



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE  
DE SÃO PAULO**

**PSI 3263 - Práticas de Eletricidade e Eletrônica I**

**Experiência 7**

**LÂMPADAS E  
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

Hernán Prieto Schmidt  
José Aquiles Baesso Grimoni  
Walter Kaiser  
Carlos C. Barioni de Oliveira  
Carlos Márcio Vieira Tahan  
Marcos Roberto Gouvea

**Edição 2016**

Fevereiro de 2002

---

---

## Índice

1. Introdução.....	1
2. Conceitos básicos de fotometria .....	1
3. Lâmpadas elétricas.....	3
3.1 - Considerações gerais.....	3
3.2 - Lâmpadas incandescentes .....	3
3.3 - Lâmpadas de descarga .....	8
4. Instalações elétricas .....	16
4.1 - Considerações gerais.....	16
4.2 - Elementos constituintes .....	16
4.3 - Instalações embutidas .....	19
4.4 - Diagrama unifilar.....	21
4.5 - Comandos de luz.....	23
5. Lista de material .....	26
6. Bibliografia.....	27
Anexo 1 - Simbologia para instalações elétricas.....	28
Anexo 2 - Conceituação de potência instantânea e potência ativa em corrente alternada.....	32

PEA - EPUSP

---

## 1. INTRODUÇÃO

Esta experiência tem por finalidade desenvolver um estudo introdutório de lâmpadas elétricas e instalações elétricas.

No Capítulo 2 são apresentados alguns conceitos básicos de fotometria, os quais permitem compreender o funcionamento das lâmpadas elétricas, bem como permitir uma comparação técnico-econômica entre os diversos tipos disponíveis. Em seguida, no Capítulo 3, são apresentados os tipos de lâmpadas que serão abordados na experiência: incandescentes convencionais, incandescentes halógenas e fluorescentes.

Na parte relativa às instalações elétricas (Capítulo 4) serão abordados os principais elementos que constituem as mesmas, bem como a representação em diagramas unifilares diretamente na planta e a correspondente simbologia.

Finalmente, o Capítulo 5 contém o procedimento experimental a ser desenvolvido.

## 2. CONCEITOS BÁSICOS DE FOTOMETRIA

A luz pode ser definida como a energia radiante ou radiação eletromagnética que, ao penetrar no olho humano, produz uma sensação de claridade. A seguir serão apresentados alguns conceitos básicos de fotometria, com o objetivo de fornecer subsídios para se poder comparar entre si os diversos tipos de lâmpadas sob o ponto de vista de eficiência e qualidade do processo de emissão de luz.

### Curva de sensibilidade do olho humano

O olho humano apresenta uma estrutura complexa, cujos detalhes não estão no escopo deste texto. Basicamente, é constituído por uma lente (cristalino) que focaliza a luz sobre a retina, que funciona como um transdutor, ou seja, transforma sinais luminosos em sinais elétricos, levados ao cérebro através do nervo ótico. A retina possui dois tipos de terminações nervosas: a) os bastonetes, sensíveis a baixos níveis de intensidade luminosa, não são capazes de diferenciar as cores e b) os cones, responsáveis pela discriminação dos detalhes finos da imagem e da cor, mas que não conseguem atuar quando o nível de iluminamento é muito baixo. Ambas as terminações se encontram concentradas numa pequena região da retina conhecida por fóvea, sobre a qual o cristalino, controlado pela musculatura do olho, focaliza a luz incidente.

O olho humano tem uma capacidade de percepção restrita a uma faixa estreita de comprimentos de onda entre 380 nm e 760 nm da luz incidente e sua sensibilidade depende do comprimento de onda. A partir de ensaios realizados pelo CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) com um grande número de observadores com visão considerada normal, foi levantada uma curva da sensibilidade do olho humano em função do comprimento de onda, reproduzida na Figura 2.1.

A curva é normalizada no ponto de máxima sensibilidade do olho, correspondente a um comprimento de onda de 555 nm (amarelo esverdeado), e indica as diferentes sensações de claridade que os vários comprimentos de onda, com mesma intensidade de radiação, causam sobre olho humano. A sensibilidade do olho, conforme já mencionado acima, depende do nível de iluminamento, existindo uma curva para visão noturna (visão escotótica) e outra para diurna (visão fotótica).

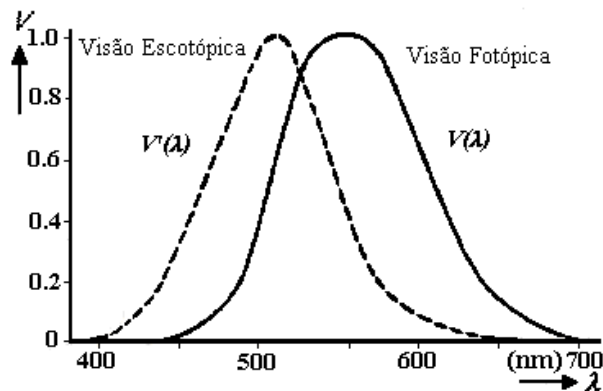


Figura 2.1 - Curva de sensibilidade do olho humano

### Fluxo luminoso

Uma fonte de luz geralmente emite radiação em todos os comprimentos de onda. Define-se **fluxo radiante  $f_e$** , medido em **watt (W)**, como a potência emitida ou recebida sob forma de radiação.

Define-se **fluxo luminoso  $f$** , medido em **lúmen (lm)**, como uma grandeza derivada do fluxo radiante, que exprime a sua aptidão de produzir uma sensação luminosa no olho através do estímulo da retina ocular, avaliada segundo os valores de sensibilidade luminosa relativa admitidos pelo CIE. O fluxo luminoso é obtido a partir da radiação total emitida por uma fonte de acordo com sua ação sobre o observador padrão CIE, cuja curva de sensibilidade encontra-se na Figura 2.1. Formalmente:

$$\phi = \int_0^{\infty} v(\lambda) \frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \quad (1)$$

na qual:  $d\phi_e(\lambda)/d\lambda$  - Distribuição espectral do fluxo radiante;  
 $v(\lambda)$  - Curva de sensibilidade luminosa da CIE;  
 $\lambda$  - Comprimento de onda.

### Eficácia luminosa

Define-se **Eficácia luminosa** de uma lâmpada, medida em **lúmen/watt (lm/W)**, como a razão entre o fluxo luminoso total emitido e a potência elétrica total consumida pela mesma. A eficácia luminosa é uma medida de eficiência do processo de emissão de luz, sendo utilizada para comparar as diversas lâmpadas entre si sob o aspecto de eficiência energética.

### Cor

A cor é um aspecto subjetivo da sensação visual na região fotótica, ou seja, na presença de níveis de iluminação suficientes, que depende da distribuição espectral da luz incidente no olho humano. Existem diversas definições para o termo **Cor**, dentre as quais apresentamos duas:

- cor é a característica da luz que permite um observador distinguir diferenças entre duas fontes de luz de mesmo tamanho, forma e intensidade;
- cor é uma característica da luz refletida ou transmitida por um objeto iluminado por uma fonte padrão CIE e captada por um observador que possui as características de sensibilidade da Figura 2.1 (observador padrão CIE).

### **3. LÂMPADAS ELÉTRICAS**

#### **3.1 - Considerações gerais**

As lâmpadas comerciais utilizadas para iluminação podem ser classificadas, de acordo com o seu mecanismo básico de produção de luz, em lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga. Ambos tipos serão abordados nos próximos itens.

#### **3.2 - Lâmpadas incandescentes**

A lâmpada incandescente foi a primeira a ser desenvolvida e ainda hoje é uma das mais difundidas. O seu princípio de funcionamento baseia-se na emissão de luz por um corpo aquecido, no caso, um filamento de tungstênio percorrido por uma corrente elétrica alternada ou contínua.

Um corpo aquecido a baixas temperaturas emite radiação infravermelha proveniente da oscilação de átomos e moléculas. Em temperaturas mais elevadas ocorre excitação de átomos e a emissão de luz na faixa visível do espectro quando estes decaem para um estado de menor energia. Portanto, o filamento de uma lâmpada incandescente deve ser projetado para que a sua temperatura alcance a incandescência e a porcentagem da radiação emitida esteja na faixa do espectro visível.

As primeiras lâmpadas incandescentes surgiram por volta de 1840 e utilizavam filamento de bambu carbonizado no interior de um bulbo de vidro a vácuo. Seguiram-se as lâmpadas com filamento de carbono, até que, por volta de 1909, Coolidge desenvolveu um método para tornar o tungstênio mais dúctil e adequado para a elaboração de filamentos uniformes por trefilação. A característica de emissão, as propriedades mecânicas e o seu elevado ponto de fusão (3655 K) foram determinantes na escolha do tungstênio como o material mais adequado para fabricação filamentos para lâmpadas incandescentes.

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

#### **Lâmpadas incandescentes convencionais**

As lâmpadas incandescentes convencionais são constituídas de um filamento de tungstênio, mantido no interior de um bulbo sob vácuo ou com uma atmosfera gasosa não halógena. A Figura 3.1 apresenta os detalhes construtivos de uma lâmpada incandescente convencional. Nas lâmpadas comerciais, o filamento de tungstênio é geralmente sustentado por três a quatro suportes de molibidênio no interior de um bulbo de vidro alcalino (suporta temperaturas de até 370 °C) ou de vidro duro (suporta temperaturas de até 470 °C). O bulbo pode ter diversas formas, o mais comum tem formato de pêra, podendo ser transparente ou com revestimento interno de fósforo neutro difusor.

---

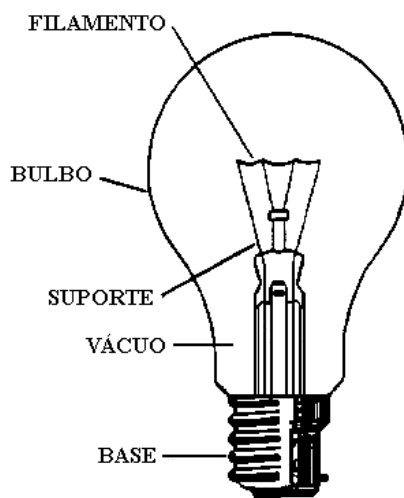


Figura 3.1 - Estrutura interna de uma lâmpada incandescente convencional

No interior do bulbo é realizado vácuo para se obter isolamento térmico. Alguns fabricantes introduzem um gás a pressão de aproximadamente 0.8 atm, em geral nitrogênio ou argônio, que envolve o filamento, formando uma atmosfera protetora para reduzir a taxa de sublimação e o depósito do tungstênio sobre a superfície interna do bulbo. Nas lâmpadas incandescentes convencionais, utiliza-se filamentos enrolados em dupla espiral, conforme mostra a Figura 3.2. Esta técnica construtiva visa aumentar a área radiante e otimizar o comprimento total do filamento para um dado valor de projeto de resistência elétrica.

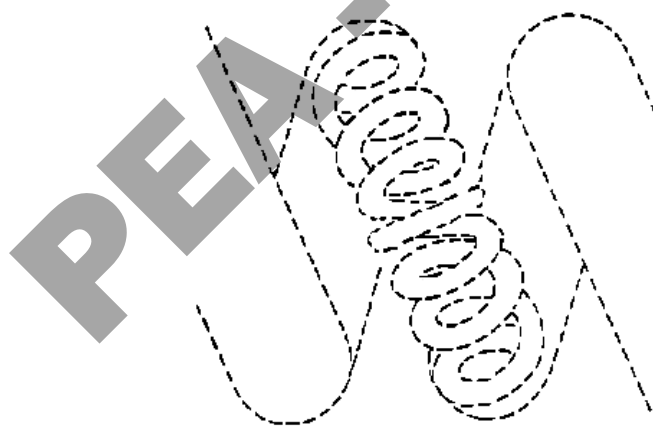


Figura 3.2 - Vista ampliada do filamento de uma lâmpada incandescente comercial

A base da lâmpada incandescente é constituída de uma caneca metálica, geralmente presa com resina epóxi sobre o bulbo. Existem diversas padronizações, por exemplo, baioneta e tele-slide, ambas utilizadas em lâmpadas miniatura. As lâmpadas incandescentes de médio e grande porte geralmente utilizam uma base que seguem um padrão conhecido por rosca Edison, que suportam temperaturas até 250 °C.

