

Instalações elétricas de baixa tensão

Conceitos gerais de projeto

Eletrotécnica Geral

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Escola Politécnica da USP

8 de março de 2017

Instalações elétricas de baixa tensão

Conceitos gerais

- A norma para o projeto de instalações elétricas de baixa tensão é a NBR5410 (2004) - Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
 - Acesso na USP por <https://www.gedweb.com.br/usp> e fora da USP, com senha, em <https://uspdigital.usp.br/>
- A norma se aplica às instalações novas e/ou reformas em instalações que possuem:
 - Circuitos alimentados em tensão igual ou inferior a 1000 [V] - CA, com frequências inferiores a 400 [Hz], ou a 1500 [V] - CC;
 - Circuitos funcionando em tensão superior a 1000 [V], alimentados através de instalação de tensão igual ou inferior a 1000 [V] - CA (p. ex., circuitos de lâmpadas a descarga, etc.);
 - Linhas elétricas fixas de sinal (com exceção dos circuitos internos dos equipamentos), no que se refere aos acoplamentos entre essas linhas e os circuitos de potência.

Constituição das instalações elétricas de baixa tensão

Resolução normativa no. 414 de setembro de 2010

- As instalações elétricas de baixa tensão são conectadas à rede secundária da concessionária de distribuição por meio de ramal de ligação entre o ponto de derivação da sua rede e o ponto de entrega;
- O ponto de entrega é a conexão do sistema elétrico da distribuidora com a unidade consumidora e situa-se no limite da via pública com a propriedade onde esteja localizada a unidade consumidora;
- A conexão entre o ponto de entrega e a medição, ou proteção, da unidade consumidora é denominada ramal de entrada. Esta conexão é de responsabilidade do consumidor da unidade consumidora;

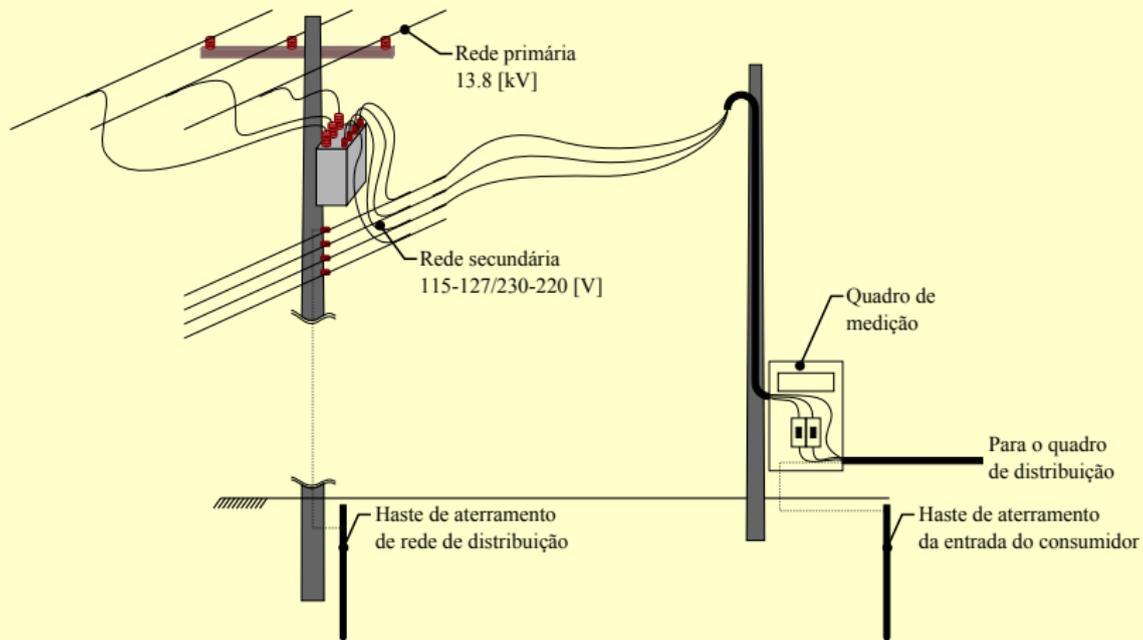
Constituição das instalações elétricas de baixa tensão

Resolução normativa no. 414 de setembro de 2010

- Os ramais de distribuição conectam o painel de medição, ou proteção, aos painéis de distribuição, de onde saem os circuitos parciais que alimentam as cargas da instalação;
- No painel de distribuição são instalados os dispositivos de proteção dos circuitos parciais.

Entrada típica de baixa tensão

Consumidor residencial



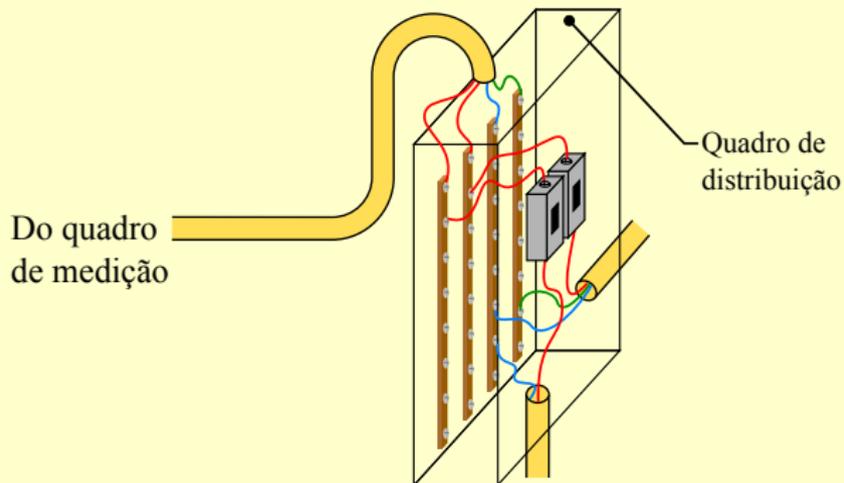
Quadro de distribuição

Considerações iniciais

- O objetivo do quadro de distribuição é distribuir a energia proveniente do ramal de distribuição em circuitos parciais;
- A divisão em circuitos parciais permite um equilíbrio entre o custo da instalação e a confiabilidade do sistema de distribuição;
- Caso todas as cargas fossem alimentadas por um único circuito de distribuição, o custo da instalação poderia ser reduzido, porém isso traria impactos negativos na confiabilidade do sistema;
- Caso cada carga fosse alimentada por um circuito, a confiabilidade do sistema certamente seria elevada, no entanto, isso traria impactos negativos no custo da instalação;

