

Instalações Elétricas

Luiz Alcides Mesquita Lara

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais/IFMG - Ouro Preto e a Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Minas Gerais/IFMG - Ouro Preto

Reitor
Caio Mário Bueno Silva/IFMG-Ouro Preto

Direção Geral
Arthur Versiani Machado/IFMG-Ouro Preto

Coordenação Institucional
Sebastião Nepomuceno/IFMG-Ouro Preto

Coordenação de Curso
Ney Ribeiro Nolasco/IFMG-Ouro Preto

Professor-autor
Luiz Alcides Mesquita Lara/IFMG-Ouro Preto

Comissão de Acompanhamento e Validação
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

Coordenação Institucional
Paulo Roberto Colusso/CTISM

Coordenação Técnica
Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

Coordenação de Design
Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica
Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM
Janaína da Silva Marinho/CTISM
Marcia Migliore Freo/CTISM

Revisão Textual
Eduardo Lehnhart Varga/CTISM
Fabiane Sarmento Oliveira Fruet/CTISM
Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM
Vera Maria Oliveira/CTISM

Revisão Técnica
Lucas Giuliani Scherer/CTISM

Ilustração
Gabriel La Rocca Cóser/CTISM
Marcel Santos Jacques/CTISM
Rafael Cavalli Viapiana/CTISM
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Diagramação
Cássio Fernandes Lemos/CTISM
Leandro Felipe Aguiar Freitas/CTISM

Biblioteca Tarquínio José Barboza de Oliveira
Bibliotecário César dos Santos Moreira – CRB 6/2229 – IFMG Campus Ouro Preto

L318i LARA, Luiz Alcides Mesquita
Instalações elétricas / Luiz Alcides Mesquita Lara. – Ouro
Preto : IFMG, 2012.
130 p. : il.

Caderno elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais/IFMG - Ouro Preto e a Universidade Federal de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – Rede e-Tec Brasil.

1. Eletrotécnica. 2. Instalações elétricas. 3. Iluminação. 4. Edificações. I. Título

CDU 621.316

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade e ao promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geograficamente ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino, e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2010

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Sumário

Palavra do professor-autor	9
Apresentação da disciplina	11
Projeto instrucional	13
Aula 1 – A eletricidade e suas grandezas	15
1.1 A eletricidade em nossa vida: a luz, o calor, o movimento	15
1.2 O início: o átomo, a matéria, o material	16
1.3 Produção de energia elétrica	19
1.4 Grandezas elétricas	20
Aula 2 – A luminotécnica e os tipos de lâmpadas	35
2.1 Grandezas luminotécnicas	35
2.2 Tipos de lâmpadas	39
Aula 3 – Projeto elétrico: a concepção	45
3.1 Instalação elétrica	45
3.2 Fornecimento de energia nas edificações	46
3.3 O projeto elétrico	48
Aula 4 – Nosso projeto elétrico	51
4.1 Planta baixa	51
4.2 Objetivos	52
4.3 Determinação da potência a instalar	53
4.4 Marcação dos pontos	62
4.5 Criação dos circuitos	67
Aula 5 – Projeto elétrico: o dimensionamento dos circuitos e a conclusão do projeto	75
5.1 Dimensionamento dos circuitos	75
5.2 Quadro e diagramas	119
5.3 Planta completa	122
5.4 Materiais	123
5.5 Manual do proprietário	126

Referências	129
Currículo do professor-autor	130

Palavra do professor-autor

Caro aluno.

Você está a poucos passos de mais uma vitória. Em breve você acumulará competências que lhe darão condições de ser um Técnico em Edificações. Muitos podem contribuir para isso e eu, em particular, me orgulho de também ter participado do seu processo de formação.

Você tem se apropriado de conhecimentos em muitas fontes do saber, e a Internet, sem dúvida, é uma das mais abundantes, oferece tudo de bom e de ruim, por isso não acredite que tudo o que ali é colocado seja correto. Nem mesmo os *sites* e filmes que recomendamos são, na nossa avaliação, 100% corretos, apesar de apresentar grande contribuição na aquisição de conhecimentos. Você deve consultar, julgar, avaliar e decidir.

Desejamos que os novos conhecimentos lhe proporcionem condições de crescimento na área e dos valores éticos, políticos e até espirituais; que contribuam no seu bem viver dentro dos padrões dos bons costumes e que, enfim, possa você também repassá-los às novas gerações.

Abraços e sucesso.

Luiz Alcides
Professor-autor



Apresentação da disciplina

Pretendemos com a disciplina Instalações Elétricas que você possa elaborar o projeto elétrico de residências com área em torno de 100m², baseado na iluminação fluorescente.

Como se sabe, as lâmpadas incandescentes (comuns) de uso residencial estão em fase de extinção, e os projetos elétricos fluorescentes estão em adequação para a modalidade residencial. Enquanto a transição se faz, faremos o dimensionamento para iluminação fluorescente, lembrando que nada impedirá de, na montagem, usarem-se lâmpadas incandescentes. Até porque essas lâmpadas nos têm atendido satisfatoriamente há muitos anos, com apenas restrições econômicas, porque não são nocivas à saúde como as fluorescentes que contêm mercúrio na sua composição. Acreditamos que os led's ainda se apresentarão como solução definitiva por suas qualidades.

Nosso projeto está baseado num conceito de iluminação tradicional clássica onde os cômodos devem estar pintados com tinta clara, de preferência na cor branca. Para projetos mais diferenciados, como o uso de luminárias embutidas ou iluminação de ambientes mais sofisticados em uso ou aspecto, recomenda-se um cálculo luminotécnico onde outros parâmetros, além dos apresentados neste trabalho, deverão ser levados em conta.

Vamos relembrar inicialmente conceitos fundamentais de eletricidade sem os quais o trabalho não se sustenta. Vamos também conhecer um pouco sobre as lâmpadas, seus tipos, características e acessórios, para que se possam fazer escolhas ao longo do projeto.

Como o projeto elétrico é executado sobre um projeto arquitetônico, solicitamos desde já a você que providencie uma planta baixa com área entre 90 e 130 m², para nela desenvolver o seu projeto elétrico. Neste curso será apresentado um projeto piloto (nosso projeto) que deverá servir de base e roteiro para o seu trabalho.

Que tenham todos proveitosos estudos são nossos votos.

Um abraço e vamos em frente!



Projeto instrucional

Disciplina: Instalações elétricas (carga horária: 45h).

Ementa: Grandezas elétricas. Princípios básicos de luminotécnica. Normas técnicas; terminologia e simbologia. Leitura, interpretação e desenho de projeto elétrico. Roteiro de desenvolvimento de um projeto elétrico residencial de até 80 m². SPDA e aterramento. Ligações de máquinas e motores. Sistema elétrico e de iluminação de canteiro de obras. Medidores de consumo de energia elétrica.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. A eletricidade e suas grandezas	Compreender as grandezas elétricas. Distinguir materiais condutores de materiais isolantes de eletricidade. Distinguir fonte de corrente contínua de fonte de corrente alternada.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	09
2. A luminotécnica e os tipos de lâmpadas	Compreender as grandezas luminotécnicas. Distinguir lâmpadas incandescentes das fluorescentes. Selecionar lâmpadas fluorescentes conforme as necessidades do ambiente.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	05
3. Projeto elétrico: a concepção	Entender o sistema de entrada de energia em residências. Compreender as partes de um projeto elétrico com iluminação fluorescente. Acompanhar a elaboração de um projeto elétrico.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	04
4. Nosso projeto elétrico	Estabelecer parâmetros para cálculo de projeto elétrico residencial com iluminação fluorescente. Distribuir lâmpadas e tomadas pela planta baixa. Criar os circuitos de um projeto elétrico residencial.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	09
5. Projeto elétrico: o dimensionamento dos circuitos e a conclusão do projeto	Dimensionar os circuitos de um projeto elétrico residencial. Especificar materiais elétricos. Orientar os moradores sobre o uso da instalação.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	18



Aula 1 – A eletricidade e suas grandezas

Objetivos

Compreender as grandezas elétricas.

Distinguir materiais condutores de materiais isolantes de eletricidade.

Distinguir fonte de corrente contínua de fonte de corrente alternada.

1.1 A eletricidade em nossa vida: a luz, o calor, o movimento

Há cerca de 200 anos a eletricidade era completamente desconhecida da grande maioria das pessoas instruídas e constituía apenas algum passatempo para experimentadores e curiosos quando, às vezes, friccionavam dois materiais como vidro e pano e viam que poderiam atrair pequenos pedaços de papel, – fenômeno passageiro que mais parecia magia do que ciência.

Entretanto, cientistas e estudiosos debruçaram-se sobre esses experimentos intrigantes cuja interpretação levava à compreensão de fenômenos da natureza.

Naquela época já se sabia que os materiais eram constituídos por átomos. Entendiam esses estudiosos que os átomos eram compostos por cargas positivas chamadas prótons e cargas negativas chamadas elétrons e que estas cargas se movimentavam. Mas, como e por que se movimentavam?

Sem maiores esclarecimentos, porém necessitando de base para apoiar as explicações, eles afirmavam que existia uma “força mágica” que fazia os elétrons se movimentarem. E concordaram todos em batizar esta força mágica da natureza que punha os elétrons em movimento, com o nome de força eletromotriz.

E assim, à medida que os fenômenos eram conhecidos e controlados, mudava-se a vida das pessoas e da própria sociedade.

Hoje se sabe que a luz, os movimentos e a própria matéria em sua constituição mais profunda são formados por eletricidade. Base das indústrias e de todo nosso conforto atual, a eletricidade assume valor insubstituível. Basta ficarmos

sem luz por algumas horas para verificarmos a sua importância e imensa dependência que temos da energia elétrica.

A energia elétrica é a modalidade de energia que se apresenta na forma mais cômoda de utilização. Pode ser transportada a grandes distâncias, ser subdividida, acumulada (caso de pilhas e baterias) e, o que é muito importante, é renovável e não poluente. Dispor de energia elétrica significa basicamente dispor de luz, calor e movimento.

1.2 O início: o átomo, a matéria, o material



Nossa história e o fundamento de toda a ciência começam aqui: no **ÁTOMO**.

Olhando ao redor observamos a matéria (os materiais: plástico, madeira, vidro, tecido, água, ar, papel, pele, cabelo, etc.). Toda matéria é formada por um grande amontoado de átomos e sabemos que existem muitos tipos de átomos, catalogados na Tabela Periódica. Sabemos também que estes materiais observados são diferentes porque os vários tipos de átomos que se juntam o fazem segundo ligações químicas diferentes, (covalentes, iônicas, metálicas). A natureza é caprichosa, e o homem também interfere forçando reações químicas na fabricação dos produtos. Com isso, os materiais mencionados apresentam propriedades, características e comportamentos diferentes.

1.2.1 Constituição da matéria

Toda matéria é constituída por átomos.

O átomo (Figura 1.1), denominação dada pelos filósofos gregos 2500 anos atrás, seria o elemento indivisível na natureza. Hoje sabemos não ser bem assim e entendemos o átomo constituído por partículas extremamente pequenas onde distinguimos, principalmente:

- **Prótons** – matéria agrupada no núcleo do átomo, de maior concentração de massa cuja carga elétrica é elementar e positiva, por convenção.
- **Nêutrons** – matéria também agrupada no núcleo do átomo cuja carga elétrica é nula.
- **Elétrons** – matéria de massa muito menor que a do próton, distribuída ao redor do núcleo do átomo, em movimento e cuja carga elétrica é, por convenção, elementar e negativa.

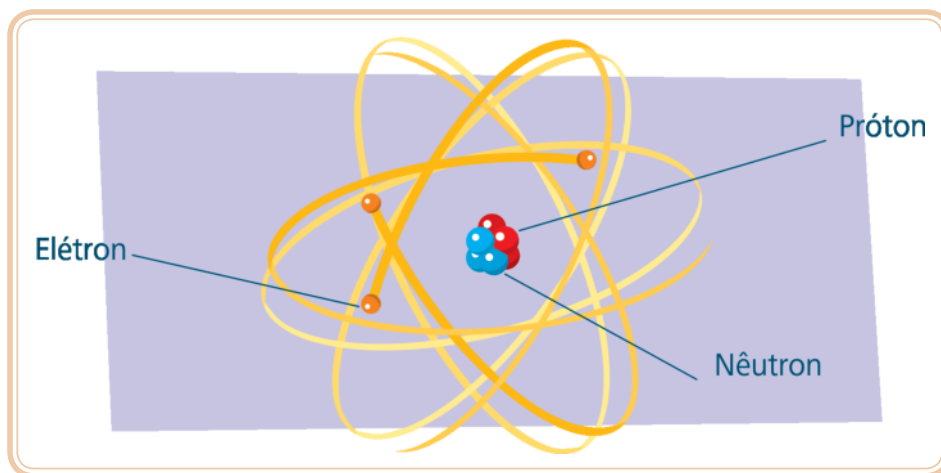


Figura 1.1: O átomo

Fonte: CTISM

Este é um retrato, um modelo de átomo a que estamos acostumados a observar e que nos foi dado pelos cientistas Rutherford e Bohr em 1932.

Os átomos se diferenciam pela quantidade de prótons que formam o seu núcleo: para cada próton existente no núcleo há um elétron orbitando ao redor. Pelos postulados desta teoria atômica, os prótons e elétrons repelem-se no espaço aparentemente vazio, existindo uma atração elétrica entre eles.



Esse modelo pode explicar muitos fenômenos químicos, físicos, elétricos e eletromagnéticos, inclusive os efeitos que passarão a ser estudados a seguir. Antes, sobre os átomos, sabíamos que:

- a)** O átomo no estado natural apresenta igual número de prótons e elétrons estando, portanto, eletricamente neutro (equilibrado).
- b)** Entretanto, muitos átomos têm na sua camada mais externa elétrons que, por serem atraídos com menor força pelo núcleo, podem fugir deixando o átomo carregado positivamente; dessa fuga são aprisionados nas órbitas de outro átomo, deixando este outro átomo carregado negativamente. Esses elétrons que podem abandonar seus átomos podem ser chamados de elétrons livres ou elétrons disponíveis.
- c)** O movimento ordenado dos elétrons livres forma uma corrente elétrica. Apesar de serem apenas um ou dois os elétrons livres em cada átomo, eles são muito numerosos, devido à enorme quantidade de átomos constituintes de pequenas partes de matéria.



1.2.2 Materiais condutores e materiais isolantes de eletricidade

Os materiais, como sabemos, são formados por combinações de elementos químicos.

Estudam-se vários tipos de ligações químicas: iônica, covalente (ou molecular), metálica, entre outras. Dessas combinações podem resultar, ou não, a presença de elétrons livres.

Materiais como borracha, madeira, vidro, cerâmica e plástico, apresentam fortes ligações químicas, iônicas e moleculares, não possuindo, dessa forma, elétrons livres. Não existe, portanto, a característica de mobilidade de elétrons, e em consequência disso, não são passíveis de formarem uma corrente elétrica. Esses materiais são isolantes elétricos que, embora sendo maus condutores de eletricidade, são indispensáveis em instalações elétricas por impedir fuga de corrente elétrica para locais indesejados, protegendo inclusive as pessoas de choques.

Outros materiais são formados pela ligação metálica, onde os átomos se juntam aos milhares posicionando seus núcleos ordenadamente. Aqui, muitos elétrons passam a não ser mais exclusividade de seus respectivos átomos e formam o que se chama uma nuvem de elétrons ao redor dos núcleos. Nessa configuração, embora cada átomo só possa contribuir com um ou dois elétrons para a formação da nuvem, a quantidade de elétrons disponíveis é muito grande e são eles capazes de se movimentar em distâncias muito maiores do que em outro tipo de ligação química.

Nesses materiais, formados pela ligação metálica, a possibilidade de criação de uma corrente elétrica é altíssima. São chamados condutores elétricos e, como exemplo, temos os metais (aço, ferro, alumínio, cobre, ouro, prata, etc.).



Nos materiais metálicos, uma corrente elétrica a partir do fluxo de elétrons livres é chamada de corrente eletrônica. Mas é possível também, num material líquido, uma corrente elétrica a partir do movimento simultâneo de prótons e elétrons que, nesse caso, é chamada de corrente iônica. Certamente você conhece a experiência de acender a lâmpada, fazendo uma corrente elétrica atravessar uma quantidade de água com sal.

Situado entre condutores e isolantes, existe um grupo de materiais chamado de semicondutores, formado predominantemente de fracas ligações covalentes,

o que significa que seus elétrons mais externos são mais facilmente removidos por excitação térmica do que o dos isolantes. Esse grupo é formado de materiais como germânio e silício, de importantes aplicações em componentes eletrônicos.

Observe que a classificação entre condutores e isolantes não é rígida. Um material (ou substância) que numa condição se comporta como isolante elétrico, em outra situação pode ser condutor. Caso da água: pura é isolante, misturada com sal é condutora, ou o ar atmosférico que em condições normais é isolante, mas torna-se condutor durante uma tempestade. A temperatura em que se encontra o material também altera o seu estado de condutividade, semicondutividade ou isolante de corrente elétrica. Geralmente a capacidade de conduzir corrente elétrica, diminui com o aumento da temperatura.



1.3 Produção de energia elétrica

Apesar do termo produção ser usual, energia não é algo que pode ser produzido no sentido de ser criado. A energia é obtida pela transformação de uma modalidade em outra.

O que caracteriza a produção de energia elétrica é a produção de força eletromotriz (fem) que, como se verá, é uma grandeza também chamada potencial elétrico. Nesse sentido, produzir energia elétrica é criar força eletromotriz para poder transformá-la numa aplicação útil (luz, calor e movimento), ou então, tê-la disponível.

Encontramos fem disponível numa pilha nova, para fazer funcionar uma lanterna, ou numa bateria que trocamos para fazer funcionar a calculadora. Na nossa casa a fem é disponibilizada pela concessionária de energia elétrica no padrão popularmente chamado relógio.

Uma grande quantidade de fem é produzida nas usinas hidrelétricas, termelétricas e nucleares e colocada no padrão das residências. Mesmo de posse dessa fem, falta-nos, efetivamente, a energia elétrica que, numa concepção mais prática, é luz, calor ou movimento. Só conseguiremos essa energia elétrica a partir de dispositivos que com a utilização da fem, possam transformá-la numa das três modalidades de energia citadas. Esses dispositivos são as lâmpadas, os chuveiros e os motores, pois neles são desenvolvidas as correntes elétricas, quando corretamente inseridos em circuitos elétricos.



1.4 Grandezas elétricas

1.4.1 Carga elétrica (Q; q)

Vimos que os materiais são formados por um incontável número de átomos e os elétrons da periferia têm a possibilidade de “se soltarem”, para se prenderem a átomos de outro material, desequilibrando a igualdade entre prótons e elétrons. Assim, o material que perdeu elétrons, tanto quanto o material que ganhou elétrons, transforma-se numa carga elétrica. Se elétrons abandonam um material, este material se torna uma carga positiva, também chamada cátion; e caso alojem noutro material tornam este outro material uma carga negativa, também chamada ânion.

O professor, ao passar os dedos pelo giz remove elétrons; torna o giz uma carga positiva, e enquanto ele se torna uma carga negativa. Naturalmente, embora haja muita criação de cargas elétricas, mesmo por atrito entre materiais, como o exemplo do pano e do vidro citado no início da aula, a grande maioria é de valor infinitamente baixo e de praticamente nenhuma utilização técnica.

A-Z

intuitivo

O que se percebe por intuição, sem definições prévias.

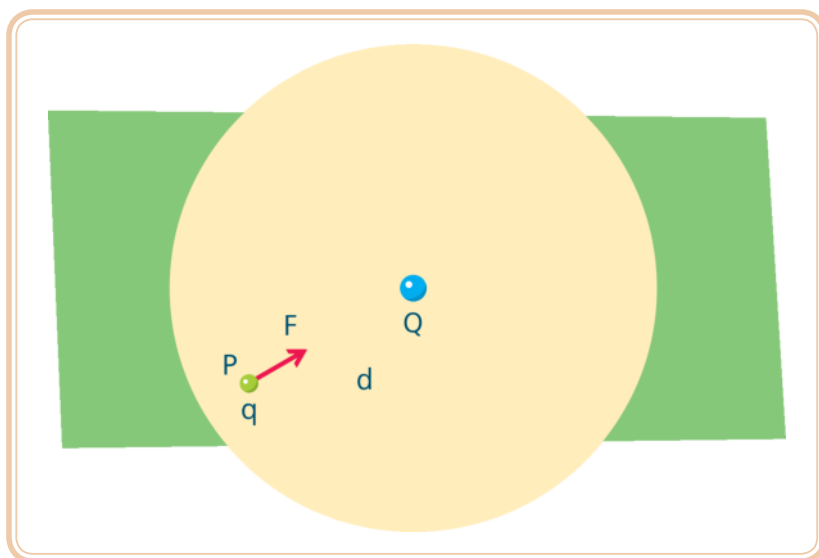
A carga elétrica é uma grandeza que tem conceito **intuitivo**, como tempo e temperatura, e embora sabendo que há redundância em palavras podemos dizer que carga elétrica é a quantidade de eletricidade de um corpo eletrizado.



A carga elétrica do elétron é numericamente igual à do próton. Elas são conhecidas como cargas elementares; são as menores cargas elétricas encontradas na natureza. O menor corpo capaz de conservar sua carga elétrica é o elétron. O valor dessa carga é de $1,6 \times 10^{-19}$ e sua unidade no Sistema Internacional é o coulomb (C).

Verifica-se experimentalmente que corpos eletrizados com cargas de mesmo sinal se repelem, enquanto corpos eletrizados com cargas de sinais opostos se atraem.

Considerando partículas em repouso eletrizadas (com excesso ou carência de elétrons) com cargas **Q** e **q** separadas por uma distância **d**, haverá interação entre elas com presença de forças eletrostáticas, fazendo com que sejam atraídas ou repelidas (Figura 1.2).



Uma unidade tradicional de carga elétrica é o ampère-hora (Ah), usada para identificar baterias de veículos. (1 Ah = 3600 C).

Figura 1.2: Cargas elétricas Q e q de sinais contrários, separadas pela distância d

Fonte: CTISM

A força de atração ou repulsão entre elas é dada pela Lei de Coulomb.

Equação 1.1

$$F = k \times \frac{Q \times q}{d^2}$$

Onde: k é a constante eletrostática do meio onde estão as cargas

Se as cargas estiverem no ar ou no vácuo, o valor de k é $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

1.4.2 Campo elétrico (E)

Toda carga elétrica cria em torno de si uma região onde ela interage com outras cargas elétricas. Essa região, caracterizada por um distúrbio nas moléculas do meio onde a carga se encontra, é chamada de campo elétrico e pode existir em diversos materiais como vidro, papel, água, etc. Se cargas elétricas estiverem próximas, de modo que seus campos elétricos se superponham, haverá interação entre elas, afastando-se ou aproximando-se.

Pela Figura 1.2 observa-se que a intensidade do campo elétrico num ponto **P** qualquer criado por uma carga puntiforme **Q**, é verificada pela força **F** que surge numa carga de prova **q** colocada no campo elétrico de **Q**, dado pela seguinte expressão:

Equação 1.2

$$E = \frac{F}{q}$$

Equação 1.3

$$E = k \times \frac{Q}{d^2}$$

Onde: E é a Intensidade do campo elétrico (de Q) no ponto P , onde a carga q é colocada. A unidade de E , no SI, é N/C (newton por coulomb)
 F é a força que atua na carga de prova q , colocada no ponto P
 k é a constante dielétrica do meio onde as cargas estão
 d é a distância da carga Q ao ponto P , onde a carga de prova q é colocada

1.4.3 Potencial elétrico (voltagem) (U , V , E)

Sabemos então que uma carga elétrica Q cria em torno de si um campo elétrico.

Considerando essa carga elétrica Q fixa e, abandonando uma outra carga q num ponto P do campo elétrico de Q , a carga q será atraída ou repelida, ganhando energia cinética. Isso significa que, ali no ponto P , há uma energia potencial que possibilitará que essa carga q se movimente de um ponto a outro, devido à ação de uma força F .



Para saber mais sobre tensão elétrica, acesse:
<http://www.youtube.com/watch?v=Sw2kuiTgmbc&feature=related>

Dizemos que num ponto P distante d da carga Q , surge uma grandeza denominada potencial elétrico que corresponde à energia elétrica em potencial adquirida pela carga q .

A expressão matemática que define o potencial elétrico num campo elétrico é dada pela relação entre esta energia elétrica τ , e a unidade de carga q :

Equação 1.4

$$U = \frac{\tau}{\Delta q}$$

Equação 1.5

$$U = \frac{F \times d}{q}$$

Equação 1.6

$$U = k \times \frac{Q}{d}$$

No SI a unidade de potencial elétrico é o J/C (joule por coulomb), conhecida por volt e representada por V, em homenagem a Alessandro Volta, idealizador da pilha elétrica.

Se: $Q > 0 \rightarrow U (+)$ (carga de prova q positiva é repelida)
Se: $Q < 0 \rightarrow U (-)$ (carga de prova q positiva é atraída)

Um elétron (q negativo), ao se movimentar entre dois pontos de diferentes potenciais, ou recebe energia (e vai de um ponto de menor potencial para outro ponto de maior potencial), ou cede energia (e vai de um ponto de maior potencial para outro ponto de menor potencial).

Espontaneamente o elétron recebe energia e vai de um ponto de menor potencial para outro ponto de maior potencial.



Para ilustrar, consideremos uma carga elétrica $Q = 5 \text{ nC}$ e os pontos A e B afastados dela, respectivamente de 30 e 90 cm (Figura 1.3). Os potenciais nos pontos A e B serão, respectivamente, dados para cada uma das situações (a) e (b). O elétron abandonado no meio destes pontos, movimentar-se-á.

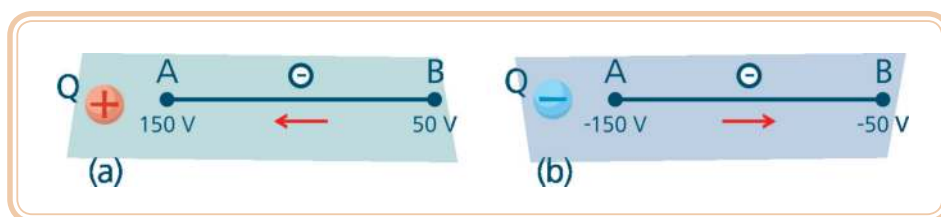


Figura 1.3: Potenciais criados pela carga Q nos pontos A e B (ddp = 100 V)

Fonte: CTISM

É esse potencial elétrico diferenciado entre dois pontos que torna possível o movimento de elétrons. Ele é chamado de diferença de potencial elétrico (ddp) e é graças a ele que a eletricidade passa de um corpo mais carregado para outro menos carregado.



1.4.3.1 Gerador (bateria)

O gerador é o equipamento que produz ddp. É o dispositivo capaz de separar em si cargas elétricas, apresentando entre dois pontos (polos positivo e negativo), uma energia em potencial. Existem os geradores que produzem ddp contínua como as pilhas e as baterias de automóveis e os geradores que produzem ddp alternada como os geradores rotativos nas usinas hidrelétricas. Para ambos, temos valores bem distintos de ddp.

