gás (nitrogênio, argônio, cripton). Graças à pressão do gás, consegue-se reduzir a vaporização do tungstênio. Isso é importante, pois o material vaporizado do filamento deposita-se sobre a superfície interior da ampola de vidro, turvando-a e reduzindo o rendimento luminoso.

O fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente aumenta com a temperatura do filamento. Seu rendimento luminoso é de cerca de 14 lm/W em uma lâmpada de 100 watts. A vida útil desta lâmpada é de 1000 horas.

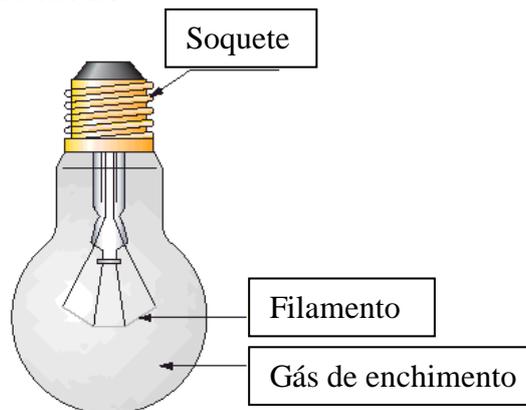


Figura 1.7 Lâmpada incandescente.

3.3.2 LÂMPADAS FLUORESCENTES

Os tubos fluorescentes são lâmpadas de descarga em vapor de mercúrio a baixa pressão. Nestas fontes luminosas, a radiação ultravioleta gerada pela descarga ativa os pós fluorescentes que cobrem o interior do tubo, produzindo-se desta forma a luz.

O bulbo tem, geralmente, a forma de um "tubo cilíndrico" com um eletrodo em cada extremo. Este tubo contém vapor de

mercúrio a baixa pressão, com uma pequena quantidade de gás inerte, para facilitar a ligação.

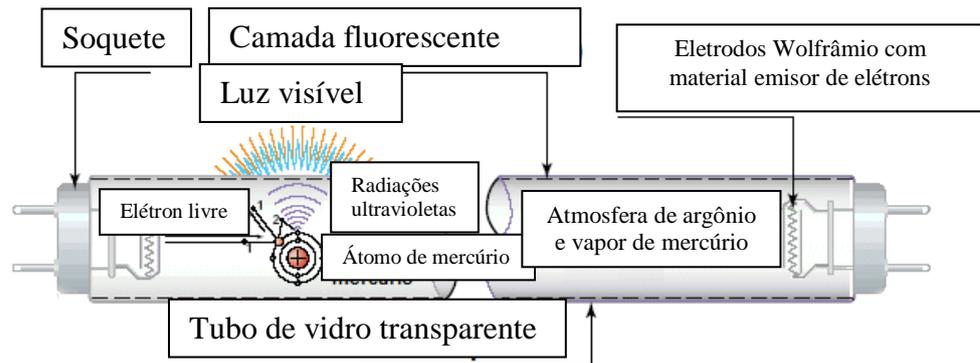


Figura 1.8 Princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente.

A superfície interior do tubo é coberta com pó fluorescente, cuja composição determina a quantidade e cor da luz emitida.

O rendimento luminoso da lâmpada fluorescente vai de 80 lm/W em uma lâmpada de 18 W a 90 lm/W em uma de 58 W.

Com relação à vida útil destas lâmpadas, é de 7 500 horas em média.

3.3.3 LÂMPADAS DE LUZ MISTA

A lâmpada de luz mista é uma variante das de mercúrio. É a única em seu gênero que não requer equipamento elétrico auxiliar, pelo qual pode ser conectada diretamente à rede.

Dispõe de um tubo de descarga de quartzo, em cujo interior há mercúrio, conectado em série com um filamento de tungstênio.

Estes dois componentes se alojam em uma ampola de vidro, revestido interiormente por uma camada fluorescente.

Nestas lâmpadas a função do filamento é dupla: atuar como uma fonte de luz incandescente, com sua característica luz fria, e serve como um sistema limitador de corrente, pelo que substitui o reator.

A camada fluorescente transforma a radiação ultravioleta da descarga em radiação visível.

Este tipo de lâmpada tem um rendimento luminoso entre 19 e 25 lm/W e uma vida útil de aproximadamente 6 000 horas.