Quadro de distribuição

Instalação padrão



Roteiro de projeto

Atividades técnicas

- Alocação dos pontos de consumo: distribuição de tomadas (de uso geral e de uso específico), bem como distribuição dos pontos de iluminação (projeto de luminotécnica);
- Alocação do quadro de distribuição: seleção do local de instalação do quadro de distribuição, respeitados critérios técnicos, para minimização de condutores e eletrodutos, bem como critérios estéticos;
- Traçado dos eletrodutos: distribuição dos eletrodutos para a alimentação dos pontos de consumo, minimizando-se as interferências com as demais instalações (água, esgoto, estrutura, etc.);
- Caixas de passagem: distribuição de caixas de passagem na instalação, para facilitar o acesso aos condutores e manutenção futura.

Roteiro de projeto

Atividades técnicas

- Definição dos circuitos parciais: circuitos de iluminação e tomadas, monofásicos ou bifásicos;
- Atribuição das cargas aos circuitos parciais: definição de quais pontos de consumo pertencem a cada um dos circuitos parciais definidos na atividade anterior, de forma que cada circuito seja dimensionado, controlado e protegido de forma independente;
- Distribuição dos condutores dos circuitos parciais: determinação dos condutores de fase, neutro e proteção, responsáveis pela alimentação de cada um dos circuitos parciais, que devem ser lançados nos eletrodutos.

Roteiro de projeto

Atividades técnicas

- Dimensionamento dos condutores: efetuado considerando-se três critérios distintos;
 - Ampacidade: cálculo da máxima corrente admissível, considerando-se a potência total prevista, os fatores de correção para agrupamento de condutores e eletrodutos, e o fator de correção para temperatura;
 - Máxima queda de tensão admissível: cálculo da queda de tensão no circuito, considerando-se as mesmas condições do critério da ampacidade, a menos dos fatores de correção;
 - Esforços mecânicos: cálculo dos esforços decorrentes de correntes de curto-circuito e/ou das forças de tração quando da instalação dos condutores.

Roteiro de projeto

Atividades técnicas

- Dimensionamento da proteção: dimensionamento dos elementos de proteção (disjuntores e/ou fusíveis) capazes de proteger a instalação elétrica, quando da ocorrência de eventos de sobrecorrente (curtos-circuitos e/ou sobrecargas).

Alocação dos pontos de consumo

Conceitos gerais

- Escolha dos locais de instalação dos pontos de consumo, conforme preconizado pela NBR 5410;
- Os pontos de iluminação devem ser determinados com base no projeto de luminotécnica;
- Em instalações simples, o projeto de luminotécnica pode ser dispensado, desde que resguardadas as recomendações da NBR 5410;
- Nesse caso, utiliza-se a experiência do engenheiro responsável pela elaboração do projeto.

Pontos de iluminação

Critérios para alocação

- Segundo a NBR 5410, em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a $6 \text{ [m}^2\text{]}$, deve ser prevista uma carga mínima de 100 [VA];
- Em cômodos ou dependências com área superior a $6 \text{ [m}^2\text{]}$, deve ser prevista uma carga mínima de 100 [VA] para os primeiros $6 \text{ [m}^2\text{]}$, acrescida de 60 [VA] para cada aumento de $4 \text{ [m}^2\text{]}$ inteiros.

Tomadas de uso geral

Critérios para alocação

- Segundo a NBR 5410, em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório;
- Em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 [m], ou fração, de perímetro, sendo que acima da bancada da pia devem ser previstas no mínimo duas tomadas, no mesmo ponto ou em pontos distintos;
- Em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada;;
- Em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 [m], ou fração, de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível;

Tomadas de uso geral

Critérios para alocação

- Em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos:
 - Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a $2,25 \text{ [m}^2\text{]}$;
 - Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for superior a $2,25 \text{ [m}^2\text{]}$ e igual ou inferior a $6 \text{ [m}^2\text{]}$;
 - Um ponto de tomada para cada 5 [m] , ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a $6 \text{ [m}^2\text{]}$, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.

Tomadas de uso geral

Critérios para determinação de potência

- A potência a ser atribuída a cada ponto de tomada não deve ser inferior aos seguintes valores mínimos:
 - Em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos, no mínimo 600 [VA] por ponto de tomada, até três pontos, e 100 [VA] por ponto para os excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente;
 - Quando o total de tomadas no conjunto desses ambientes for superior a seis pontos, admite-se que o critério de atribuição de potências seja de no mínimo 600 [VA] por ponto de tomada, até dois pontos, e 100 [VA] por ponto para os excedentes, sempre considerando cada um dos ambientes separadamente;
 - Nos demais cômodos, no mínimo 100 [VA] por ponto de tomada.