A tensão de alimentação atua diretamente sobre a temperatura do filamento que, por sua vez, determina a vida útil da lâmpada incandescente. Lâmpadas convencionais trabalham com temperaturas de filamento entre 2300 K e 2800 K. A eficácia luminosa resultante cresce com a potência de 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 pelo elevado índice de reprodução de cor ( $R_a = 100$ ).

A resistência específica do tungstênio na temperatura de funcionamento da lâmpada (2800 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. A temperatura do filamento sobe rapidamente, atingindo valores elevados em frações de segundo. Ligações muito frequentes reduzem a vida útil da lâmpada, pois o filamento geralmente não apresenta um diâmetro constante. 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.

Cada tipo de lâmpada apresenta suas particularidades, mas as relações abaixo se aplicam com razoável precisão. Os valores nominais das grandezas estão indicados em letras maiúsculas.

$$\left[ \frac{\text{vida útil (horas)}}{\text{VIDA ÚTIL}_{\text{nom}}(\text{horas})} \right] = \left[ \frac{\text{TENSÃO}_{\text{nom}}(\text{V})}{\text{tensão}(\text{V})} \right]^{1,3}$$

$$\left[ \frac{\text{fluxo luminoso (lm)}}{\text{FLUXO LUMINOSO}_{\text{nom}}(\text{lm})} \right] = \left[ \frac{\text{tensão}(\text{V})}{\text{TENSÃO}_{\text{nom}}(\text{V})} \right]^{3,4}$$

$$\left[ \frac{\text{potência (W)}}{\text{POTÊNCIA}_{\text{nom}}(\text{W})} \right] = \left[ \frac{\text{TENSÃO}_{\text{nom}}(\text{V})}{\text{tensão}(\text{V})} \right]^{1,6}$$

$$\left[ \frac{\text{EFICÁCIA LUMINOSA}_{\text{nom}}(\text{lm} / \text{W})}{\text{eficácia luminosa}(\text{lm} / \text{W})} \right] = \left[ \frac{\text{TENSÃO}_{\text{nom}}(\text{V})}{\text{tensão}(\text{V})} \right]^{1,8}$$

$$\left[ \frac{\text{temperatura de cor}}{\text{TEMPERATURA DE COR}_{\text{nom}}} \right] = \left[ \frac{\text{tensão}(\text{V})}{\text{TENSÃO}_{\text{nom}}(\text{V})} \right]^{0,42}$$

### Lâmpadas incandescentes halógenas

A lâmpada halógena é uma lâmpada incandescente à qual se adiciona um elemento halógeno, em geral iodo ou bromo. O elemento halógeno reage quimicamente com as partículas de tungstênio sublimadas, formando haletos que apresentam uma temperatura de condensação inferior a 250 °C. Mantendo-se a temperatura do bulbo acima deste valor, evita-se o depósito de material sublimado sobre o mesmo. Por outro lado, correntes térmicas transportam os haletos novamente para as regiões de alta temperatura, próximas ao filamento, onde ocorre a sua dissociação e o tungstênio retorna ao filamento. A necessidade de elevadas temperaturas de filamento exige a presença de uma atmosfera protetora, geralmente uma mistura de nitrogênio com um gás inerte (argônio ou criptônio) na proporção de 0.1% a 1% do elemento halógeno, para reduzir a taxa de sublimação do tungstênio.

Para efeito de visualização das reações químicas, a seção da lâmpada pode ser dividida em três zonas de temperatura, conforme mostra a Figura 3.3. Convém lembrar que o processo regenerativo não

implica necessariamente no retorno dos átomos de tungstênio sublimados para o seu local exato de origem no filamento.

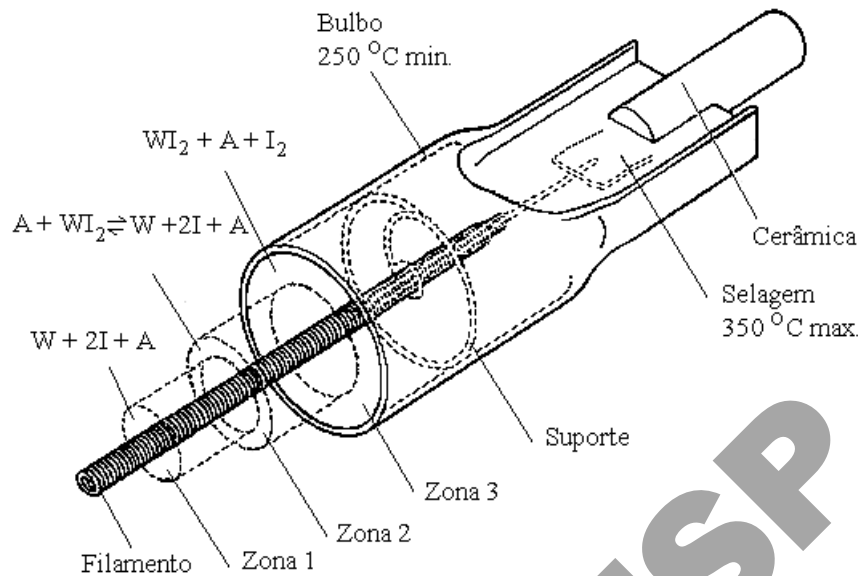


Figura 3.3 - Vista em corte de uma lâmpada incandescente halógena do tipo lapiseira

**ZONA 1 - 2600°C < T < 3200°C**

Dissociação dos haletos em tungstênio e halogênio na presença do gás de enchimento (argônio ou nitrogênio)

**ZONA 2 - 800°C < T < 2600°C**

Formação de haletos

**ZONA 3 - 250°C < T < 800°C**

Recombinação de átomos halógenos e presença de haletos

A lâmpada incandescente halógena também apresenta um filamento de tungstênio enrolado em dupla espiral, o qual é sustentado por suportes de molibidênio no interior de um bulbo de quartzo, globular ou com formato de lapiseira. A base é, em geral, cerâmica para suportar temperaturas e pressões elevadas e além disso apresentar boa condutibilidade térmica, limitando a temperatura dos suportes de molibidênio em 350 °C para evitar fenômenos de corrosão.

O ciclo halógeno só se torna eficaz para temperaturas de filamento elevadas (3200 K) e para uma temperatura da parede do bulbo externo acima de 250 °C, evitando-se a condensação e o depósito dos haletos.

O bulbo de quartzo não deve ser tocado com a mão para evitar que depósitos de gordura na sua superfície externa provoquem pontos de desvitrificação, isto é, alterações na rede cristalina com elevado coeficiente de expansão térmica, que podem resultar em microfissuras e rompimento do bulbo.



Temperaturas de filamento elevadas só são atingidas com a circulação de um nível mínimo de corrente. Por esta razão, lâmpadas com potências inferiores a 50 W são alimentadas em baixa tensão, geralmente 12 V ou 24 V.

Lâmpadas halógenas emitem mais radiação ultravioleta que as lâmpadas incandescentes normais, uma vez que a sua temperatura de filamento é significativamente maior e o bulbo de quartzo não consegue absorver este tipo de radiação. 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. Como elemento halógeno é utilizado geralmente o iodo ou bromatos. O bromo é incolor e gasoso à temperatura ambiente, não absorvendo radiação visível.

As características construtivas das lâmpadas incandescentes halógenas permitem uma substancial redução no seu tamanho (da ordem de 10 a 100 vezes) em relação às suas similares convencionais. Sua eficiência é da ordem de 15 lm/W a 25 lm/W, para uma vida útil de 2000 horas. Seu custo ainda é significativamente maior que o das lâmpadas incandescentes convencionais. As equações apresentadas no caso das lâmpadas convencionais também se aplicam às lâmpadas halógenas.

### Espelhos dicróicos

Devido ao seu volume reduzido, as lâmpadas halógenas são utilizadas em iluminação direcionada ("spot light"), porém a irradiação térmica emitida é bastante elevada. Por esta razão, certos tipos de lâmpadas são providos de um refletor espelhado especial, chamado dicróico, que reflete a radiação visível e absorve a radiação infravermelha. A Figura 3.4 mostra a fotografia de duas lâmpadas de 50 W com espelho dicróico.

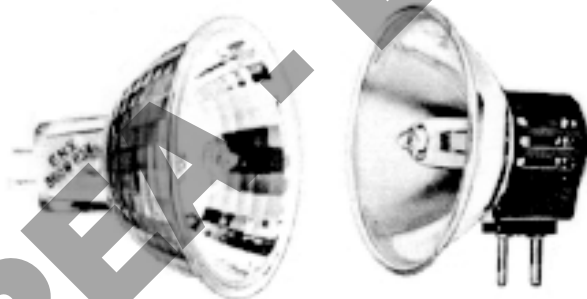


Figura 3.4 - Lâmpada incandescente halógena de 50 W com refletor espelhado dicróico

O espelho dicróico consiste de uma base de vidro, sobre a qual são aplicadas, alternadamente, camadas com espessuras quase moleculares, de materiais translúcidos com índices de refração diferentes, por exemplo, um deles com índice refração de 1.5 (sílica) e outro com 2.3 (sulfeto de zinco). Este arranjo provoca uma defasagem de 180° entre a radiação incidente e refletida para certos comprimentos de onda, resultando no seu cancelamento por interferência. A radiação visível, que apresenta um comprimento de onda da ordem da metade da radiação infravermelha, é refletida e emitida em direção ao objeto a ser iluminado. Por outro lado, através da escolha adequada do material e das espessuras das camadas, a maior parte da radiação infravermelha é absorvida pelo espelho e eliminada pela base da lâmpada. Com este tipo de espelho, consegue-se uma redução da ordem de 70% na radiação

---

infravermelha, resultando um feixe de luz emergente "frio" ("cold light beam"), ou seja, que não aquece o ambiente.

### 3.3 - Lâmpadas de descarga

Uma lâmpada à descarga apresenta um invólucro translúcido, conhecido como tubo de descarga, em cujas extremidades existem eletrodos, que podem ser hastes metálicas ou filamentos, cuja função é emitir elétrons quando aquecidos. No interior do tubo de descarga, encontra-se uma mistura de gases com vapor(es) metálico(s) a uma dada pressão. Ao se aplicar uma diferença de potencial externa, os elétrons emitidos pelo eletrodo negativo (catodo) são acelerados em direção ao eletrodo positivo (anodo), colidindo, no caminho, com os átomos do vapor metálico.

Colisões elásticas provocam aumentos de temperatura, sem quebrar a estabilidade do átomo, ao passo que as inelásticas provocam sua ionização. O decaimento do átomo para o seu estado de menor energia é acompanhado da emissão de radiação. Dependendo da sua distribuição espectral, esta radiação poderá ser utilizada como fonte de luz, caso contrário será absorvida por um revestimento, aplicado na parede interna do tubo de descarga e conhecido genericamente por "fósforo", que emite uma radiação com uma distribuição espectral mais adequada. A luz emitida pelas lâmpadas à descarga apresenta, em geral, uma distribuição espectral discreta, contendo as raias características dos átomos que compõem o vapor metálico.

Nas lâmpadas de descarga existe, em geral, um meio gasoso, **inicialmente não condutor**, cujos átomos precisam ser excitados e/ou ionizados para haver circulação de uma corrente elétrica. Quando este tipo de lâmpada é conectada a uma fonte de baixa tensão, não há praticamente circulação de corrente. Por outro lado, aumentando-se a tensão da fonte acima de um limiar, em geral, de algumas centenas de volts, ocorre a descarga e a corrente no circuito cresce bruscamente, podendo atingir valores elevados.

**Lâmpadas de descarga necessitam, em geral, de dois dispositivos externos, um para realizar a sua ignição e outro para estabilização da corrente no seu valor nominal de operação.**

A Figura 3.5 mostra a curva estática de um tubo de descarga com 20" de comprimento e 1,5" de diâmetro contendo gás neon.

A curva estática, válida para alimentação de lâmpadas à descarga em corrente contínua (C.C.), é obtida alimentando-se a mesma com uma fonte de corrente ajustável, registrando-se os valores de tensão para cada valor de corrente, quando a descarga atinge uma condição de equilíbrio. Pode-se verificar que a impedância dinâmica (derivada da tensão em relação à corrente) de uma lâmpada à descarga é negativa, ou seja, à medida que a corrente na lâmpada aumenta, a diferença de potencial entre os seus terminais diminui, até que, no limite, a lâmpada se torna praticamente um curto-circuito e a corrente assume valores elevados.