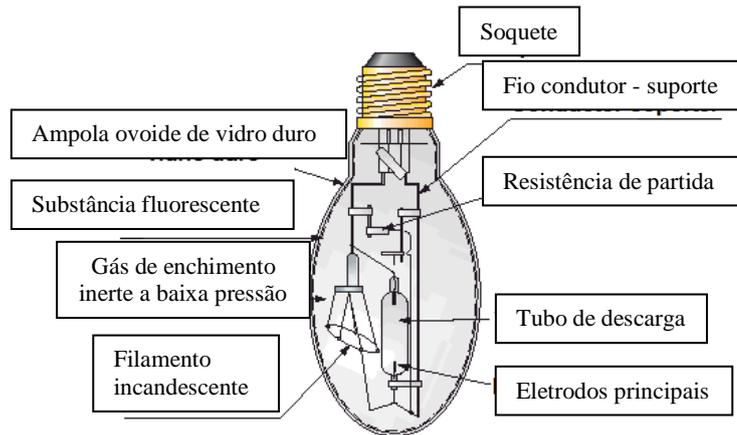


Figura 1.9 Lâmpada de luz mista.

3.3.4 LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA PRESSÃO

As lâmpadas de descarga de alta pressão são formadas por uma ampola de vidro ou quartzo, em cujos extremos há dois eletrodos; esta ampola está cheia de gás inerte e uma pequena quantidade de metal, que pode ser mercúrio ou sódio, o qual se evapora ao iniciar-se a descarga. Esta ampola é contida dentro de uma segunda ampola de vidro, que adota diferentes formatos, dependendo da finalidade da lâmpada.

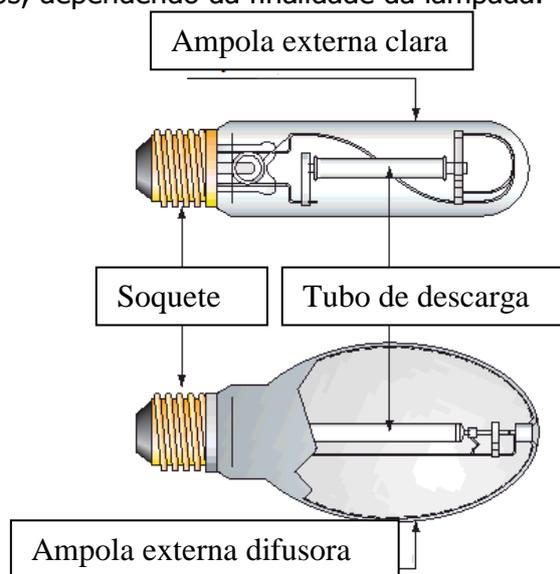


Figura 1.10 Partes principais de uma lâmpada de descarga de alta pressão.

Tanto as lâmpadas de sódio quanto as de mercúrio precisam de uma reatância para seu funcionamento, não precisam de dispositivo de partida. Com variações de tensões superiores a 7% do valor nominal, as lâmpadas de descarga não funcionam corretamente.

As lâmpadas de mercúrio tem um rendimento luminoso de 34 a 62 lm/W, as de sódio de 110 lm/W; sem considerar a reatância, sua vida útil é de 14 000 a 20 000 horas.

São disponíveis em potências de 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1 000 e 2 000 W.

3.3.5 LÂMPADAS DE SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO

São lâmpadas nas quais a descarga elétrica se produz através do vapor de sódio a baixa pressão contido em um tubo de descarga montado no interior de uma ampola tubular clara.

A ampola exterior é revestida interiormente com uma camada de óxido de índio, a qual atua como refletor da radiação infravermelha; voltando esta para o tubo de descarga, mantendo assim, esta, uma temperatura ótima para atingir uma eficiência luminosa de aproximadamente 200 lm/W.

De maneira semelhante às lâmpadas de descarga em gás, utilizam um reator para limitar a corrente e um ignitor para sua ligação.

A vida útil desta lâmpada é da ordem de 20 000 horas e são disponíveis em potência de 18, 35, 55, 90, 135 e 180 W.