A-Z

tomada

Dispositivo com contatos permanentemente ligados a uma fonte onde são acoplados os plugues dos equipamentos de utilização de energia. As tomadas residenciais são de 10 e 20 A para uma tensão máxima de 250 V, bipolar com contato central para o fio terra.

- **ddp contínua** – uma pilha apresenta, quando nova, uma ddp de 1,5 V, enquanto a bateria de automóvel apresenta entre seus terminais (polos), 12 V. Num circuito elétrico onde haja ddp contínua, os fios condutores são designados por “**positivo**” e “**negativo**”.
- **ddp alternada** – numa **tomada** de uma instalação elétrica residencial, devido à configuração de construção dos geradores rotativos, os polos não podem ser designados como positivo e negativo, pois eles se alternam. Os fios ligados a esses polos são chamados de “**fase**” e “**neutro**”. A concessionária de energia disponibiliza para as ligações residenciais um fio fase e um fio neutro (padrão monofásico), ou dois fios fases e um fio neutro (padrão bifásico), ou ainda três fios fases e um fio neutro (padrão trifásico). Grande parte das regiões brasileiras é atendida por concessionárias que garantem valores de 127 V entre um fio fase e um fio neutro, e 220 V entre dois fios fases. Porém, muitas regiões são atendidas por concessionárias que garantem valores de 220 V entre fase e neutro e 380 V entre fases. Dessa forma são identificadas duas modalidades de fornecimento de tensões existentes no território nacional: 127/220 V e 220/380 V. É importante detectar o valor da voltagem na rede elétrica, pois os equipamentos elétricos/eletrônicos são construídos e comercializados para operarem sob ddp específica, com pequenas tolerâncias bem determinadas.

1.4.3.2 Fio terra

A Terra, nosso planeta, por ser boa condutora de eletricidade, pode receber todos os elétrons que lhe cheguem, tendo por isso potencial zero. Para tornar nulo o potencial elétrico de qualquer corpo carregado, basta ligá-lo à terra. O aterramento constituirá nas redes elétricas um dispositivo de segurança obrigatório para equipamentos e pessoas.

1.4.3.3 Atente para os seguintes nomes da mesma grandeza



Potencial elétrico = voltagem = tensão elétrica = fem (força eletromotriz) = ddp

Convencionou-se empregar a letra **E** para designar a fem apresentada nos terminais de um gerador, quando o circuito está aberto. Usa-se, em geral, a letra **U** para representar essa tensão quando o circuito está fechado e nele está passando corrente elétrica. A letra **V** também pode ser encontrada em vários livros para indicar essa mesma grandeza em uma ou outra situação, tendo o inconveniente de confundir-se com sua própria unidade (volt), por isso, vamos evitá-la.

A ddp é uma característica da rede elétrica.



1.4.4 Corrente elétrica (i)

Entende-se por corrente elétrica o movimento relativamente ordenado de elétrons.

Os elétrons livres dos átomos de um condutor, normalmente se deslocam em todas as direções, aleatoriamente. Se conseguirmos fazer com que esses elétrons se movimentem ordenadamente num dado sentido, B para A, por exemplo, diremos que existirá nesse sentido um fluxo de elétrons (Figura 1.4).

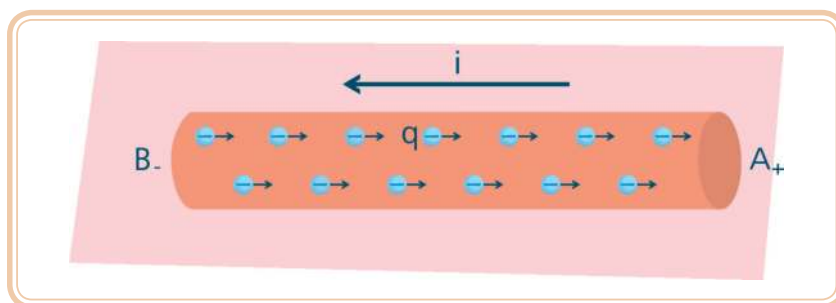


Figura 1.4: Elétrons, de um material condutor, em movimento

Fonte: CTISM

A intensidade da corrente elétrica é caracterizada pela quantidade de elétrons que atravessa uma determinada seção do condutor num intervalo de tempo. Isto equivale à razão entre a carga elétrica que atravessa a seção do condutor pelo tempo gasto em fazê-lo, conforme Equação 1.7.

Equação 1.7

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

O sentido convencional da corrente elétrica é o sentido contrário ao sentido de deslocamento dos elétrons.



Foi o cientista Benjamim Franklin quem primeiro deu explicações de como funcionava a eletricidade. Preconizava que um corpo que tivesse mais (+) eletricidade podia passar um pouco dela para outro corpo que tivesse menos (-) eletricidade. Desse raciocínio simples resultou, inclusive, o sentido convencional da corrente elétrica que parte do polo positivo (+) e conclui-se no polo negativo (-). Entretanto, há muito se sabe que nos condutores metálicos, onde a corrente elétrica é dita eletrônica, o que se movimenta são os elétrons (livres), por isso o sentido real da corrente é o sentido do movimento dos elétrons.

No SI a unidade da intensidade de corrente elétrica é o ampère (A), homenagem a André Marie Ampère, cientista e matemático francês.

Para ordenar o movimento dos elétrons, é necessário um dispositivo chamado de gerador, que ao aplicar uma diferença de potencial entre dois pontos do condutor, obriga esses elétrons a um deslocamento organizado. A presença da ddp estabelecida entre os pontos **A** e **B** no condutor possibilitará aos elétrons fluírem entre eles, criando uma corrente elétrica.

1.4.4.1 Circuito elétrico



Um condutor (fio metálico) acoplado aos polos de um gerador (pilha), fica submetido à energia em potencial (fem) deste gerador e, por ele (condutor), graças à tensão elétrica produzida pelo gerador, pode circular uma corrente elétrica. Se entre dois pontos do condutor inserirmos um aparelho receptor (lâmpada, por exemplo) capaz de converter a energia elétrica em potencial do gerador noutra forma de energia (luminosa), constataremos a existência da corrente elétrica, entre outras grandezas elétricas que também estarão se manifestando (Figura 1.5).

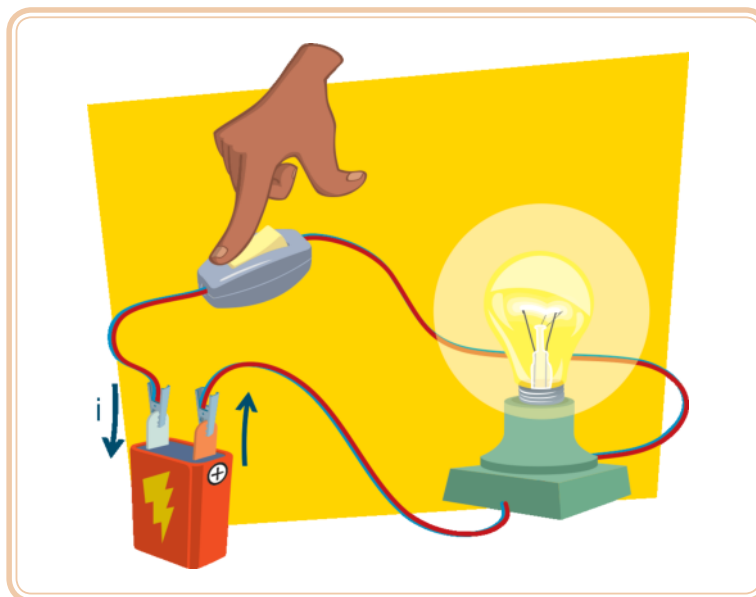


Figura 1.5: Circuito elétrico

Fonte: CTISM

A Figura 1.5 apresenta as três partes fundamentais de um circuito elétrico: o gerador (pilha), o condutor (fio metálico) e um receptor (lâmpada incandescente). E ainda a representação da corrente elétrica contínua em seu sentido convencional.

Existem dois tipos de corrente elétrica em função dos dois tipos de geradores que a produzem:

- **Corrente contínua** – produzida por pilhas e acumuladores onde acontece um fluxo contínuo de elétrons do polo (–) ao polo (+). A ação química dos componentes da pilha separa as cargas positivas num terminal e os elétrons noutro terminal. Quando a pilha for acoplada a um circuito existirá o deslocamento (empurrão) de elétrons do terminal negativo para o terminal positivo, passando pelo condutor. À medida que os elétrons se deslocam, equilibram-se com os correspondentes prótons no terminal positivo, até que não haja mais ddp capaz de promover a corrente elétrica, esgotando a capacidade do gerador. A pilha estará inutilizada, mas o acumulador poderá ser recarregado.
- **Corrente alternada** – obtida em nossas residências em função da ddp alternada disponibilizada pelas concessionárias de energia a partir dos geradores rotativos da usina geradora. Nesse tipo de corrente elétrica, os elétrons livres do condutor não vão a lugar nenhum, mas ficam num constante movimento vibratório de ir e vir, já que as polaridades se invertem a cada instante, numa frequência de 60 Hz. Os equipamentos eletrônicos (TV, DVD, som, etc.) funcionam internamente com corrente contínua e em tensões bem mais baixas, mas como são alimentados por corrente alternada, possuem dispositivos que tornam contínua a corrente (retificador) e abaixam a voltagem para valores adequados de funcionamento (transformador).

1.4.4.2 Efeitos produzidos pela corrente elétrica

A passagem da corrente elétrica por um condutor provoca diferentes efeitos em função da natureza do condutor e da intensidade dessa corrente. Bem controlados esses efeitos são de grande utilidade, mas sua aplicação exige cuidados e conhecimento.

São eles: o efeito luminoso, o efeito magnético, o efeito térmico (efeito joule), o efeito químico e o efeito fisiológico (choque).

O choque que, a cada ano causa milhares de acidentes, é provocado por falha de isolamento de condutores, remoção indevida de partes isolantes ou por atitude imprudente de pessoas com a parte energizada (parte viva). Quando uma pessoa está com o corpo molhado, a resistência oferecida à passagem da corrente elétrica diminui e a intensidade dessa corrente, aumenta, tornando o choque mais intenso.



Para saber mais sobre corrente elétrica, acesse:

<http://www.youtube.com/watch?v=FksWhVL8Gs8>

<http://www.youtube.com/watch?v=KWLDcAA-vMO>



Saiba mais sobre os efeitos produzidos pela corrente elétrica em:

<http://www.brasilecola.com/fisica/os-efeitos-corrente-eletrica.htm>

http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/corrente/elementos_corrente_eletrica/

**A-Z****disjuntores**

Dispositivos de proteção capaz de estabelecer e conduzir corrente elétrica em condições normais do circuito e interrompê-la automaticamente caso esta atinja valores elevados ou caso a temperatura do condutor ultrapasse valores toleráveis.

Daremos especial atenção em nosso projeto elétrico às normas regulamentadoras e aos dispositivos de proteção às pessoas e animais exigidos, como os sistemas de aterramento e a instalação de **disjuntores** diferenciais residuais.

1.4.5 Resistência elétrica (R)

O chuveiro aquece a água do banho? Por quê? A lâmpada aquece enquanto ilumina? Por quê? Por que o fusível se queima?

Para obter respostas para essas perguntas, saiba que, quando uma corrente elétrica é estabelecida através de um condutor, os elétrons do condutor em sua movimentação sofrem choques com as partículas (núcleos de átomos e outros elétrons) constituintes, passando a existir uma oposição ao fluxo destes elétrons. Essa dificuldade de movimentação dos elétrons livres é chamada de resistência elétrica do condutor.

A resistência à movimentação dos elétrons depende do tipo de material que compõe o condutor. A ligação química, elementos químicos componentes e quantidade de elétrons livres presentes, a temperatura em que se encontra o condutor, e até mesmo as dimensões físicas do condutor que, entre outras condições (defeitos porventura existentes na estrutura do material), podem representar um verdadeiro obstáculo à movimentação dos elétrons.

1.4.5.1 1ª Lei de Ohm

Em 1827, o professor alemão George Simon Ohm verificou experimentalmente que a resistência **R** dos condutores é diretamente proporcional à diferença de potencial **U** estabelecida no circuito e inversamente proporcional à intensidade **i** da corrente elétrica que o percorre.

Equação 1.8

$$R = \frac{U}{i}$$

Onde: R é resistência elétrica (Ω)

U é tensão elétrica (V)

i é intensidade de corrente elétrica (A)

A unidade de resistência elétrica no SI é chamada de ohm em homenagem ao professor George. É representada pela letra grega ômega (Ω).



A resistência elétrica é uma característica do aparelho elétrico e dos condutores elétricos.

Essa resistência elétrica varia com a temperatura ambiente, isolamento e agrupamento de condutores. No caso de fios e cabos, além da variação da resistência a partir da composição da liga metálica, há também variações conforme a instalação dos mesmos. Dessa forma é preocupante, num projeto elétrico, os condutores serem colocados em **eletrodutos** aparentes ou embutidos em alvenaria, ou ainda, serem instalados em calhas bem ventiladas. Essas situações serão detalhadas mais à frente, no projeto elétrico.

A-Z

eletrodutos

Tubulações por onde passam os fios.

1.4.5.2 2ª Lei de Ohm

Todos os materiais, metálicos ou não, apresentam elétrons que podem se movimentar com maior ou menor facilidade. Nos materiais condutores de eletricidade, a resistência elétrica é relativamente pequena; nos materiais isolantes é muito grande; e existe um grupo de materiais onde essa resistência elétrica assume valores intermediários adequados. São os **resistores**.

A-Z

resistores

São condutores que se aquecem com a passagem da corrente elétrica, transformando a energia elétrica em energia térmica. São resistências numericamente identificadas.

A resistência elétrica do resistor depende da natureza do material com que ele foi construído, do seu comprimento e da área de sua seção reta transversal. A Figura 1.6 representa um fio condutor de comprimento ***l*** e seção transversal ***S***.

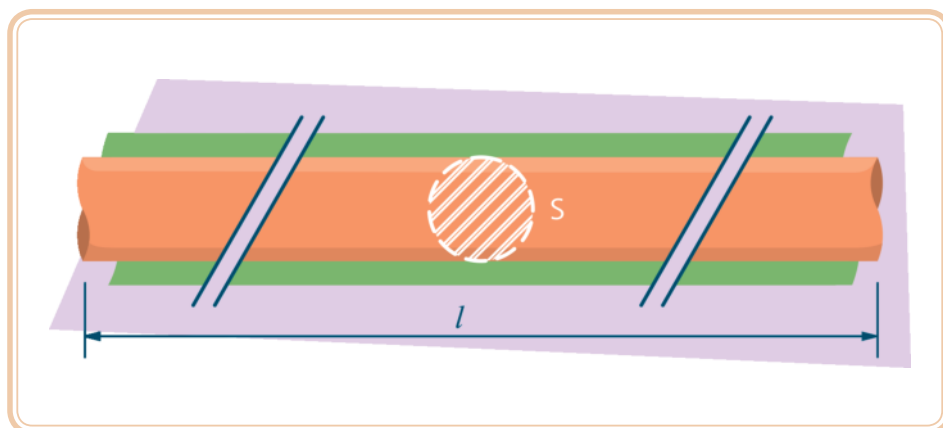


Figura 1.6: Conductor de eletricidade com comprimento *l* e seção *S*

Fonte: CTISM

Pela 2ª Lei de Ohm, a resistência de um resistor pode ser dada pela seguinte expressão:

Equação 1.9

$$R = \rho \times \frac{l}{S}$$

Onde: *R* é a resistência do resistor (Ω)

ρ é a resistividade do material de que é feito o resistor ($\Omega.m$)

l é o comprimento do resistor (m)

S é a área da seção reta transversal do resistor (m^2)



Perceba que enquanto a resistividade é característica dos materiais, a resistência elétrica é característica do objeto. Assim, um metro de fio de cobre de $1,5 \text{ mm}^2$ de seção reta transversal tem uma resistência em torno de $11 \times 10^{-3} \Omega$, enquanto outro de mesmo tamanho, porém de $2,5 \text{ mm}^2$ (mais grosso), tem resistência menor, em torno de $7 \times 10^{-3} \Omega$; mas ambos, por serem de cobre têm a mesma resistividade.

A Tabela 1.1 fornece a resistividade de alguns materiais.

Tabela 1.1: Resistividade (ρ) de alguns materiais a 15°C ($\Omega\cdot\text{m}$)

Condutores		Semicondutores		Isolantes	
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$	Fe_3O_4	1×10^2	Teflon	10^{16}
Alumínio	$2,6 \times 10^{-8}$	SiC	10×10^2	Al_2O_3 (Alumina)	10^{14}
Liga Ni-Cr	30×10^{-8}	Germânio	50×10^2	SiO_2 (Quartzo)	10^{14}
Carvão	$(500 \text{ a } 3000) \times 10^{-8}$	Silício	60×10^2	Borracha	$10^{13} - 10^{15}$

Fonte: autor



Para saber mais sobre resistência elétrica, acesse:
<http://www.youtube.com/watch?v=24i6N4t6zI8>

- Quanto mais resistivo um material, obviamente menos condutivo. A condutividade elétrica é uma grandeza inversa de resistividade elétrica. A condutividade é representada pela letra grega sigma (σ) e sua unidade é o $(\Omega\cdot\text{m})^{-1}$.

Equação 1.10

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

- A liga Ni-Cr apresenta uma resistividade tal, que a passagem da corrente elétrica produz elevada produção de calor, dissipado no ambiente pelo efeito joule. Por isso encontra aplicações na confecção de resistência para fornos e chuveiros.
- Para a maioria dos materiais condutores de energia elétrica o aumento da temperatura ocasiona o aumento da resistência elétrica e da resistividade, exceção feita ao carbono (carvão ou grafita), onde o aumento da temperatura libera mais elétrons livres que favorecem a circulação da corrente, razão pela qual são aplicados em várias partes de motores.
- Observe a importância da resistividade de terrenos onde serão implantadas as hastes de aterramento das instalações para ligação do fio terra. Cotrim (2008) apresenta na página 79, a tabela 3.6 com valores típicos de resistividade de solos. Vale a pena conhecer.

1.4.6 Potência elétrica (P)

Todo equipamento elétrico (receptor) converte energia elétrica noutra forma de energia (luz, calor ou movimento) de utilidade mais imediata para nós.

A potência elétrica é entendida como a quantidade de energia elétrica que o equipamento é capaz de transformar na unidade de tempo, ou seja, é o trabalho elétrico efetuado na unidade de tempo. É mais potente o equipamento que converte maior quantidade de energia mais rapidamente.

Equação 1.11

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

Se, como já vimos da Equação 1.4:

$$U = \frac{\tau}{\Delta q} \rightarrow \tau = U \times \Delta q$$

E, da Equação 1.7:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta q}{i}$$

Então:

Equação 1.12

$$P = U \times i$$

Como se vê, a potência elétrica também é resultado do produto da tensão disponível na rede elétrica pela corrente circulante e corresponde à energia fornecida ou consumida nos dispositivos elétricos por unidade de tempo, para provocar o movimento de cargas elétricas.



Para saber mais sobre
potência elétrica, acesse:
[http://www.youtube.com/
watch?v=ekx_r6Ha80A](http://www.youtube.com/watch?v=ekx_r6Ha80A)

No SI, a unidade de potência elétrica é o watt (W), em homenagem a James Watt – engenheiro e mecânico escocês ($1 \text{ W} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$).

Se, como já vimos na Equação 1.8:

$$R = \frac{U}{i} \rightarrow U = R \times i$$

Então, também podemos escrever que:

Equação 1.13

$$P = R \times i^2$$

Equação 1.14

$$P = \frac{U^2}{R}$$



- a) Perceba bem que enquanto a equação $P = U \times i$ é uma equação geral e se aplica a todos os circuitos possíveis, a equação $P = R \times i^2$ se aplica unicamente a circuitos resistivos, pois somente nos resistores a energia elétrica é totalmente convertida em calor.
- b) Veremos no cálculo dos circuitos de iluminação do nosso projeto que, ele não sendo resistivo, mas indutivo, a potência que usaremos será a potência aparente cuja unidade é o VA, não mais igual ao W, porém relacionada a ele pelo fator de potência.
- c) Compreenda também que potência é característica de aparelho elétrico, e sua unidade no SI é o watt. Não confunda com “potencial” que é característica da rede elétrica e tem o volt como sua unidade no SI. Até mesmo a similaridade da pronúncia das unidades pode levar à equivocada troca.
- d) A potência é uma característica importante dos aparelhos elétricos que, colocados em funcionamento, influenciará diretamente no valor da “conta de luz” do final do mês.

1.4.7 Energia elétrica (E) ou trabalho elétrico (τ)

Como se viu anteriormente, todo equipamento elétrico transforma energia elétrica em luz (lâmpadas), calor (resistores) ou movimento (motores).



É comum utilizar como unidade de energia elétrica o kWh.
 $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$
Outras unidades:
 $1 \text{ Wh} = 860 \text{ cal}$
 $1 \text{ J} = 0,239 \text{ cal}$
 $1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal}.$

Energia consumida ou trabalho efetuado, isto é o que a concessionária cobra do consumidor.

Da mesma Equação 1.11, concluímos:

Equação 1.15

$$\tau = P \times t$$

A energia elétrica transformada é calculada pelo produto da potência (P) desenvolvida no equipamento, pelo tempo (t) durante o qual ele permanece ligado. Sua unidade no SI é watt.segundo também denominado joule (J). ($1 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s}$).

Resumo

O átomo é o ponto de partida de todo conhecimento científico e a eletricidade, juntamente com o magnetismo, constituem o suporte de toda tecnologia onde se assenta o nosso conforto.

Veja no Quadro 1.1 algumas grandezas elétricas e suas unidades no Sistema Internacional, cuja compreensão de conceitos muito contribuirá no desenvolvimento de seu projeto elétrico.

Quadro 1.1: Resumo das grandezas elétricas

Grandeza	Símbolo	Unidade	Abreviatura
Carga elétrica	Q; q	coulomb	C
Campo elétrico	E	newton/coulomb	N/C
Tensão elétrica (ddp)	E; U; V	volt	V
Corrente elétrica	i	ampère	A
Resistência elétrica	R	ohm	Ω
Potência elétrica	P	watt	W
Energia ou trabalho	τ ; E; T	joule	J
Resistividade elétrica	ρ	ohm.metro	σm
Condutividade elétrica	σ	1/ohm.metro	$(\sigma m)^{-1}$

Fonte: autor



Para saber mais sobre energia elétrica, acesse:
<http://www.youtube.com/watch?v=G0DTyLPbLs>

Não se esqueça que, ao tratar grandezas e seus sistemas de unidades, muitas vezes necessitamos usar os múltiplos e submúltiplos decimais.



Atividades de aprendizagem

1. Marque (F) se falso ou (V) se verdadeiro para as frases seguintes.

- () Os elétrons são os elementos atômicos responsáveis pela criação da energia elétrica.
- () Encontramos na ligação metálica os elétrons livres que são os responsáveis pela criação da corrente elétrica.
- () Campo elétrico é análogo ao campo gravitacional e ao campo magnético.
- () Carga elétrica e campo elétrico são duas grandezas completamente distintas e separáveis.



() Para que uma corrente elétrica circule entre dois pontos de um condutor, é necessário que entre esses dois pontos exista uma diferença de potencial (ddp).

2. Complete as sentenças abaixo.

a) Os componentes essenciais de um circuito elétrico são _____, _____ e _____.

b) _____ elétrico é uma característica da rede, enquanto _____ elétrica é uma característica do equipamento elétrico.

c) Os materiais apresentam _____ elétrica, enquanto os objetos feitos com esses materiais apresentam _____ elétrica.

d) O aparelho que mede a tensão elétrica entre dois pontos de um circuito é o _____. O que mede a corrente elétrica é o _____ e o que mede a resistência elétrica é o _____.

Aula 2 – A luminotécnica e os tipos de lâmpadas

Objetivos

Compreender as grandezas luminotécnicas.

Distinguir lâmpadas incandescentes das fluorescentes.

Selecionar lâmpadas fluorescentes conforme as necessidades do ambiente.

2.1 Grandezas luminotécnicas

Luminotécnica é a técnica de iluminar. Vamos estudar algumas grandezas que constituem a base da luminotécnica e as características das fontes luminosas, principalmente as lâmpadas.



2.1.1 Fluxo luminoso (Φ)

O fluxo luminoso é a quantidade de claridade (luz) emitida por uma fonte luminosa, considerada igual em todas as direções. Ele é um dado característico da lâmpada que nos fornece a percepção de que ela é forte ou fraca.

A unidade do fluxo luminoso no SI é o lúmen (lm): lâmpada forte emite muitos lúmens, lâmpada fraca, poucos lúmens.

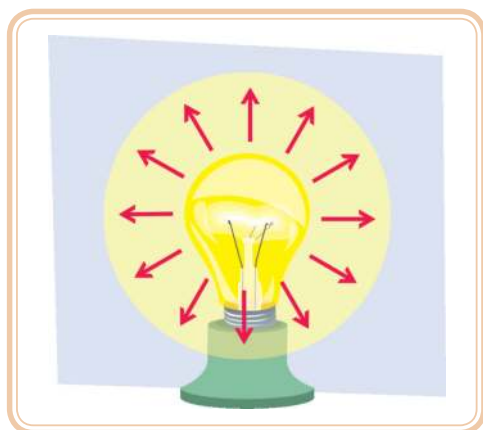


Figura 2.1: Lâmpada incandescente emitindo seu fluxo luminoso

Fonte: CTISM

Os lúmens emitidos por uma lâmpada dependem da tensão de funcionamento da rede elétrica. Uma lâmpada incandescente de 100 W/127 V emite cerca de 1500 lúmens que aumentam para tensões maiores ou diminuem para tensões menores. Veja no Quadro 2.1 o fluxo luminoso de algumas lâmpadas e suas respectivas potências.

Quadro 2.1: Fluxo luminoso × potência							
Lâmpada incandescente de bulbo transparente							
Potência (W)	25	40	60	100	150		
Fluxo (lm)	250	480	750	1500	2300		
Lâmpada fluorescente compacta							
Potência (W)	7/9	11/13	15	18/20	23	26	36
Fluxo (lm)	400	650	850	1200	1400	1800	2800
Lâmpada fluorescente tubular							
Potência (W)	14/16	18/20	28/32	36/40	54/65	75/80	110
Fluxo (lm)	900	1200	2500	3000	4800	6500	8500

Fonte: autor



Devido à grande variedade das lâmpadas fluorescentes tubulares, adotou-se uma média para referência. Convém sempre consultar a tabela dos fabricantes para uma melhor especificação do produto.

2.1.2 Iluminamento (E)

O iluminamento é uma grandeza que caracterizará o ambiente onde a lâmpada for instalada e donde teremos a sensação deste estar bem ou mal iluminado. O iluminamento de paredes, pisos, mesas, quadros, está intimamente ligado à quantidade de lúmens emitidos pela lâmpada e, a distância entre ela e a superfície a iluminar.