Portanto, pelas leis de Kirchhoff, toda lâmpada de descarga alimentada em corrente contínua necessita de um elemento com resistência positiva, por exemplo um resistor, para absorver a diferença de tensão entre a lâmpada e a fonte de alimentação de modo a limitar a corrente no circuito.

---

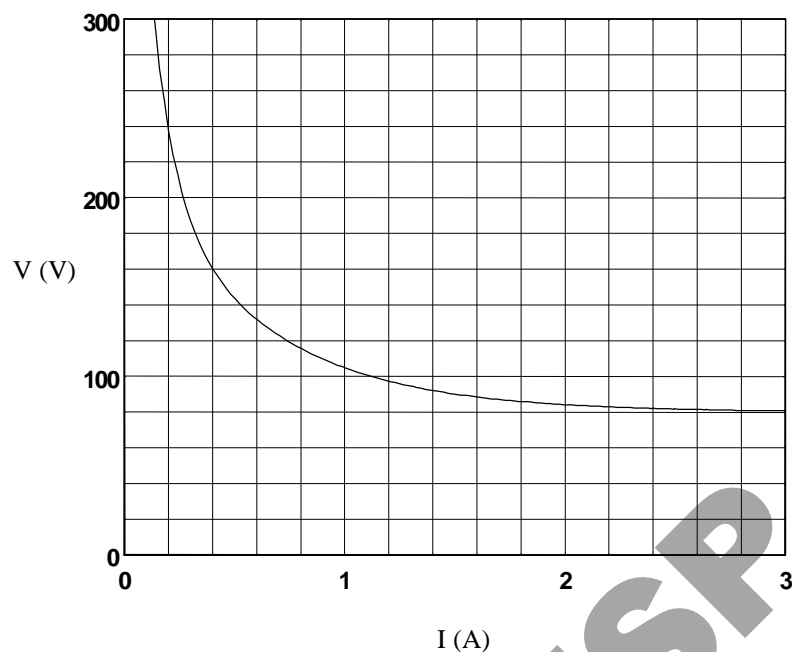


Figura 3.5 - Curva estática tensão vs. corrente de um tubo de descarga com gás neon

Lâmpadas de descarga também podem ser alimentadas em corrente alternada (C.A.). Nestas condições, a lâmpada é representada pela sua característica dinâmica, obtendo-se a partir desta, uma resistência média equivalente. Cada eletrodo assume a função de catodo e anodo em semiciclos consecutivos. Por questões de eficiência, a estabilização da corrente em corrente alternada não é feita com resistores, utilizando-se no seu lugar uma associação de elementos reativos (capacitores e indutores), evitando-se a dissipação desnecessária de potência ativa.

De acordo com a pressão, as lâmpadas de descarga podem ser classificadas em lâmpadas de descarga de baixa pressão e lâmpadas de descarga de alta pressão. Somente as primeiras serão objeto de estudo na presente experiência.

As lâmpadas à descarga de baixa pressão utilizam vapores metálicos a pressões da ordem de  $10^{-3}$  atmosferas e operam com uma densidade de potência de arco da ordem de 0.5 W/cm a 2 W/cm. A radiação emitida pela descarga apresenta uma distribuição espectral, onde se destacam as raias predominantes dos átomos que constituem o vapor metálico. 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 à descarga de baixa pressão de vapor de sódio.

### Lâmpada fluorescente

Desenvolvida na década de 40 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 ( $\lambda = 253.7$  nm) de radiação ultravioleta, produzida por uma descarga de vapor de mercúrio a baixa pressão, para emitir luz visível.

As lâmpadas fluorescentes comercialmente disponíveis utilizam bulbos de vidro transparente, historicamente 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. O diagrama da Figura 3.6 mostra a estrutura interna de uma lâmpada fluorescente tubular e ilustra o seu princípio de funcionamento.

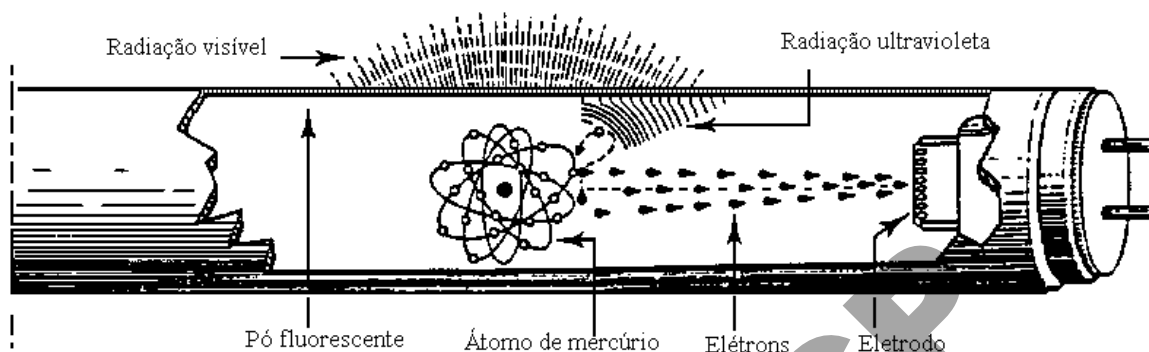


Figura 3.6 - Estrutura interna e princípio de funcionamento de uma lâmpada fluorescente tubular

Os eletrodos encontram-se hermeticamente selados no interior do tubo, um em cada extremidade. Existem basicamente dois tipos: a) o catodo frio, utilizado em lâmpadas com o mesmo nome e atualmente já fora de linha, é constituído de um cilindro metálico coberto com uma substância que emite elétrons, quando aquecida pelo próprio calor gerado na descarga e b) o catodo quente ou filamento, utilizado na quase totalidade das lâmpadas atualmente disponíveis.

Os filamentos das lâmpadas fluorescentes são construtivamente semelhantes aos das lâmpadas incandescentes, porém operam em temperaturas mais baixas (800 °C a 1100 °C) e apresentam um revestimento de material com baixa função de trabalho (por ex. óxido de bário) que emite elétrons por efeito termo-iônico. Durante a partida, os filamentos são alimentados por uma fonte de tensão, sendo aquecidos pela circulação da corrente, até atingir a temperatura de emissão desejada, a qual é mantida pelo calor gerado na descarga com a lâmpada já em funcionamento. Este procedimento é denominado pré-aquecimento dos filamentos. O pré-aquecimento influi na vida útil dos filamentos e, portanto, da própria lâmpada.

O funcionamento da lâmpada fluorescente depende do estabelecimento de uma descarga, entre os seus eletrodos, através do vapor de mercúrio. No entanto, à temperatura ambiente o mercúrio é líquido, o que dificulta a formação de íons. Por esta razão, adiciona-se um gás inerte com baixo potencial de ionização, que permite realizar a ignição da lâmpada e gerar calor para vaporizar o mercúrio. Este "gás de enchimento" ("filling gas"), é geralmente argônio puro ou uma mistura de argônio, neônio e criptônio.

Os elétrons emitidos por um dos filamentos (catodo) são acelerados em direção ao outro (anodo) pelo campo elétrico estabelecido por uma tensão externamente aplicada. Inicialmente forma-se uma descarga com o gás de enchimento. Os elétrons produzidos excitam os átomos do vapor de mercúrio, que emitem radiação ultravioleta, sensibilizando a camada de "fósforo" aplicada na parede interna do tubo. A escolha do tipo e da pressão do gás inerte influi na eficiência da lâmpada, pois o gás inerte atua como um moderador, ou seja, ajusta a velocidade média dos elétrons de forma a maximizar a produção de radiação ultravioleta com comprimento de onda  $\lambda = 253.7 \text{ nm}$ .

As características luminosas (temperatura de cor correlata, eficácia luminosa e reprodução de cores) da lâmpada fluorescente são determinadas pela composição e espessura do pó fluorescente ("fósforo"). Os "fósforos" são compostos que emitem luz por fluorescência quando expostos à radiação ultravioleta. São fabricados a partir de compostos de elevada pureza, cuja estrutura cristalina é modificada pela adição de ativadores, que determinam a distribuição espectral da radiação emitida. Uma família amplamente utilizada são os halofosfatos cuja composição química básica é  $3\text{Ca}(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$ . Na década de 80 foi desenvolvida uma nova família de "fósforos", conhecida comercialmente como "tri-fósforo" ou "fósforo tri-estímulo", que é constituída de três compostos, cada um com banda de emissão estreita e centrada nos comprimentos de onda do azul, vermelho e verde respectivamente. A combinação adequada destes compostos, juntamente com uma camada de halofosfato, possibilitou uma melhora no índice de reprodução de cores e um aumento considerável na eficácia luminosa, ou seja, permitiu a construção de lâmpadas com menor potência para emissão do mesmo fluxo luminoso. As lâmpadas fluorescentes de nova geração utilizam um tubo com diâmetro menor (T8 em vez de T12) e seu custo, mais elevado em função do tri-fósforo, é compensado pelo aumento de eficiência resultante.

A Tabela 3.1 apresenta as principais características de algumas lâmpadas fluorescentes e incandescentes. Pode-se verificar que: a) as lâmpadas fluorescentes são aproximadamente 6 vezes mais eficientes que as incandescentes; b) as lâmpadas fluorescentes apresentam uma vida útil 8 vezes superior às incandescentes e c) as lâmpadas fluorescente com tri-fósforo são mais eficientes que as com halofosfato e apresentam um índice de reprodução de cores mais elevado, porém ainda inferior às incandescentes.

Tabela 3.1 - Características de algumas lâmpadas fluorescentes e incandescentes

Tipo de Lâmpada	Fluorescente		Incandescente	
	Halofosfato (T12)	Tri-fósforo (T8)		
Potência (W)	40	36	60	100
Fluxo luminoso (lm)	3150	3275	730	1380
Eficácia lum.(lm/W)	78.7	90.9	12	13.8
Vida útil (horas)	8000	8000	1000	1000
Índ. Reprod. Cores	62	82	100	100

As lâmpadas fluorescentes tubulares são utilizadas para iluminação de interiores em instalações comerciais, industriais e residenciais. A lâmpada fluorescente não oferece 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.

A maioria das instalações de iluminação com lâmpadas fluorescentes são alimentadas em corrente alternada na frequência usual de rede (50 Hz ou 60 Hz). Para estabilização da corrente da lâmpada utiliza-se um dispositivo, conhecido popularmente por reator (em inglês "ballast"). Existem várias configurações, desde simples indutores até sofisticados circuitos eletrônicos.

O reator deve realizar basicamente três funções:

- possibilitar a ignição da lâmpada;
- estabilizar a corrente da lâmpada no seu valor nominal de operação;
- atender às especificações da forma de onda normatizadas para a corrente da lâmpada.

As normas de lâmpadas fluorescentes especificam que a corrente na lâmpada, operando em regime permanente, deve ter um fator de crista inferior a 1.8 para limitar a taxa de sublimação da camada de óxido emissor dos filamentos. O fator de crista é o quociente do valor de pico da forma de onda pelo seu valor eficaz (também conhecido como valor RMS ou valor quadrático médio).

A maioria dos reatores comerciais no Brasil são constituídos basicamente de bobinas com um núcleo, obtido pelo empilhamento de chapas de ferro-silício, apresentando, portanto, características indutivas. Podem ser simples indutores ou transformadores com características especiais. A tensão sobre um indutor ideal em função da corrente obedece a relação  $v(t) = Ld(i)/dt$  onde  $L$  é uma constante denominada indutância. Portanto, variações de corrente impostas pelo circuito externo são transformadas pelo indutor em uma diferença de potencial entre os seus terminais, que é proporcional à taxa de variação da corrente. Em corrente alternada, o indutor funciona como um dispositivo que oferece resistência às variações de corrente, justificando sua escolha como elemento de estabilização para lâmpadas de descarga. Um indutor real pode ser representado por um indutor ideal em série com a resistência elétrica (do fio de cobre) da bobina, sendo que esta última determina a potência dissipada (em watt) pelo conjunto.

Os reatores indutivos para lâmpadas fluorescentes tubulares são, em geral, classificados de acordo com o tipo de ignição em:

- reatores com pré-aquecimento (utilizando "starter"), mostrado na Figura 8a;
- reatores de partida rápida, apresentado na Figura 8b.