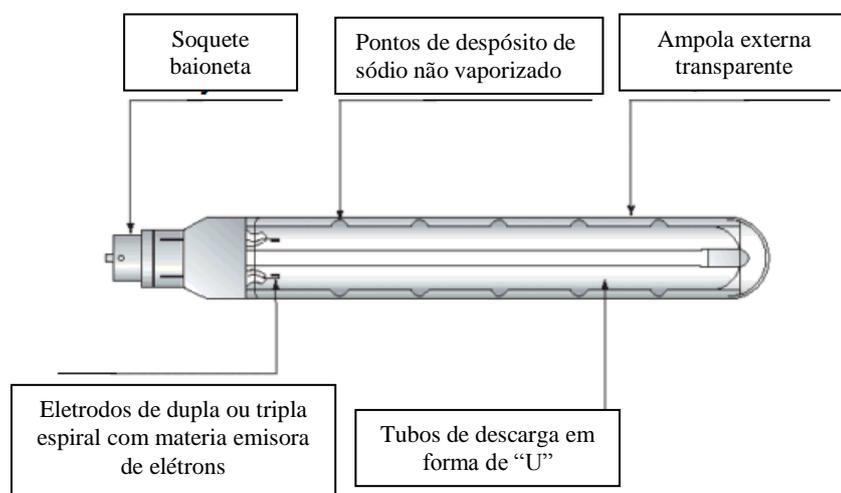


Figura 1.11 Lâmpada de sódio de baixa pressão.

3.3.6 LÂMPADAS DE HALOGÊNIOS METÁLICOS

São lâmpadas de mercúrio às quais acrescentam-se certos halogêneos metálicos de terras raras (iodetos de índio, disprósio, tálio, sódio, hólmio, túlio, európio). Sua cor é excelente e são econômicas.

Basicamente, esta lâmpada funciona com o mesmo princípio que todas as lâmpadas de descarga. Seu rendimento luminoso situa-se entre 80 e 100 lm/W e sua vida útil é compreendida entre 10 000 e 15 000 horas. São disponíveis em potências de 175, 250, 360, 400 W.

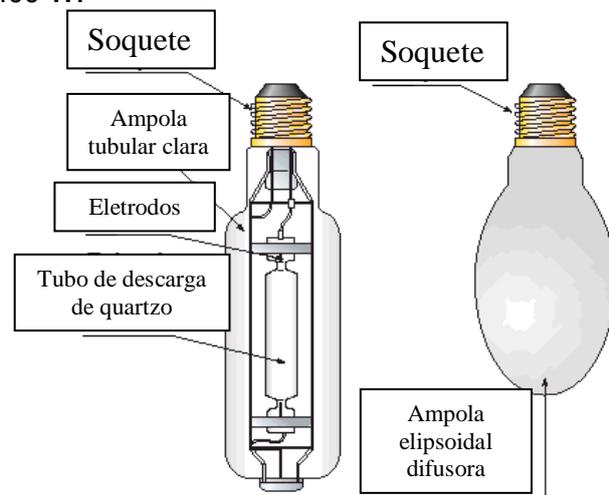


Figura 1.12 Lâmpada de halogêneos metálicos.

3.3.7 MINI FLUORESCENTES COMPACTAS OU LÂMPADAS ECONÔMICAS

Para a iluminação comercial e residencial, deve-se substituir as lâmpadas incandescentes e em alguns casos as lâmpadas fluorescentes pelas do tipo econômicas (compactas), as quais, além de ter maior tempo de vida útil, consomem menos energia.

Constam de um tubo fluorescente que se enrola para reduzir o tamanho e um soquete normal (E 27) que permite realizar a troca sem a menor dificuldade. As lâmpadas econômicas são fabricadas em potências de 5, 8, 11, 15, 20, 23 e 50 W.

Esta série de lâmpadas fluorescentes compactas é dotada de um reator. Em luminárias para iluminação interna e externa de prolongado uso, estas lâmpadas ajudam a diminuir consideravelmente os gastos de energia.

As vantagens são:

- Luz clara como uma lâmpada fluorescente de 50, 75 e 100 W.
- Luz fria e agradável como a lâmpada incandescente.
- Reprodução cromática excelente.
- Usam o soquete nominal E 27, como as lâmpadas incandescentes normais.
- Este tipo de lâmpadas oferece um alto rendimento, baixo custo e consumo de até 5 vezes menos energia que uma lâmpada incandescente normal e, ainda, proporcionando uma luz melhor.
- A duração média deste tipo de lâmpadas, segundo os fabricantes, é de aproximadamente 10 000 horas.



Figura 1.13 Rendimento de lâmpada econômica.

No quadro seguinte apresentam-se os parâmetros das diferentes fontes de luz quanto à sua potência, fluxo luminoso e eficiência luminosa, com o fim de compará-los e determinar a opção mais apropriada para cada aplicação.