O iluminamento é a relação entre o fluxo luminoso incidente e a área da superfície iluminada. Sua unidade no SI é o lux (lx). ($lx = lm/m^2$).

Equação 2.1

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

O iluminamento diminui com o aumento da área a iluminar e com o aumento da distância desta área à lâmpada. Por exemplo, uma lâmpada incandescente de 60 W pode iluminar razoavelmente um pequeno cômodo de 4 m², mas com certeza causará desconforto visual se for a única lâmpada de uma sala de 20 m².

O iluminamento necessário a um ambiente é obtido especificamente para cada caso de projeto elétrico, sendo função de vários parâmetros como: tipo de serviço a ser desenvolvido, acabamento das paredes, pisos e tetos do ambiente, tipos de lâmpadas e de luminárias que serão instaladas e até mesmo a idade dos usuários. Para residências, adotaremos as recomendações da ABNT/NBR-5413/92, que serão apresentadas mais adiante, no item 4.3.1.



2.1.3 Eficiência energética (η)

Eficiência energética ou rendimento luminoso é a relação entre os lúmens emitidos pela lâmpada e a potência absorvida na rede elétrica.

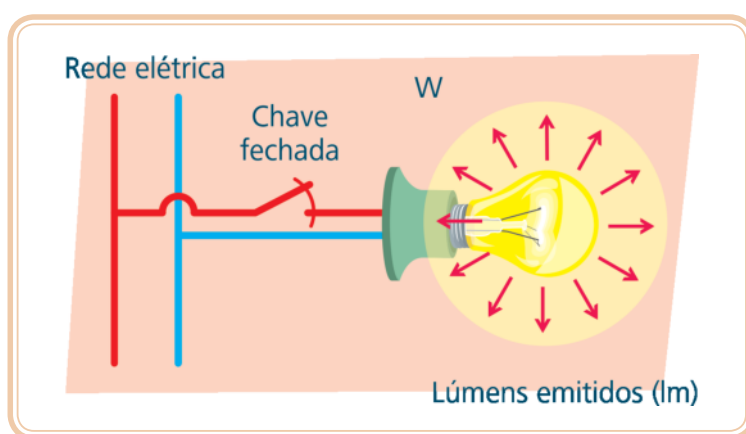


Figura 2.2: Lúmens emitidos pela lâmpada e potência absorvida na rede

Fonte: CTISM

Equação 2.2

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

O Quadro 2.2 fornece a eficiência energética de algumas lâmpadas.

Quadro 2.2: Eficiência energética de algumas lâmpadas

Tipo de lâmpada	Incandescente	Fluorescente	Fluorescente compacta
Eficiência (lm/W)	10 a 24	43 a 84	50 a 60

Fonte: autor

2.1.4 Índice de Reprodução de Cor (IRC)

O índice de reprodução de cor é uma grandeza que varia numericamente de 0 a 100, representada percentualmente. Ela procura expressar o grau em que a lâmpada consegue mostrar ou realçar as cores verdadeiras dos objetos iluminados. O fator 100 corresponde à cor real e fiel dos objetos quando analisados sob a luz do sol.



As lâmpadas incandescentes são as que melhor reproduzem as cores dos objetos depois do sol, e por isto, têm, por definição, IRC = 100%. Noutras lâmpadas este índice varia de 45 a 95%, por seu tipo e processo de funcionamento. O Quadro 2.3 qualifica para ambientes residenciais o IRC que pode ser recomendado na escolha das lâmpadas.

Quadro 2.3: Índice de Reprodução de Cor (IRC)

	Ótimo	Bom	Regular
IRC – Índice de Reprodução de Cor (%)	100 – 95	95 – 85	85 – 75

Fonte: autor

2.1.5 Temperatura de Cor Correlata (TCC)

A temperatura de cor é uma grandeza que identifica a cor da luz emitida pela lâmpada. Sua unidade é o kelvin (K) – sem referência a graus, por convenção.

A temperatura de cor das lâmpadas varia entre os limites de 2700 a 6500 K. Os valores mais baixos correspondem à luz de cor amarelada (quente) e, os valores mais altos, à cor azul (fria), variando em tons de branco nesse intervalo.



Como a temperatura de cor da lâmpada expressa a cor da luz, sua influência mais significativa está na decoração do ambiente e dos efeitos que porventura possam provocar nas pessoas que frequentam esse ambiente. O Quadro 2.4 procura relacionar adequadamente a TCC e o uso das lâmpadas com o ambiente.

Quadro 2.4: Temperatura de cor correlata

2700	3000	4000	5000	6000	6500
Cores quentes – Amarelas		Cores neutras – Brancas		Cores frias – Azuis	
Ambientes aconchegantes Situações relaxantes			Ambientes de trabalho e estudo Situações mais excitantes		

Fonte: autor



- a) A luz branca natural é a luz emitida pelo sol a céu aberto ao meio dia, cuja temperatura de cor é considerada de 5800 K.
- b) Luz quente ou fria não se refere ao calor físico da lâmpada, mas à tonalidade de cor que ela empresta ao ambiente. Quanto mais alta a TCC, mais clara é a tonalidade apresentada por ela. Todas as lâmpadas em funcionamento aquecem.

2.2 Tipos de lâmpadas

Várias são as lâmpadas encontradas no mercado, cada uma com suas características de luz e princípios de funcionamento. Elas variam em função de suas potências, lúmens emitidos, eficiência, mas, sobretudo, pela aplicação em cada ambiente.

2.2.1 Lâmpadas incandescentes (comuns)

Lâmpadas incandescentes são lâmpadas que funcionam pela **incandescência** de um filamento muito fino de tungstênio colocado no interior de um bulbo de vidro, que é preenchido com gás inerte, ou não (a vácuo). A corrente elétrica que atravessa o filamento o aquece a valores da ordem de 3000°C, fazendo-o emitir calor e luz.

A-Z

incandescência

Propriedade de emissão de luz por corpos em temperatura elevada.

São as lâmpadas de uso mais comum e as de menor custo. Apresentam tonalidade amarelada e são fabricadas, para circuitos residenciais de 127 e 220 V em potências que variam de 5 a 150 W (IRC = 100%; TCC = 2700 K) e vida útil média de 1000 horas de funcionamento.

Na prática são radiadores térmicos pois apenas 20% do que consomem de energia são transformados em luz visível. O restante é perdido em calor. Devido a isso têm sido contestadas no mundo inteiro e muitos países já não as adotam. Entretanto deve-se entender que não são nocivas à saúde do homem (pela ausência do mercúrio) e nos têm atendido confortavelmente há mais de um século.

2.2.2 Lâmpadas fluorescentes



Figura 2.3: (a) Lâmpada fluorescente e (b) acessórios

Fonte: (a) <http://revistapegn.globo.com/Revista/Pegn/foto/0,,37106408,00.jpg>

(b) http://images02.olx.com.br/ui/4/33/67/1267561102_77642667_1-Fotos-de--RECEPTACULO-PARA-LAMPADA-FLUORESCENTE.jpg

A-Z

fluorescência

Propriedade que certos materiais têm de absorverem radiações eletromagnéticas e de remetê-las novamente com maior comprimento de ondas, eventualmente na faixa do visível.

A lâmpada fluorescente é uma lâmpada que funciona através de descargas elétricas (pequenos relâmpagos) aplicadas ao vapor de mercúrio dentro de um tubo de vidro. As moléculas de vapor de mercúrio assim se ionizam, emitindo radiações eletromagnéticas não visíveis, mas que são transformadas em radiações visíveis pela **fluorescência** da pintura interna do tubo.

As lâmpadas fluorescentes são lâmpadas diversificadas em potência, emissão de lúmens, cor de luz, tamanhos e formas, o que garante sua aplicação em ambientes internos para várias utilizações.

As lâmpadas tubulares são as mais usadas e vêm sendo fabricadas com diâmetros cada vez menores. As tradicionais são as T-12 e T-10, encontrando-se já no mercado T-8 e T-5. Essas especificações referem-se aos diâmetros dos tubos em oitavos de polegada, ou seja, 38, 33, 26 e 16 mm de diâmetro, respectivamente.

A vida útil de uma lâmpada fluorescente é de 2 a 3 anos, ou um tempo de operação de aproximadamente 30 mil horas, acesa continuamente. O acender e apagar constante de uma lâmpada fluorescente reduz muito sua vida útil porque as características elétricas da descarga em um gás diferem fundamentalmente da resistência ôhmica de uma lâmpada incandescente, levando os componentes a mais rápida deterioração. A troca de uma lâmpada fluorescente deve ser feita antes mesmo da sua queima, porque, devido ao seu próprio princípio de funcionamento, o fluxo luminoso diminui sensivelmente com o passar do tempo.

A-Z

reatores

Equipamentos que mantêm a estabilização da descarga elétrica dentro do tubo e limitam a corrente elétrica na lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes funcionam com auxílio de **reatores**: os eletromagnéticos e os eletrônicos.

- **Reatores eletromagnéticos** (pesados) – são constituídos por um núcleo de aço laminado e bobinas de fios de cobre esmaltado e durante o funcionamento podem emitir ruídos. São os mais resistentes à umidade e indicados para locais de baixa temperatura de trabalho ou sem condições de aterramento. Existem os de partida convencional que necessitam de outro equipamento, o *starter*; e os de partida rápida que não necessitam do *starter*. Ambos, por funcionarem em frequência de 60 Hz, produzem um fenômeno chamado efeito estroboscópico que, embora não percebido pelo olho humano, é detectado pelo cérebro, causando um cansaço visual. Esses reatores encontram-se em desuso comparativamente aos modernos reatores eletrônicos.

- **Reatores eletrônicos** (leves) – são constituídos por componentes eletrônicos e operam em alta frequência (35000 Hz) e, além de eliminarem o efeito estroboscópico, apresentam menor perda elétrica e maior economia de energia. Entretanto, existem complicadores no uso de reatores eletrônicos, conforme ressalta Silva (2004, p. 104). Os de baixa qualidade podem emitir sujeira na rede elétrica, que são sinais que interferem em funcionamento de TV, distorcendo imagens, causando ruídos estranhos em rádios e sinais que interferem em computadores e sistemas de segurança. Para evitá-los aconselha-se o uso de reatores eletrônicos de alta performance cuja qualidade é verificada pela Taxa de Distorção Harmônica (THD) que deve estar abaixo de 30%. Quanto menor a THD, melhor será o reator eletrônico. Existem no mercado reatores eletrônicos de $THD < 10\%$, mas convém conferir sempre a informação que deve estar escrita no produto.

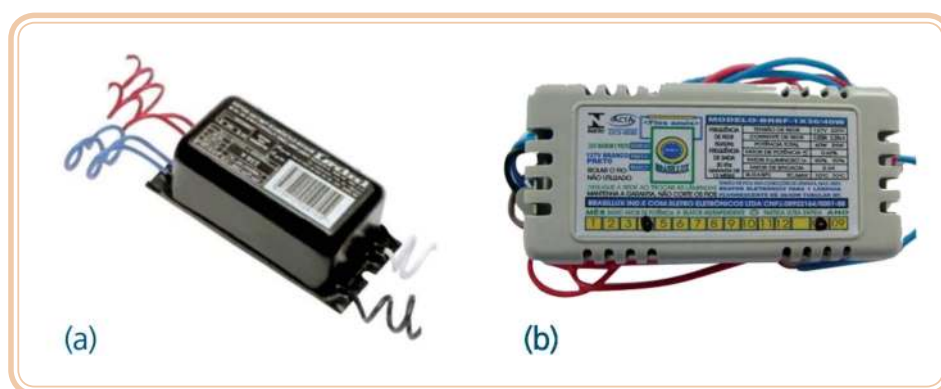


Figura 2.4: (a) Reator eletromagnético e (b) reator eletrônico

Fonte: (a) <http://www.comtrel.com.br/images/reator%20eletromagnetico.jpg>

(b) http://images.tray.com.br/img/editor/up/101201/REATOR_ELETRONICO_2_X.jpg

- No conjunto lâmpada de descarga e seu reator, pelas especificidades de funcionamento, há uma potência absorvida na rede elétrica que não é transformada em luz, mas que é necessária para manter funcionando este sistema de iluminação. Essa potência “perdida” deve ser computada para os cálculos da **fiação**, e seu conhecimento se faz através de informações do fabricante sobre o fator de potência (ϕ) do equipamento. Esta é uma característica dos sistemas indutivos que será tanto pior quanto mais baixo for seu fator de potência. Portanto, para uma escolha adequada de lâmpadas fluorescentes e seus reatores, prefira os de mais alto fator de potência.
- Um reator tem ainda como característica técnica o fator de fluxo luminoso que pode fazer a lâmpada emitir mais lúmens ($ffl > 1,00$), ou menos lúmens ($ffl < 1,00$). Devemos ter sempre em mãos catálogos dos

A-Z

fiação

É o condutor elétrico. Pode ser composta por fio rígido ou cabo flexível de cobre identificado pela área de sua seção transversal em mm^2 e pelo tipo de isolamento plástico, geralmente PVC.

fabricantes que contenham informações técnicas sobre seus produtos (lâmpadas, reatores e luminárias), muitas vezes disponíveis em sites da internet. No tocante a reator, não deixe de observar na escolha: alto fator de potência ($> 85\%$), baixo THD ($< 30\%$), além da compatibilidade com a marca e potência da lâmpada escolhida.

- c) As lâmpadas fluorescentes compactas têm sido soluções imediatas para substituição das lâmpadas incandescentes que, em breve deixarão de ser fabricadas. Entendo que elas cumprem mais um papel de iluminação local, mas que a evolução da tecnologia deve fazê-las evoluir para iluminação geral.
- d) Lamentavelmente as lâmpadas fluorescentes de tão boas qualidades técnicas têm em sua fabricação o mercúrio, altamente danoso ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos. Seu descarte, após inutilizadas, é feito, muitas vezes, em lixo comum, quando deveriam seguir para estações de reciclagem.
- e) Como as lâmpadas fluorescentes são utilizadas na maioria das vezes em luminárias (calhas) metálicas, há necessidade de ligar essas luminárias ao fio terra para descarregar cargas elétricas estáticas produzidas entre lâmpadas e luminárias.

2.2.3 LED's (*light emitting diodes*)

Os LED's – diodos emissores de luz – são componentes semicondutores da mesma tecnologia utilizada nos *chips* de computadores que têm a propriedade de emitir luz quando aquecidos pela passagem de uma pequena corrente elétrica. Os LED's são dispositivos sem filamentos que operam em extra baixa tensão (10/24 V) e em corrente contínua. Necessitam, portanto, de um equipamento (*driver*) para serem inseridos na rede elétrica residencial. Sem descarga elétrica, consomem menos de 1 W de potência e têm longa vida útil. Funcionando sem reator, não apresentam ruídos incômodos, não aquecem o ambiente, nem produzem o efeito estroboscópico, se comparados com outras lâmpadas.

Atualmente são encontrados em sinais luminosos, lanternas traseiras de automóveis (*brake-light*) e vários dispositivos de iluminação e marcadores luminosos. Já são encontradas lâmpadas residenciais de LED's, porém de custo ainda elevado. Parecem promissores os avanços tecnológicos para popularização dos LED's e acreditamos que eles vão se tornar em breve uma solução mais moderna para projetos de iluminação.

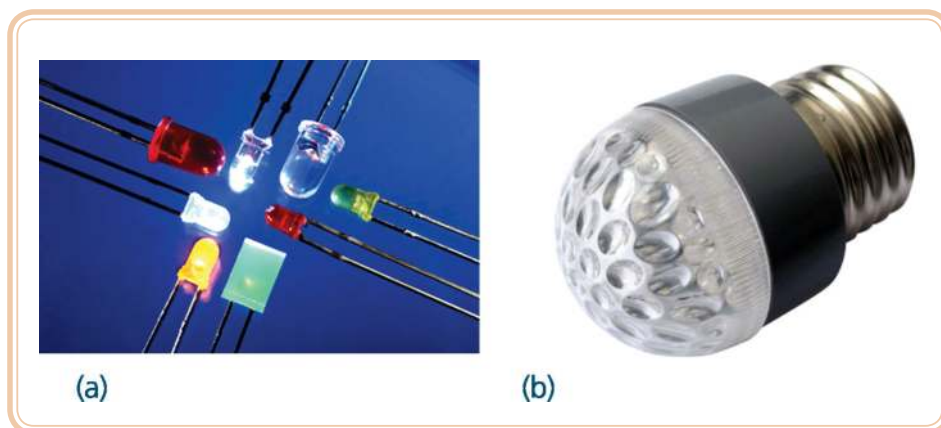


Figura 2.5: (a) LED's e (b) lâmpada de LED's

Fonte: (a) <http://static.infoescola.com/wp-content/uploads/2011/03/leds.jpg>

(b) http://4.bp.blogspot.com/_QTQFtWsbmY/TLw8kijvqal/AAAAAABnw/-FWtptcwP2s/s1600/1-bombilla-de-leds.jpg

Resumo

As lâmpadas são fontes luminosas cujas características são o fluxo luminoso, o índice de reprodução de cor e a temperatura de cor. Essas grandezas identificarão lâmpadas que nos permitirão escolha em nosso projeto elétrico.

Com elas e a escolha adequada de reatores e calhas, poderemos compor sistemas de iluminação eficiente e arquitetônico.

Atividades de aprendizagem



1. Marque (F) se falso ou (V) se verdadeiro.

- () A desvantagem atual das lâmpadas incandescentes é seu elevado consumo de energia para converter em iluminação apenas 20% do que consomem.
- () As lâmpadas fluorescentes compactas são atualmente substituição temporária das incandescentes.
- () Um inconveniente das lâmpadas fluorescentes é o uso de mercúrio na sua fabricação o que recomenda descarte em lixos especializados, quando não são mais passíveis de uso.
- () Os reatores são equipamentos para lâmpadas de descargas que limitam a corrente elétrica e mantêm a estabilização da descarga dentro do tubo.

2. O tipo de lâmpada mais indicado para uma área de serviço é:

- a)** Incandescente
- b)** Fluorescente
- c)** LED
- d)** Qualquer uma das anteriores

3. Complete as frases.

- a)** Quanto maior a tensão na rede, _____ os lúmens emitidos pelas lâmpadas, podendo inclusive, queimá-la.
- b)** Ambientes como dormitórios, requerem lâmpadas _____, enquanto ambientes de trabalho, lâmpadas _____.

Aula 3 – Projeto elétrico: a concepção

Objetivos

Entender o sistema de entrada de energia em residências.

Compreender as partes de um projeto elétrico com iluminação fluorescente.

Acompanhar a elaboração de um projeto elétrico.

3.1 Instalação elétrica

Instalação elétrica é uma associação de componentes, coordenados entre si, para fornecer luz, calor, movimento ou transmissão de sinais. Esses componentes são as linhas elétricas e os equipamentos.

- **Linhas elétricas** – condutores (fios e cabos); elementos de fixação (abraceadeiras, eletrodutos).
- **Equipamentos** – alimentadores da instalação (gerador, transformador); de comando e proteção (disjuntor, interruptor); utilizadores da instalação (geladeira, TV, chuveiro, lâmpada, etc.).

A instalação elétrica que pretendemos projetar conterá as linhas elétricas e os equipamentos de comando e proteção. A alimentação dessa instalação caberá à concessionária de energia elétrica que ligará a instalação de nossa residência aos fios disponibilizados nos postes da rede elétrica pública.

Observando a rede elétrica de sua rua, você verá na parte superior dos postes, três fios (fases) dispostos horizontalmente. É a rede primária ou rede de alta tensão (13800 V); nem sempre disponível em todo posteamento de rua. Observando ainda os mesmos postes, verá quatro fios um pouco mais abaixo dispostos em posição vertical. É a rede secundária (127/220 V) ou (220/380 V), em baixa tensão, que é distribuída às residências. Esses fios são os três fios fases e o fio neutro. Observe que são entregues às residências, no mínimo dois deles, onde um é sempre o fio neutro.

O equipamento que se observa em alguns postes e que faz a ligação da rede de alta tensão com a rede de baixa tensão é o transformador, responsável por baixar a tensão aos valores de uso nas residências e estabelecimentos.



Figura 3.1: Redes de alta tensão, de baixa tensão e o transformador

Fonte: autor

3.2 Fornecimento de energia nas edificações

Quem fornece energia às edificações é a concessionária, disponibilizando tensão elétrica através de ligações que podem ser classificadas, basicamente, como:

- **Provisórias** – ligações que serão substituídas posteriormente por ligações definitivas. São ligações para obras que estão em fase inicial de construção.
- **Definitivas** – ligações de caráter permanente. Podem ser em tensão secundária (residencial) ou tensão primária (industrial/residencial, predial/comercial).

Para se obter ligação definitiva, é necessário conhecer os regulamentos das concessionárias antes da execução dos serviços, pois, se em desacordo com suas prescrições normativas, elas podem não atender ao pedido de ligação.

A ligação se dará por um ramal de ligação que compreende, basicamente, duas partes: uma externa, nos limites públicos (da rede na rua, até a entrada da propriedade); outra interna, nos limites privados, (dentro da propriedade, até o equipamento de medição). Ambas podem ser aéreas ou subterrâneas em função da estética ou conveniência da edificação ou da rede.

Na Figura 3.2 observa-se um padrão trifásico no poste particular da residência da esquerda (três fases e o neutro) onde os fios no ramal de ligação estão trançados no seu suporte.

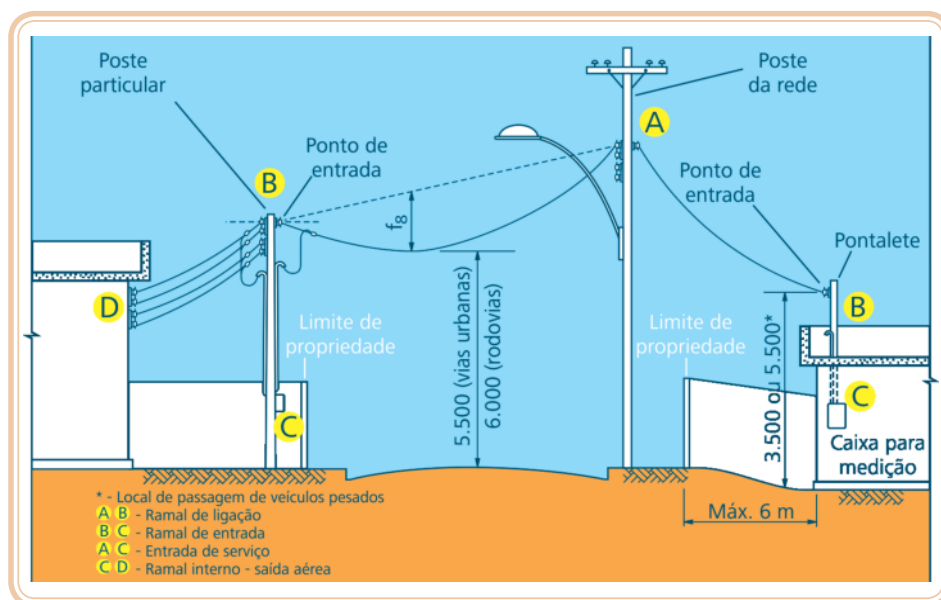


Figura 3.2: Alturas mínimas do ramal de ligação ao solo

Fonte: CTISM, adaptado de CEMIG/ND-5.1, 2009, p. 8-1

Padrão – conjunto de componentes (quadro, pontalete, isolador, roldana, haste de aterramento, disjuntor, etc.) estrategicamente montados, onde a concessionária instala o potenciômetro (aparelho medidor – relógio que acusará a energia consumida através do produto tensão $\times$ corrente elétrica $\times$ tempo), efetivando a ligação da rede elétrica pública com a residência. Na Figura 3.2 corresponde a B-C (ramal de entrada).



Toda concessionária classifica as ligações definindo tipos em função da carga instalada, da demanda e do tipo de rede local onde estiver situada a unidade consumidora.

Apresentamos o Quadro 3.1, parte da ND-5.1/2009 (Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG), que traz interesse didático imediato para os conteúdos abordados neste caderno didático.



Para saber mais sobre a CEMIG, acesse:
<http://www.cemig.com.br>

Quadro 3.1: Dimensionamento para unidades urbanas/rurais atendidas por redes secundárias trifásicas (127/220 V) com ligações a dois ou três fios

Tipo	Faixa	Padrão	Potência instalada (kW)
A	A – 1	Monofásico (1 F + 1 N)	Até 5
	A – 2		De 5 a 10
B	-	Bifásico (2 F + 1 N)	De 10 a 15
C	C – 1	Trifásico (3 F + 1 N)	Até 15
	C – 2		De 15 a 23
	C – 3		De 23 a 27
	C – 4		De 27 a 38
	C – 5		De 38 a 47
	C – 6		De 47 a 57
	C – 7		De 57 a 66
	C – 8		De 66 a 75

Fonte: Adaptado de CEMIG, ND-5.1/2009, p 7-2 e 7-3

3.3 O projeto elétrico

Projetar a instalação elétrica numa edificação consiste em:

- Determinar as quantidades necessárias de lâmpadas e tomadas e suas localizações.
- Criar e dimensionar os circuitos elétricos com suas respectivas fiações, lâmpadas e tomadas.
- Definir o tipo e a localização dos dispositivos de proteção (disjuntores), e comando (interruptores), bem como os demais acessórios (quadro de distribuição e medição de energia).

3.3.1 Partes componentes de um projeto elétrico

- **Memória de cálculo** – parte escrita que contém os parâmetros do projeto: cargas, correntes, tensões de trabalho, fatores de demanda e de proteção e as normas técnicas observadas.
- **Conjunto de plantas** – pranchas de desenho em escalas e formatos adequados onde se apresentam em planta baixa arquitetônica, por simbologia convencionada, a localização das lâmpadas e seus comandos, as tomadas com as respectivas cargas, a fiação com os circuitos a que pertencem e os dispositivos de proteção. Compõem ainda as pranchas, o quadro de cargas, os diagramas de fases e geral, a legenda e o selo (carimbo) e detalhes de montagem, caso necessário.

- **Especificações e orçamento** – lista dos materiais especificados e orçados a serem utilizados.

Na elaboração de um projeto elétrico deve o projetista se preocupar com:

- Utilização da instalação por crianças e deficientes.
- Prevenção de reserva de cargas para eventuais pequenas alterações futuras.
- Observação às normas técnicas.
- Custo compatível, com criatividade, beleza e, sobretudo, bom senso.

- a) Projetos especiais devem ser elaborados à parte e têm sido necessários em obras de médio porte, mesmo as residenciais. É o caso de telefonia, som, alarme, antena de TV, etc. Devem ser estudados com critérios e montados em tubulações próprias, quando for o caso.
- b) A elaboração de um projeto elétrico contribuirá plenamente no conforto e segurança do morador. Excelente custo/benefício trará esse projeto, juntamente com os demais projetos necessários a uma edificação, sem que se elevem o custo.