Alguns reatores comerciais podem apresentar diferenças construtivas em relação aos esquemas apresentados na Figura 3.7, os quais não alteram o princípio de funcionamento básico, cujos detalhes serão apresentados na seqüência.

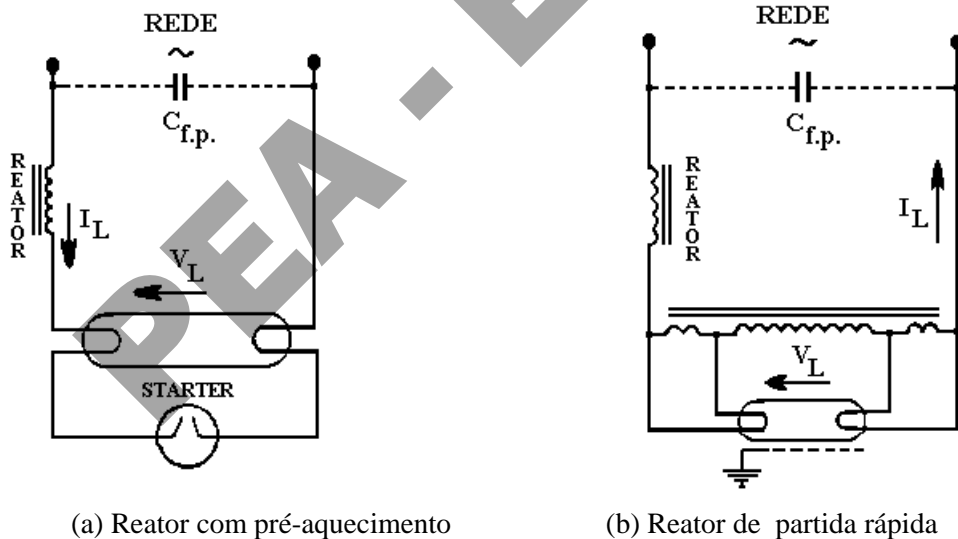


Figura 3.7 - Reatores indutivos para lâmpadas fluorescentes tubulares

### Reator com pré-aquecimento (utilizando "starter")

Os reatores para lâmpadas fluorescentes que realizam pré-aquecimento dos filamentos são simples indutores, que operam em conjunto com um dispositivo de chaveamento, que pode ser do tipo mecânico (chave liga/desliga) ou térmico ("starter").

O valor de pico das tensões de alimentação C.A. fornecidas pelas concessionárias de energia elétrica é, em geral, significativamente inferior à tensão de ignição, na temperatura ambiente, para a grande maioria das lâmpadas fluorescentes tubulares. Uma maneira de reduzir a tensão de ignição da lâmpada é realizar um pré-aquecimento dos seus filamentos, que passam a emitir elétrons livres, reduzindo a rigidez dielétrica (capacidade de suportar tensão) da coluna gasosa entre os eletrodos. Este processo é iniciado com o fechamento da chave em paralelo com a lâmpada, conforme indicado na Figura 3.7a. Desta forma, os filamentos da lâmpada são conectados em série e alimentados pela tensão C.A., para permitir a circulação de uma corrente elétrica (de 0.8 A a 1.2 A), cujo valor é determinado pelo reator. Quando os filamentos atingem a incandescência, a chave é aberta, interrompendo a corrente no circuito. A variação brusca da corrente provoca uma diferença de potencial momentânea e de valor elevado [ $v(t) = L di(t)/dt$ ] entre os terminais do reator, que, somada à tensão C.A. naquele instante, será aplicada sobre a lâmpada provocando a ignição da descarga.

A maioria das instalações que adotam esta técnica utilizam uma chave térmica, denominada "starter", mostrada em detalhe na Figura 3.8. O "starter" é constituído de uma ampola de vidro (aproximadamente 20 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro), contendo um gás (em geral neônio ou hélio) a uma certa pressão, além de dois contatos separados entre si. Um contato é fixo em forma de haste e o outro, constituído de um lâmina bimetálica em forma de U, é móvel. O elemento bimetálico é obtido laminando-se duas chapas metálicas com coeficientes de dilatação térmica significativamente diferentes.

O princípio de funcionamento do reator com "starter" é similar à seqüência de eventos descrita anteriormente. A tensão da rede C.A., insuficiente para realizar a ignição da lâmpada, consegue abrir um arco de baixa resistência elétrica entre os contatos do "starter", provocando a circulação de corrente pelos filamentos. O calor gerado pelo arco deforma a lâmina bimetálica, aproximando-a da haste fixa até estabelecer contato mecânico. Neste instante o "starter" se comporta como um curto-circuito, extinguindo o arco. Na ausência do arco a lâmina bimetálica esfria rapidamente, afastando-se do contato fixo (o aquecimento próprio por efeito Joule na lâmina bimetálica é desprezível).

Quando os contatos do "starter" se separam, ouve-se um "clic" característico. A interrupção brusca da corrente provoca uma tensão de valor elevado entre os eletrodos da lâmpada que pode ou não provocar a ignição da descarga. Em caso afirmativo, o "starter" permanecerá em circuito aberto, pois a tensão da lâmpada acesa é insuficiente para abrir um arco entre os seus contatos. Caso contrário, o ciclo de pré-aquecimento se inicia novamente.

A partida da lâmpada demora, em geral, alguns segundos e a escolha do "starter" é feita em função da tensão da lâmpada. O sucesso da ignição da lâmpada após o primeiro ciclo de pré-aquecimento depende, entre outros fatores, da temperatura ambiente e da umidade atmosférica. Em ambientes frios e úmidos são, em geral, necessários três a seis ciclos. A partida com pré-aquecimento implica na utilização de um conjunto individual, formado por reator e "starter", para cada lâmpada.

---

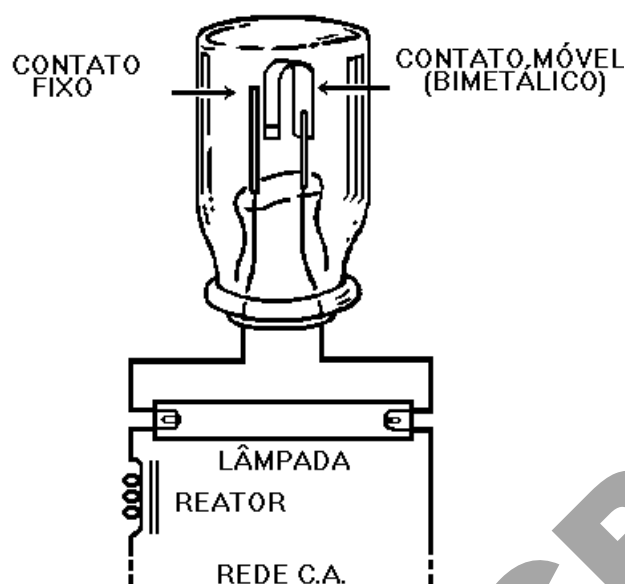


Figura 3.8 - Reator com pré-aquecimento - detalhe do "starter"

### Reator de partida rápida

Os reatores de partida rápida não utilizam "starter". Portanto, para se garantir a partida da lâmpada, esta topologia deve aplicar um valor de tensão suficientemente elevado para realizar a partida da lâmpada (numa ampla faixa de temperatura ambiente) ou reduzir a tensão de ignição da lâmpada de alguma forma.

Estes reatores utilizam um transformador, cujos enrolamentos encontram-se magneticamente acoplados com um indutor, para realizar o aquecimento adequado dos filamentos de forma a reduzir a tensão de ignição da lâmpada para valores próximos da tensão C.A. de alimentação. A Figura 3.7b mostra uma versão simplificada desta configuração.

O transformador dispõe de enrolamentos de baixa tensão (3 V a 4 V), ligados em série com o enrolamento secundário, aos quais são conectados os filamentos. Ao contrário dos reatores com pré-aquecimento, existe circulação permanente de corrente pelos filamentos, cujo valor é significativamente reduzido, após a ignição da lâmpada, pelo aumento da resistência dos filamentos com a temperatura e pela queda de tensão no indutor, imposta pela circulação de corrente na lâmpada.

A ignição da lâmpada ocorre em menos de 1 segundo, justificando a denominação "partida rápida". Para o bom funcionamento, é necessária uma superfície metálica plana e aterrada, de mesmo comprimento da lâmpada e disposta a uma distância não superior a 25 mm da mesma. Em geral utilizam-se luminárias metálicas, as quais devem ser adequadamente aterradas. A presença de uma superfície equipotencial aterrada sob a lâmpada possibilita uma distribuição de cargas estáticas na parede do tubo, que altera a distribuição de potencial entre os eletrodos, reduzindo ainda mais a tensão de ignição da lâmpada.



### Lâmpada fluorescente compacta

Esta lâmpada foi introduzida no mercado no início da década de 80 e apresenta alguns detalhes construtivos que a diferenciam das lâmpadas fluorescentes tubulares convencionais, porém, seu princípio de funcionamento é idêntico.

A lâmpada fluorescente compacta é constituída de um tubo de vidro do tipo T4 ou T5, com revestimento de “tri-fósforo” e filamentos nas suas extremidades. Existem diversas formas construtivas para o tubo de descarga, sendo duas as mais comuns:

- a) um tubo único curvado em “U”;
- b) dois tubos independentes, unidos por uma ponte.

A Figura 3.9 apresenta uma lâmpada fluorescente com dois tubos independentes, mostrando um de seus filamentos e o percurso da descarga no interior da lâmpada.

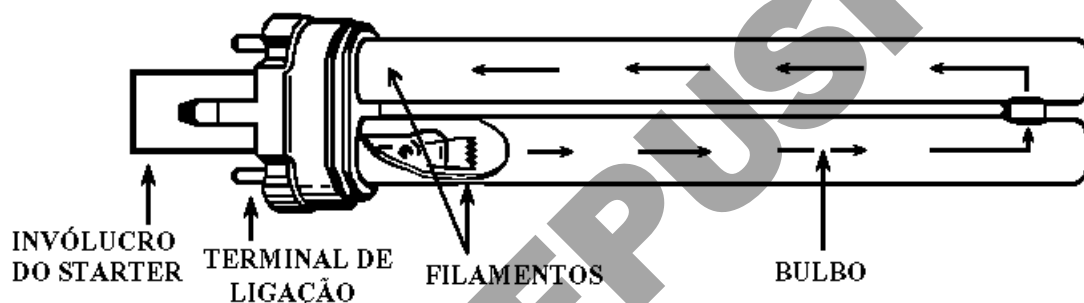


Figura 3.9 - Lâmpada fluorescente compacta com “starter” incorporado

A lâmpada fluorescente compacta, em geral só apresenta duas conexões elétricas, uma vez que os filamentos encontram-se ligados em série através de um “starter”, o qual fica alojado num invólucro na base da lâmpada. A estabilização da lâmpada é feita através de um reator indutivo, conectado externamente.

Algumas lâmpadas já apresentam um reator incorporado na sua base, em geral do tipo rosca Edison, que é utilizada em lâmpadas incandescentes. O reator poder ser indutivo ou eletrônico, sendo este último mais leve de forma a reduzir o peso do conjunto.

A lâmpada fluorescente compacta foi concebida para substituir a lâmpada incandescente. A Tabela 3.2 apresenta as características de alguns modelos comerciais de ambos os tipos de lâmpada. Os valores da eficácia luminosa do conjunto lâmpada+reator foram obtidos com um reator indutivo.

Pela Tabela 3.2 verifica-se que a lâmpada compacta apresenta dimensões físicas similares à incandescente, porém consome um sexto da potência a apresenta uma vida útil 8 vezes maior. Apesar de seu custo ainda ser muito elevado (8 a 10 vezes superior ao de uma lâmpada incandescente), torna-se uma alternativa viável em aplicações onde se necessita de uma fonte de luz compacta e com baixo consumo de energia elétrica.