Tipo de fonte	Potência W	Fluxo Luminoso lm	Rendimento luminoso lm/W
Vela de cera		10	
Lâmpada incandescente	40	430	10,75
	100	1 300	13,80
	300	5 000	16,67
Lâmpada Fluorescente compacta	7	400	57,10
	9	600	66,70
Lâmpada Fluorescente tubular	20	1 030	51,50
	40	2 600	65,00
	65	4 100	63,00

Lâmpada vapor de Mercúrio	250	13 500	54,00
	400	23 000	57,50
	700	42 000	60,00
Lâmpada Halógena de Mercúrio	250	18 000	72,00
	400	24 000	67,00
	100	80 000	80,00
Lâmpada vapor de Sódio alta pressão	250	25 000	100,00
	400	47 000	118,00
	1 000	120 000	120,00
Lâmpada vapor de Sódio baixa pressão	55	8.000	145,00
	135	22.500	167,00
	180	33.000	180,00

Tabela 1.2 Parâmetros típicos de lâmpadas.

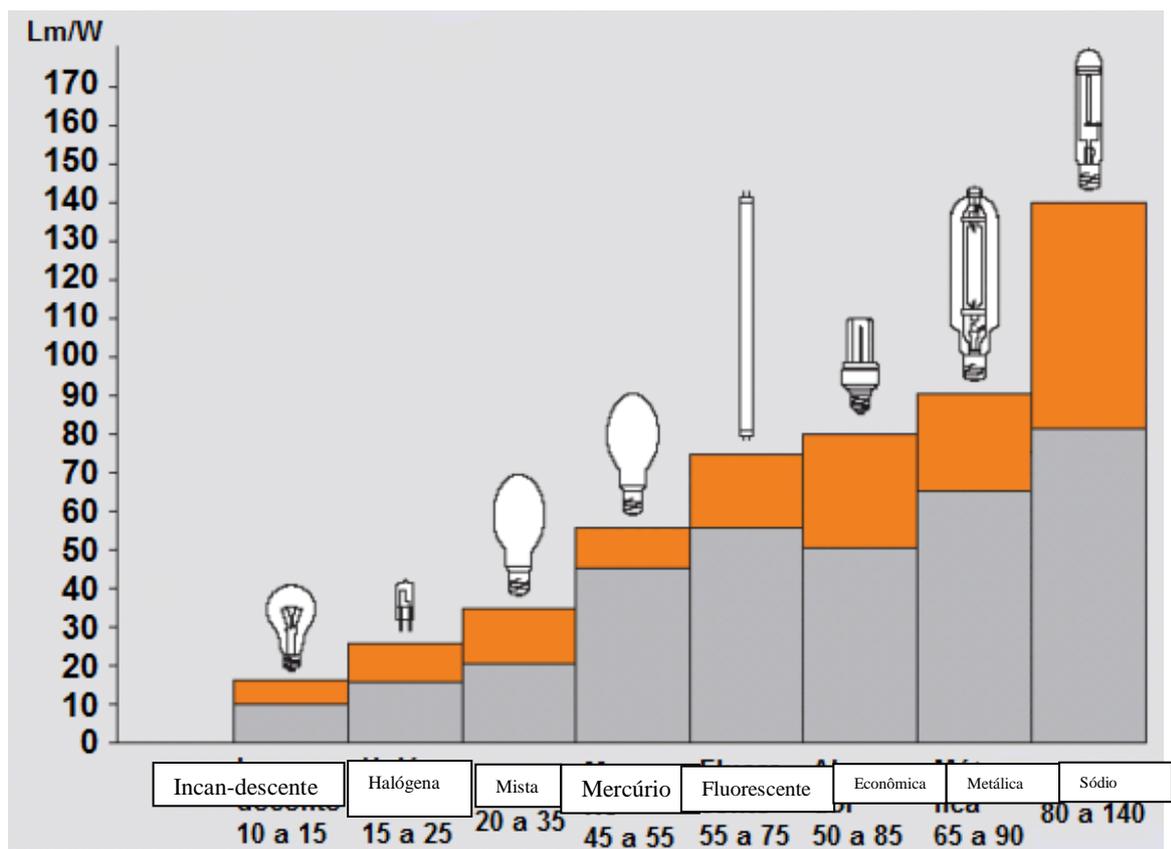


Figura 1.14 Rendimento Luminoso por tipo de lâmpadas.