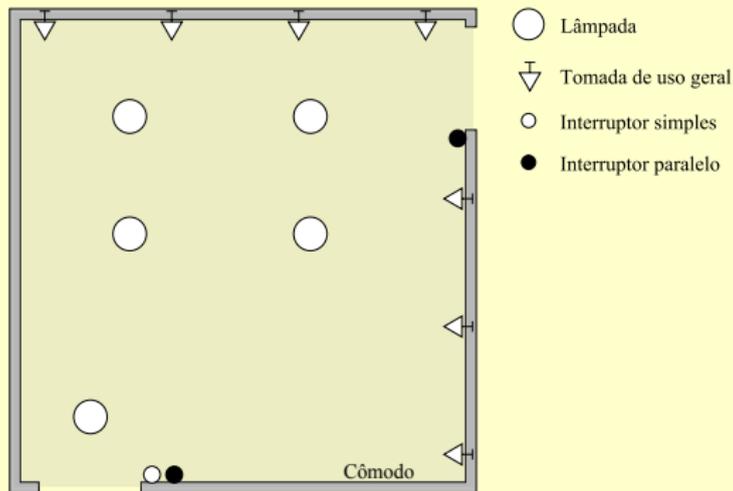
Tomadas de uso específico

Conceitos gerais

- Quando um ponto de tomada for previsto para uso específico (TUE), deve ser a ele atribuída uma potência igual à potência nominal do equipamento a ser alimentado ou à soma das potências nominais dos equipamentos a serem alimentados. Quando valores precisos não forem conhecidos, a potência atribuída ao ponto de tomada deve seguir um dos dois seguintes critérios:
 - Potência ou soma das potências dos equipamentos mais potentes que o ponto pode vir a alimentar; ou
 - Potência calculada com base na corrente de projeto e na tensão do circuito respectivo.
- Os pontos de TUE devem ser localizados no máximo a 1,5 [m] do ponto previsto para a localização do equipamento a ser alimentado.

Alocação dos pontos de consumo

Exemplo



Alocação do quadro de distribuição

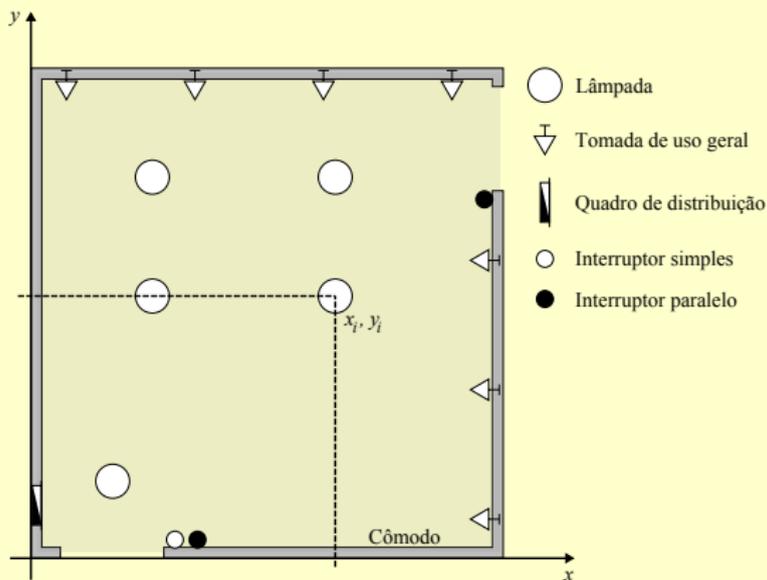
Conceitos gerais

- Posicionado e forma consistente com o projeto civil da edificação;
- Facilidade de acesso para manobra e manutenção;
- Próximo do centro de carga, em função das coordenadas dos pontos de consumo e suas respectivas potências, de modo a reduzir o custo da instalação elétrica como um todo.

$$x_c = \sum_i \frac{x_i \cdot P_i}{\sum_i P_i} \quad \text{e} \quad y_c = \sum_i \frac{y_i \cdot P_i}{\sum_i P_i}$$

Alocação do quadro de distribuição

Exemplo



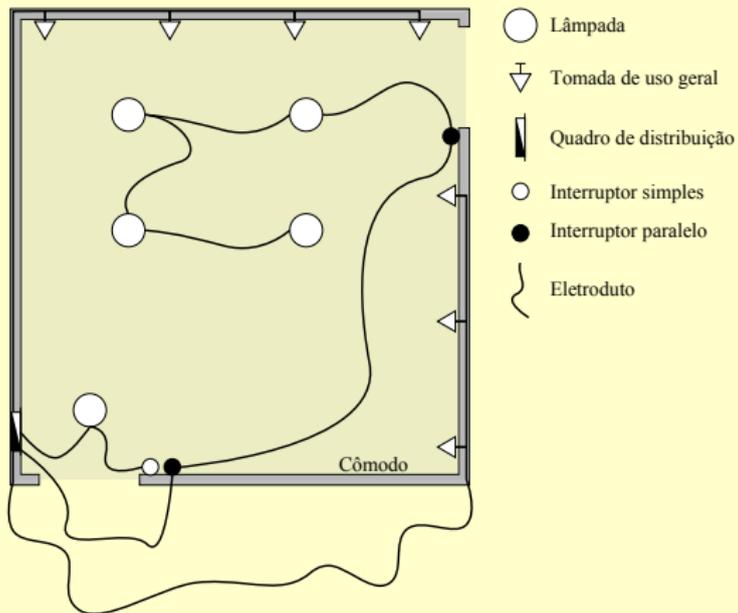
Traçado dos eletrodutos

Conceitos gerais

- O traçado dos eletrodutos deve permitir a minimização das quantidades de materiais a serem empregadas na instalação elétrica;
- Deve evitar a interferência com outras instalações (água, esgoto, gás, etc.) e elementos estruturais da construção;
- Evitar o excesso de eletrodutos, bem como o excesso de condutores em caixas de passagens, para minimizar os problemas de execução do projeto e de manutenções futuras;
- Recomenda-se também evitar cruzamentos de eletrodutos no interior da alvenaria da edificação e o posicionamento das caixas de passagem em locais de fácil acesso.