Tabela 3.2 - Características de algumas lâmpadas fluorescentes compactas e incandescentes

Tipo de Lâmpada	Fluorescente compacta				Incandescente			
	7	9	13	18	40	60	75	100
Potência (W)	7	9	13	18	40	60	75	100
Fluxo luminoso (lm)	400	600	900	1200	430	730	960	1380
Efic. lum. lamp. (lm/W)	57	67	69	67	10.8	12.2	12.8	13.8
Efic.lum.lamp+reat(lm/W)	36	46	60	57	-----	-----	-----	-----
Vida útil (horas)	8000	8000	8000	8000	1000	1000	1000	1000
Índice Reprodução Cor	81	81	81	81	100	100	100	100
Comprimento total (mm)	133	165	188	232	105	105	105	105

## 4. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

### 4.1 - Considerações gerais

Neste Capítulo serão apresentados alguns conceitos básicos sobre instalações elétricas, sem a preocupação de esgotar este vasto assunto. Inicialmente serão vistos os diferentes elementos que constituem uma instalação elétrica. Em seguida serão abordadas as instalações embutidas, as quais possuem maior interesse no presente contexto. Também será visto o diagrama unifilar, que é uma ferramenta importante que permite fornecer uma grande quantidade de informações de maneira concisa, diretamente na planta arquitetônica da edificação. Finalmente serão estudados os tipos de comando de luz mais comuns.

### 4.2 - Elementos constituintes

Toda instalação elétrica predial é constituída de uma série de componentes os quais, de um modo geral, estão representados pelo diagrama de blocos da Figura 4.1, os quais são discutidos brevemente a seguir.

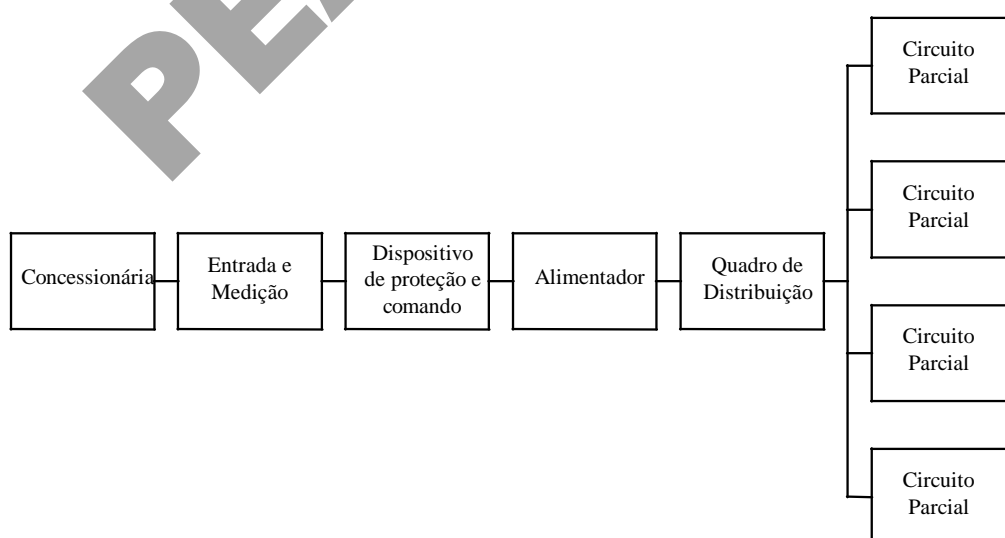


Figura 4.1 - Elementos constituintes de uma instalação elétrica

### Entrada e medição

A entrada é a parte da instalação compreendida entre o *ponto de entrega* da concessionária e o equipamento de medição. O ponto de entrega é o ponto de junção das linhas da concessionária e a instalação da residência, fisicamente situado na interseção das linhas elétricas com a divisa do terreno. A medição é constituída pelo medidor de energia elétrica, que se destina a computar a quantidade de energia elétrica consumida pela instalação.

### Proteção/comando e Alimentador

A medição é sempre executada o mais próximo possível do ponto de entrega, portanto, a fim de se levar a energia aos pontos de utilização, deve-se utilizar uma linha que interligue o quadro de medição ao quadro de distribuição dos circuitos do consumidor. A essa linha dá-se o nome de “alimentador”. A proteção desse alimentador contra sobrecargas, bem como a interrupção do fornecimento de energia, pode ser efetuada através de um dispositivo adequado, como por exemplo uma chave de faca com fusíveis ou um disjuntor com elemento de proteção térmica e eletromagnética.

### Quadro de Distribuição

O quadro de distribuição destina-se a receber o alimentador e por meio de barramento conveniente, alimentar os dispositivos de proteção e de comando dos diversos circuitos parciais da residência. A Figura 4.2 apresenta o esquema de um quadro de distribuição, ressaltando-se que chaves e fusíveis podem ser substituídos por disjuntores eletromagnéticos, e **em nenhuma hipótese deve-se colocar fusíveis ou disjuntores eletromagnéticos no neutro.**

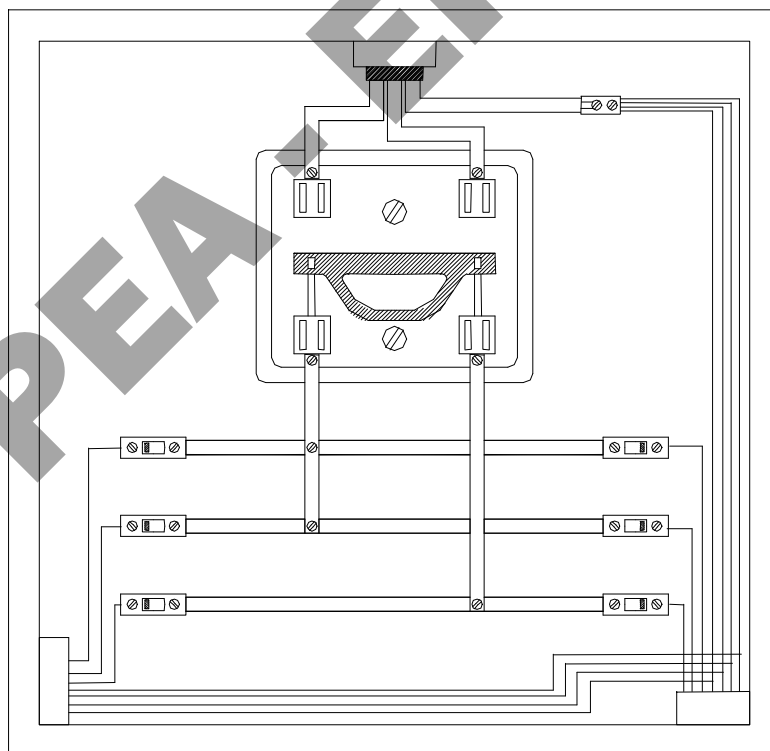


Figura 4.2 - Quadro de distribuição

### Circuitos Parciais

Em uma instalação elétrica a confiabilidade está diretamente relacionada com o número de circuitos parciais que a compõem, pois:

- Se ligarmos todas as cargas em um só circuito, teremos a instalação mais econômica possível; em compensação, um defeito em qualquer carga ou local, colocará toda a instalação indisponível.
- Por outro lado, se ligarmos cada uma das cargas em um circuito independente, teríamos o maior nível de confiabilidade possível, porém o custo da instalação seria o mais caro.

O ponto de equilíbrio é dividir o suprimento das cargas em vários circuitos parciais, obedecendo a alguns critérios:

- Circuitos independentes para iluminação e tomadas.
- Cargas de maior potência em circuitos independentes, por exemplo: fogão elétrico, chuveiros, torneiras elétricas, ar condicionado, etc. A norma NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, recomenda que cargas com corrente nominal acima de 10 A tenham circuitos independentes.
- Usualmente, em instalações residenciais, limita-se a potência instalada em iluminação e tomadas em 1500 W, pois isto permite, via de regra, a utilização de condutor de 1,5 mm<sup>2</sup>.

A Figura 4.3 ilustra a divisão de uma instalação em circuitos parciais.

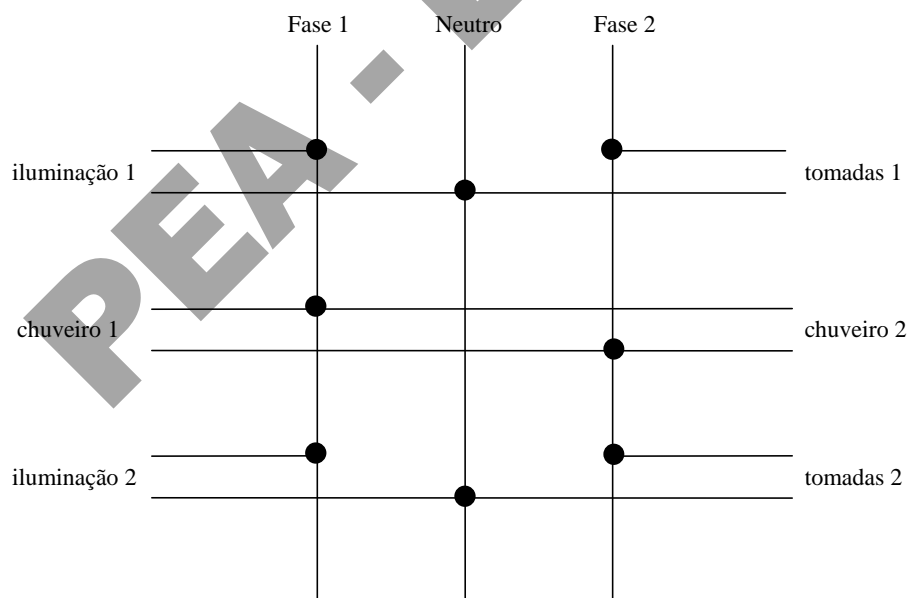


Figura 4.3 - Circuitos parciais

#### 4.3 - Instalações embutidas

Esta modalidade de instalação apresenta normalmente a rede de fios condutores disposta internamente a uma rede composta por eletrodutos (tubos metálicos ou de PVC) e caixas de passagens, que por sua vez são montados no interior das paredes, pisos, e tetos da edificação. Em alguns casos os cabos são fixados diretamente. A Figura 4.4 ilustra este tipo de instalação.

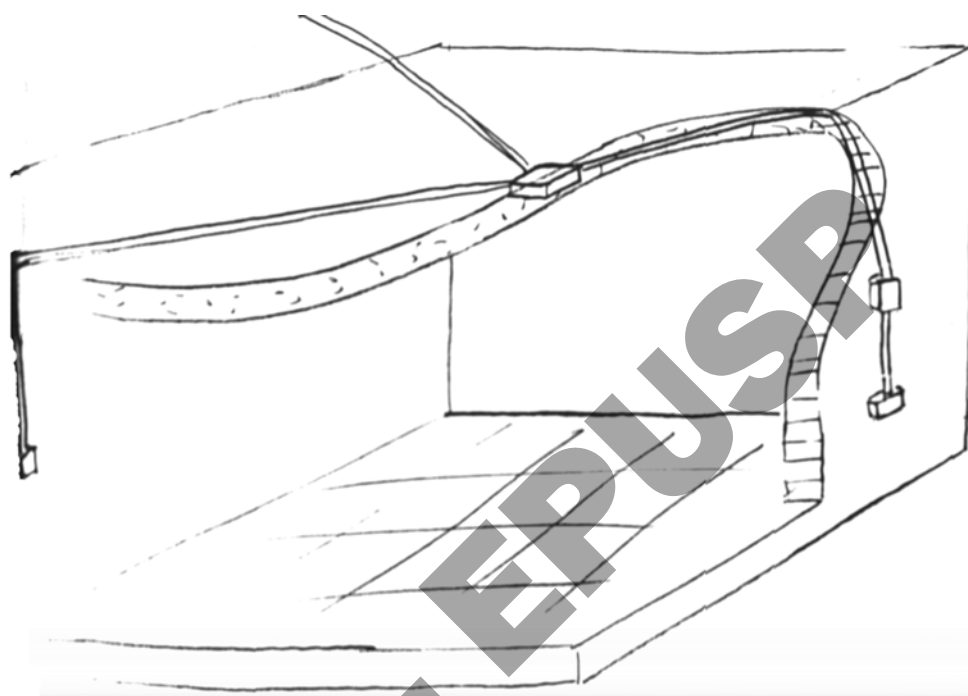


Figura 4.4 - Instalação embutida

#### Interruptores

Os interruptores são dispositivos que se prestam ao controle de um circuito (ou parte dele) que supre uma carga (iluminação ou outro uso doméstico qualquer), atuando diretamente por efeito mecânico no circuito dos condutores. A utilização de interruptores é restrita a cargas limitadas, em geral a 10 A. O acionamento de cargas de maior porte é geralmente realizado por relés ou chaves magnéticas.