3.4 LUMINÁRIAS

É o aparelho que serve para distribuir, filtrar ou transformar a luz das lâmpadas, e que inclui todas as peças para fixá-las, protegê-las e conectá-las ao circuito de alimentação.

Com os componentes óticos das luminárias e procura-se diminuir a luminosidade das lâmpadas e de redistribuir a luz de forma mais

conveniente para a iluminação desejada, conservando um elevado rendimento luminoso.



Figura 1.15 Luminárias.

3.5 USO EFICIENTE E AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA

Usar eficientemente a energia significa usar toda a energia necessária para realizar uma determinada atividade em ótimas condições, mas sem desperdiçar uma parte desta energia.

Uso eficiente da energia não significa economizar energia às custas de diminuir a qualidade do serviço, produzindo riscos em outras áreas, como a segurança, no caso de trabalhos perigosos, ou na saúde – como problemas na vista – no caso da iluminação.

Dentro das medidas mais facilmente aplicáveis à realidade cotidiana está a substituição de luminárias ineficientes pelas novas luminárias eficientes desenvolvidas nos últimos tempos pelas principais empresas fabricantes de luminárias.

É útil lembrar que a iluminação mais eficiente, de menor custo e menos agressiva com o meio ambiente é o uso da luz natural proveniente do sol.

As lâmpadas fluorescentes compactas atualmente fabricadas, comparadas às lâmpadas incandescentes convencionais, consomem até 80% menos de energia, entregam mais luz por watt e tem uma vida útil superior, portanto, há que se ter claro que é conveniente usar estas lâmpadas em locais que requerem que permaneçam acesas durante 6 ou mais horas por dia.

No quadro a seguir resumem-se as vantagens das lâmpadas eficientes, frente às lâmpadas tradicionais. Tomou-se como referência um caso concreto de lâmpadas existentes no mercado.

Variáveis	Lâmpadas Fluorescentes Compactas 18 W	Lâmpadas Incandescentes Tradicionais 75 W
Vida útil	8 000 horas	1 000 horas
Eficiência luminosa	67 lm/W	13 lm/W
Consumo de energia em 8 000 horas	144 kWh	600 kWh
Consumo (em \$) em 8 000 horas	17	70,6
Economia em 8 000 horas (\$)	53,56	---

Valor de referência: 0,1176 \$/kWh

Tabela 1.3 Comparação econômica de lâmpadas econômicas e fluorescentes.

As instalações tradicionais de iluminação caracterizam-se pela rigidez do seu funcionamento:

- Ligado.
- Desligado.

O desenvolvimento da tecnologia eletrônica e sua aplicação no campo da iluminação permitiram a criação de uma série de sistemas eletrônicos de controle de luz que dão uma solução ao comportamento estático das instalações tradicionais.

Estes sistemas de controle vão desde o controle remoto da iluminação de um escritório (ligar, desligar, regular), até o controle de complexas instalações manejadas completamente por computador, permitindo o comando centralizado de cada ambiente de acordo com os seus requisitos individuais. O uso dos sistemas de controle de luz permite aos usuários uma economia real.

A seguir descrevem-se algumas formas de controle da iluminação com o objetivo de economizar energia elétrica.

3.5.1 SISTEMAS DE CONTROLE

Outra forma de fazer uso eficiente da energia elétrica é utilizar sistemas de controle de luz nas instalações de iluminação tradicionais, o que permite aos usuários uma real economia derivada dos seguintes benefícios:

- Prolongamento da vida útil das lâmpadas.
- Menor depreciação do fluxo luminoso.
- Menor custo de manutenção e reposição.

- Economia de energia elétrica ao usar os diferentes métodos de controle de luz.

Distinguem-se dois métodos de controle de luz:

- Controle manual.
- Controle automático.

Controle Manual

É a forma de controle de luz mais elementar. Realiza-se com os seguintes dispositivos:

- Dimmer.
- Controle remoto infravermelho.

Permite realizar as funções de ligar, desligar e regular e, no caso do controle remoto, permite memorizar várias configurações de iluminação.

Controle Automático

O controle automático da luz é possível fazendo uso dos sensores de luz.

Atualmente, os especialistas em iluminação podem escolher entre uma variedade de possibilidades de comutação e regulação da luz simplesmente selecionando e/ou combinando vários sensores e/ou interruptores dentro da gama de sistemas oferecidos pelas empresas.