Traçado dos eletrodutos

Exemplo



Definição de circuitos parciais

Critérios

- Critérios para a divisão de cargas entre os circuitos elétricos:
 - Prever circuitos individualizados em função do tipo de aparelhos que alimentam, como por exemplo circuitos distintos para iluminação, tomadas, motores etc.;
 - Dividir a carga de iluminação, se possível, em vários circuitos, que atendam os vários ambientes da edificação;
 - Prever circuitos compatíveis com os terminais e com as cargas dos aparelhos e tomadas que irão ser atendidas; e
 - Agrupar cargas nos circuitos de modo a respeitar a máxima capacidade de condução de corrente dos condutores e a queda de tensão admissível, prevendo-se ainda uma margem de segurança para acréscimos de carga (por exemplo de 20%).

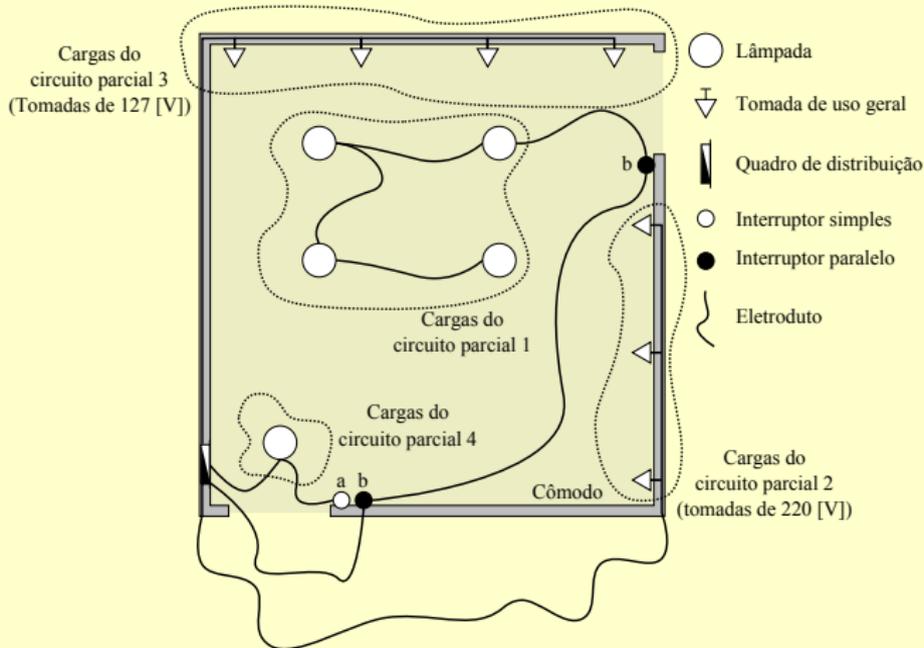
Definição de circuitos parciais

Agrupamento de cargas

- Agrupamento no mesmo circuito de cargas de iluminação e tomadas:
 - Permitido em quartos de hotéis, residências e similares, exceto em cozinhas, copas e áreas de serviço, onde as tomadas devem ser supridas por circuitos exclusivos; e
 - Devem ser previstos circuitos independentes para as cargas acima de 1500 [VA] (porém as de mesmo tipo podem ser alimentadas pelo mesmo circuito).

Definição de circuitos parciais

Exemplo



Dimensionamento dos condutores

Critério da ampacidade

- A corrente elétrica que circula em um circuito elétrico pode ser calculada conforme a seguir:

$$I = \frac{\sqrt{P_{total}^2 + Q_{total}^2}}{V} = \frac{S}{V} \rightarrow \text{circuitos fase-neutro ou fase-fase}$$

$$I = \frac{\sqrt{P_{total}^2 + Q_{total}^2}}{\sqrt{3}V} = \frac{S_{3f}}{\sqrt{3}V} \rightarrow \text{circuitos trifásicos}$$

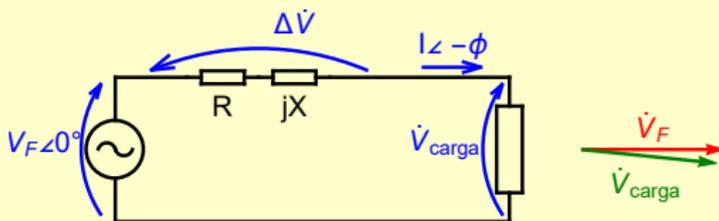
$$I' = \frac{I}{f_t \cdot f_{agr}} \cdot f_{cres} \rightarrow \text{corrente utilizada no projeto}$$

- Onde:
 - f_t : fator de correção devido à temperatura ambiente;
 - f_{agr} : fator de agrupamento, devido à passagem de mais de um circuito no eletroduto;
 - f_{cres} : fator que indica a possibilidade de crescimento futuro da carga.

Dimensionamento dos condutores

Critério da máxima queda de tensão admissível

- A queda de tensão em um condutor pode ser calculada considerando as suas características físicas e a corrente que o percorre:



- Onde:

$$\underbrace{\Delta V_{max}}_{\text{Definido por norma}} \geq |\Delta \dot{V}| = |(R + j \cdot X) \cdot \dot{i}|$$

- E:

$$|\Delta \dot{V}| \approx R \cdot I \cdot \cos \phi + X \cdot I \cdot \sin \phi$$

Dimensionamento dos condutores

Critério dos esforços mecânicos

- Seções mínimas dos condutores de fase e de neutro:

Carga	Bitola mínima [mm^2]
Iluminação	1,5
Tomadas de corrente	2,5
Aquecedor de água em geral	2,5
Máquina de lavar roupa	4,0
Aparelhos de ar condicionado	2,5
Fogões elétricos	6,0

- O condutor neutro deve ter a seção igual à do condutor de fase, salvo em casos especiais que, via de regra, não ocorrem em instalações prediais. Além disso o condutor neutro não deve ser compartilhado em mais de um circuito.