Há vários tipos de interruptores:

- simples, Figura 4.5, que permitem o controle da carga a partir de um único um ponto;
- paralelos, Figura 4.6, que possibilitam, através da utilização da instalação de dois interruptores desse tipo, em dois pontos diferentes, o comando de uma carga de cada um desses pontos;
- intermediários, Figura 4.7, utilizados em um “circuito paralelo” (item anterior), que permitem o controle de uma carga de vários pontos diferentes.



Figura 4.5 - Interruptor simples

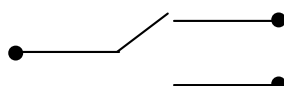


Figura 4.6 - Diagrama elétrico de interruptor paralelo



Figura 4.7 - Diagrama elétrico de interruptor intermediário

Além desses, estão disponíveis no mercado dispositivos interruptores que permitem temporização na atuação e variação na intensidade da luminária que atende.

### Tomadas

As tomadas, Figura 4.8, são dispositivos que permitem a conexão dos condutores de um circuito com um equipamento elétrico, de modo prático e seguro. Usualmente as tomadas disponíveis no mercado tem capacidade para 10 A a 20 A. Existem tomadas com 2 e 3 pinos, sendo que o terceiro pino se presta à ligação do condutor terra que propicia segurança ao usuário, em situações em que ocorrem certos tipos de anormalidades.

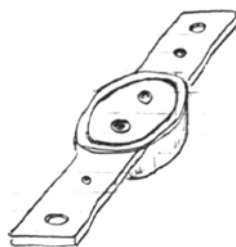


Figura 4.8 - Tomada de 2 pinos

#### 4.4 - Diagrama unifilar

O diagrama unifilar é um desenho que, utilizando simbologia específica, representa graficamente uma instalação elétrica, indicando, sobre a planta arquitetônica:

- os pontos de luz e as tomadas;
- a posição dos eletrodutos;
- a localização dos quadros de distribuição;
- a divisão dos circuitos;
- o número e a caracterização dos condutores dentro dos eletrodutos.

Tanto aspectos do circuito elétrico como do caminhamento físico da instalação são contemplados no diagrama unifilar.

Quanto ao circuito elétrico, o diagrama unifilar deve indicar para cada carga (ponto de luz, tomada, ou aparelho específico), os correspondentes elementos básicos:

- fonte (ponto de suprimento ou quadro de distribuição);
- circuito parcial a que pertence;
- pontos de comando (interruptores e chaves associados);
- condutores associados.

Para ilustrar estes conceitos, considere-se uma fonte (fase e neutro) e uma lâmpada, que deve ser comandada por um interruptor, conforme mostrado na Figura 4.9.

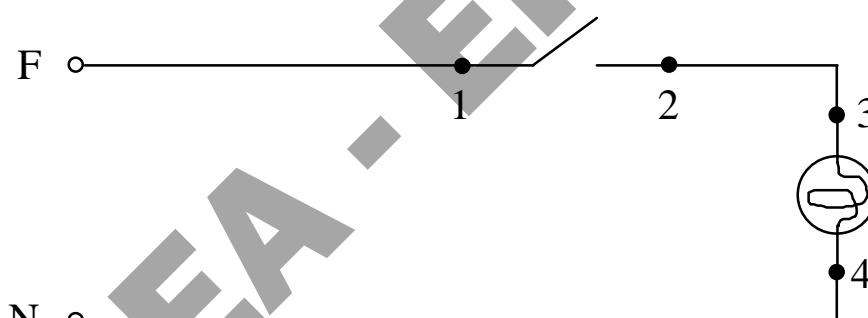


Figura 4.9 - Diagrama elétrico de uma lâmpada comandada por interruptor simples

Note-se que, embora a primeira vista o interruptor (1-2) poderia inserir-se no trecho do circuito Fase-Lâmpada (entre os pontos F e 3) ou no circuito Neutro-Lâmpada (entre os pontos N e 4), é obrigatório, por norma, inseri-lo no trecho que contém a fase (F). Isto ocorre para que se garanta maior segurança na manutenção da luminária, mantendo-a com o potencial do neutro, quando o interruptor estiver aberto. Caso se interrompesse o neutro, o potencial da lâmpada com o interruptor desligado seria sempre igual ao da fase, o que não é conveniente.

Há uma nomenclatura própria para os três condutores que constituem os três trechos do circuito:

- O condutor do trecho F-1, é designado por condutor FASE ou simplesmente FASE e está sempre no potencial da fase (110 V, 115 V, 127 V ou 220 V);

- O condutor do trecho N-4, é designado por condutor NEUTRO ou simplesmente NEUTRO, e está no potencial do neutro quando a lâmpada está desligada e muito próximo dele quando a lâmpada esta energizada.
- O condutor do trecho 2-3, é designado por RETORNO e ora está no potencial do neutro quando a lâmpada esta desligada, ora está no potencial da fase quando a lâmpada estiver acesa.

Nota-se que podem ocorrer situações particulares em que circuitos são alimentados por duas fases, ao invés de uma fase e um neutro. Neste caso, esses dois trechos são designados por fase, e necessariamente há a interrupção de uma fase pelo interruptor.

Fisicamente, a fonte é um quadro de distribuição, a lâmpada está no teto de um certo ambiente, o interruptor deve ser localizado em uma parede desse ambiente e os condutores devem ser fixados em eletrodutos na parede e teto. O problema que se coloca é: como isso é feito e como se representa de maneira prática e objetiva? A Figura 4.10 apresenta essa situação e uma solução para o problema, através da utilização de eletrodutos e caixas.

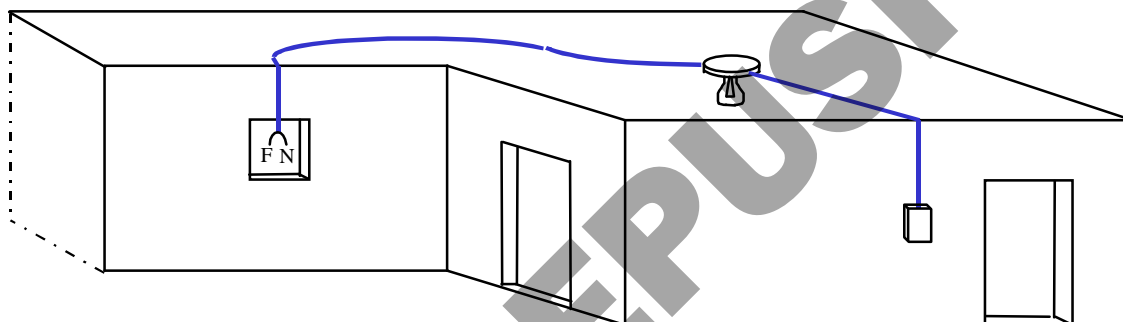


Figura 4.10 - Circuito físico

O traçado dos eletrodutos deve ser estudado de forma a minimizar as quantidades de material empregado, evitando-se interferências com outras instalações prediais e elementos estruturais da edificação. Deve-se também atentar aos problemas de execução e de manutenção futuras, por exemplo evitando-se o excesso de eletrodutos e condutores em caixa de passagem, reduzindo os cruzamentos de condutores no interior de paredes e lajes, e posicionando as caixas em lugares de fácil acesso.

Todos os elementos que compõem o diagrama unifilar de uma instalação elétrica são representados por simbologias específicas, determinadas pelas Normas Brasileiras. Além dessa simbologia existem outras que, embora não sejam padronizadas por norma, têm uso corrente. O Anexo 1 apresenta a simbologia estabelecida pela Norma NBR 5444.

O circuito tratado no item anterior poderia ser representado pelo diagrama unifilar da Figura 4.11.



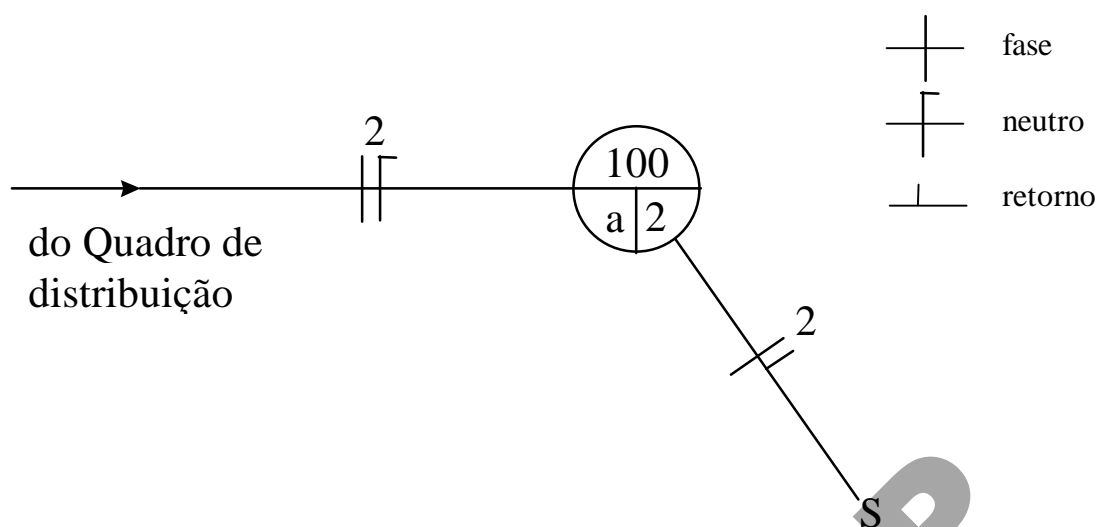


Figura 4.11 - Diagrama unifilar

A caracterização do diagrama unifilar no âmbito do projeto consiste em representar o diagrama da Figura 4.11 sobre a planta do projeto arquitetônico, como mostra a Figura 4.12.

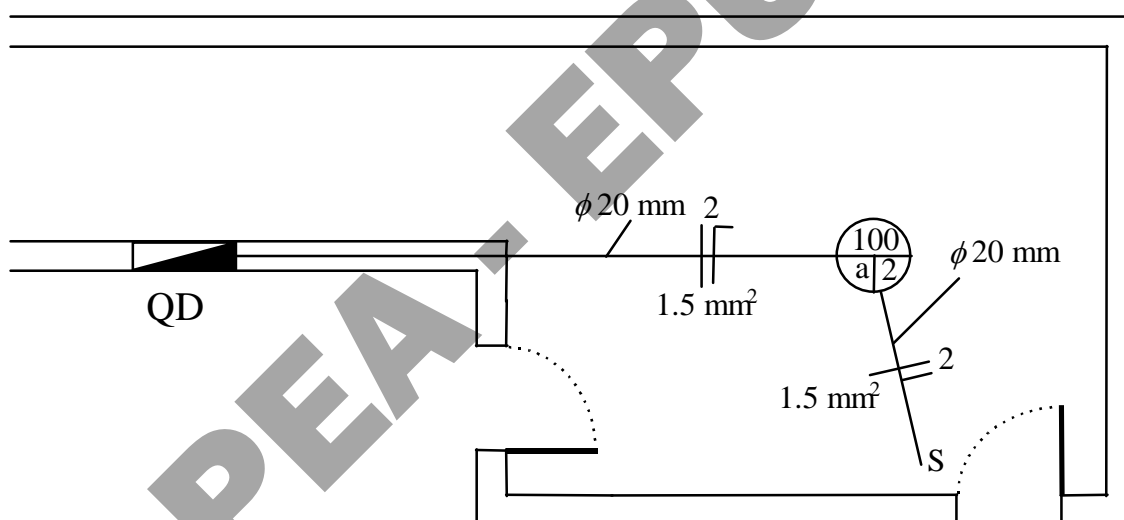


Figura 4.12 - Diagrama unifilar sobre a planta

#### 4.5 - Comandos de luz

Em uma instalação elétrica predial há vários tipos de comandos que controlam os pontos de luz. Os principais tipos são abordados a seguir.

##### Comando simples

É o comando mais utilizado, sendo composto por um interruptor simples que comanda um ponto de luz. O circuito e o diagrama unifilar correspondente são apresentados na Figura 4.13.