3.5.2 REQUISITOS PARA UMA BOA ILUMINAÇÃO

A qualidade de uma instalação de iluminação não somente consiste em proporcionar uma iluminação suficiente, mas também depende de outros fatores, que trataremos mais detalhadamente a seguir.

Limitaremos-nos a questões de iluminação em locais fechados. Os requisitos a levar em conta são:

- O nível e distribuição da luminosidade.
- Direção da luz, formação de sombras e ofuscamento.
- O clima de cor.

Ao enfrentar o projeto de um sistema de iluminação para um recinto interno, basicamente poderão ser encontrados dois problemas: o primeiro, dado um recinto de dimensões e características conhecidas e sabendo qual tarefa se realizará nele (o que definiria o nível de iluminação requerido), determinar o tipo de lâmpadas e luminárias a utilizar, sua quantidade e distribuição geométrica; o segundo problema será determinar o

nível de iluminação que se obtém em um dado recinto em que existe um certo tipo e quantidade de luminárias instaladas.

3.5.3 NÍVEL E DISTRIBUIÇÃO DA LUMINOSIDADE

Em uma sala de trabalho deve existir uma determinada luminosidade (nível de iluminação), que não depende somente do fluxo luminoso irradiado pelas diferentes lâmpadas instaladas, mas que também é alterada pela quantidade de luz refletida pelo teto, paredes, móveis e chão.

As superfícies claras de uma determinada sala descrevem-se mediante sua iluminação nominal; é o valor médio que deverá existir em toda a sala ou em determinadas áreas dela.

Geralmente calcula-se para um plano de referência (plano de trabalho) situado a 0,80 m acima do chão (altura de uma mesa).

O valor da iluminação nominal depende da dificuldade que representa para a vista o trabalho a realizar. Esta dificuldade depende, por sua vez, do contraste existente entre o objeto a observar e suas imediações, bem como do tamanho do objeto.

Com um luxímetro (medidor de iluminação) pode-se comprovar se realmente é atingida a iluminação nominal necessária.



Figura 1.16 Luxímetro.

3.5.4 DIREÇÃO DA LUZ, SOMBRAS E OFUSCAMENTO

A formação de sombras e o ofuscamento dependem da direção da luz, que resulta, por sua vez, da distribuição de intensidade das diferentes lâmpadas, bem como de sua disposição na sala.

Formação de sombras

Quando os objetos em uma sala ou sobre uma superfície de trabalho forem iluminados tão uniformemente que não se produzam sombras, será difícil reconhecê-los.

O manejo de ferramentas e o reconhecimento de materiais tornam-se difíceis, ou, às vezes, inclusive ficam falseados, o que faz com que aumente o perigo de acidentes. Deverá se evitar uma iluminação totalmente isenta de sombras.

Mas, por outro lado, tampouco são recomendáveis as sombras fortes demais, como as que pode gerar uma lâmpada única em uma sala.

Lâmpadas adicionais em outras direções clareiam as sombras, melhorando com isso a qualidade da luz.

Em algumas salas, por exemplo, salas de estar, pode ser adequado distribuir as lâmpadas de modo que existam zonas iluminadas alternando-se com áreas de sombras. Deste modo obtêm-se áreas de trabalho e áreas de descanso que aumentam o conforto da sala.

Ofuscamento

O ofuscamento ocorre quando no campo visual encontram-se lâmpadas ou luminárias de grande iluminação (por exemplo, lâmpadas fluorescentes sem anteparo).

O ofuscamento indireto (ofuscamento por reflexos) se produz por reflexão de lâmpadas ou luminárias sobre superfícies brilhantes que se encontrem sobre o campo visual.

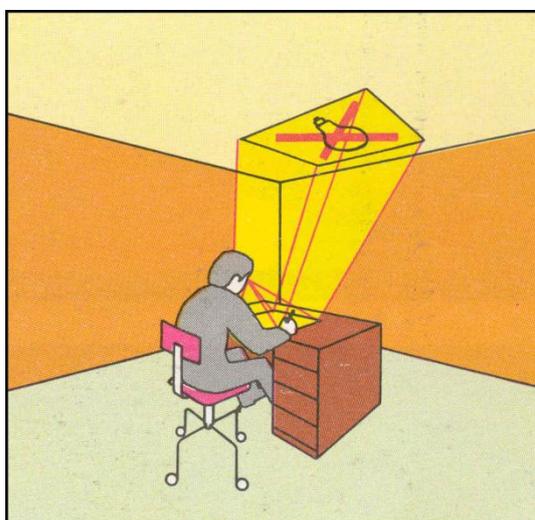


Figura 1.17 Luz procedente da "zona proibida" provoca ofuscamento por reflexão.