Dimensionamento do sistema de proteção

Objetivos do sistema

- Interromper, em período adequado, níveis de correntes que possam causar danos aos condutores e, por consequência, também aos equipamentos.
- Dispositivos de proteção a serem usados:
 - Um para cada circuito parcial; e
 - Um para o circuito de entrada.
- Condições de atuação dos dispositivos de proteção:
 - Sobrecargas; e
 - Curto-circuito.

Dimensionamento do sistema de proteção

Tipos de dispositivos de proteção

- Disjuntores termomagnéticos; e
- Fusíveis.
- Características dos dispositivos de proteção:
 - Corrente nominal I_n ;
 - Corrente que assegura efetivamente a operação do dispositivo (I_2) durante sobrecargas ou curtos-circuitos; e
 - Tempo de atuação do dispositivo (t) quando ocorrem sobrecargas ou curtos-circuitos.

Dimensionamento do sistema de proteção

Escolha do dispositivo de proteção

- Baseada em critérios estabelecidos por norma;
- Valores necessários para definição:
 - Corrente de projeto (I_b), que é a corrente máxima que a carga pode solicitar;
 - Capacidade máxima de condução do condutor (I_z);
 - O tipo de dispositivo que será utilizado (fusível ou disjuntor); e
 - Correntes I_n (nominal) e I_2 (corrente de atuação), do tipo de dispositivo a ser utilizado.

Dimensionamento do sistema de proteção

Condições para a coordenação conforme a norma NBR 5410

- Condição a1: $I_b \leq I_n$, o que normalmente acontece, pois a corrente de carga tem que, necessariamente, ser inferior ou igual à corrente nominal do dispositivo de proteção;
- Condição a2: $I_n \leq I_z$, o que assegura que, potencialmente, o dispositivo de proteção atue antes que se atinja a corrente máxima suportada pelo condutor;
- Condição b: $I_2 \leq 1,45I_z$, o que representa uma margem de segurança que garante que o dispositivo de proteção atue quando ocorre uma corrente suficientemente menor que a máxima suportada pelo condutor.

Dimensionamento do sistema de proteção

Condições para a coordenação conforme a norma NBR 5410

- Para disjuntores é suficiente que sejam verificadas as condições (a1) e (a2), uma vez que I_2 é menor que $1,45I_n$;
- Para fusíveis devem ser verificadas as três condições e pode ser utilizada a seguinte regra para a determinação de I_2 , em função da corrente nominal I_n :
 - Para $I_n \leq 10 \text{ [A]} \rightarrow I_2 = 1,90I_n$;
 - Para $10 \text{ [A]} < I_n \leq 25 \text{ [A]} \rightarrow I_2 = 1,75I_n$; e
 - Para $I_n \geq 25 \text{ [A]} \rightarrow I_2 = 1,60I_n$.

Dimensionamento do sistema de proteção

Proteção dos condutores

- Dispositivo de proteção tenha capacidade de suportar e de interromper a corrente de curto-circuito (capacidade disruptiva), em um intervalo de tempo inferior àquele que danifica o condutor.
- É necessário verificar se:

$$t < \frac{k^2 \times S^2}{I_{cc}^2}$$

- $k = 115$ para condutores de cobre com PVC 70°;
- $k = 135$ para condutores de cobre com XLPE;
- S é a seção do condutor em $[\text{mm}^2]$;
- I_{cc} é a corrente de curto-circuito em $[\text{A}]$;
- t é o tempo de atuação do dispositivo para a corrente I_{cc} .

Dimensionamento da proteção

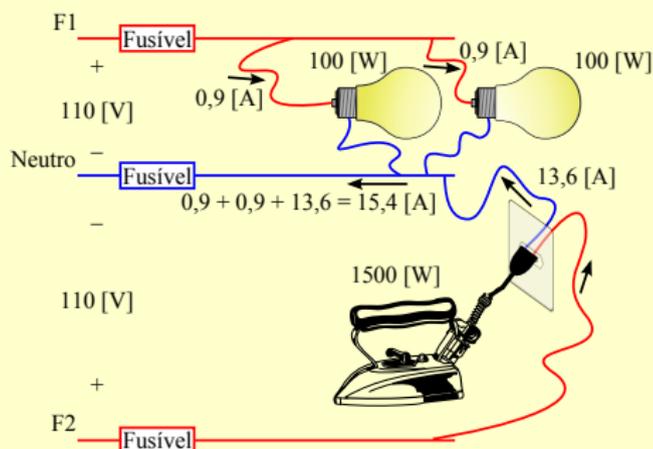
Dispositivo de proteção NÃO se instala no neutro