3.3.2 Passos para a elaboração de um projeto elétrico

Montaremos nosso projeto elétrico executando, passo a passo as seguintes etapas:

- a) Planta baixa – apropriação do projeto arquitetônico com cortes e detalhes construtivos.
- b) Objetivos – compreensão da finalidade do projeto, disponibilidade econômica do construtor, exigências da concessionária.
- c) Determinação da potência a instalar – definição do tipo de padrão.
- d) Marcação dos **pontos** – localização das lâmpadas, interruptores e tomadas. Posicionamento do Quadro de Distribuição (QD) e do Quadro de Medição (QM – relógio).

A-Z

pontos

Termo empregado para designar aparelho fixo de consumo, centro de luz, tomada, arandela, interruptor, botão de campainha, etc. Pode ser útil (lâmpada e tomada) ou de comando (interruptor, disjuntor).

- e) Criação dos circuitos – divisão da potência instalada em circuitos. Distribuição dos eletrodutos e construção do quadro de circuitos.
- f) Dimensionamento dos circuitos – determinação da fiação, dos elementos de proteção e dos eletrodutos.
- g) Elaboração do quadro de cargas e montagem dos diagramas.
- h) Apresentação da planta completa.
- i) Materiais – especificações e orçamento.
- j) Elaboração do manual do proprietário.

Resumo

Nesta aula você viu que uma instalação elétrica é composta por linhas elétricas cuja função é disponibilizar energia aos equipamentos elétricos para que eles nos forneçam, em síntese, luz, calor e movimento. É a concessionária que faz a introdução do elemento principal na sua instalação elétrica, a tensão (ddp), posta no padrão de energia.

O projeto elétrico é a documentação escrita e organizada que possibilita a montagem da instalação elétrica, com segurança, conforto e economia.



Atividades de aprendizagem

1. Faça a planta baixa arquitetônica de uma residência com área entre 90 e 130 m², para nela desenvolver seu projeto elétrico. Não é necessário ser de dois pavimentos.

Aula 4 – Nosso projeto elétrico

Objetivos

Estabelecer parâmetros para cálculo de projeto elétrico residencial com iluminação fluorescente.

Distribuir lâmpadas e tomadas pela planta baixa.

Criar os circuitos de um projeto elétrico residencial.

4.1 Planta baixa

Nº de pavimentos – 1

Área construída – 110 m² (PE – 1)

Custos estimativos:

- Cálculo – de 0,5 a 1,5%, do valor da edificação.
- Material elétrico – de 3,0 a 5,0% do valor da edificação.
- Mão de obra para execução – de 2,0 a 3,0% do valor da edificação.

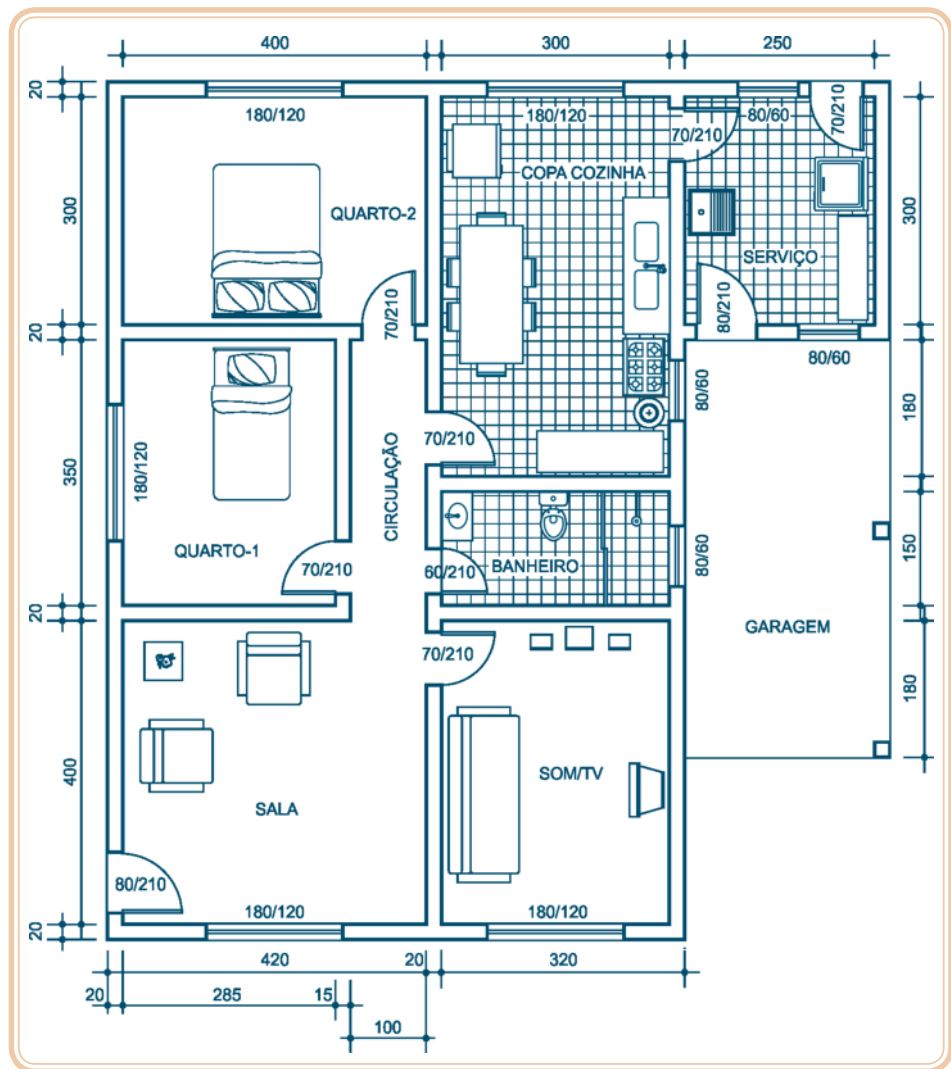


Figura 4.1: PE – 1 – planta baixa arquitetônica

Fonte: CTISM, adaptado do autor

4.2 Objetivos

De posse da planta baixa, procura-se compreender a expectativa e o nível de exigência do proprietário e/ou usuários, além da funcionabilidade da própria instalação.

É necessário conhecer o grau de compatibilidade com a rede pública e as normas da concessionária no que diz respeito à distribuição de energia elétrica e aos detalhes de instalação, porque pode não haver possibilidade de ligação de padrão trifásico, por exemplo.

Nessa hora é importante compreender e prever futuras instalações para novos e modernos equipamentos e circuitos, como TV a cabo, rede de computador,

telefone, entre outros, cujo planejamento deve ser feito de acordo com o projeto elétrico, embora, muitas vezes, feito à parte.

Procedimentos como “deixar espaço” para disjuntores no quadro de distribuição de energia e eletrodutos de reserva, evitam futuros incômodos em expansões, sem que isso leve ao aumento no custo da instalação. Uma “arrumação” posterior, além de não ficar bem feita, comprometerá um trabalho sério e criterioso anteriormente desenvolvido.

- a) Para obras novas principalmente, não se deve desprezar a possibilidade de construir rede de água quente para chuveiros e/ou pias por aquecimento solar. Ainda que o orçamento possa elevar o custo no momento, no futuro, haverá benefícios com esse sistema, tanto financeira como ecologicamente.
- b) Outras formas de aquecimento de água, como o uso de aquecedores a gás, por exemplo, devem ser avaliadas juntamente com o proprietário, pois essa possibilidade pode se tornar mais vantajosa que o aquecimento elétrico.



4.3 Determinação da potência a instalar

Determinar a potência elétrica a ser instalada numa edificação consiste em calcular a soma das potências das lâmpadas e tomadas necessárias aos diversos cômodos. Isso equivale a determinar as cargas nos pontos úteis de utilização de energia elétrica. Essas cargas são classificadas em cargas de iluminação e cargas de tomadas.

Iniciaremos o levantamento da potência a ser instalada, montando o quadro de potência que está dividido em duas partes: Quadro 4.1 (iluminação) e Quadro 4.5 (tomadas).

4.3.1 Determinação das cargas de iluminação

Acompanhe o preenchimento de cada uma das oito colunas do Quadro 4.1 com tantas linhas quanto o número de cômodos a iluminar.

Quadro 4.1: Levantamento das cargas de iluminação

1	2	3	4	5	6	7	8
Cômodos	Área (m²)	NBR 5413 E (lux)	Φ (lúmens)	Qtd. de lâmpadas	Carga nas lâmpadas (VA)	NBR 5410 (mínimos)	Carga de iluminação (VA)
Sala	16,0	300	4800	2 × 36	111	220	220
Som/TV	12,0	200	2400	1 × 36	55	160	160
QT-1	10,0	200	2000	1 × 36	55	160	160
QT-2	12,0	200	2400	1 × 36	55	160	160
Circulação	3,5	200	700	1 × 18	28	100	100
Banheiro	4,5	350	1575	1 × 36 1 × 18	83	100	100
Garagem	13,8	200	2760	2 × 36	111	160	160
Copa/ cozinha	15,0	400	6000	3 × 36 1 × 18	194	220	220
Serviço	7,5	300	2250	1 × 36	55	100	100
Externo	-	-	-	7 × 100	700	-	700
						Total	2080

Fonte: autor

Coluna 1 – nome dos cômodos a serem iluminados.

Coluna 2 – área dos cômodos em m² obtida na planta baixa.

Coluna 3 – iluminamento adotado. (Conforme opção do projetista e recomendação da ABNT/NBR-5413/92).

A ABNT/NBR-5413/92 detalha, conforme o apresentado no Quadro 4.2, valores de iluminamentos (E, em lux) para ambientes específicos. Tem a vantagem de um cálculo de iluminação funcional de acordo com a utilização do ambiente.

Para a iluminação de interiores residenciais, a referência inicial é o nível médio para a maioria dos casos.



- a)** O valor de máximo iluminamento será utilizado quando a tarefa se apresentar com refletâncias e contrastes baixos. O trabalho visual é crítico, e os erros são de difícil correção. Alta produtividade ou precisão são de grande importância. A capacidade visual do observador está abaixo da média. O valor de mínimo iluminamento, quando as refletâncias ou contrastes são relativamente altos, velocidades e/ou precisão da tarefa não são importantes. A tarefa é executada ocasionalmente.

- b)** Como exemplo de precisão, pode-se comparar a leitura simples de um jornal com a leitura de uma receita médica; a primeira sem importância; a segunda crítica. Refletâncias dizem respeito à cor das paredes e pisos. Se claras, apresentam refletâncias altas; se escuras, refletâncias baixas que exigem iluminamentos mais altos.
- c)** Lembre-se que com o tempo as lâmpadas fluorescentes perdem seu poder de emissão de lúmens e que os reatores apresentam, na maioria dos casos, $ffl < 1,00$ o que quer dizer menor iluminamento. Também a possibilidade de uso de luminária com protetor de acrílico ou de iluminação indireta vai requerer um valor de iluminamento para cálculo de 20 a 50% maior. Portanto, pode ser bom trabalhar com um valor ligeiramente acima dos valores médios dados na tabela para o cálculo no projeto, sem deixar de observar que alguns dos valores apresentados na coluna “máximo”, são relativamente altos.
- d)** Como não há estabelecimento normativo sobre iluminação de ambientes externos em residências, a definição caberá ao projetista e ao cliente. Lembre-se de que o bom senso sempre deve estar presente.

Quadro 4.2: iluminamento (E - lux)

Ambientes residenciais		Mínimo	Médio	Máximo
Sala de estar	Geral	100	150	200
	Local (leitura, escrita, bordado)	300	500	750
Cozinha	Geral	100	150	200
	Local (fogão, pia, mesa)	200	300	500
Quartos	Geral	100	150	200
	Local (penteadeira, cama)	200	300	500
Hall, escada, dispensa, garagem	Geral	75	100	150
	Local	200	300	500
Banheiro	Geral	100	150	200
	Local (espelhos)	200	300	500

Fonte: ABNT/NBR-5413/92

Coluna 4 – cálculo do fluxo luminoso necessário (coluna 2 × coluna 3).

O fluxo luminoso para cada ambiente será obtido, conforme o item 2.1.2, pelo produto do iluminamento adotado e pela área deste ambiente.

Coluna 5 – definição do número (quantidade) de lâmpadas necessárias.

Nesta coluna definiremos as lâmpadas que serão usadas em cada ambiente e suas quantidades.



A escolha das lâmpadas será feita nos catálogos dos fabricantes analisando o fluxo luminoso por ela emitido, sua TCC e seu IRC.

Para iluminação dos cômodos de uma residência, uma boa indicação pode ser a escolha de lâmpadas fluorescentes de TCC entre 4000 e 5000 K, (luz neutra) e IRC acima de 85%. Também podem dar melhor efeito decorativo as lâmpadas tubulares de menores diâmetros (< 33 mm), observando sempre que as luminárias, além de embelezar o ambiente, são responsáveis pelo melhor aproveitamento do fluxo luminoso emitido.

Para o nosso projeto, partamos das opções apresentadas no Quadro 4.3, obtidas nos catálogos dos fabricantes, entre muitas outras existentes no mercado.

Quadro 4.3: Quadro resultante de pesquisa em catálogos de produtos de um fornecedor

Lâmpada	P (W)	(lm)	TCC (K)	IRC (%)	Observações
1	18	1100	4100	95	(T-8; comprimento 60 cm)
2	36	2500	4100	95	(T-8; comprimento 120 cm)
3	20	1250	3800	66	(T-10; comprimento 60 cm)
4	40	2450	3800	66	(T-10; comprimento 120 cm)

Fonte: autor

Como vimos no subitem a) do item 2.2.2, em toda iluminação fluorescente, há que se considerar o fator de potência (ϕ) do reator.



O fator de potência dos equipamentos é sempre fornecido pelo fabricante, direta ou indiretamente, informando o valor da corrente absorvida na rede elétrica.

Não se sabendo o valor do fator de potência ϕ do sistema, podemos adotar valores entre 0,60 a 0,80 que minimizarão erros possíveis. Quanto mais baixo o valor de ϕ , pior o sistema, o que exigirá a instalação de uma fiação mais grossa para o circuito.

Selecionamos para nosso projeto, do Quadro 4.3, as seguintes lâmpadas e seus respectivos reatores cujos fatores de potência adotamos.

Interior

- Lâmpada fluorescente 2 + reator: $P = 36 \text{ W}$; $\varphi = 0,65$ (adotado).
- Lâmpada fluorescente 1 + reator: $P = 18 \text{ W}$; $\varphi = 0,65$ (adotado).

Exterior

- Lâmpadas incandescentes: $P = 100 \text{ W}$; $\varphi = 1,00$.

Colocaremos em cada ambiente, o número de lâmpadas que cubra os lúmens necessários, observando a estética e ou possibilidade de iluminação parcial do ambiente. Assim, para a sala, precisaremos de duas lâmpadas (2500 lm) para atender aos 4800 lm que consideramos necessários.

Não escolhemos as lâmpadas 3 e 4 por considerá-las com baixo IRC.



Coluna 6 – carga no ponto de iluminação.

A carga (potência) que desejamos conhecer é a potência aparente, dada em volt.ampère que vale a razão entre a potência ativa, dada em watt, pelo fator de potência (φ) do equipamento.

Equação 4.1

$$P(\text{VA}) = \frac{P(\text{W})}{\varphi}$$

Para a sala, temos:

$$\begin{aligned} \text{Carga} = P(\text{VA}) &= \frac{P(\text{W})}{\varphi} \\ 2 \times \frac{36}{0,65} &= 2 \times 55,4 = 111 \text{ VA} \end{aligned}$$

E, de modo análogo para os demais ambientes, preenchemos a coluna 6.

Coluna 7 – critérios mínimos de carga de iluminação para cálculos de fiação em locais de habitação (ABNT/NBR-5410/04).

- a) Para cômodos com área $\leq 6 \text{ m}^2$ deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA.
- b) Para cômodos com área $> 6 \text{ m}^2$ a carga mínima prevista será de 100 VA para os primeiros 6 m^2 , acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 , inteiro.

Assim para a nossa sala de 16 m²:

Primeiros 6 m²: 100 VA

Restantes: (4 + 4 + 2): 60 + 60 + 0 = 120 VA

Total: 220 VA

E analogamente para os demais cômodos.



Os valores apurados nesta coluna 7 correspondem apenas à determinação da potência mínima de iluminação **para efeito de cálculo da fiação** do circuito no cômodo. Não é, necessariamente, a potência nominal das lâmpadas que serão instaladas nesse ambiente.

Coluna 8 – cargas de iluminação (para cálculo).

Se a potência de iluminação da lâmpada escolhida para o ambiente for inferior ao mínimo normativo recomendado deverá ser substituída por este, para efeito de cálculo da fiação do circuito. A coluna 8 conterá o maior valor entre as colunas 6 e 7.

4.3.2 Determinação das cargas nas tomadas

As tomadas são classificadas como Tomadas de Uso Geral (TUG) e Tomada de Uso Específico (TUE), ambas iguais (Figura 4.2); diferem apenas no projeto elétrico pelo valor da potência que lhes é atribuída.



A-Z

plugue

Dispositivo elétrico com contatos ligados ou destinados a serem ligados permanentemente a condutores e que, se introduz ou retira de uma tomada para alimentar ou desligar um equipamento de utilização de energia elétrica.

Figura 4.2: Tomada e plugue

Fonte: <http://www.blogdomenorpreco.com.br/wp-content/uploads/2010/08/novo-padr%C3%A3o-tomadas-Brasil1.jpg>

As TUGs são as tomadas distribuídas aleatoriamente pela edificação e destinadas a atender a grande maioria dos aparelhos elétricos/eletrônicos domésticos que, além de possuírem menores cargas, são portáteis. A essas tomadas são atribuídos valores de potência de 100 VA ou de 600 VA.



As TUEs são tomadas específicas para equipamentos que, além de possuírem maiores cargas (geralmente acima de 1500 VA), estão mais locados numa parte da edificação. São eles: chuveiro, máquina de lavar louça/roupa, condicionador de ar, bombas hidráulicas entre outros. Estes necessitam de ligações exclusivas. A carga a considerar nessa tomada é a potência nominal do equipamento fornecida pelo fabricante ou a potência que ele absorve na rede elétrica, calculada a partir da sua tensão de funcionamento, da corrente elétrica e do seu fator de potência.

O Quadro 4.4 apresenta valores de potências de alguns equipamentos elétricos usuais em residências.

Quadro 4.4: Potências típicas de alguns aparelhos eletrodomésticos

Aparelho	Potências nominais (VA)	Aparelho	Potências nominais (VA)
Aparelho de som/DVD	40 a 60	Ferro de passar roupa	800 a 1300
Aspirador de pó	600 a 1300	Geladeira/freezer	300 a 800
Batedeiras e processadores	200 a 600	Forno (micro-ondas ou de resistência)	800 a 1500
Cafeteira	500 a 1000	Grill/torradeira	800 a 1500
Chuveiro	3500 a 6500	Lavador pratos/roupas	800 a 1500
Cortador de grama	800 a 1300	Computador + impressora	150 a 250
Ebulidor	800 a 1300	Secador de cabelos	800 a 1300
Enceradeira/ventilador	200 a 350	Secadora de roupas	1000 a 1300
Exaustor de ar	200 a 350	Televisor de 14" a 42"	60 a 350

Fonte: autor

O Quadro 4.4 de potências típicas dos equipamentos, apresentado, é para você conhecer a potência deles e não para anexar essa potência à tomada. Uma vez previsto na residência um montante maior desses equipamentos (TV's, torradeira, secadora, micro-ondas) e outros de uso já consagrado, aconselha-se a aumentar o número de TUGs de 600 VA, de modo a aumentar a potência instalada. Mas chuveiros, bombas hidráulicas e condicionador de ar, constituirão TUEs e terão circuitos exclusivos.



Segundo a ABNT/NBR-5410/04, devemos estabelecer como mínimos recomendados para TUG:



- Para varanda, garagem, circulação, sótão ou subsolo e cômodos com área menor que 6 m²: uma tomada de 100 VA.
- Para salas e dormitórios: uma tomada de 100 VA para cada 5 m (ou fração) de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.
- Para cozinhas, copas e áreas de serviços: uma tomada a cada 3,5 m (ou fração) de perímetro. Para as três primeiras tomadas serão atribuídos valores de 600 VA e para as demais, se existirem, 100 VA.
- Para banheiro, lavabo: uma tomada de 600 VA junto ao lavatório.



- a) Convém que as tomadas de copa, cozinha e áreas de serviço sejam do tipo 20 A. Estas têm orifícios ligeiramente mais grossos que recebem tanto seus respectivos plugues como os plugues de tomadas de 10 A. As tomadas de 10 A só recebem os plugues de 10 A.
- b) Na possibilidade de uma tomada ligar mais de um equipamento, disponha no ambiente um número adequado de tomadas, evitando a utilização de derivação em “Te” que, além de incômodo, é antiestético e perigoso. Praticamente não existe custo adicional significativo quando se distribuem tomadas com relativa abundância, se considerarmos o conforto, a comodidade e a segurança do usuário.

Completando o levantamento da potência a instalar com as apropriações que julgamos convenientes para as cargas nas tomadas, teremos no Quadro 4.5:

Coluna 9 – medida do perímetro dos cômodos (obtido na planta baixa).

Coluna 10 – quantidade de tomadas em função dos números mínimos recomendados por perímetro, anteriormente descritos.

Coluna 11 – definição das TUEs e TUGs.

Coluna 12 – cálculo das cargas nas tomadas (soma das potências de TUG e TUE).

Coluna 13 – total geral. Soma das cargas de iluminação e tomadas (coluna 8 + coluna 12).

Quadro 4.5: Levantamento das cargas nas tomadas (e carga total)						
1	9	10	11		12	13
Cômodos	Perímetro (m)	Quantidade de tomadas	Tomadas		Carga nas tomadas (VA)	Total geral (VA)
			TUG	TUE		
Sala	16,0	+ de 3	4 × 100	-	400	620
Som/TV	14,0	+ de 2	4 × 100	-	400	560
QT-1	12,7	+ de 2	4 × 100	-	400	560
QT-2	14,0	+ de 2	4 × 100	-	400	560
Circulação	-	Pelo -1	1 × 100	-	100	200
Banheiro	-	Pelo -1	1 × 600	1 × 5500	6100	6200
Garagem	-	Pelo -1	1 × 100	-	100	260
Copa/cozinha	16,0	+ de 4	3 × 600	-	2000	2220
			2 × 100			
Serviço	11,0	+ de 3	3 × 600	-	1900	2000
			1 × 100			
Externo	-	-	-	-	-	700
Total			6300	5500	11800	13880

Fonte: autor

A potência cuja unidade é dada em VA é a potência aparente. Para a definição da carga no padrão e sua determinação, a CEMIG apresenta no Quadro 3.1 a potência ativa cuja unidade é dada em W. A transformação é obtida pela aplicação do coeficiente fator de potência (φ) na Equação 4.1 já apresentada.



Equação 4.2

$$P(W) = P(VA) \times \varphi$$

Para obtenção da potência aparente (de iluminação), o fator de potência que usamos foi de aplicação exclusiva na iluminação fluorescente (0,65). No total da instalação temos uma grande maioria de equipamentos residenciais que são motores de pequenas potências (< 1 HP), cuja influência no abaixamento do fator de potência não é muito significativa. Como o fator de potência é sempre um número abaixo da unidade, sua aplicação na expressão acima contribuirá na diminuição da carga instalada em VA. Adotando como fator de potência total de toda a instalação, por exemplo, 0,95 obteremos uma potência ativa de 13186 W.



Com o valor da carga instalada e em consulta à recomendação da concessionária, no nosso caso a CEMIG, temos, consultando o Quadro 3.1:

Quadro 4.6: Conclusão do levantamento da potência a instalar

Carga instalada	Padrão	Condutores de alimentação	Condutor de proteção
13880 VA	Bifásico	Fase 1/Fase 2/Neutro	Terra
13186 W			

Fonte: autor

4.4 Marcação dos pontos

4.4.1 Localização de lâmpadas e interruptores

Posicionaremos na planta arquitetônica, por símbolos convencionais, as lâmpadas e seus respectivos comandos, devendo ser previsto para cada cômodo pelo menos um ponto de luz fixo no teto comandado por um interruptor.

Nessa etapa destacamos a importância de colocar esses pontos de iluminação em posições adequadas. Além do ponto central no teto dos cômodos, outras posições podem ser igualmente importantes, como na cabeceira da cama, acima do fogão, acima do espelho do banheiro, arandelas pela sala e corredores, etc. Não desprezar os modernos interruptores como **sensores de presença**, nem mesmo os tradicionais **three-way** e **dimer**, que poderão ainda ser utilizados por longo tempo.

A Figura 4.3 traz somente os símbolos que utilizaremos em nosso projeto.

A-Z

sensor de presença

Dispositivo de comando a distância que detecta fontes de calor como pessoas e motores aquecidos, através de sensor infravermelho, acionando a carga (lâmpada) e desligando-a, após um tempo programado de ausência.

three-way

Interruptor composto de duas peças donde é possível o comando de uma ou mais lâmpadas.

dimer

Interruptor que permite variar a luminosidade de um ambiente.

Símbolo	Significado	Observações
	Interruptor de uma seção.	A letra minúscula indica o ponto de comando.
	Interruptor de duas seções.	
	Interruptor de três seções.	
	Interruptor paralelo ou three-way.	
	Botão de campainha na parede (ou comando a distância – sensor).	
	Arandela, ponto de luz na parede.	A letra minúscula indica o ponto de comando e o número o circuito correspondente. Indicar a quantidade de lâmpadas e a potência correspondente.
	Ponto de luz fluorescente no teto.	

Figura 4.3: Legenda 1 – iluminação

Fonte: CTISM, adaptado de ABNT/NBR-5444/89

Considerando os recursos gráficos disponíveis em muitos *softwares*, não representaremos as peças fixas (pia, tanque, lavatório, chuveiro) e nem o mobiliário, que poderão facilmente ser observadas na planta arquitetônica (Figura 4.1). Entendemos que isso pode facilitar a visualização.