O ofuscamento reduz a capacidade visual. Além disso, produz fadiga em caso de permanecer um longo período de tempo na sala em questão.

Escolhendo adequadamente as lâmpadas e sua disposição na sala perde-se o ofuscamento.

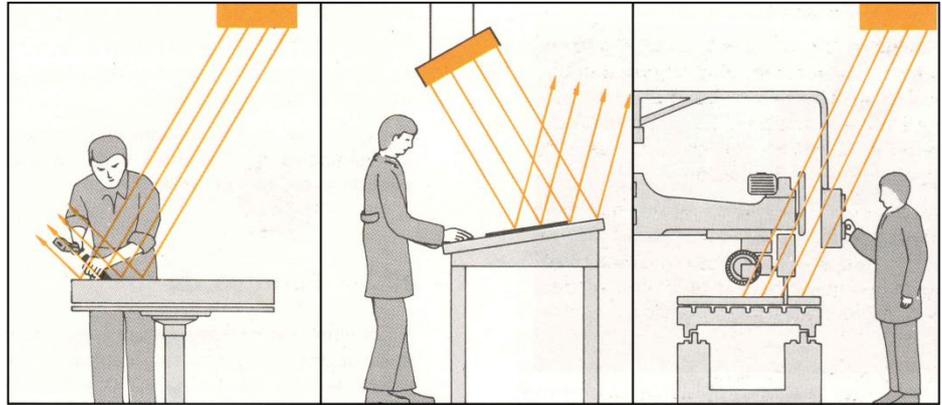


Figura 1.19 Luminárias colocadas adequadamente.

3.5.5 CLIMA DE COR

Os diferentes objetos apresentam cores próprias que podem ser vistas porque refletem a luz incidente com o comprimento de onda correspondente. As fontes luminosas emitem luz de diferentes comprimentos de onda, de tal forma que proporcionam distintas cores, assim, por exemplo, a cor da luz das lâmpadas incandescentes contém mais componentes vermelhos que a luz das lâmpadas fluorescentes.

Quando um objeto possui várias cores próprias, este se destacará mais, e quando for iluminado por uma lâmpada fluorescente tipo luz do dia se destacarão seus componentes azuis.

Portanto, as propriedades da reprodução de cores das fontes luminosas não serão as mesmas. Por conseguinte, para poder reconhecer perfeitamente um objeto, é um fator decisivo a cor da luz da fonte.

Por outro lado, a combinação de luminosidade, cor da luz e cor própria dos corpos em uma sala leva ao chamado clima de cor, que repercute sobre o humor e bem-estar das pessoas. Ajustando cuidadosamente os diferentes componentes pode obter-se um clima de cor harmônica.

3.6 BOAS PRÁTICAS PARA UM EFICIENTE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

- Limpar periodicamente as luminárias, porque a sujeira diminui o nível de iluminação de uma lâmpada em até 20%.
- Apagar as luzes que não forem necessárias.
- Avaliar a possibilidade de utilizar luz natural.
- Usar cores claras nas paredes, muros e tetos, porque as cores escuras absorvem grande quantidade de luz e obrigam a utilizar mais lâmpadas.
- Substituir lâmpadas fluorescentes T-12 convencionais de 40 W por fluorescentes finas T-8 de 36 W porque iluminam igual. Esta substituição significa uma economia de 10% na conta de energia, especialmente em instalações comerciais.
- Tornar independentes e dividir em setores os circuitos de iluminação; isso ajudará a iluminar somente os locais onde é necessário.
- Instalar superfícies refletoras porque orienta e incrementa a iluminação e possibilita a redução de lâmpadas na luminária.
- Utilizar lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão na iluminação de exteriores.
- Selecionar as lâmpadas que fornecem os níveis de iluminação requeridos na norma de acordo com o tipo de atividade que se desenvolve.
- Utilizar reatores eletrônicos, porque permite economizar energia até 10% e corrige o fator de potência, bem como incrementa a vida útil das fluorescentes.
- Avaliar a possibilidade de instalar sensores de presença, temporizadores e/ou dimmers para o controle dos sistemas de iluminação.