Correntes nas lâmpadas:

$$I_L = \frac{100}{110} \approx 0,9[A]$$

Corrente no ferro de passar:

$$I_F = \frac{1500}{110} \approx 13,6[A]$$



Dimensionamento da proteção

Dispositivo de proteção NÃO se instala no neutro

Resistência das lâmpadas:

$$R_L = \frac{110^2}{100} \approx 121 [\Omega]$$

Resistência do ferro elétrico:

$$R_F = \frac{110^2}{1500} \approx 8,1 [\Omega]$$

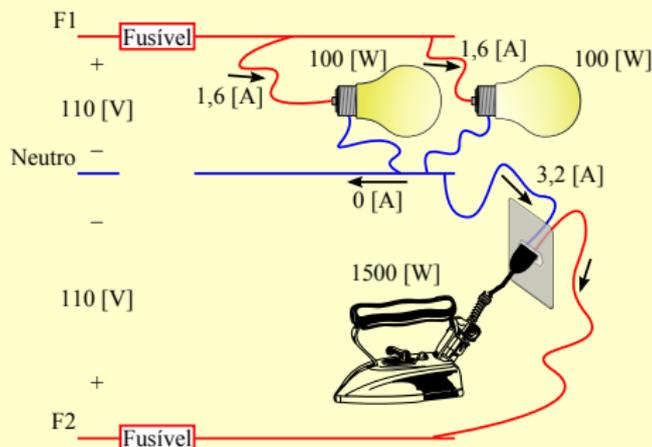
Resistência equivalente:

$$R_{eq} = 68,6 [A]$$

Corrente total:

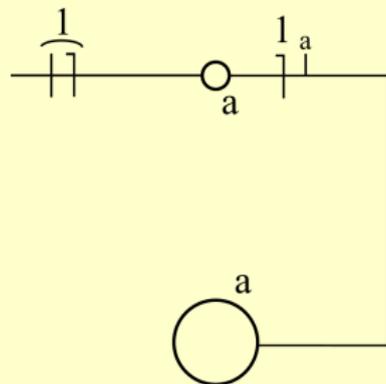
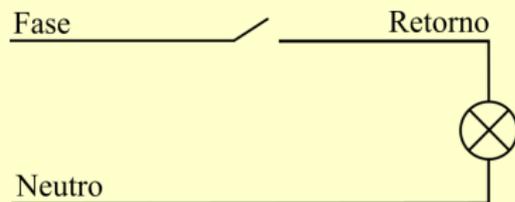
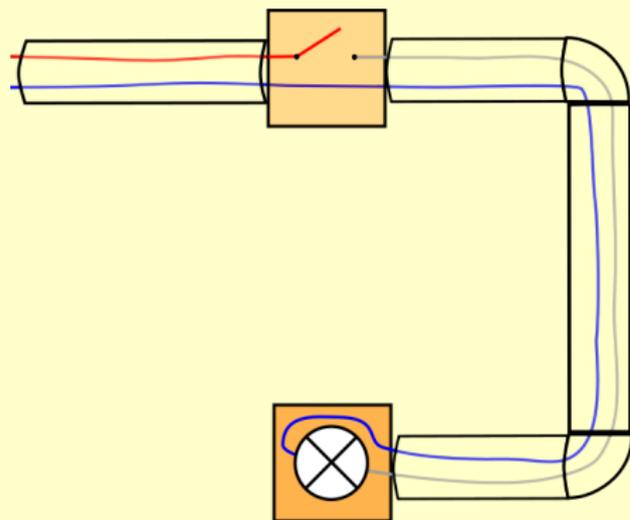
$$I_{total} \approx \frac{220}{68,6} = 3,2 [A]$$

Portanto as lâmpadas queimam e o ferro não esquentam.



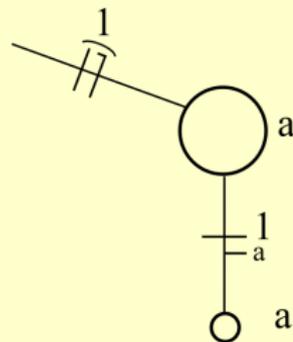
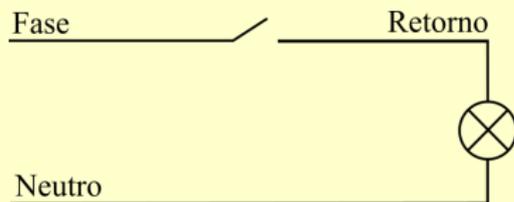
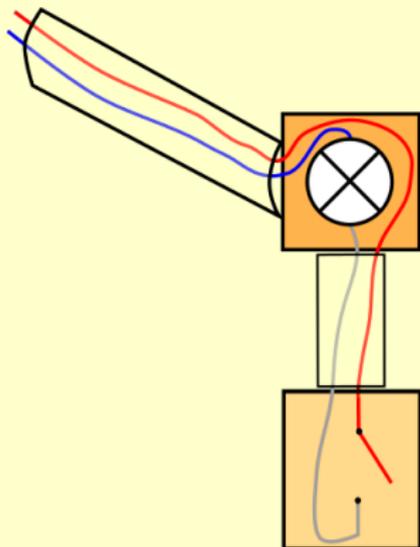
Encaminhamento de condutores em circuitos de iluminação