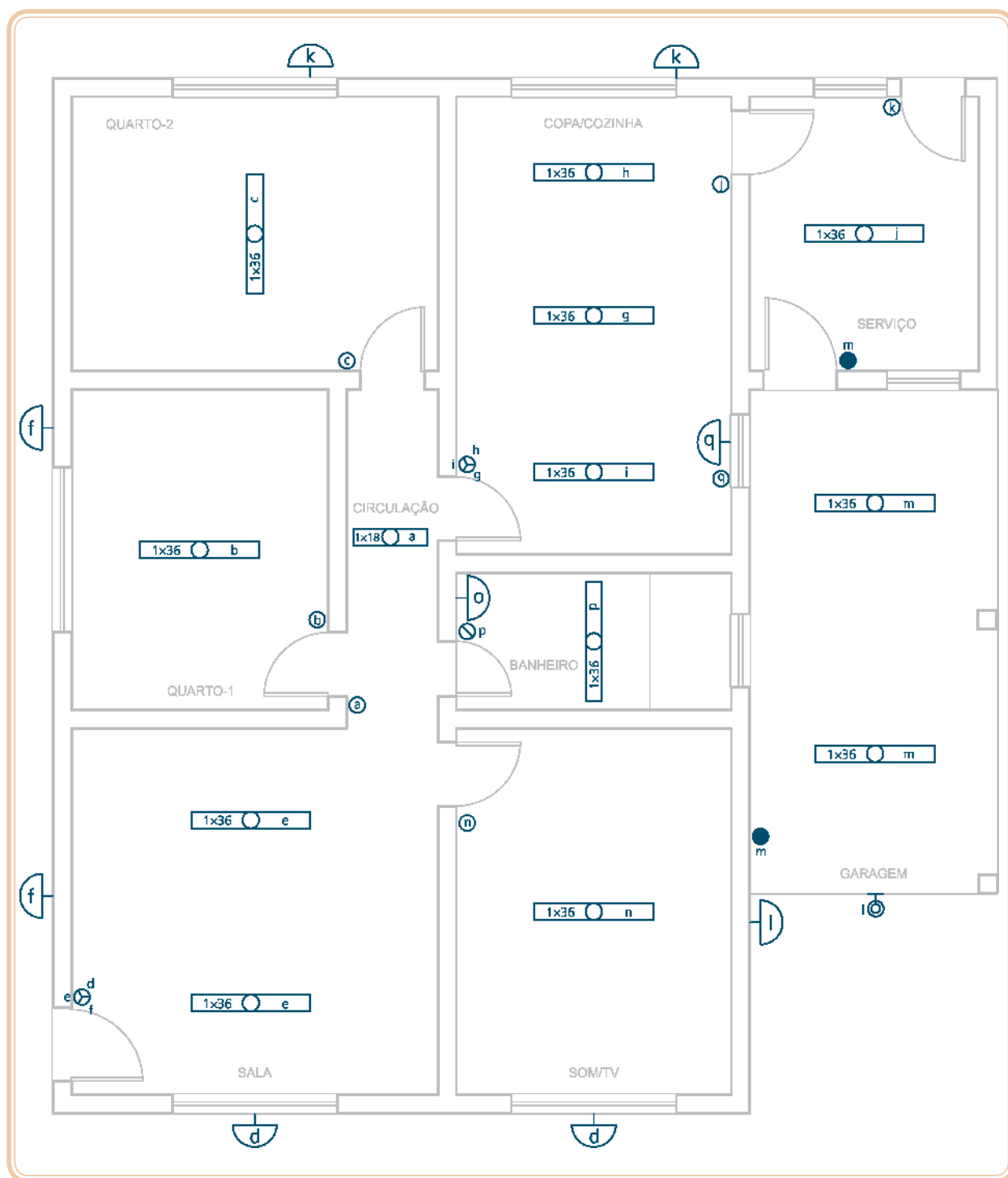


Figura 4.4: PE – 2 – iluminação interna e externa

Fonte: CTISM, adaptado do autor

4.4.2 Localização das tomadas e quadros de energia

Posicionaremos as tomadas à altura conveniente do piso, observando também sua distribuição conforme o espaçamento mínimo recomendado em cada cômodo. Posicionaremos, também segundo simbologia normatizada, o Quadro de Distribuição (QD) e o Quadro de Medição (QM) de energia que deverão ficar em pontos estratégicos e de fácil acesso.

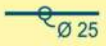
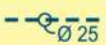
Símbolo	Significado	Observações
	Quadro geral de luz e força (embutido).	Indicar as cargas de luz em VA.
	Caixa para medidor.	
	Tomada baixa na parede (300 mm do piso).	A potência será indicada ao lado em VA, exceto se for de 100 VA. O número do circuito também será indicado.
	Tomada média na parede (1200 mm do piso).	
	Tomada alta na parede (2000 mm do piso).	
	Eletroduto embutido no teto ou parede.	Indicar o diâmetro nominal, se este não for de 16 mm.
	Eletroduto embutido no piso.	

Figura 4.5: Legenda 2 – quadros, tomadas e eletrodutos

Fonte: CTISM, adaptado de ABNT/NBR-5444/89

O quadro de medição que será parte integrante do padrão ficará na entrada da casa, em local de fácil acesso ao leiturista da concessionária. Nele será instalado pela concessionária, o relógio, que pode ser analógico ou digital (Figura 4.6).



Figura 4.6: Potenciômetro do quadro de medição – modelo digital

Fonte: http://energia.elster.com.br/pt/images_content/1076_Medidor-A1052_BCD-foco.JPG

O quadro de distribuição (Figura 4.7) ficará no interior da residência, em local discreto, desobstruído, na posição mais central possível das cargas (centro da construção), fora de banheiro e distante de pias e tanques. Deve possuir identificação do lado externo e identificação dos circuitos.



Figura 4.7: Quadro de distribuição com seus disjuntores

Fonte: http://www.sotelnet.com.br/site/montagens_lista.php?id=6

Nesse quadro serão instalados os disjuntores, equipamentos de segurança que serão estudados e detalhados na Aula 5 (5.1.3.3).

É recomendado um quadro de distribuição para cada 150 m² de área construída, ou um quadro por andar, ou ainda um para cada área separada (ou distinta) da edificação.

Posicionemos em nosso projeto o QD à entrada da copa/cozinha, à direita. Sendo um trabalho acadêmico e não tendo posicionamento de lote e rua, em princípio, consideraremos o QM próximo à entrada principal, na frente.



Para saber mais sobre Instalações elétricas – pontos, acesse:

http://www.youtube.com/watch?v=OH8hP09_Qx4

<http://www.youtube.com/watch?v=DkGOzFLI8Q&NR=1>



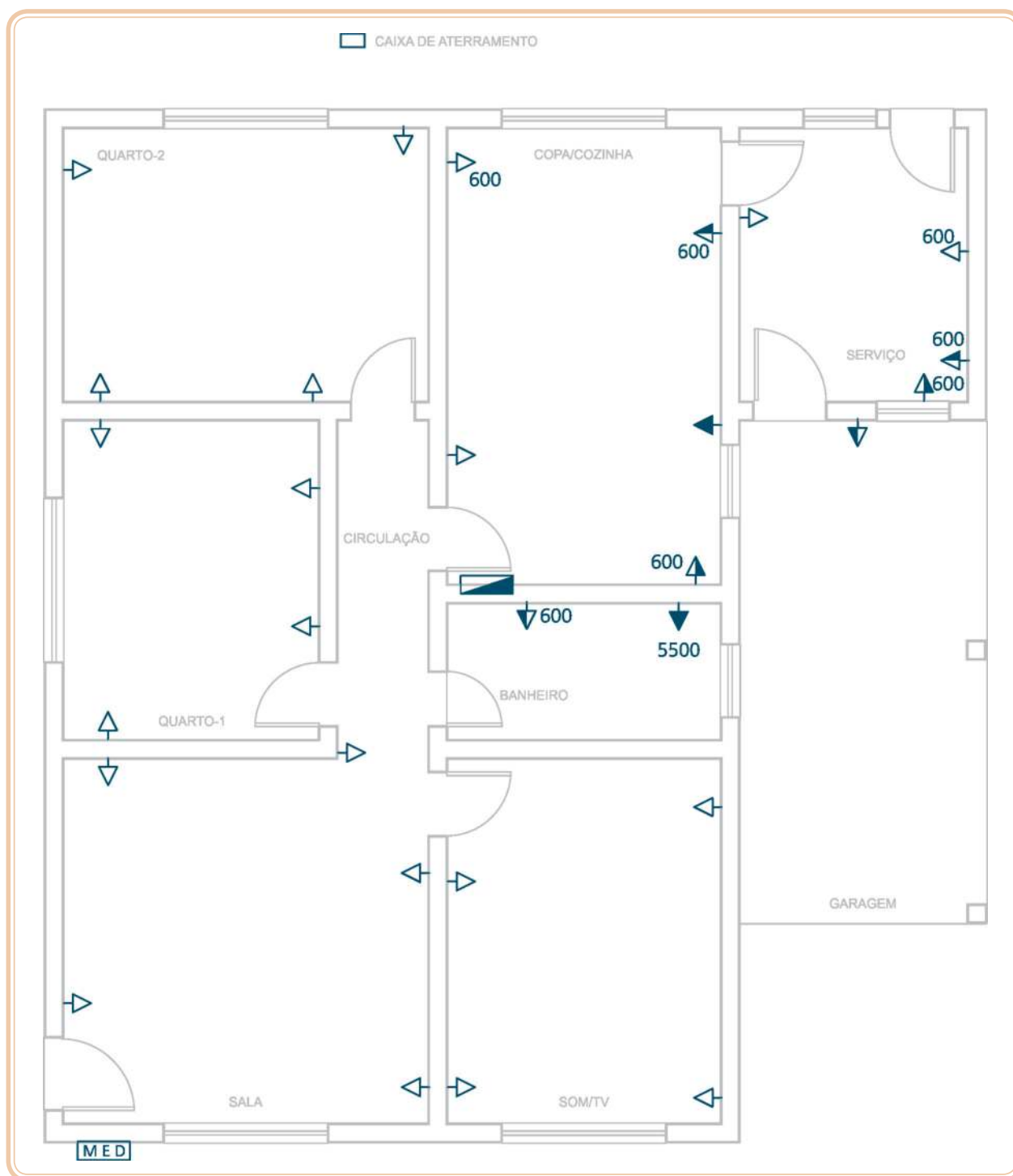


Figura 4.8: PE – 3 – tomadas e quadros

Fonte: CTISM, adaptado do autor

Naturalmente, ao fazer a distribuição das tomadas, você o fará na mesma planta onde já estão distribuídas as lâmpadas. Adotamos esse processo de apresentação exclusiva de tomadas, tão somente para sua melhor compreensão. Pelo menos, assim acreditamos.

4.5 Criação dos circuitos

Um circuito compreende um conjunto de tomadas e/ou lâmpadas, ligado ao mesmo par ou trio de condutores e ao mesmo dispositivo de proteção (disjuntor).

Numa instalação residencial distinguimos dois tipos de circuitos:

- Circuito de alimentação.
- Circuito de distribuição/terminal.

O circuito de alimentação é formado pelos condutores que, ligados à rede da concessionária, alimentam os circuitos do quadro de distribuição. É a fiação entre o QM e o QD.

O circuito de distribuição é formado pelos condutores que alimentam outros quadros. São ligações de um QD principal a outro QD. O circuito terminal é formado por condutores que se ligam diretamente às lâmpadas e tomadas, vindos de um quadro de distribuição.

A Figura 4.9 apresenta estes circuitos entre os quadros de distribuição de energia.

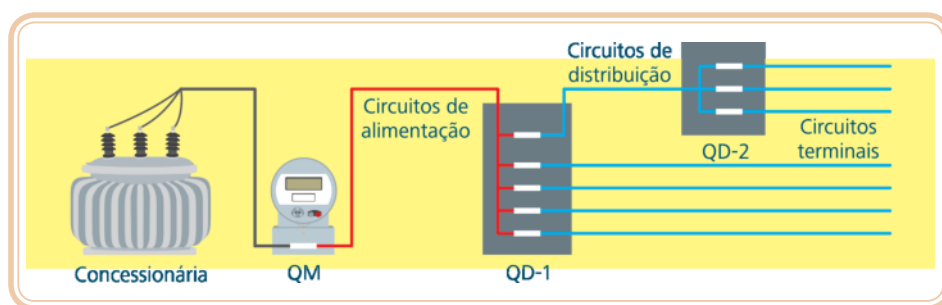


Figura 4.9: Circuitos de alimentação, de distribuição e circuitos terminais

Fonte: CTISM, adaptado do autor

Toda a instalação elétrica será dividida em um número adequado de circuitos (de distribuição ou terminais), o que facilita a sua construção, utilização e manutenção segura.

A norma recomenda que os circuitos terminais sejam individualizados em função dos equipamentos alimentados, dividindo a instalação em categorias. De um modo geral essas categorias são as seguintes:

- Circuitos de iluminação.
- Circuitos de tomadas (TUG).
- Circuitos para motores, chuveiros, condicionadores de ar (TUE).
- Circuitos auxiliares de sinalização, sonorização, vídeo, etc.



Porque nosso projeto tem apenas um quadro de distribuição, terá apenas circuitos de alimentação e circuitos terminais.

Criar circuitos é montar grupos de lâmpadas ou tomadas em regiões, ao redor do quadro de distribuição, fracionando a potência total instalada equilibradamente. Deve-se prever para cada circuito (região), potência não muito baixa, de maneira que o fio que o componha não fique superdimensionado, nem muito alta, o que criaria necessidade de fiação muito grossa.

4.5.1 Procedimentos para criação de circuitos terminais

- Quantidade de circuitos – uma indicação numérica de circuitos terminais para uma residência pode ser a de um circuito para cada 25 m² de área construída, mais os circuitos exclusivos (TUE). Por exemplo, uma casa de 180 m² pode ter, em princípio, sete circuitos e mais um para cada chuveiro (dois chuveiros), totalizando nove circuitos. Nosso projeto tendo 110 m² e um chuveiro poderá ter seis circuitos.
- Potência dos circuitos – para formar grupos de lâmpadas ou tomadas, podemos verificar, em primeira análise, pela Figura 4.10, a relação entre potência do circuito e a fiação usual em construções residenciais, para circuitos terminais, em função da tensão elétrica no próprio circuito.

Fiação(%) (mm ²)	Potência média (VA)		Representação sem escala
	127 V	220 V	
1,5	1500	3000	
2,5	2800	4800	
4,0	3800	6600	

Figura 4.10: Relação entre fiação e sua potência em função da tensão na rede

Fonte: CTISM, adaptado do autor

- Os circuitos de iluminação deverão estar separados dos circuitos de tomadas (TUG), e as TUE deverão ter circuitos individuais.
- Tomadas de copa, cozinha, áreas de serviço e locais análogos devem ser constituídas por circuitos exclusivos.

De posse desses procedimentos iniciaremos a criação dos circuitos, dividindo a potência total da instalação. Simultaneamente, construiremos o quadro de circuitos (Quadro 4.7) e lançaremos na planta baixa os eletrodutos de cada circuito, à medida que eles forem sendo criados (Figura 4.11; PE – 4).

Passo 1 – observando a planta onde estão marcadas as lâmpadas e tomadas, PE – (2 e 3), delimito uma região da edificação, verificando o número de pontos de consumo de energia e suas respectivas potências, procurando totalizar algo em torno das sugestões da Figura 4.10.

Passo 2 – após decisão, marco os valores das potências desses pontos no Quadro 4.7 (quadro de circuitos) e identifico, na planta baixa PE – 4 (Figura 4.11) os pontos de consumo de energia dessas lâmpadas e tomadas com a numeração que corresponderá ao circuito criado.

Passo 3 – lançamento de eletrodutos. Para lançar na planta baixa (PE – 4) os eletrodutos correspondentes ao circuito criado, traço-o, a partir do quadro de distribuição, subindo à lâmpada mais próxima e distribuindo para as demais, nessa região delimitada. De cada lâmpada, desço com o eletroduto para o seu respectivo interruptor. No caso de circuitos de tomadas não desprezar a possibilidade de trajeto pela parte baixa das paredes e/ou mesmo embutido pelo piso.

Nesta marcação dos eletrodutos, devemos:

- Procurar os caminhos mais curtos e evitar cruzamentos dos eletrodutos na estrutura da laje.

- Não colocar mais de cinco eletrodutos em cada caixa embutida no teto e mais de três nas caixas das paredes.
- Não deve haver trechos contínuos retilíneos maiores que 12 m. Em trechos com curvas, essa distância deve ser reduzida a 3 m para cada curva de 90°.
- Observar que por um mesmo eletroduto podem passar mais de um circuito, porém três, no máximo (6 a 7 fios), porque, além de dificultar a enfição, ocorrerão influências negativas das correntes elétricas induzidas num circuito por outros.
- Devem ser disponibilizadas tubulações vazias (tubo cego) interligando **caixas de passagem** que serviriam de suporte a algum circuito que tivesse, por alguma razão, um eletroduto obstruído. Não adotaremos este procedimento por considerar nosso projeto puramente acadêmico.

A-Z

caixa de passagem

Componente de ligação de eletrodutos e instalação de pontos úteis ou de comando.

Nela é fixada tomada, interruptor, arandela, para suporte de lustre e de lâmpada, ou nenhum deles, tendo como acabamento uma tampa cega.



Efetivados os três passos para a montagem do primeiro circuito, repete-se a operação, sucessivamente, até que se monte o último.

A criação de circuitos constitui uma tarefa técnica delicada, importante etapa na elaboração do projeto. Muitas vezes, fazem-se várias tentativas até se chegar a uma distribuição satisfatória de valores.

Quadro 4.7: Quadro de circuitos

1	14	15	16	17	18	19	20 = 13
Cômodos	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Circuito 4	Circuito 5	Circuito 6	TOTAL (VA)
Sala	220	-	-	-	-	4 × 100	620
Som/TV	-	160	-	-	-	4 × 100	560
QT-1	160	-	-	-	-	4 × 100	560
QT-2	160	-	-	-	-	4 × 100	560
Circulação	100	-	-	-	-	1 × 100	200
Banheiro	-	100	1 × 5500	1 × 600	-	-	6200
Garagem	-	160	-	-	1 × 100	-	260
Copa/ cozinha	-	220	-	3 × 600 2 × 100	-	-	2220
Serviço	-	100	-	1 × 100	3 × 600	-	2000
Externo	4 × 100	3 × 100	-	-	-	-	700
Total	1040	1040	5500	2700	1900	1700	13880

Fonte: autor

- **Circuito 1** – iluminação interna lateral direita, externa frontal e da lateral direita.
- **Circuito 2** – iluminação interna lateral esquerda e externa dos fundos.
- **Circuito 3** – chuveiro.
- **Circuito 4** – tomadas na copa/cozinha e banheiro.
- **Circuito 5** – tomadas na área de serviço e garagem.
- **Circuito 6** – tomadas nos quartos, sala e circulação.

4.5.2 Planta baixa com a marcação dos circuitos e seus eletrodutos

Podemos já marcar nessa planta o eletroduto dos circuitos de alimentação e também o eletroduto que abrigará o condutor de proteção (fio terra) da caixa de aterramento até o QD.



Resumo

Nesta aula apresentou-se a iniciação de um projeto elétrico. A partir da planta baixa arquitetônica, das concepções preliminares, das expectativas do proprietário e das possibilidades da concessionária, inicia-se o levantamento da carga (potência) a ser instalada, escolhendo lâmpadas e quantificando tomadas. Tudo baseado em normas técnicas.

Pela potência a ser instalada defini-se o padrão da edificação. Passa-se a distribuir lâmpadas e tomadas pela planta baixa utilizando-se de símbolos convencionados, dividindo-se toda a instalação em número adequado de circuitos. Monta-se o quadro de circuitos.

Atividades de aprendizagem

1. De posse da sua planta baixa, inicie a elaboração de um projeto elétrico como proprietário da edificação e imaginando que a concessionária tenha plenas condições de atender ao seu padrão de energia.





Aula 5 – Projeto elétrico: o dimensionamento dos circuitos e a conclusão do projeto

Objetivos

Dimensionar os circuitos de um projeto elétrico residencial.

Especificar materiais elétricos.

Orientar os moradores sobre o uso da instalação.

5.1 Dimensionamento dos circuitos

Os circuitos residenciais, conforme o item 4.5 (Figura 4.9), são os circuitos de alimentação, os circuitos de distribuição e os circuitos terminais. Nosso projeto contém seis circuitos terminais e dois circuitos de alimentação, ou seja, é alimentado por duas fases e um neutro (F1, F2 e N). Na Figura 5.1 representamos apenas os fios fases.

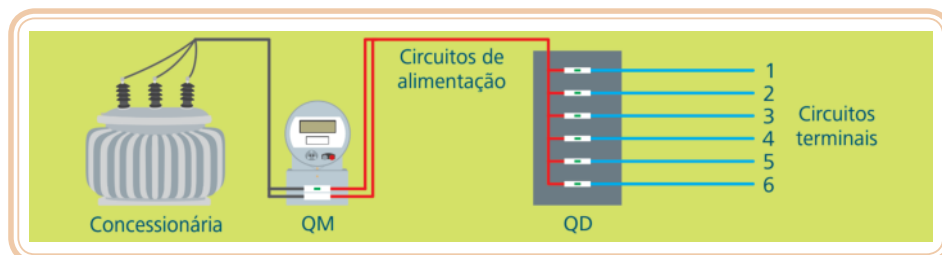


Figura 5.1: Nossos circuitos terminais “pendurados” nos circuitos de alimentação de um padrão bifásico

Fonte: CTISM

Dimensionar um circuito é aplicar as recomendações das normas técnicas na escolha da sua fiação, dos seus elementos de proteção e do eletroduto que o abrigará.

Vejamos a primeira parte do dimensionamento dos circuitos, que é o dimensionamento da fiação.

5.1.1 Dimensionamento da fiação dos circuitos terminais

Os circuitos terminais são os circuitos que partem do QD e vão ligar-se diretamente às tomadas e lâmpadas. Esses circuitos são alimentados pelas fases que chegam do quadro de medição. Embora possam chegar até três fases do

QM, nas residências, os circuitos terminais serão monofásicos, na maioria; ou bifásicos para chuveiros ou condicionadores de ar, como opções em padrões bifásicos e trifásicos.



- a) A maioria dos circuitos terminais de tomadas residenciais será monofásica (127 V), porque a quase totalidade dos equipamentos elétricos/eletrônicos, disponível no mercado, é construída para operar nesta tensão (pelo menos para a maioria das regiões brasileiras). Alguns equipamentos modernos são providos de dispositivos automáticos de seleção de voltagem, podendo ser plugados, indistintamente, em tomadas de 127 V ou de 220 V. Entretanto, a maior parte dos equipamentos opera, exclusivamente, em rede de 127 V ou de 220 V. (Confira sempre nas instruções do fabricante). Para o chuveiro pode ser vantajoso criar circuito de 220 V.
- b) Circuito de 220 V deve ser ostensivamente informado porque um equipamento que só opera em rede de 127 V, nele plugado, poderá ser danificado imediatamente.
- c) As tensões secundárias para entrega aos consumidores pelas concessionárias distribuidoras de energia elétrica são reguladas pelo Decreto nº 97280 de 16/12/88. Os valores de tensão, entretanto, não são padronizados em todo o país, e no site da ANEEL (www.aneel.gov.br) podem ser consultadas as tensões disponíveis pelas concessionárias para todos os municípios brasileiros.

Para darmos início aos cálculos desta primeira parte, é necessário fazer a distribuição da fiação pelos eletrodutos. Para isso precisamos entender as ligações entre os condutores e os terminais dos reatores das lâmpadas, interruptores e tomadas.

Os fios que chegam ao quadro de distribuição e dali se ligam aos circuitos terminais, são: os fios fases, o fio neutro, e o fio terra (proteção).

Os fios fase e neutro vêm da rede da concessionária para o medidor, donde seguem para o QD, enquanto o fio terra vem direto de uma haste de aterramento e deverá fazer parte de todos os circuitos (Figura 5.2).

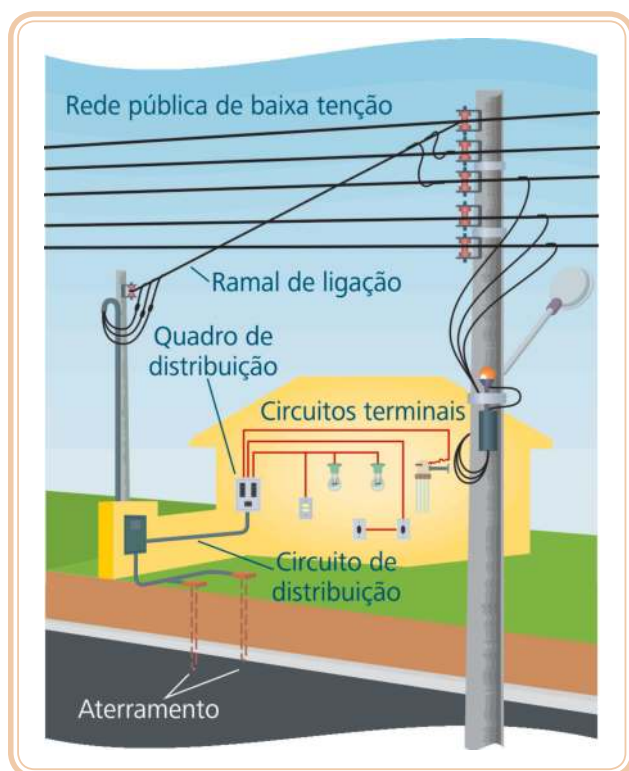


Figura 5.2: Quadros de medição, distribuição e hastes de aterramento

Fonte: CTISM, adaptado de Tamietti, 2006, p. 82

Repare na Figura 5.2 duas hastes de aterramento: uma do fio neutro no medidor, exigência da concessionária, e outra do fio terra; ambos vão ao quadro de distribuição.

Também com simbologia adequada representaremos as fiações nos eletrodutos (Figura 5.3).

Símbolo	Significado	Observações
	Condutor fase no interior do eletroduto.	Cada traço na vertical representa um condutor dentro do eletroduto. Indicar a seção, número do circuito e a seção dos condutores, exceto se forem de 1,5 mm².
	Condutor neutro no interior do eletroduto.	
	Condutor retorno no interior do eletroduto.	
	Condutor terra no interior do eletroduto.	

Figura 5.3: Legenda 3 – fiação

Fonte: CTISM, adaptado de ABNT/NBR-5444/89

5.1.1.1 Esquemas de ligações (apresentaremos apenas os esquemas que compõem nosso projeto)

- Uma lâmpada fluorescente ligada a um interruptor de uma seção em circuito monofásico (F/N/T).