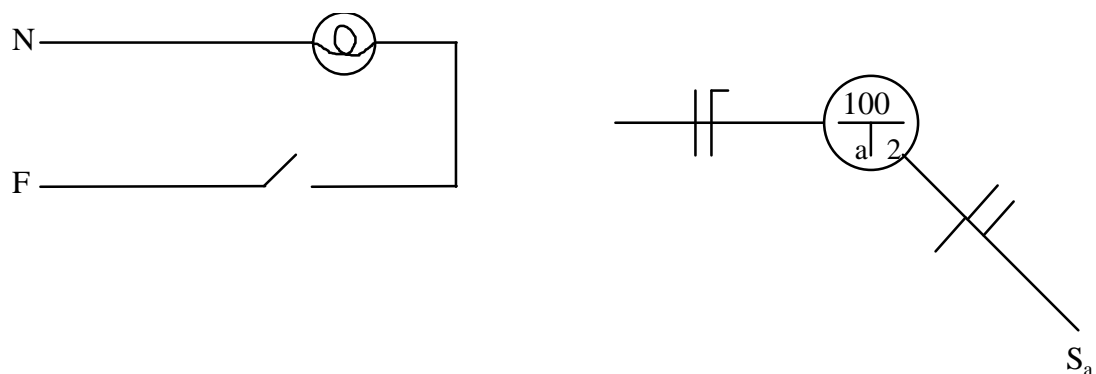


Figura 4.13 - Comando simples

### Comando a partir de 2 pontos

Este tipo de aplicação utiliza os interruptores “paralelos”, conforme ilustrado no circuito elétrico da Figura 4.14.

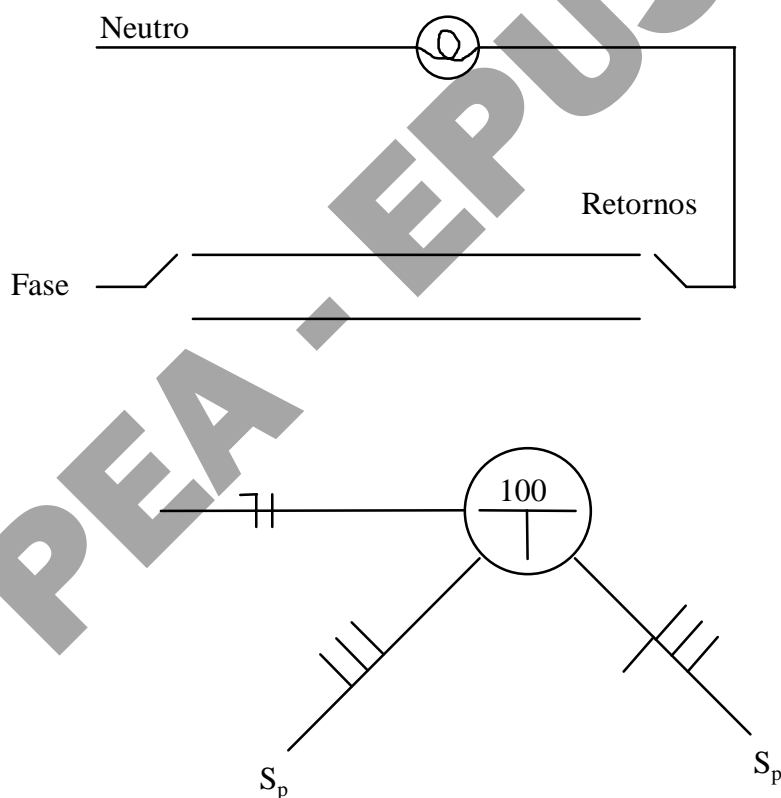


Figura 4.14 - Comando paralelo

Note que o circuito da Figura 4.15, apesar de funcionar, não deve ser utilizado, uma vez que não respeita a norma, pois em certos estados dos interruptores, a lâmpada permanece desligada e submetida à tensão de fase.

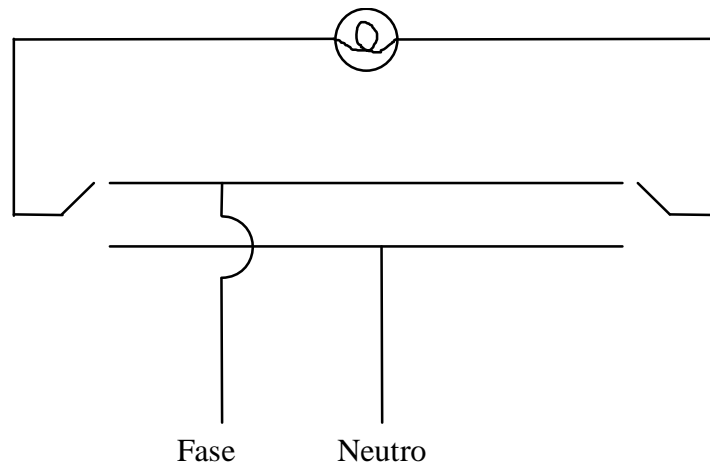


Figura 4.15 - Comando paralelo com ligação errada

#### Comando a partir de 3 ou mais pontos

A utilização conjugada de interruptores intermediários e paralelos permite o comando de um ponto de luz por 3 ou mais pontos, conforme mostra a figura 4.16. Note que à medida que se insere mais um interruptor intermediário no circuito dos retornos, obtém-se mais um ponto de comando.

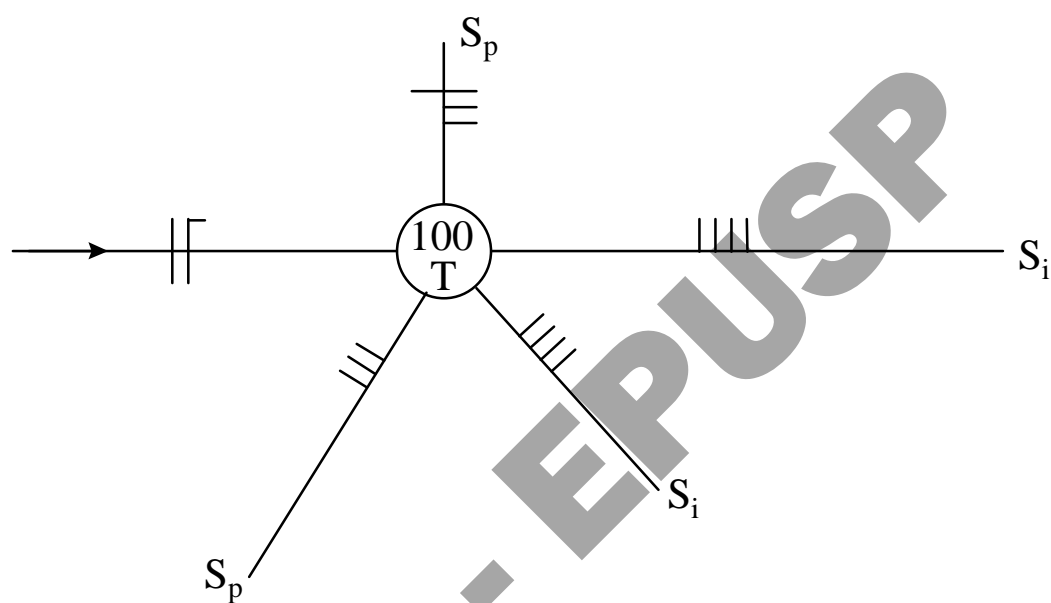
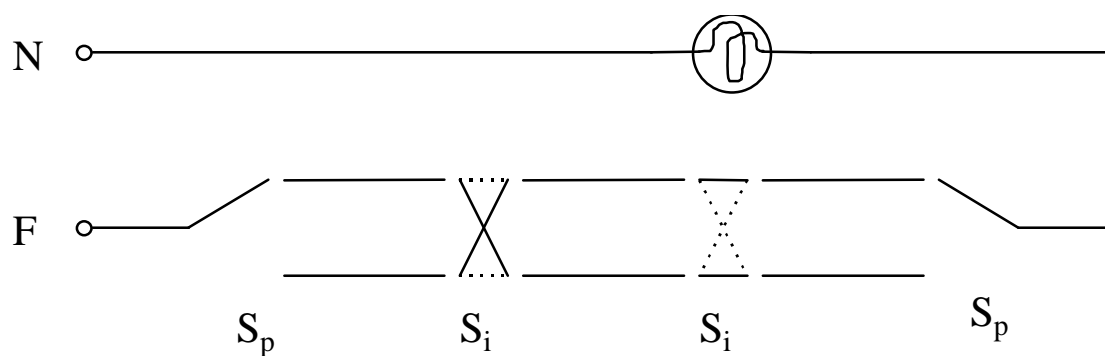


Figura 4.16 - Comando a partir de 3 ou mais pontos

## 5. LISTA DE MATERIAL

- Placa didática de lâmpadas e instalações elétricas;
- Multímetro digital;
- Voltímetro/amperímetro/wattímetro Yokogawa;
- 3 lâmpadas incandescentes 60 W – 127 V;
- 1 lâmpada fluorescente compacta 20 W – 127 V;
- 1 lâmpada fluorescente convencional 40 W – 127 V.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Kaufman, J. E. Hayes, H., ed., **IES Lighting Handbook**, New York, Illuminating Engineering Society of North America, 1981, Vol.1.
- [2] Elenbaas, W., **Light Sources**, Crane Rusch & Company, New York, 1972.
- [3] Henderson, S. R., Masden A. M., **Lamps and Lighting**, Crane Rusch & Company, New York, 2. edition, 1972.
- [4] Coaton, J.R., **Special Issue on Lighting Sources Technology**, IEE Proceedings, Part A, Vol 127, No. 3, April 1981.
- [5] Groot, J., van Vliet, J., **The High Pressure Sodium Lamp**, London MacMillan Educational, 1986.
- [6] Waymouth J. F., Levin, R. E., **Designers Handbook, Light Sources and Applications**, Sylvania GTE Products, Danvers, 1980.
- [7] Cotrim, Ademaro A. M. B: *Instalações Elétricas*. Makron Books, 3a. edição, 1993.
- [8] Creder, Hélio: *Instalações Elétricas*. Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 9a. edição, 1984.
- [9] NBR-5410 - Norma Técnica de Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Edição 1997 – ABNT.

PEA - EPUSP

---



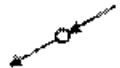

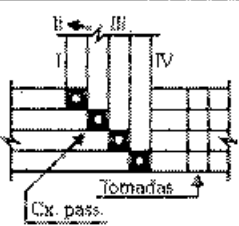

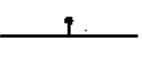
## ANEXO 1 - Simbologia para instalações elétricas

## Anexo - Símbolos Gráficos para Instalações Elétricas Prediais (NBR5444)






### A. Dutos e distribuição

Símbolo	Significado	Observações
	Eletroduto embutido no teto ou parede Diâmetro 25mm	Todas as dimensões em mm. Indicar a bitola se não for 15 mm.
	Eletroduto embutido no piso Diâmetro 25mm	
	Tubulação para telefone externo	
	Tubulação para telefone interno	Indicar na legenda o sistema passante
	Tubulação para campainha, som, anunciador ou outro sistema	
	Condutor de fase no interior do eletroduto	Cada traço representa um condutor. Indicar bitola, nº de condutores, nº do circuito e a bitola dos condutores, exceto se forem de 1,5 mm².
	Condutor neutro no interior do eletroduto	
	Condutor de retorno no interior do eletroduto	
	Condutor terra no interior do eletroduto	
	Cordoalha de terra 50	Indicar a bitola utilizada; 50 significa 50 mm².
	Leito de cabos com um circuito passante, composto de três fases, cada um por dois cabos de 25mm² mais dois cabos de neutro de bitola de 10mm²	25 significa 25 mm² 10 significa 10 mm²
	Caixa de passagem no piso Cx. pass. (200 x 200 x 100)	Dimensões em mm
	Caixa de passagem no teto Cx. pass. (200 x 200 x 100)	Dimensões em mm
	Caixa de passagem na parede Cx. pass. (200 x 200 x 100)	Indicar altura e se necessário fazer detalhe (dimensões em mm)