Interruptor simples



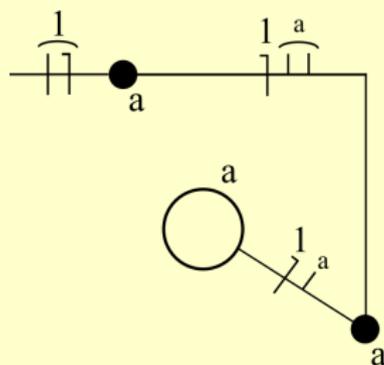
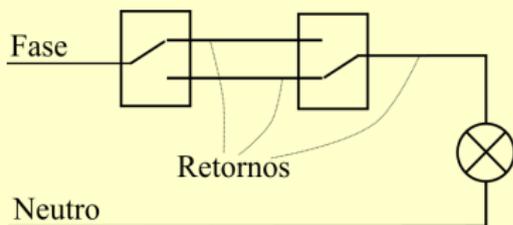
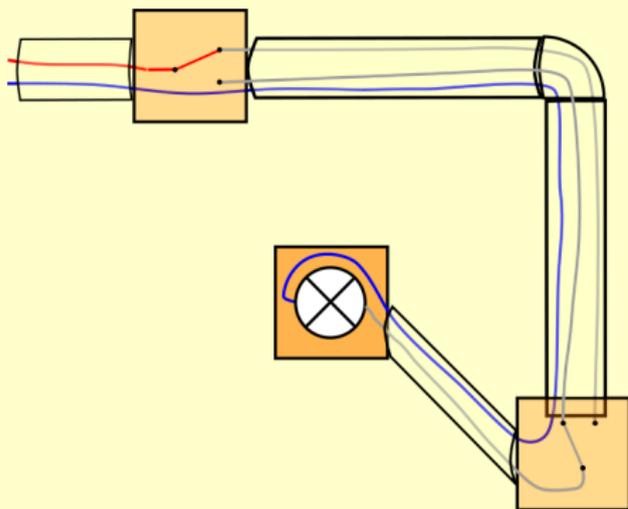
Encaminhamento de condutores em circuitos de iluminação

Interruptor simples, outra disposição



Encaminhamento de condutores em circuitos de iluminação

Interruptor "paralelo" (*three way*)



Encaminhamento de condutores em circuitos de iluminação

Interruptor "paralelo" (*three way*), outra disposição

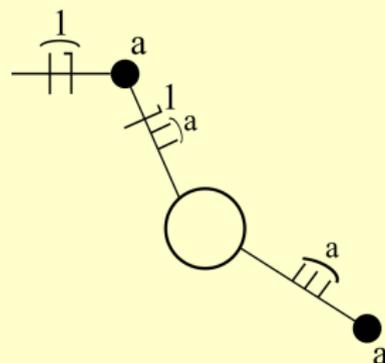
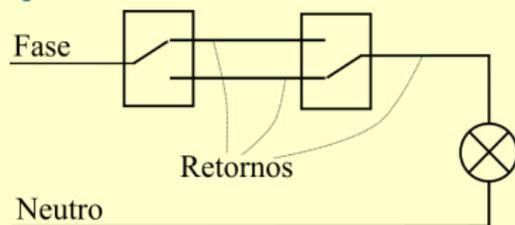
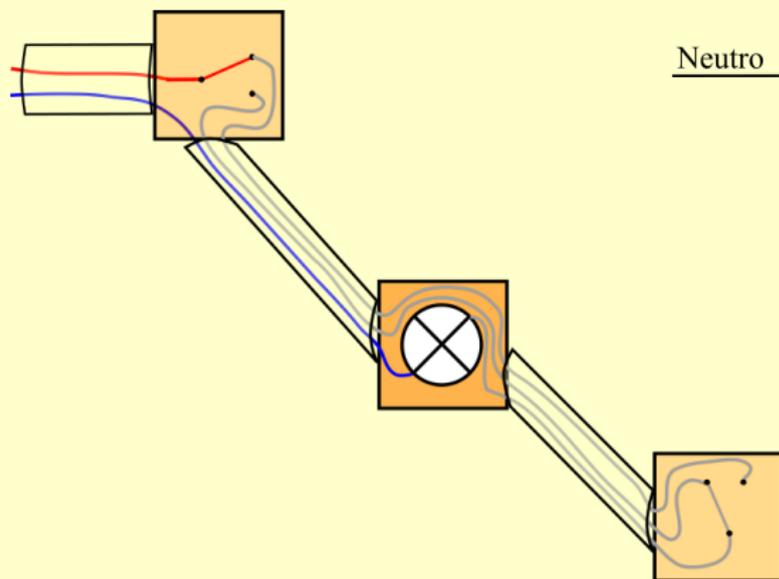