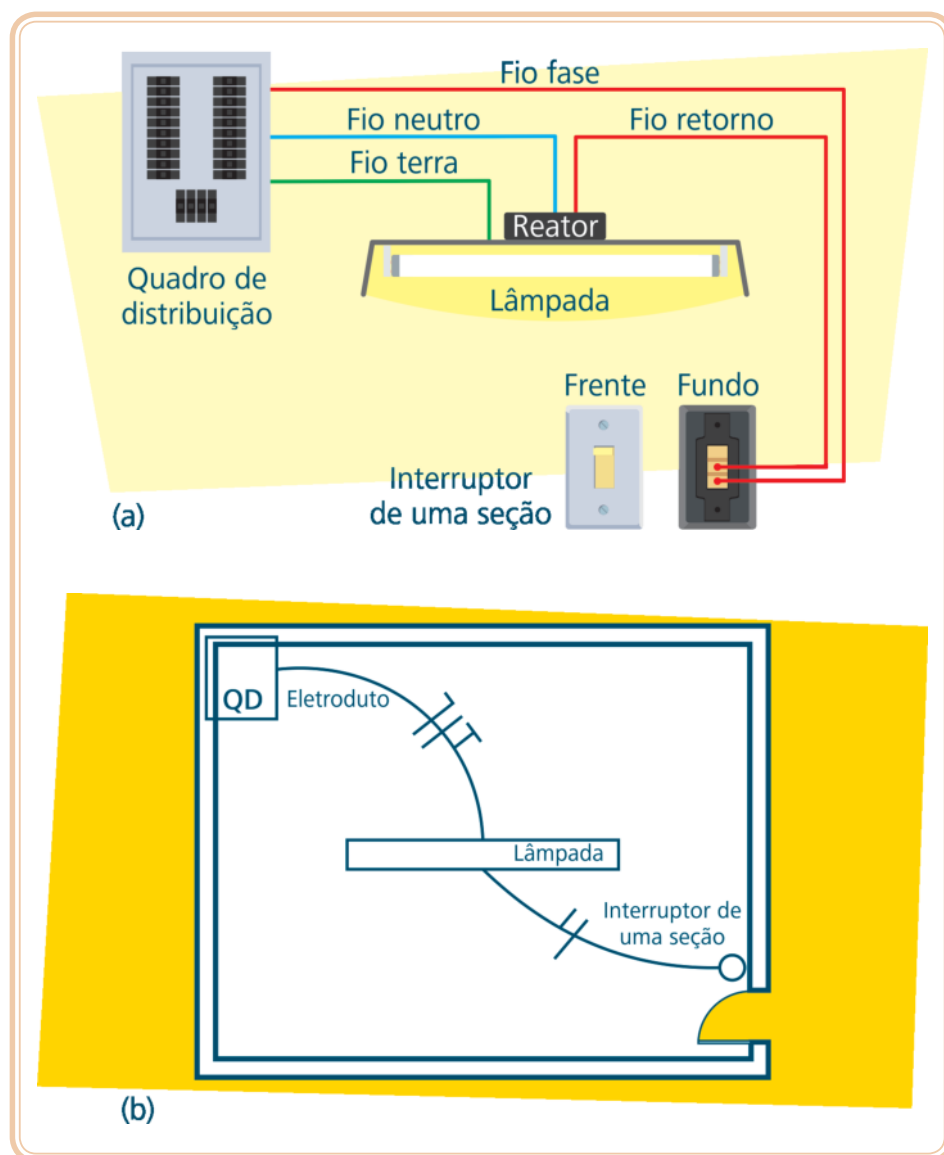


Figura 5.4: (a) Lâmpada fluorescente ligada em interruptor de uma seção e (b) esquema de projeto de lâmpada fluorescente ligada em interruptor de uma seção

Fonte: CTISM, adaptado do autor

- Duas lâmpadas fluorescentes ligadas a um interruptor de duas seções em circuito monofásico (F/N/T).

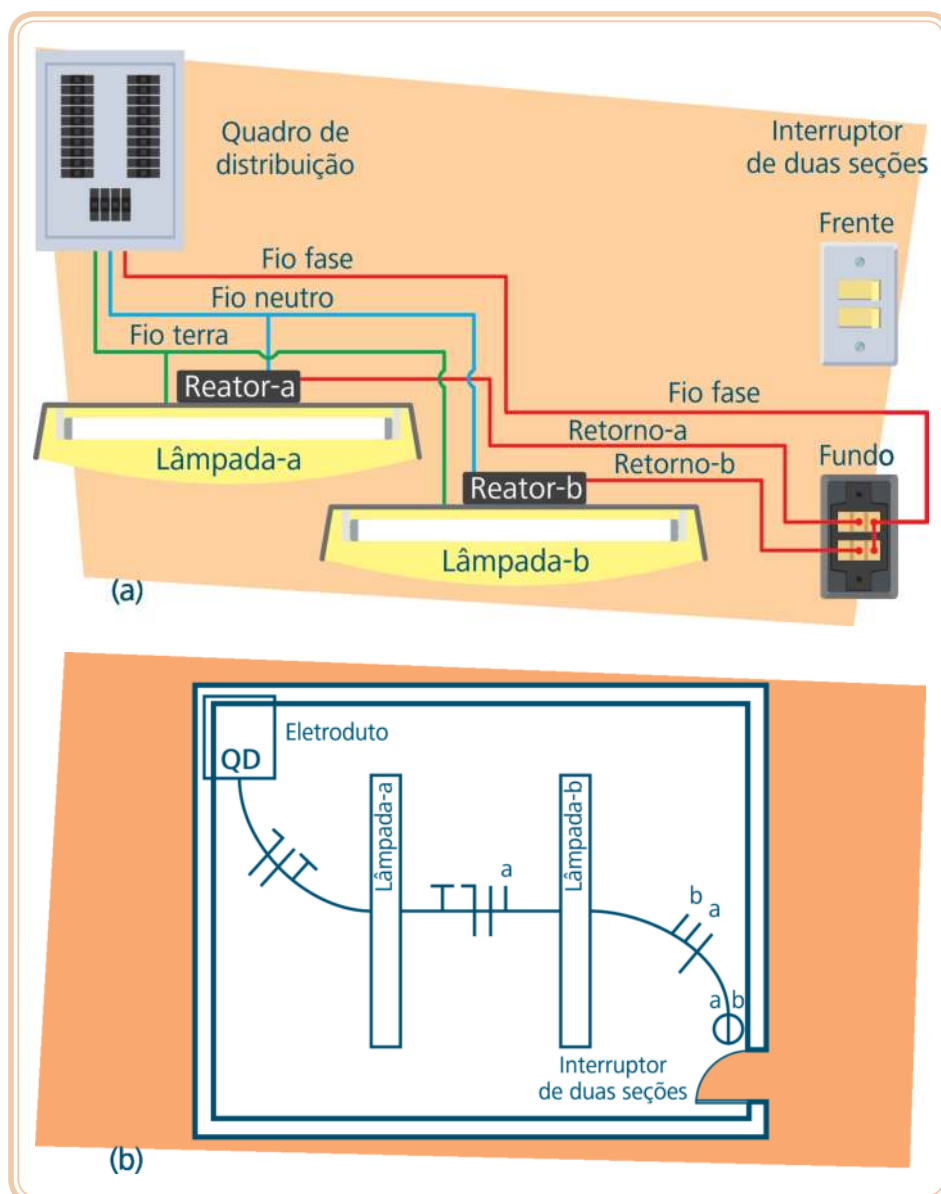


Figura 5.5: (a) Duas lâmpadas fluorescentes ligadas em interruptor de duas seções e (b) esquema de projeto de duas lâmpadas fluorescentes ligadas em interruptor de duas seções

Fonte: CTISM, adaptado do autor

- Lâmpada fluorescente ligada a interruptores *three-way* em circuito monofásico (F/N/T).

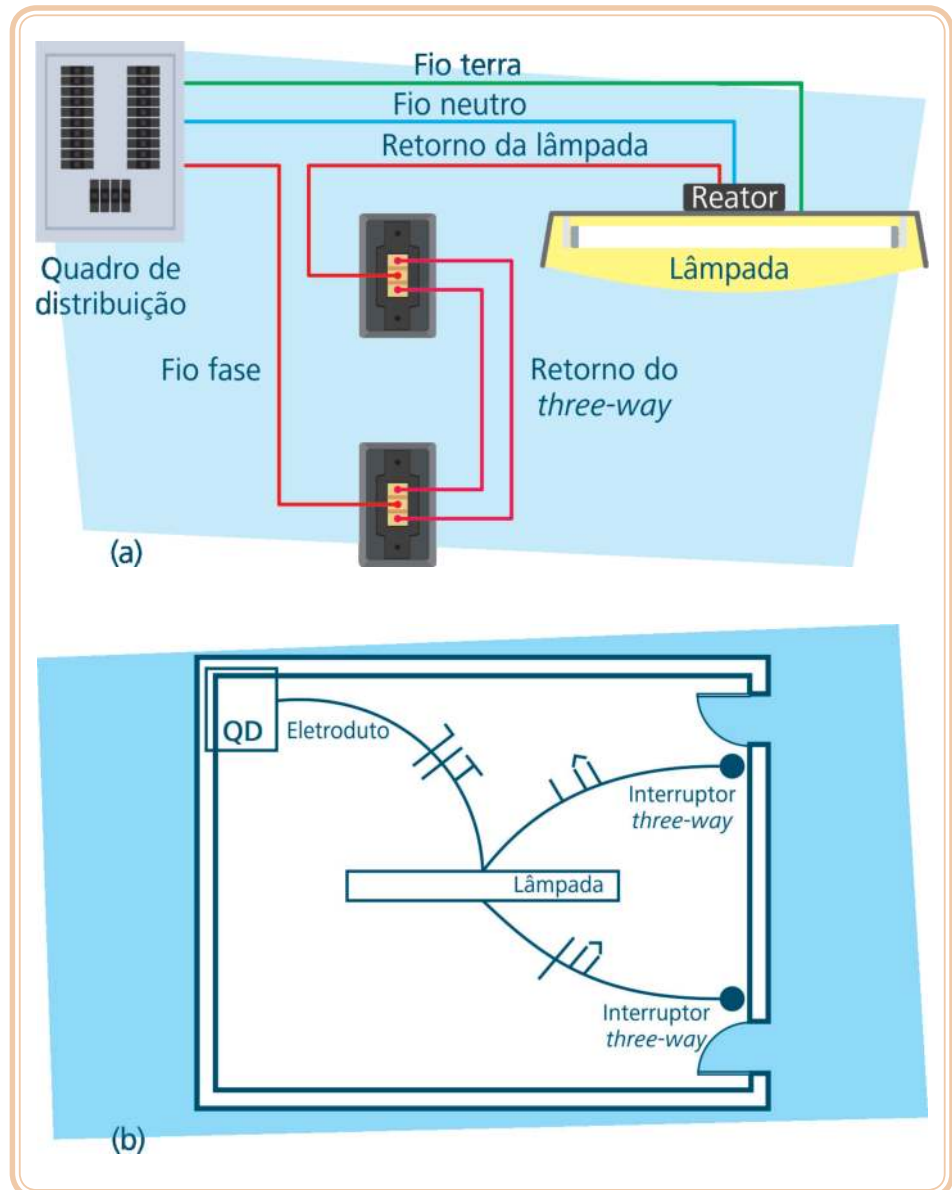


Figura 5.6: (a) Lâmpada fluorescente ligada em interruptores *three-way* e (b) esquema de projeto de uma lâmpada fluorescente ligada em interruptores *three-way*

Fonte: CTISM, adaptado do autor

- Tomadas ligadas em rede monofásica (F/N/T).

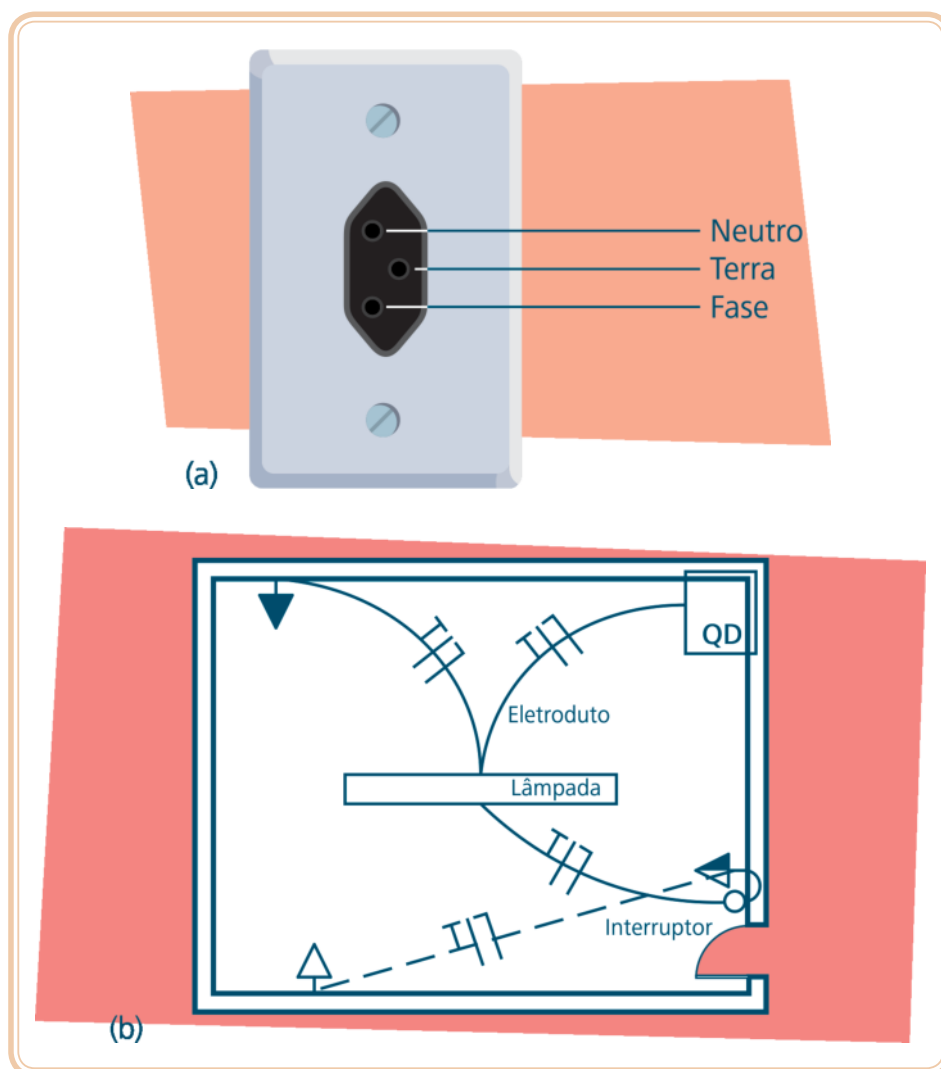


Figura 5.7: (a) Tomada ligada à rede monofásica e (b) esquema de projeto de tomada alta, média e baixa ligadas em rede monofásica

Fonte: CTISM, adaptado do autor

Agora passaremos a marcar os fios pelos eletrodutos, a partir do QD, identificando o circuito a que eles pertencem, sem necessidade de definir agora a fase em que essa fiação estará ligada (Fase 1 ou Fase 2).

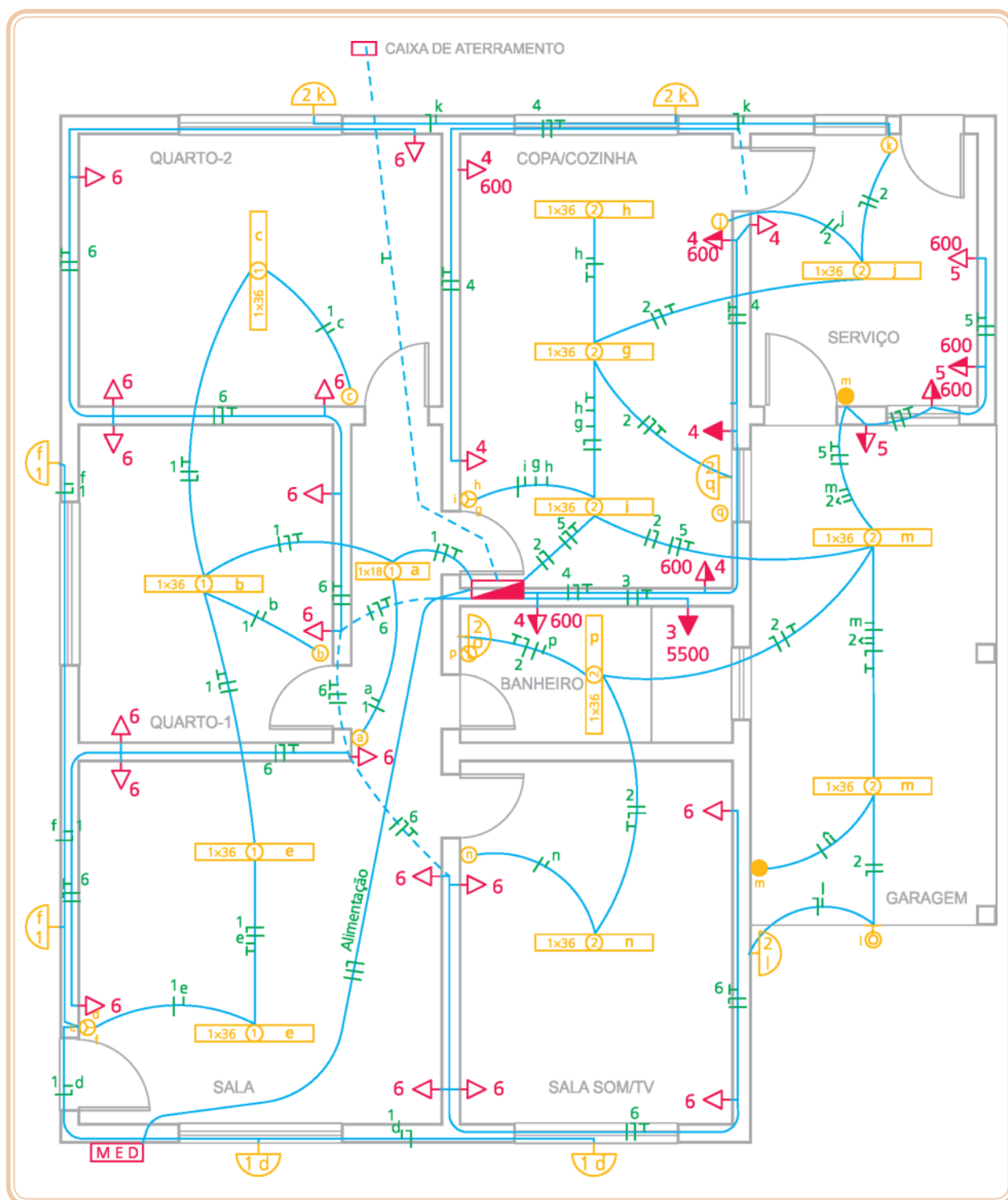


Figura 5.8: PE – 5 – distribuição da fiação

Fonte: CTISM, adaptado do autor

Passaremos aos cálculos de dimensionamento de circuitos, isto é, à determinação da seção dos condutores. Essa seção será obtida por três processos, sendo admitida como seção do condutor a mais grossa encontrada em qualquer um dos processos.

5.1.1.2 Dimensionamento da fiação pela seção mínima

Tabela 5.1: Seções mínimas para circuitos residenciais

Condutor	Seção mínima # (mm²)
De cobre para circuito de iluminação	1,5
De cobre para circuito de tomada	2,5

Fonte: ABNT/NBR-5410/04



Para saber mais sobre ABNT/NBR-5410/04 e seções mínimas de fiações, acesse: http://www.youtube.com/v/wGilBPblsh0&hl=en_US&fs=1&rel=0

Aplicando essas recomendações ao nosso projeto, temos:

Tabela 5.2: Dimensionamento da fiação pela seção mínima

Circuito	1	2	3	4	5	6
Iluminação/tomada	I	I	T	T	T	T
# (mm²) – Tabela 5.1	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Fonte: autor

5.1.1.3 Dimensionamento da fiação pela capacidade de condução de corrente

Capacidade de condução de corrente de um condutor é a máxima corrente que pode ser conduzida por esse condutor em condições especificadas, sem que sua temperatura em regime permanente ultrapasse um valor determinado.

Calculamos essa corrente, chamada corrente de projeto (i), pela Equação 5.1.

Equação 5.1

$$i = \frac{P}{U \times f_1 \times f_2}$$

Onde: P é a potência aparente do circuito – valores determinados na última linha do quadro de circuitos (Quadro 4.7)

U é a tensão eficaz a que o circuito fica submetido (127 ou 220 V)

f_1 é o fator de correção de temperatura ambiente de trabalho do circuito (Tabela 5.3)

f_2 é o fator de correção para quantidade de circuitos agrupados no mesmo eletroduto (Tabela 5.4).

Tabela 5.3: Coeficientes de correção para temperatura de trabalho dos circuitos

Temperatura ambiente de trabalho – (°C)	20	25	30	35	40	45
Fator de correção (f_1) – (PVC)	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79

Fonte: ABNT/NBR-5410/04

Tabela 5.4: Coeficientes de correção para quantidade de circuitos agrupados no eletroduto

Nº de circuitos no eletroduto	1	2	3	4
Fator de correção (f_2)	1,00	0,80	0,70	0,65

Fonte: ABNT/NBR-5410/04

Essas correções no valor da corrente elétrica são necessárias, porque sabemos que uma corrente, ao circular por um condutor, aquece-o (efeito Joule) e há uma consequente “perda” de energia por calor. Isso eleva a temperatura ambiente ao redor do condutor, diminuindo ainda mais a sua capacidade de conduzir corrente. Se o ambiente já é aquecido, aumenta a dificuldade de dissipação do calor. Se houver circuitos agrupados dentro do eletroduto, surge outro efeito (corrente induzida) que também contribui para diminuir mais ainda a capacidade de condução de corrente do circuito em dimensionamento.

Essas perdas de energia provocam gastos financeiros por exigir condutores de maiores seções. Por isto a instalação elétrica, tanto em ambientes ventilados (protegida de aquecimento) como a minimização de circuitos por eletrodutos constituem excelentes técnicas de construção.

Para o nosso projeto, faremos:

- Circuitos 1 e 2 (iluminação), monofásicos (F/N/T).
- Circuito 3 (chuveiro), bifásico (F/F/T).
- Circuitos 4, 5 e 6 (tomadas), monofásicos (F/N/T).

Com o valor da corrente de projeto i , obtido da Equação 5.1, confirmamos a seção necessária da fiação do circuito pela Tabela 5.5 após determinado o número de condutores efetivamente carregado de energia (F e N) e o tipo de linha elétrica a ser construído.

- O número de condutores efetivamente percorridos por corrente elétrica, é 2 ou 3:

(F/N) – circuito monofásico a dois condutores – 2 condutores carregados.

(F/N/T) – circuito monofásico a três condutores – 2 condutores carregados.

(F/F) – circuito bifásico a dois condutores – 2 condutores carregados.

(F/F/T) – circuito bifásico a três condutores – 2 condutores carregados.

(F/F/N) – circuito bifásico a três condutores – 3 condutores carregados.

- O tipo de linha elétrica está apresentado na Figura 5.9 a seguir.

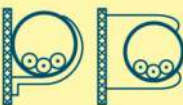
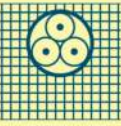
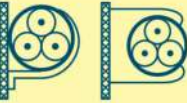
Nº	Esquema ilustrado	Descrição	Referência
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante.	A1
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vezes o diâmetro do eletroduto.	B1
6		Cabo unipolar em eletroduto aparente de seção não circular sobre parede.	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria.	B1
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vezes o diâmetro do cabo.	C

Figura 5.9: Tipos de linha elétrica

Fonte: CTISM, adaptado de ABNT/NBR-5410/04

Usaremos o número 7, referência B1, por ser usual em edificações.

Muitas outras referências são apresentadas no item da referida norma.



Tabela 5.5: Capacidade de condução de corrente

Condutores de cobre com isolamento de PVC, temperatura ambiente 30°C						
Maneiras de instalar	A 1	B 1		B 2		C
Nº de condutores carregados	3	2	3	2	3	2
1,0	10	14	12	13	12	15
1,5	13,5	17,5	15,5	16,5	15	19,5
2,5	18	24	21	23	20	27
4	24	32	28	30	27	36
6	31	41	36	38	34	46
10	42	57	50	52	46	63
16	56	76	68	69	62	85
25	73	101	89	90	80	112

Fonte: ABNT/NBR-5410/04



A ABNT/NBR-5410/04 apresenta também outra tabela para determinação de fiação, mas com isolamento de EPR/XLPE, o que conduz a condutores mais finos devido a uma maior capacidade de condução de corrente. Não a apresentaremos, pois os materiais com isolamento de PVC são os mais encontrados no mercado e, ainda se calculado com PVC e construído com EPR, haverá mais segurança.

Observamos em nosso projeto (Figura 5.8 – PE – 5) que:

- Os circuitos 2 e 5 saem pelo mesmo eletroduto, ficando agrupados nesse trecho, e os demais circuitos passam isoladamente por seus respectivos eletrodutos, não se agrupando.
- Quanto à temperatura de trabalho dos circuitos, em nossa região dificilmente atingirá 30°C, isso nos leva a adotar o coeficiente para essa temperatura.

A Tabela 5.6 sintetiza o dimensionamento da fiação dos circuitos terminais pela capacidade de condução da corrente.

Tabela 5.6: Dimensionamento da fiação pela capacidade de condução da corrente

Circuito	1	2	3	4	5	6
Potência (VA) – Quadro 4.7	1040	1040	5500	2700	1900	1700
Tensão (V)	127	127	220	127	127	127
Temperatura de trabalho (°C)	30	30	30	30	30	30
f_1 – Tabela 5.3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Quantidade de circuitos agrupados	1	2	1	1	2	1
f_2 – Tabela 5.4	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	1,00
i (A) – Equação 5.1	8,2	10,2	25,0	21,3	18,7	13,4
Linha elétrica – Figura 5.9	B1	B1	B1	B1	B1	B1
Nº de condutores carregados	2	2	2	2	2	2
# (mm²) – Tabela 5.5	1,0	1,0	4,0	2,5	2,5	1,0

Fonte: autor

- a) Os circuitos de iluminação (nº 1 e nº 2) foram calculados para tensão de 127 V a dois fios carregados (F/N). Os reatores das lâmpadas deverão ser compatíveis para essa tensão, embora os eletrônicos já sejam fabricados como bivolt.
- b) O circuito do chuveiro (nº 3) foi calculado como bifásico (220 V) a dois fios carregados (F/F). Calculado como bifásico, a fiação é mais econômica, ocorre menor aquecimento e menor perda de calor nos contatos, já que a corrente é menor. Isso aumenta a durabilidade dos componentes e do próprio chuveiro; este deve funcionar em rede de 220 V.



Se o circuito do chuveiro fosse calculado como monofásico, teríamos:

$$i = \frac{5500}{127} = 43,3 \text{ A}$$

10 mm² (F/N/T) (até 57 A)

- c) Conforme se perceberá em outros cálculos futuros, os coeficientes f_2 da Tabela 5.4 são bastante rigorosos, e suas aplicações levam a um significativo aumento da seção da fiação. Por isso, deve-se observar a nota 1 da ABNT/NBR-5410/04 (item 6.2.5.5.3): “[...] admitindo-se todos os condutores vivos permanentemente carregados com 100% da carga. Caso o carregamento seja inferior a 100%, os fatores de correção podem ser aumentados [...]”. A nota não diz para quanto, mas convenhamos que para residências, muito dificilmente os circuitos estarão plenamente (100%) carregados. Nesse caso o bom senso e conhecimento sobre o

assunto nos levarão a adotar um coeficiente mais adequado. Usaremos, entretanto, os coeficientes da tabela citada.

5.1.1.4 Dimensionamento da fiação pela queda de tensão

A queda de tensão é a diferença de potencial que, aplicada no início do circuito, diminui ao longo dele devido à sua própria resistência e que será tanto maior quanto maior for seu comprimento. Isso significa que uma carga no final do circuito receberá uma tensão menor que a aplicada no início para seu funcionamento.