## A. Dutos e distribuição

Simbolo	Significado	Observações
	Circuito que sobe	
	Circuito que desce	
	Circuito que passa descendo	
	Circuito que passa subindo	
	Sistema de calha de piso	No desenho, aparecem quatro sistemas que são habitualmente: I - Luz e força II - Telefone (Telebrás) III - Telefone (Pa), Bix, Is, ramais IV - Especiais (comunicações)
	Condutor bitola 1,0 mm <sup>2</sup> , fase ou neutro para campainha	Se for bitola maior, indicá-la
	Condutor bitola 1,0 mm <sup>2</sup> , retorno para campainha	

## B. Quadros de distribuição

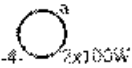
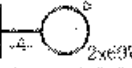
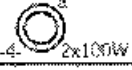
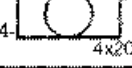










Simbolo	Significado	Observações
	Quadro terminal de luz e força aparente	Indicar as cargas de luz em Watts e de força em HP ou CV
	Quadro terminal de luz e força embutido	
	Quadro geral de luz e força aparente	
	Quadro geral de luz e força embutido	
	Caixa de telefones	

## C. Interruptores

Símbolo Oficial	Aceitável	Significado	Observações
	S	Interruptor de uma seção.	A letra minúscula indica o ponto comandado
	S <sub>2</sub>	Interruptor de duas seções.	As letras minúsculas indicam os pontos comandados
	S <sub>3</sub>	Interruptor de três seções.	As letras minúsculas indicam os pontos comandados
	S <sub>sw</sub>	Interruptor paralelo ou three-way.	A letra minúscula indica o ponto comandado
	S <sub>sw</sub>	Interruptor intermediário ou four-way.	A letra minúscula indica o ponto comandado
		Botão minuteria.	
		Botão de campainha na parede (ou comando a distância).	
		Botão de campainha no piso (ou comando a distância).	
		Fusível.	Indicar a tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora com fusíveis. Abertura sem carga.	Indicar a tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora com fusíveis. Abertura em carga.	Indicar a tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora. Abertura sem carga.	Indicar a tensão e corrente nominais
		Chave seccionadora. Abertura em carga.	Indicar a tensão, corrente e potências
		Disjuntor a óleo.	Indicar a tensão, corrente e potência
		Disjuntor a seco.	Indicar a tensão, corrente e potências nominais



## D. Luminária, refletores e lâmpadas

Simbolo	Significado	Observações
	Ponto de luz incandescente no teto. Indicar o n.º de lâmpadas e a potência em Watts.	A letra minúscula indica o ponto de comando, e o n.º entre dois traços, o circ. corresp.
	Ponto de luz incandescente na parede (arandela).	Deve-se indicar a altura da arandela.
	Ponto de luz incandescente no teto (embutido).	
	Ponto de luz fluorescente no teto (indicar o n.º de lâmpadas e na legenda o tipo de partida e o reator).	A letra minúscula indica o ponto de comando, e o número entre dois traços, o circ. correspondente.
	Ponto de luz fluorescente na parede.	Deve-se indicar a altura da luminária.
	Ponto de luz fluorescente no teto (embutido).	
	Ponto de luz incandescente no teto em circuito vigia (emergência).	
	Ponto de luz fluorescente no teto em circuito vigia (emergência).	
	Sinalização de tráfego (rampas, entradas etc).	
	Lâmpada de sinalização.	
	Refletor.	Indicar potência, tensão e tipo de lâmpadas.
	Poste com duas luminárias para iluminação externa.	Indicar as potências, tipo de lâmpadas.
	Lâmpada obstáculo.	
	Minuteria.	

## ANEXO 2 - Conceituação de potência instantânea e potência ativa em corrente alternada

Seja o circuito monofásico representado na Figura 2.1, no qual foi adotada a convenção de carga para tensão e corrente.

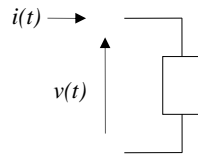


Figura 2.1 - Circuito monofásico

A **potência instantânea**  $p(t)$  absorvida pelo bipolo é dada por:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (\text{W}) \quad (2.1)$$

A adoção da convenção de carga para tensão e corrente implica que a potência instantânea  $p(t)$ , definida pela Eq. (2.1), é a potência instantânea **absorvida** pelo circuito monofásico. Assim, o circuito absorverá potência sempre que o produto  $v(t) \cdot i(t)$  for positivo, e fornecerá potência sempre que o mesmo produto for negativo. A unidade de medida da potência instantânea no Sistema Internacional é o *watt* (W).

Admitindo-se que a tensão e a corrente no circuito da Figura 2.1 sejam grandezas senoidais dadas por:

$$v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta) \quad (2.2a)$$

$$i(t) = I_{max} \cos(\omega t + \delta), \quad (2.2b)$$

onde  $V_{max}$  = valor máximo da tensão (V);  
 $\theta$  = fase inicial da tensão (rad);  
 $I_{max}$  = valor máximo da corrente (A);  
 $\delta$  = fase inicial da corrente (rad);  
 $\omega$  = frequência angular da rede (rad/s),

resulta para a potência instantânea absorvida pelo circuito:

$$\begin{aligned} p(t) &= v(t) \cdot i(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta) \cdot I_{max} \cos(\omega t + \delta) = \dots \\ &= \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos \varphi + \frac{V_{max} I_{max}}{2} \cos(2\omega t + \theta + \delta) = \\ &= VI \cos \varphi + VI \cos(2\omega t + \theta + \delta), \end{aligned} \quad (2.3)$$

onde  $V = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$  = valor eficaz da tensão senoidal (V);

$$I = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \text{valor eficaz da corrente senoidal (A);}$$

$$\varphi = \theta - \delta = \text{diferença de fase entre tensão e corrente, nesse sentido (rad).}$$

A interpretação do valor eficaz de uma tensão é a seguinte: um resistor alimentado por tensão senoidal de valor eficaz  $V$  dissipa, durante um determinado número inteiro de ciclos, a mesma energia que ele dissiparia, no mesmo período, se fosse alimentado por tensão contínua de valor  $V$ . Demonstra-se que o valor eficaz de uma grandeza senoidal é  $1/\sqrt{2}$  do valor máximo da grandeza.

A Eq. (2.3) mostra que a potência instantânea absorvida pelo circuito monofásico é composta de duas parcelas, uma constante com o tempo ( $VI \cos \varphi$ ) e uma flutuante com o **dobro da frequência** da rede ( $VI \cos(2\omega t + \theta + \delta)$ ). A Figura 2.2 mostra a variação temporal da potência  $p(t)$ . Nesta figura é possível observar que a potência instantânea pode assumir valores negativos, indicando que nesses instantes o bipolo devolve energia à rede que o alimenta.

Na prática, somente o valor médio de  $p(t)$  será de interesse, já que ele não depende do instante considerado. Assim, define-se **potência ativa**  $P$  como sendo o valor médio de  $p(t)$  ao longo do tempo:

$$P = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = VI \cos \varphi . \quad (2.4)$$

A potência ativa, medida em *watt* (W), representa a potência transformada em calor ou em trabalho no circuito elétrico. O cosseno do ângulo  $\varphi$  recebe também o nome de **fator de potência**.

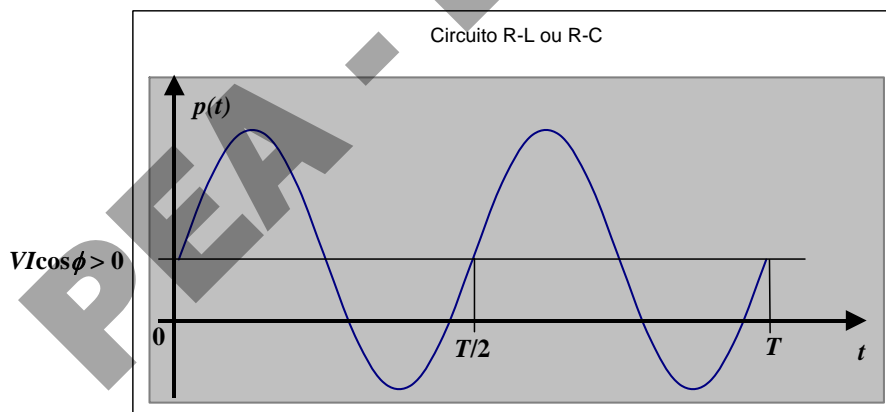


Figura 2.2 - Potência instantânea  $p(t)$

O ângulo  $\varphi$  representa a diferença de fase entre tensão e corrente, e também é o ângulo da impedância do circuito quando as grandezas senoidais são representadas por fasores. Este ângulo pode variar entre  $-90^\circ$  (tensão atrasada de  $90^\circ$  em relação à corrente, ou circuito puramente capacitivo) e  $+90^\circ$  (tensão adiantada de  $90^\circ$  em relação à corrente, ou circuito puramente indutivo). Nos casos extremos de circuitos puramente capacitivos ou puramente indutivos, verifica-se facilmente que a potência ativa absorvida é nula:

$$P_{cap} = VI \cos(-90^\circ) = 0 ;$$

$$P_{ind} = VI \cos 90^\circ = 0 .$$

Esta condição corresponde a uma senóide cujo valor médio é nulo, de forma que nesta situação o bipolo absorve energia da rede durante um quarto de ciclo e a devolve integralmente à rede no quarto de ciclo seguinte (a frequência da potência é o dobro da frequência de tensões e correntes), conforme mostra a Figura 2.3. Nesta situação o bipolo não dissipa nenhuma energia.

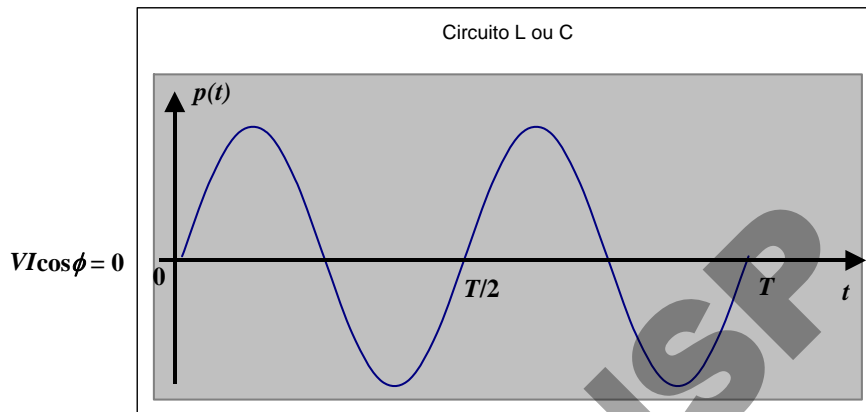


Figura 2.3 - Potência instantânea em circuito puramente capacitivo ou puramente indutivo

Destaca-se também o importante caso particular em que  $\phi = 0$  (tensão e corrente em fase, ou circuito puramente resistivo), Figura 2.4. Neste caso, a potência instantânea nunca é negativa, significando que em nenhum instante o bipolo devolve energia à rede (toda a energia que ele recebe da rede é dissipada).

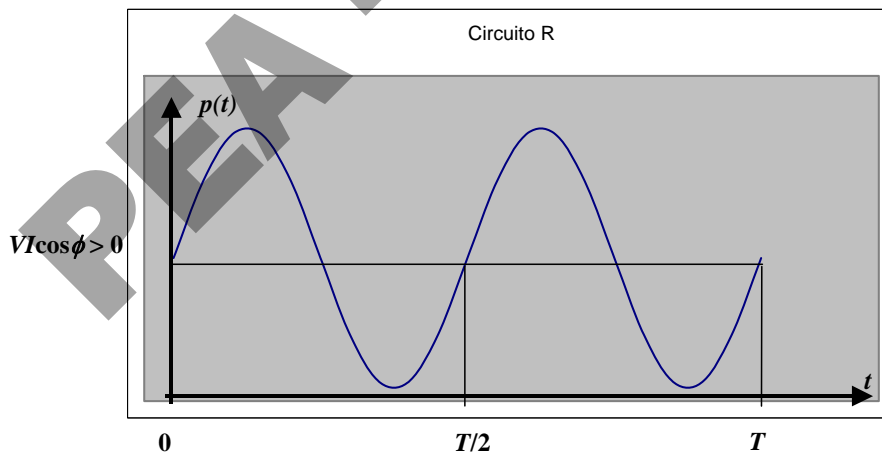


Figura 2.4 - Potência instantânea em circuito puramente resistivo