Diagrama unifilar da instalação

Diagrama unifilar para o electricista

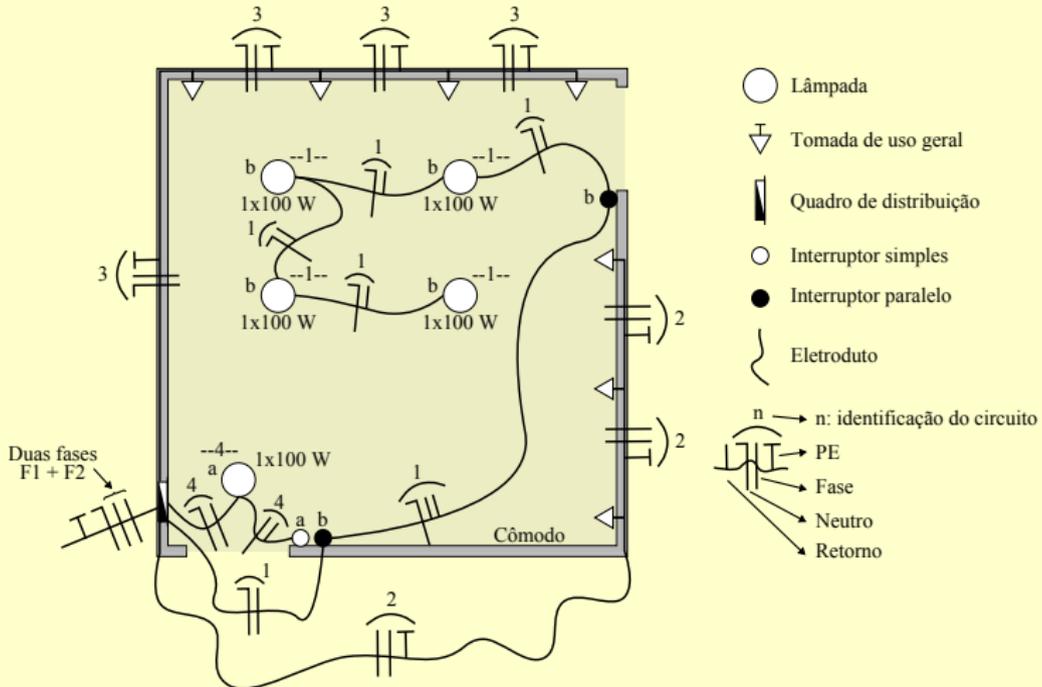
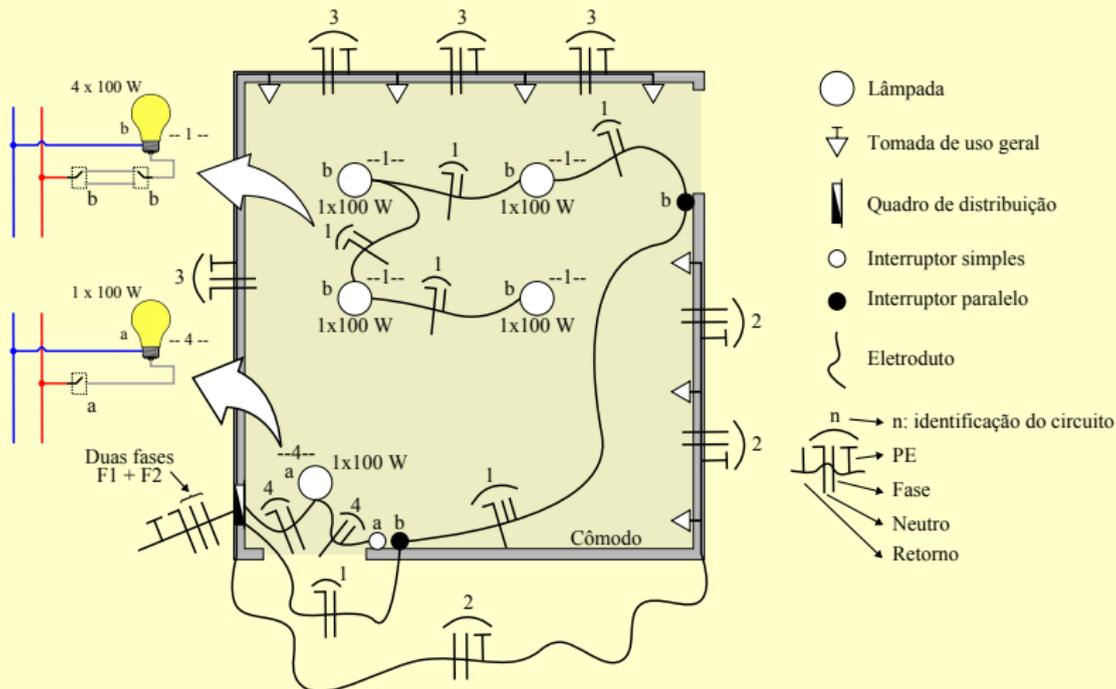


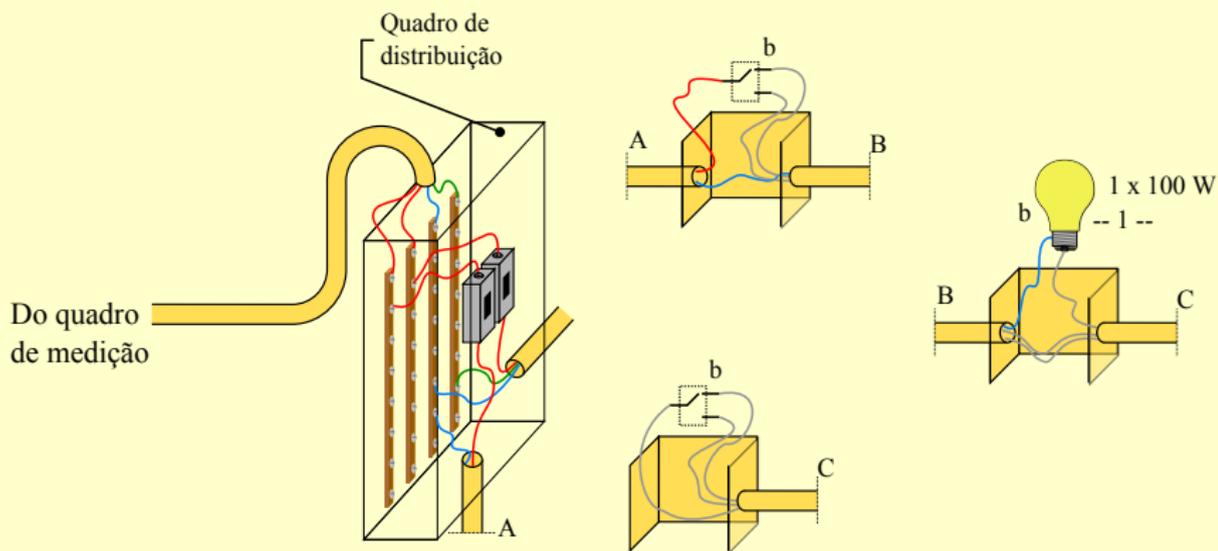
Diagrama unifilar da instalação

Detalhe do diagrama unifilar



Detalhes de instalação de circuito parcial

Instalação de condutores em eletroduto



OBRIGADO!

Este material é resultado da modernização dos materiais elaborados pelos professores do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para as diversas disciplinas da área de Eletrotécnica Geral e foi desenvolvido pelos professores Giovanni Manassero Junior, Carlos Eduardo de Moraes Pereira, Silvio Giuseppe Di Santo e Milana Lima dos Santos, com a coordenação do professor Hernán Prieto Schmidt.