Todo equipamento elétrico é fabricado para funcionar sob determinada tensão, podendo tolerar pequenas alterações. Mas queda ou elevação de tensão prejudicam seu funcionamento podendo danificá-lo.

Além das quedas de tensões que ocorrem naturalmente ao longo dos circuitos, outras de natureza técnica também acontecem. É o caso do funcionamento de equipamentos, simultaneamente ligados, principalmente chuveiros, no horário compreendido entre 17 e 21 horas, período de pico de consumo, quando a concessionária de energia tem dificuldade para manter a ddp garantida no padrão.



A ddp ou tensão nominal de entrada é fornecida pela concessionária no padrão (relógio) da edificação. Para Minas Gerais, garante a CEMIG uma ddp de 127 V entre fase e neutro e de 220 V entre fase e fase.

As quedas de tensões (e%) nos circuitos são calculadas em função da tensão nominal de entrada e da tensão necessária no local de funcionamento do equipamento (carga), tal qual se apresenta na Equação 5.2.

Equação 5.2

$$e\% = \frac{U_{\text{entrada}} - U_{\text{carga}}}{U_{\text{carga}}} \times 100$$

A ABNT/NBR-5410/04 recomenda que em instalações alimentadas por um ramal de baixa tensão, a partir da rede de distribuição pública, o valor máximo tolerável de queda de tensão seja de até 4%. Porém, a queda parcial de tensão nos circuitos terminais para iluminação e tomadas deve ser de, no máximo, 2%. Observe na ilustração da Figura 5.10.

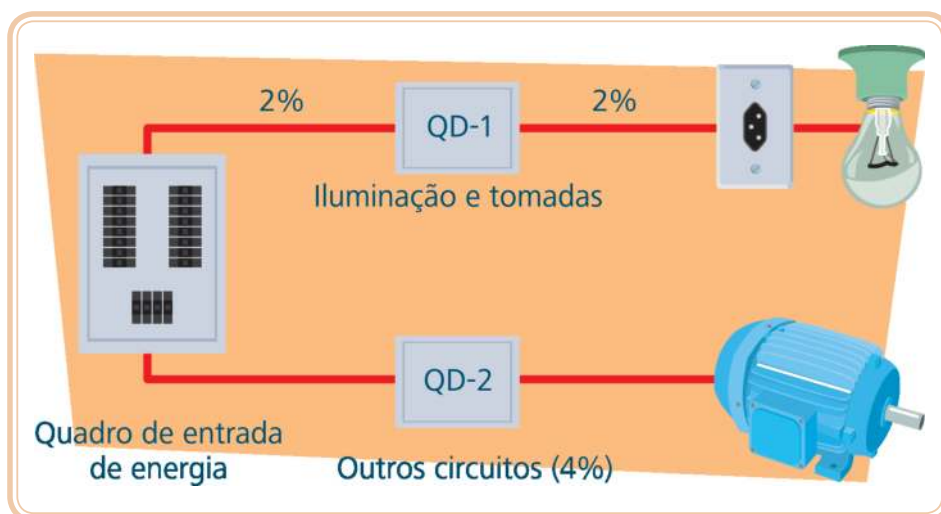


Figura 5.10: Valores de quedas de tensão permitidas pela ABNT/NBR-5410/04

Fonte: CTISM, adaptado do autor

O dimensionamento dos circuitos residenciais pela queda de tensão pode ser feito a partir do cálculo do maior momento elétrico encontrado ao longo de um dos ramais deste circuito. A fiação correspondente para suportá-lo está indicada na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Queda de tensão (e = 2%) – momento elétrico (VA.m)

	# 1,0	# 1,5	# 2,5	# 4,0	# 6,0	# 10	# 16	# 25
127 V	9355	14032	23387	37419	56129	93548	149677	233871
220 V	28072	42108	70180	112288	168432	280720	449152	701800

Fonte: autor

O momento elétrico num ponto de utilização de energia é o resultado da multiplicação do valor da potência elétrica desse ponto pela distância em que ele se encontra do quadro de distribuição.



Equação 5.3

$$Me = P \times d$$

Como ao longo dos circuitos aparecem, normalmente, vários pontos de consumo de energia (lâmpadas ou tomadas), o cálculo do momento elétrico corresponde à soma dos momentos elétricos de cada ponto.

$$Me = \Sigma(P \times d)$$



O dimensionamento pela queda de tensão consiste, então, em achar o maior momento elétrico que acontece em um dos ramais. Este ramal deve, provavelmente, ser o mais longo do circuito ou o mais carregado.

Para o cálculo do momento elétrico de um circuito (ou ramal dele), torna-se necessário acompanhar no projeto o caminho que será percorrido pela fiação para alimentar os vários pontos de potência desse circuito, partindo do quadro de distribuição até o fim do ramal. (Figura 4.11, PE – 4).



No cálculo do momento elétrico dos circuitos de tomadas, a potência a ser considerada para cada tomada é a potência que já foi especificada e que está anexada à própria tomada.

Para a iluminação, não é a potência da lâmpada, pois há um mínimo normativo a considerar. Para cada ponto de iluminação, em cada cômodo, corresponderá o valor obtido na coluna 8 (Quadro 4.1) para este cômodo, dividido pelo n° de pontos. Não deve essa potência ser inferior a 100 VA.

Esquematizamos na Tabela 5.8 as observações referentes ao cálculo do momento elétrico para iluminação para alguns de nossos cômodos.

Tabela 5.8: Valores de potência por pontos de iluminação para cálculo de momento elétrico

Cômodo	Coluna 8	N° de pontos	Divisão	Mínimos	Adotar para cálculo
Sala	220	2	110	100	110
QT-1	160	1	160	100	160
Circulação	100	1	100	100	100
Copa/cozinha	220	3	74	100	100

Fonte: autor

Circuito 1 – (Iluminação)

Consideremos no circuito 1 o ramal de maior comprimento, aquele que se inicia no QD e termina na 2ª lâmpada lateral direita.

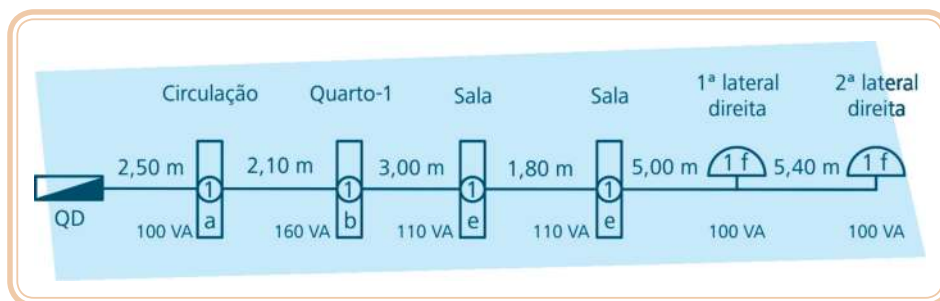


Figura 5.11: Esquema de um ramal do circuito 1

Fonte: CTISM, adaptado do autor

$$\begin{aligned}
 Me &= (100 \times 2,50) + (160 \times 4,60) + (110 \times 7,60) + \\
 &\quad (110 \times 9,40) + (100 \times 14,40) + (100 \times 19,80) \\
 Me &= 250 + 736 + 836 + 1034 + 1440 + 1980 = 6276 \\
 Me &= 6276 \text{ VA.m}
 \end{aligned}$$

Verificamos que neste mesmo circuito 1 há outro ramal que inicia no QD e termina na 2ª lâmpada externa frontal, tendo o mesmo número de cargas que estão localizadas, praticamente, às mesmas distâncias entre si. Resulta que este ramal apresentará momento elétrico de igual valor do 1º ramal (~6276 VA.m). Também há um 3º ramal (do QD até a lâmpada do quarto-2), mas que não apresenta momento elétrico maior.

Consultando a Tabela 5.7, para:

$$\begin{aligned}
 Me &= 6276 \text{ VA.m (127 V)} \\
 \text{Fio \# 1,0 mm}^2 &\quad (\text{suporta até 9355 VA.m})
 \end{aligned}$$

Circuito 2 – (Iluminação)

Consideremos agora no circuito 2 o ramal que se inicia no QD e termina na 2ª lâmpada dos fundos.

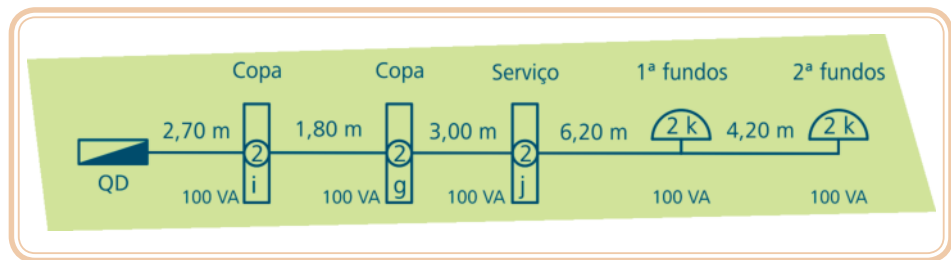


Figura 5.12: Esquema de um ramal do circuito 2

Fonte: CTISM, adaptado do autor

$$\begin{aligned} \text{a) } Me &= (100 \times 2,70) + (100 \times 4,50) + (100 \times 7,50) + \\ &\quad (100 \times 13,70) + (100 \times 17,90) = 4630 \\ Me &= 4630 \text{ VA.m} \end{aligned}$$

Considerando ainda no circuito 2 o ramal que se inicia no QD e termina na lâmpada da sala de som/TV, passando pela lâmpada do banheiro.

$$\begin{aligned} \text{b) } Me &= (100 \times 2,70) + (100 \times 5,70) + (100 \times 8,70) + \\ &\quad (160 \times 10,50) = 3390 \\ Me &= 3390 \text{ VA.m} \end{aligned}$$

Há outro ramal nesse circuito 2 que se inicia no QD e termina na lâmpada lateral esquerda da garagem, mas que não apresenta queda de tensão maior que os ramais anteriores.

Circuito 3 – (Chuveiro – 220 V)

$$Me = 5500 \times 4,00 = 22000 \text{ VA.m}$$

Circuito 4 – (Tomadas da copa/cozinha e banheiro)

$$\begin{aligned} Me &= (600 \times 0,50) + (600 \times 2,00) + (100 \times 4,50) \\ &\quad + (700 \times 7,50) + (600 \times 11,50) + (100 \times 13,50) = \\ Me &= 15450 \text{ VA.m} \end{aligned}$$

Circuito 5 – (Tomadas da área de serviço e garagem)

$$\begin{aligned} Me &= (100 \times 8,00) + (600 \times 8,50) + (600 \times 9,50) \\ &\quad + (600 \times 11,00) = 18200 \\ Me &= 18200 \text{ VA.m} \end{aligned}$$

Circuito 6 – (Tomadas dos quartos, salas e circulação)

$$\begin{aligned} Me &= (100 \times 2,70) + (100 \times 4,50) + (200 \times 6,00) \\ &+ (200 \times 8,00) + (100 \times 12,00) + (100 \times 15,00) = \\ Me &= 6220 \text{ VA.m} \end{aligned}$$

Resulta na Tabela 5.9 de dimensionamento pelo momento elétrico:

Tabela 5.9: Dimensionamento da fiação pela queda de tensão						
Circuito	1	2	3	4	5	6
Momento elétrico (VA.m)	6276	4630	22000	15450	18200	6220
# (mm²) – Tabela 5.7	1,0	1,0	1,0	2,5	2,5	1,0

Fonte: autor

- a) Esse método de cálculo parte do princípio de que a corrente elétrica se distribui de forma homogênea pelo condutor, o que não ocorre na realidade. Não ocorre porque o efeito do campo magnético gerado pela própria corrente elétrica que passa pelo condutor torna a densidade de corrente maior na periferia do condutor. Esse método considera ainda apenas a resistência ôhmica dos condutores, desprezando a reatância indutiva que também influi na queda de tensão.



Entretanto, esse método de cálculo de queda de tensão produz aproximação aceitável para condutores de pequenos diâmetros, típicos de projetos residenciais, uma vez que a reatância indutiva tem influência limitada e que, dificilmente, o processo de cálculo pela queda de tensão será determinante exclusivo da fiação.

- b) A Tabela 5.7 de queda de tensão foi construída a partir da Equação 5.5 obtida de Creder (1995, p. 82).

Equação 5.5

$$Me = [\Sigma (P \times d)] = \frac{e\% \times U^2 \times S}{2 \times \rho \times 100}$$

Onde: $S = 1,5; 2,5; 4,0; \dots \text{ mm}^2$

$\rho = 0,017 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$

$e\% = 2$

$U = 127 \text{ V ou } 220 \text{ V}$

- c) Todo condutor permite uma queda de tensão e, por consequência, suporta um determinado momento elétrico. Quanto maior a queda de tensão permitida, menor o momento elétrico suportado. Sendo viáveis quedas de tensão altas, o condutor poderá ter seção menor, mas se desejamos quedas de tensões baixas, necessitamos de condutores de maiores seções. A Tabela 5.7 apresentada é para quedas de tensões admissíveis de 2%.

Estamos chegando ao final do dimensionamento da fiação dos circuitos terminais. Basta agora comparar as seções obtidas por cada um dos três processos e adotar como seção para fiação do circuito a mais grossa.

Tabela 5.10: Resumo do dimensionamento da fiação dos circuitos terminais						
Circuito	1	2	3	4	5	6
Tabela 5.2	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Tabela 5.6	1,0	1,0	4,0	2,5	2,5	1,0
Tabela 5.9	1,0	1,0	1,0	2,5	2,5	1,0
Adotado (mm²)	1,5	1,5	4,0	2,5	2,5	2,5

Fonte: autor

Na Figura 5.13 é mostrado os circuitos terminais dimensionados no padrão bifásico.

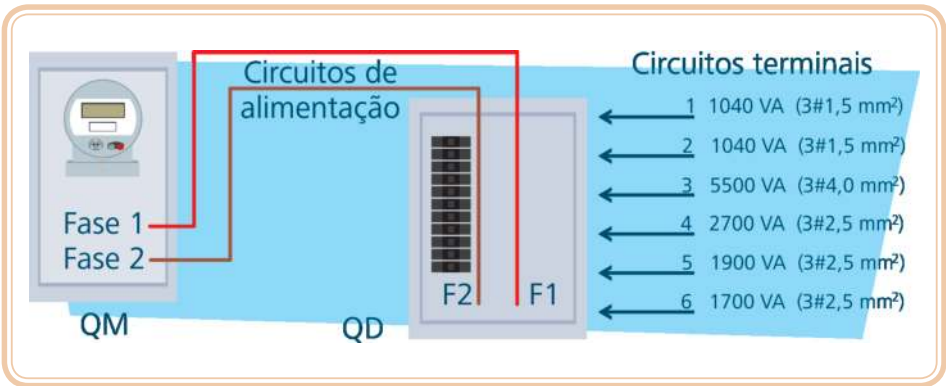


Figura 5.13: Circuitos terminais dimensionados no padrão bifásico

Fonte: CTISM, adaptado do autor



Por norma devemos ainda prever circuitos reservas que futuramente poderão ser montados, conforme Tabela 5.11. Isso influenciará na especificação para a compra do quadro de distribuição que será determinado mais à frente.

Tabela 5.11: Reserva para circuitos no quadro de distribuição

Quantidade de circuitos disponíveis	≤ 6	7 – 12	13 – 30	> 30
Espaço de reserva, em n° de circuitos	2	3	4	15%

Fonte: ABNT/NBR-5410/04

5.1.2 Dimensionamento da fiação dos circuitos de alimentação

Os circuitos de alimentação são, como se vê na Figura 5.13, os fios que ligam o quadro de medição ao quadro de distribuição. Neles os circuitos terminais ficarão “pendurados”, controlados individualmente por seu equipamento de proteção (disjuntor).

A potência total instalada é de 13880 VA, padrão bifásico com dois circuitos de alimentação (Fase 1, Fase 2 e neutro).



Dimensionaremos a fiação dos circuitos de alimentação de modo a atender aos circuitos terminais. Mas antes de aplicarmos os três processos de cálculo de dimensionamento, devemos realizar dois procedimentos:

- Equilibrar os circuitos terminais nas fases (padrões bifásicos ou trifásicos).
- Calcular a demanda.

5.1.2.1 Equilíbrio dos circuitos terminais nas fases de padrões bifásicos ou trifásicos

Nossos seis circuitos terminais serão alimentados por duas fases, e o procedimento de agora é distribuí-los nessas duas fases, equilibradamente (onde a maior diferença entre fases não supere 4% do total, se isso for possível). Isso garantirá que o disjuntor geral proteja igualmente todas as fases.

Neste 1º procedimento, uma opção poderia ser:

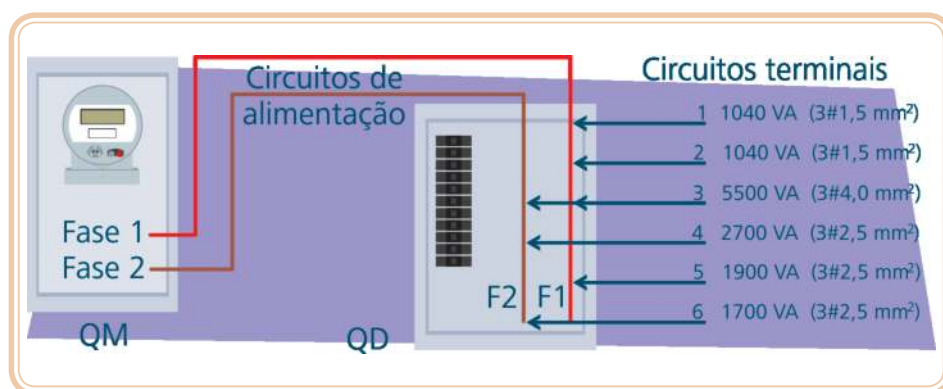


Figura 5.14: Circuitos terminais equilibrados (pendurados) nas fases

Fonte: CTISM, adaptado do autor

Tabela 5.12: Circuitos anexados a suas fases							
Fase	Circuito 1 (iluminação)	Circuito 2 (iluminação)	Circuito 3 (TUE)	Circuito 4 (TUG)	Circuito 5 (TUG)	Circuito 6 (TUG)	Total
1	1040	1040	2750	-	1900	-	6730
2	-	-	2750	2700	-	1700	7150
Total							13880

Fonte: autor

Onde a diferença entre fases ($7150 - 6730 = 420$) corresponde a 3% do total (13880).

Observando os circuitos terminais anexados às suas respectivas fases, não é difícil perceber que de uma fase, provavelmente, nunca serão utilizadas todas as lâmpadas e tomadas de todos os seus circuitos simultaneamente, embora a possibilidade aumente para pequenas residências (pequenas cargas, poucos circuitos).

Por isso nosso 2º procedimento será aplicar um adequado processo de demanda, de modo a reduzir a potência total estabelecida, proporcionando economia sem perder a segurança.

5.1.2.2 Demanda

O fator de demanda é um coeficiente menor que a unidade a que se deve multiplicar a potência total instalada (ou a potência da fase mais carregada) de modo a se obter uma potência demandada (P_d). A partir da potência demandada poderá se obter uma fiação para os circuitos de alimentação econômica, segura e suficiente.

O coeficiente de demanda será aplicado na carga total instalada e dividido pelo nº de fases, caso a distribuição dos circuitos pelas fases tenha sido bem

equilibrada (o que é duplamente melhor: o equilíbrio e a demanda). Ou será aplicado na fase mais carregada, caso a distribuição de fases não pode ter (ou não se conseguiu) um melhor equilíbrio.

Os valores dos coeficientes de demanda são influenciados por fatores como a natureza da instalação (residencial, comercial, industrial), a época do ano, a hora do dia e, até mesmo, os costumes e hábitos dos moradores.



Várias são as estatísticas de levantamento da possível carga máxima utilizável (demanda). Temos exemplos diferenciados nos autores e nas normas técnicas das concessionárias.

Para melhor compreender o que é demanda, apresentaremos algumas opções de cálculo aplicadas ao nosso projeto, tanto na potência total, como na fase mais carregada (Fase 2).

- **Opção 1** – aplicação direta de uma porcentagem sobre a potência.

1a) 75% do total

$$P_d = 0,75 \times 13880 = 10410$$

$$P_d = 5205 \text{ VA/fase}$$

1b) 75% da fase mais carregada (Fase 2)

$$P_d = 0,75 \times 7150 = 5363$$

$$P_d = 5363 \text{ VA/fase}$$

Para esta opção podem ser recomendados valores de coeficientes entre 65% e 90%. Quanto mais baixa a carga instalada, maior deverá ser o fator de demanda aplicado, pois aumenta a possibilidade do uso total da instalação.



- **Opção 2** – demanda parcelada.

Equação 5.6

$$P_d = [(I + TUG) \times f_{d1}] + (TUE \times f_{d2})$$

Tabela 5.13: Fatores de demanda para iluminação (I) e tomadas de uso geral (TUG)

Potência (VA)	f_{d1}	Potência (VA)	f_{d1}	Potência (VA)	f_{d1}
Até 1000	0,86	4000 – 5000	0,52	8000 – 9000	0,31
1000 – 2000	0,75	5000 – 6000	0,45	9000 – 10000	0,27
2000 – 3000	0,66	6000 – 7000	0,40	Acima de 10000	0,24
3000 – 4000	0,59	7000 – 8000	0,35		

Fonte: Cotrim, 2008, p. 116

Tabela 5.14: Fatores de demanda por quantidades de TUE

Quantidade de TUE	f_{d2}	Quantidade de TUE	f_{d2}
1/2	1,00	7/8	0,60
3/4	0,84	9/10	0,54
5/6	0,70	11/12	0,49

Fonte: Adaptado pelo autor da tabela CEMIG, 1998

Para o nosso projeto, (consultando a Tabela 5.12), temos:

Tabela 5.15: Fatores de demanda para nosso projeto

	Potência total (13880)	Fase 2 (7150)
I + TUG	2080 + 6300 = 8380	0 + 4400 = 4400
TUE	1 tomada 5500	1 tomada 2750

Fonte: Adaptado pelo autor das Tabelas 5.13 e 5.14

2a) No total:

$$P_d = [(8380 \times 0,31) + (5500 \times 1,00)] = 8098$$

$$P_d = 4049 \text{ VA/fase}$$

2b) Na fase mais carregada (Fase 2)

$$P_d = [(4400 \times 0,52) + (2750 \times 1,00)] = 5038$$

$$P_d = 5038 \text{ VA/fase}$$



Convém observar que esse processo pode levar ao inconveniente de se fazer o cálculo numa fase de elevada potência onde não existam TUE. Por exemplo: numa fase de 7800 VA de iluminação e TUG apenas, o uso exclusivo da Tabela 5.13 conduziria a uma potência de demanda de 2730 VA ($7800 \times 0,35$), o que muito possivelmente, não se justificaria na prática.

- **Opção 3** – demanda escalonada.

Esta opção pode ser vista como uma variação do processo anterior onde se faz a entrada numa única tabela em linha por linha.

Tabela 5.16: Fatores de demanda por faixas de potências

Linha	Potência (kVA)	% Demanda	% Direta
1	Até 3	95	95%
2	3 a 6	85	92%
3	6 a 9	76	88%
4	9 a 12	70	83%
5	12 a 15	62	79%
6	15 a 20	74	77%
7	20 a 25	68	76%
8	25 a 35	72	75%
9	35 a 45	68	73%
10	45 a 55	65	72%
11	55 a 65	62	71%
12	65 a 75	60	69%

Fonte: autor

3a) No total: até a linha 5

$$P_d = 2850 + 2550 + 2280 + 2100 + 1166 = 10946 \text{ VA}$$

$$P_d = 5473 \text{ VA/fase}$$

3b) Na fase mais carregada: até a linha 3

$$P_d = 2850 + 2550 + 874 = 6274$$

$$P_d = 6274 \text{ VA/fase}$$

Essa opção parece mais adequada para se fazer demanda em potências acima de 18 kVA.

A 4ª coluna da Tabela 5.16 mostra a correspondente aplicação de uma parcela direta por faixa de potência.



- **Opção 4** – pelo processo da concessionária.

Toda concessionária distribuidora de energia elétrica tem um processo que ela própria recomenda para o cálculo de demanda. Verifique, a título de exercício, o processo da concessionária de sua região. (Use inclusive a internet).

Em resumo:

Tabela 5.17: Resumo da aplicação dos processos de demanda apresentados

Opção	Tipo	No total	Na fase mais carregada
1	% Direta	5205	5363
2	Parcelada	4049	5038
3	Escalonada	5473	6274

Fonte: autor



- a) A aplicação dos vários processos de cálculos de demanda deveria conduzir a resultados relativamente próximos. Entretanto, existe processo que pode ser mais adequado a um determinado caso. Reforcemos que a demanda elétrica é uma quantidade de potência máxima provável de utilização. Sua determinação é estatística; não é, portanto, exata. As opções de cálculo apresentadas tiveram o objetivo de facilitar sua compreensão do fenômeno.
- b) Observe que potências demandadas baixas podem levar a subdimensionamento de circuitos, causando riscos e incômodos de operação da instalação. Potências demandadas altas elevam o custo da instalação. A prática conduzirá você a um processo avaliativo criterioso dos fatores envolvidos nos muitos métodos que ainda existem. Afinal, o bom senso é elemento essencial no desenvolvimento do projeto.

Já que consideramos acadêmico o nosso projeto e que conseguimos um bom equilíbrio entre fases, (< 4%), adotemos como potência demandada a média aritmética obtida dos seis resultados encontrados:

$$P_d = (5205 + 5363 + 4049 + 5038 + 5473 + 6274) \div 6 =$$
$$(31402 \div 6) = 5234$$
$$P_d = 5234 \text{ VA}$$

Aplicaremos agora sobre a potência demandada, os mesmos três processos de dimensionamento de fiação já vistos para os circuitos terminais.

- **Dimensionamento da fiação pela seção mínima**

Esse processo não tem sido aplicado em função da fiação necessária ser bem superior à mínima recomendada (2,5 mm²).

- **Dimensionamento da fiação pela capacidade de condução de corrente**

Adotando isolamento de PVC a 30°C como temperatura de trabalho, ($f_1 = 1,00$), e sabendo que são 2 circuitos agrupados no eletroduto, ($f_2 = 0,80$), teremos a seguinte corrente de projeto:

$$i = \frac{P_d}{U \times f_1 \times f_2} = \frac{5234}{127 \times 1,00 \times 0,80} = 51,5 \text{ A}$$

Pela Tabela 5.5, coluna B1, condutores carregados, 2 (F/N):

$$i = 51,5 \text{ A} \quad \text{fio \# 10 mm}^2 \text{ (até 57 A)}$$

- **Dimensionamento da fiação pela queda de tensão**

Considerando 15 m a distância do padrão (QM) ao quadro de distribuição (QD), 127 V a tensão eficaz na linha e 2% a queda de tensão, temos pela Tabela 5.7:

$$M_e = 5234 \times 15 = 78510 \text{ VA.m} \\ \text{fio \# 10 mm}^2 \text{ (até 93548 VA.m)}$$

Como foram usados 2% dos 4% da queda de tensão do QD aos pontos terminais dos circuitos e, sendo de 4% a queda de tensão total tolerável do QM aos pontos terminais, uso agora os outros 2%. (Figura 5.10).

Sendo nosso projeto puramente acadêmico, a distância hipotética de 15 metros entre os quadros de medição e distribuição foi tomada por não se ter definidas questões pertinentes à determinação precisa da localização do padrão, como posição de posteamento da rede e afastamento da residência em relação ao meio-fio. Entretanto, para se adotar o fio 10 mm² essa distância entre os quadros poderia ser de, no máximo, 18 metros.

Adotaremos o condutor # 10 mm²

Como é prudente e recomendável por norma deixar espaço de reserva no quadro de distribuição para novos circuitos que venham a ser criados, por mais forte razão deve-se deixar uma fiação de alimentação que os atenda. Convenhamos que a seção de 10 mm² da fiação está próxima do seu limite de atendimento. Entretanto ainda poderemos recomendar um circuito reserva (nº 7) de 1400 VA. Como a recomendação seria para deixarmos dois circuitos de reserva, estes seriam então de, no máximo, 700 VA cada, colocados na mesma fase.



Para comprovar, bastaria refazer a distribuição dos circuitos nas fases:

$$\text{Fase 1: } 1 + 2 + 3/2 + 4 = 7530 \text{ VA}$$

$$\text{Fase 2: } 3/2 + 5 + 6 + 7 = 7750 \text{ VA}$$

Num cálculo rápido:

$$i = \frac{7750 \times 0,75}{127 \times 0,8} = 57,2 \text{ A} \quad \# 10,0 \text{ mm}^2$$

Adotaremos, portanto, o condutor # 10 mm² para os circuitos de alimentação

Resulta este diagrama de fases incompleto.

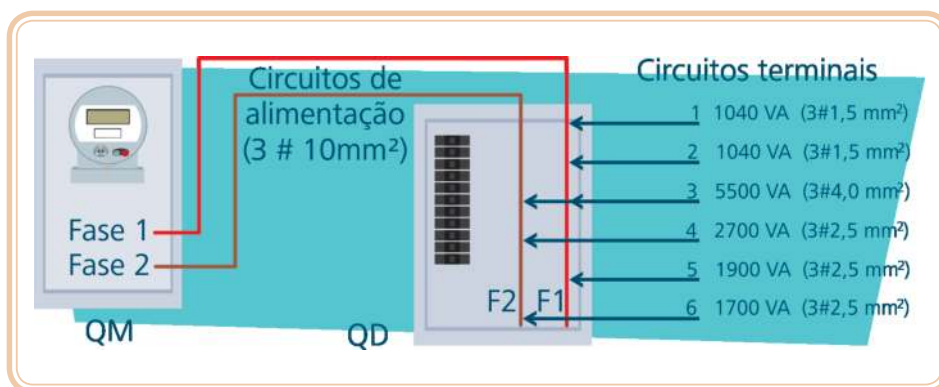


Figura 5.15: Esquema do diagrama de fases incompleto

Fonte: CTISM, adaptado do autor



Os esquemas de diagramas que estão sendo apresentados têm a finalidade de mostrar a evolução da construção do diagrama de fases, que é único e se apresenta completo no final do projeto (Figura 5.25).

Passaremos agora à 2ª parte do dimensionamento dos circuitos, isto é, o dimensionamento dos seus elementos de proteção.

5.1.3 Elementos de proteção dos circuitos

Os elementos de proteção dos circuitos (fio neutro, fio terra e os disjuntores) são os dispositivos que protegem as pessoas e os bens materiais contra os perigos da eletricidade.

Deve-se dar atenção às instalações elétricas desde o início de sua montagem, na distribuição dos eletrodutos e caixas de passagens que ficarão embutidas

nas paredes e concreto para que neles não entre água. Posteriormente, deve-se ter cuidado com a enfição e emendas dos condutores que devem estar firmes e bem isoladas. Emenda mal feita que permita que a parte viva (cobre) do circuito possa encostar-se à parte metálica ou a uma parte condutora como parede molhada, possibilita choque nas pessoas.

Passaremos a dimensionar os elementos de proteção dos circuitos que, basicamente, evitam que sobrecargas, sobretensões, curto-circuitos e choques causem danos às pessoas e a seus patrimônios.

- **Sobrecorrente** – se num circuito elétrico, for ligada uma carga (potência) acima do limite para o qual o circuito foi dimensionado, criar-se-á uma sobrecarga. Haverá, portanto, uma corrente elétrica de maior valor circulando (sobrecorrente). Esta sobrecorrente poderá danificar fiações, interruptores e tomadas. Uma sobrecorrente é gerada, por uma sobrecarga.
- **Sobretensão** – é tensão proveniente de descargas atmosféricas e de valor muito acima daquele disponibilizado nas redes públicas de energia; ou proveniente da própria rede elétrica pública por avaria nos transformadores.
- **Curto-circuito** – é um caminho intencional ou acidental mais curto que uma corrente elétrica “encontra” para circular, mas que pode ser danoso para as pessoas ou equipamentos.
- **Choque** – passagem da corrente elétrica pelo corpo humano. Os perigos causados por um choque, que podem ir de pequenos sustos até à morte, passando por graves queimaduras, são de grande incidência, devendo ser grande também o empenho em evitá-los.

Na montagem dos circuitos usam-se os seguintes elementos para proteger os condutores contra curto-circuitos e sobrecorrentes, os aparelhos utilizadores de energia contra sobretensões e os próprios usuários contra choques:

- Fio neutro.
- Aterramento (fio terra).
- Os equipamentos de proteção.

5.1.3.1 Fio neutro

O fio neutro é um dos condutores provenientes da rede da concessionária que estabelece o equilíbrio de cargas elétricas de todo o sistema, não devendo, portanto, ser seccionado por qualquer dispositivo de proteção, exceto pelo DR, que será apresentado mais adiante. O fio neutro será parte exclusiva de cada um dos circuitos e terá sempre a mesma seção do fio fase. Para garantia da rede pública, a concessionária exige o aterramento do fio neutro no padrão de energia.

5.1.3.2 Aterramento

O aterramento é um sistema de proteção formado por um conjunto de componentes que interligam as partes metálicas, chamadas massas da instalação, (tomadas, caixas, tubulações, quadros, luminárias, etc.) com o solo, estabelecendo com ele um referencial de potencial zero.



Figura 5.16: Haste de aterramento e fio terra conectado

Fonte: <http://www.provitel.com.br/provitel/graphics/tgc1.jpg>

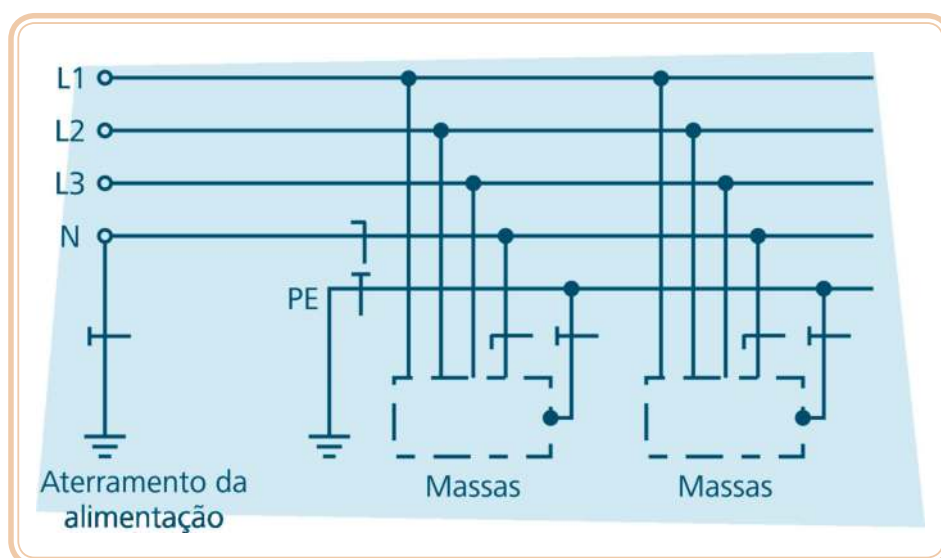
Esse conjunto de componentes é constituído por uma haste de aço revestida de cobre com 2,40 m de comprimento e diâmetro entre 10 e 25 mm, que é cravada no solo. Ligado à haste, o fio terra se estende até o quadro de distribuição. Dali ele fará parte de cada um dos circuitos residenciais, tendo a mesma seção do fio fase. Pode, entretanto, este condutor de proteção, ser comum a vários circuitos, se dentro do mesmo eletroduto.

Por norma, o fio terra é constituído por um condutor encapado na cor verde ou verde-amarelo, embutido no eletroduto. No solo, entretanto, é desencapado (nu).

Nas residências, como se viu, já é feito um aterramento próximo ao relógio (QM), que é o aterramento de alimentação. O fio neutro da rede pública está ligado a esse aterramento. Pode acontecer de a concessionária permitir que se aproveite este aterramento para nele ligar o fio terra da edificação. Nesse caso, deveremos ter o esquema de aterramento TN-S, onde o fio neutro e o fio terra são distintos na instalação.

A ABNT/NBR-5410/04 exige infraestrutura de aterramento confiável e eficaz, admitindo outras opções de construções. A opção que vamos adotar é o esquema TT, onde é cravada outra haste (ou outras) exclusiva para o fio terra (veja Figura 5.2). Também adotaremos como seção do fio terra a mesma dos condutores dos seus circuitos.

No esquema TT (Figura 5.17) há aterramentos separados do fio neutro da concessionária e das massas da instalação pelo fio terra (proteção – PE).



Figuras 5.17: Esquema TT – aterramento da concessionária distinto do aterramento da instalação

Fonte: ABNT/NBR-5410/04

No caso de, pelo menos duas hastes de aterramento, convém que sejam interligadas para evitar que uma eventual ddp entre elas ocasione corrente elétrica, retornando da terra para o equipamento.



Instalar o fio terra e sua haste é trabalho para o eletricitista. Um aterramento mal feito pode ser mais prejudicial que não ter aterramento algum.



Para saber mais sobre elementos de proteção, acesse:

<http://www.youtube.com/watch?v=SSJ9mWLh36Y>

<http://www.youtube.com/watch?v=jjPcfTVcU5s>

5.1.3.3 Equipamentos de proteção

Os equipamentos de proteção dos circuitos elétricos residenciais são os disjuntores termomagnéticos e os dispositivos diferenciais residuais. Eles oferecem proteção aos circuitos, desligando-se automaticamente quando ocorrem curto-circuito, sobretensão, sobrecorrente, fuga de corrente para a terra, ou choque.

- **Disjuntores termomagnéticos (DTM)**

Os DTM's são os dispositivos de baixa tensão mais comuns equipados com relés térmicos que atuam em presença de sobrecorrentes moderadas e relés magnéticos para sobrecorrentes elevadas. Agem, portanto, sob dois princípios de funcionamento.

O primeiro, uma proteção térmica, agindo pelo princípio do bimetal, – duas lâminas de metais distintos com coeficientes de dilatação diferentes. Se houver uma corrente elétrica ligeiramente acima da tolerância do disjuntor por um tempo significativo, as lâminas metálicas aquecem, curvam-se e desligam o circuito em poucos minutos. O segundo princípio é a atuação de uma grande sobrecorrente. Nesse caso, passa a agir uma bobina magnética que desliga instantaneamente o disjuntor devido ao elevado campo magnético trazido por esta elevada corrente.



- a) Os DTM's protegem a fiação e os equipamentos a ela plugados. São do tipo mono, bi ou trifásico, onde a corrente numa fase desarma simultaneamente as outras. Esses equipamentos interrompem apenas o fio fase.
- b) Existem disjuntores do padrão NEMA de cor escura, fixados em placas de montagem e do padrão IEC/DIN, de cor clara, fixados em trilhos. Convém sempre observar a padronização de disjuntores para os quadros de distribuição, como também as especificações desses produtos nos catálogos dos fabricantes.



Figura 5.18: (a) Disjuntores termomagnéticos padrão NEMA (americano) e (b) disjuntores termomagnéticos padrão DIN/IEC (europeu)

Fonte: (a) <http://redeseletricas.files.wordpress.com/2010/08/disjuntor-nema.jpg?w=298&h=162>

(b) <http://redeseletricas.files.wordpress.com/2010/08/disjuntor-din.jpg>

Os disjuntores são padronizados por suas correntes nominais. No mercado encontram-se disjuntores (DTM) de diversos fabricantes cujas correntes nominais (I_n) estão grafadas na alavanca de operação liga-desliga do disjuntor.

A corrente nominal é a máxima corrente elétrica que o equipamento de proteção pode suportar em regime ininterrupto, ao ar livre, considerando a temperatura ambiente.

Os números da Tabela 5.18 apresentada a seguir, representam para o disjuntor NEMA, calibragem a 25°C e para o disjuntor DIN, a 30°C; ambos de mesmo princípio de funcionamento: quanto maior a temperatura ambiente, menor a corrente de desarme.

Tabela 5.18: Escolha de disjuntores DTM

	Padrão NEMA (RTQ do Inmetro, Portaria n° 243)	Padrão DIN (NBR-NM-IEC-60898/04) e (NBR-IEC-60947-2/98)
Monofásico	15 – 20 – 25 – 30 35 – 40 – 50 – 60 – 70	10 – 16 – 20 – 25 32 – 40 – 50 – 63 – 70 – 80
Bifásico	15 – 20 – 25 – 30 – 35 40 – 50 – 60 – 70 – 90 – 100	10 – 16 – 20 – 25 32 – 40 – 50 – 63 – 70 – 80
Trifásico	15 – 20 – 25 – 30 – 35 40 – 50 – 60 – 70 – 90 – 100	10 – 16 – 20 – 25 32 – 40 – 50 – 63 – 70 – 80

Fonte: Adaptado pelo autor de Cotrim, 2008, p. 211



Para saber mais sobre disjuntores padrão NEMA e padrão DIN, acesse: <http://www.youtube.com/watch?v=0wj9SXqIF7I>



Sobre disjuntores, convém ainda saber que eles têm especificações quanto à sua corrente de curto-circuito (I_{cc}). Quanto mais alto o valor, maior a robustez do disjuntor. Os modelos residenciais são especificados para I_{cc} de 3 a 5 kA.

Os disjuntores são ainda diferenciados por faixa de atuação (B, C ou D) em função da curva que caracteriza o seu desarme. A diferença básica entre eles está no tempo de atuação do disparador magnético devido a curto-circuito.



Para saber mais sobre curva de desarme de disjuntores, acesse:
<http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/99-os-guardioes-da-instalacao.html>

<http://www.geindustrial.com.br/produtos/disjuntores/record/07.asp>

- **B** – o disparador magnético atua entre 3 e 5 vezes a corrente nominal (I_n). É destinado à proteção dos condutores que alimentam cargas de natureza resistiva como chuveiros, aquecedores e lâmpadas incandescentes (residencial).
- **C** – o disparador magnético atua entre 5 e 10 I_n . É destinado à proteção de condutores que alimentam cargas de natureza indutiva como lâmpadas fluorescentes, motores, eletrobombas e compressores (residencial e outros).
- **D** – o disparador magnético atua entre 10 e 50 I_n . É destinado à proteção de condutores que alimentam cargas de natureza fortemente indutivas como transformadores e demais cargas com elevada corrente de partida (acima de 10 I_n) (industrial).

Dimensionamento de disjuntores termomagnéticos (DTM)

Os disjuntores têm, por norma, especificações que dizem respeito à corrente elétrica de atuação e não atuação, o que leva um disjuntor a desarmar com precisão de 20% em torno do valor ajustado/calibrado.

Tem-se entendido que os disjuntores devem trabalhar aproximadamente a 80% de sua capacidade nominal, ou seja, 20% próximo de sua corrente nominal. Por isso, num circuito onde a corrente elétrica de projeto é 16 A, o disjuntor escolhido deverá ser de 20 A, (ou 1,25 vezes a corrente de projeto). Vê-se que a corrente nominal do disjuntor é sempre maior que a corrente elétrica em proteção, uma vez que ele deve desarmar com 80% dessa corrente nominal.



Variando ligeiramente entre os tipos de disjuntores (veja Cotrim, 2008, p. 212), é usual adotá-los por uma faixa de atuação compreendida entre 1,15 e 1,35 da corrente de projeto. Eles poderão ser escolhidos pelo seu valor nominal (valor nele grafado) posicionado nessa faixa, o que significa uma atuação de 74% a 87% de sua capacidade nominal.

Poderemos considerar duas hipóteses no dimensionamento de disjuntores residenciais:

a) Proteção do aparelho utilizador

Trata-se de um único aparelho utilizador de energia elétrica no circuito. Seja o nosso circuito 3, o chuveiro que, ligado em rede de 220 V, será submetido a uma corrente elétrica de 25 A, num fio calculado como de 4 mm². Conforme a Tabela 5.5, este fio permite passagem de corrente até o valor de 32 A.

Para proteger o chuveiro, devemos tomar como base de cálculo do disjuntor a corrente no circuito (25 A). Nesse caso o valor nominal da corrente elétrica no disjuntor (valor grafado no disjuntor) deve estar compreendido entre 1,15 e 1,35 da corrente elétrica a que ele se propõe controlar.

Dessa forma:

$$i = 25,0 \times 1,15 = 28,8 \text{ A}$$

$$i = 25,0 \times 1,35 = 33,8 \text{ A}$$

Como conclusão, o disjuntor de 32 A (bifásico, padrão IEC/DIN; Tabela 5.18) preferencialmente da curva B, será o disjuntor para o nosso circuito 3, chuveiro. E ele, protegendo o aparelho utilizador, protegerá também a fiação. (Poderia ser um disjuntor padrão NEMA de 30 A).

b) Proteção da fiação

No caso mais comum, os circuitos residenciais contêm vários pontos utilizadores de energia (lâmpadas ou tomadas). Cada aparelho ligado na rede elétrica utilizará uma fração da corrente total disponibilizada pela fiação. Nesse caso não haverá proteção individual a cada aparelho, mas à fiação.

Vejamos o caso do circuito 5 ($i = 18,7 \text{ A}$; $U = 127 \text{ V}$), mas que foi dimensionado com uma fiação de 2,5 mm².

Praticamente não há nenhuma garantia de que nas tomadas serão plugados os aparelhos com as potências atribuídas a elas, como também não há nenhuma garantia de que não serão usados aparelhos de potências acima das atribuídas. De qualquer forma, a fiação do circuito é de 2,5 mm² cuja capacidade de corrente é de 24 A. Ou antes, seria se não estivesse este circuito agrupado com outro (nº 2), o que lhe reduz a capacidade de condução da corrente, conforme coeficiente f_2 adotado no cálculo (Tabela 5.6).

Então, dimensionaremos o disjuntor para controlar a corrente elétrica na fiação e não mais a que prevaleceu para o dimensionamento dele (18,7 A). Mas corrigiremos a corrente (I_c) na fiação em função deste agrupamento dos circuitos 2 e 5.

$$I_c = I_{\text{fiação}} \times f_2 \times f_1$$

$$I_c = 24,0 \times 0,80 \times 1,00 = 19,2 \text{ A}$$

Da mesma forma, o valor nominal da corrente elétrica no disjuntor (valor grafado no disjuntor) deve estar compreendido entre 1,15 a 1,35 da corrente elétrica a que ele se propõe controlar.

$$i = 19,2 \times 1,15 = 22,1 \text{ A}$$

$$i = 19,2 \times 1,35 = 25,9 \text{ A}$$

O disjuntor de 25 A (monofásico, padrão IEC/DIN; Tabela 5.18), preferencialmente o da curva C, será o disjuntor para o nosso circuito 5. Ele protegerá apenas a fiação. (Analogamente também poderia ser um disjuntor do padrão NEMA monofásico de 25 A).

Expandindo essas considerações para os demais circuitos, inclusive para o circuito de alimentação, teremos, considerando disjuntores padrão IEC/DIN para o quadro de distribuição e padrão NEMA para o disjuntor geral no quadro de medição:

Tabela 5.19: Dimensionamento dos nossos disjuntores

Circuito	1	2	3	4	5	6	Geral
Fiação (mm ²)	1,5	1,5	4,0	2,5	2,5	2,5	10,0
Corrente a proteger (i)	17,5	17,5	25,0	24,0	24,0	24,0	57,0
f ₁ (temperatura)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
f ₂ (circuitos agrupados)	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	1,00	0,80
Corrente corrigida $i_c = i \times f_1 \times f_2$	17,5	14,0	25,0	24,0	19,2	24,0	45,6
$1,15 \times i_c$	20,1	16,1	28,8	27,6	22,1	27,6	52,4
$1,35 \times i_c$	23,6	18,9	33,8	32,4	25,9	32,4	61,6
Disjuntor – DTM (A)	1 × 20	1 × 20	2 × 32	1 × 32	1 × 25	1 × 32	2 × 60

Fonte: autor

a) Quando o circuito for constituído de mais de uma fase, o dispositivo de proteção deve ser multipolar. Dispositivos unipolares montados lado a lado, apenas com suas alavancas de manobra acopladas não são considerados dispositivos multipolares (ABNT/NBR-5410/04).

b) Nunca troque um disjuntor por outro de maior amperagem sem trocar a fiação. Sempre deverá haver correspondência entre ambos.



• Dispositivos diferenciais residuais (DR's)

Os dispositivos diferenciais residuais (Disjuntor Diferencial Residual – DDR e Interruptor Diferencial Residual – IDR) são elementos de proteção constituídos por dispositivos eletrônicos de sensores de corrente e de processamento de sinais. O DR é um sensor que mede as correntes que entram e saem no circuito. As duas, sendo de mesmo valor, mas de sinais contrários em relação à carga, têm soma nula. Se a soma não for nula deve estar acontecendo fuga de corrente para a terra ou alguém está levando um choque. Nesses casos, o dispositivo desarma, desligando o circuito, e o usuário deve verificar o que provocou o desligamento antes de energizá-lo novamente.



Para saber mais sobre dispositivo DR, acesse:
http://www.youtube.com/watch?v=D_0tDW3oT7c

Os DR's são elementos cuja principal função é proteger as pessoas contra choques elétricos, e não a rede elétrica ou os equipamentos.

Um cuidado que se deve ter na instalação de um DR é a ausência de aterramento do circuito após ele, pois se assim acontecer, havendo uma corrente de fuga para a terra, não haverá detecção pelo DR e, portanto, não haverá o seu desarme. Outro cuidado é que o sistema de aterramento adotado não seja o tipo TN-C (fio terra conjugado com fio neutro).

A sensibilidade dos DR's varia de 30 a 500 mA, e o mesmo deverá ser dimensionado com cuidado, pois existem perdas para a terra inerentes à própria qualidade da instalação.

- 30 mA – proteção contra contato direto e contato indireto.
- 100 e 300 mA – proteção contra contato indireto.
- 500 mA – proteção contra incêndios.



A ABNT/NBR-5410/04 exige a utilização de proteção diferencial residual (disjuntor ou interruptor) de alta sensibilidade (30 mA) em circuitos terminais que sirvam, a:

- Tomadas em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, piscinas, garagens e a todo local interno molhado em uso normal ou sujeito a lavagens.
- Tomadas em áreas externas.
- Tomadas que, embora instaladas em áreas internas, possam alimentar equipamentos em áreas externas.
- Pontos situados em locais contendo banheiras ou chuveiros.

a) Interruptor Diferencial Residual (IDR)



Figura 5.19: Interruptor diferencial residual bipolar e tetrapolar

Fonte: http://www.mercadolivre.com.br/jm/img?s=MLV&f=16829586_787.jpg&v=E

O IDR é um equipamento de proteção composto de um interruptor conjugado com um dispositivo diferencial residual que protege, principalmente, as pessoas contra choques.

Tabela 5.20: Escolha de IDR (Interruptor Diferencial Residual)

30 mA (alta sensibilidade)	
Bipolar (F/N ou F/F)	25 – 40 – 63 – 80
Tetrapolar (F/F/N ou F/F/F/N)	25 – 40 – 63 – 80 – 100

Fonte: autor

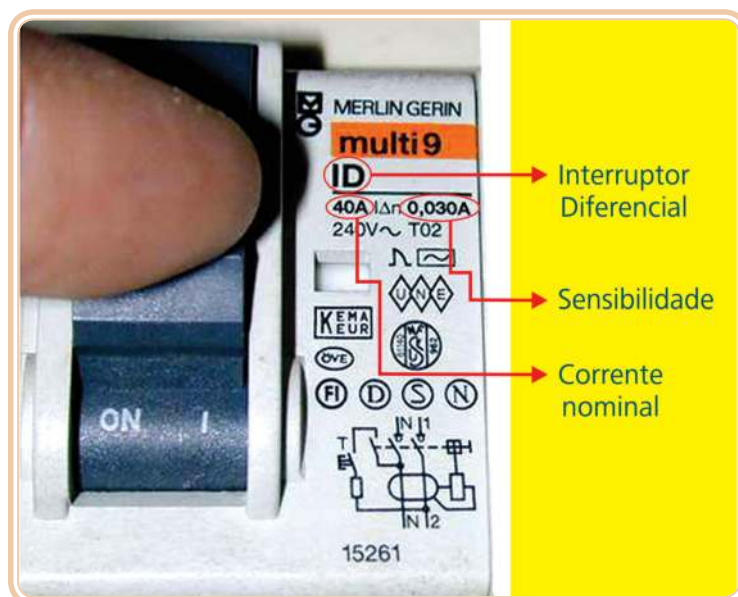


Figura 5.20: Detalhes de especificações de um IDR

Fonte: CTISM, adaptado de <http://www.pasarlascanutas.com/halogenahalogenah16.JPG>

b) Disjuntor Diferencial Residual (DDR)



Figura 5.21: Disjuntor diferencial residual bipolar e tetrapolar

Fonte: http://www.comofazer.org/wp-content/uploads/2011/02/disjuntor_diferencial-300x240.jpg

O DDR é um equipamento de proteção constituído de um disjuntor termomagnético conjugado com um dispositivo diferencial residual que protege as pessoas contra choque; os fios do circuito e os equipamentos contra sobrecorrente, curto-circuito e sobretensão.

Ele é mais completo que o IDR e é encontrado no mercado como DDR bipolar, com sensibilidade de 30 mA para as correntes nominais de 6, 10, 16, 20, 25 e 32 A.

Dimensionamento de dispositivos diferenciais residuais (DR's)

Pode-se usar para proteger os circuitos os DR's, segundo os mesmos cálculos aplicados aos DTM.

No entanto, como os dispositivos DR's são mais limitados em especificações, não se adequam a todas as situações, como os DTM. Nesses casos os DR's deverão ser instalados, obrigatoriamente, em associação com os DTM de forma a proporcionar uma proteção completa contra sobrecargas, curto-circuitos e fugas de corrente para a terra.

Já que haverá associação com DTM, associa-se um IDR, sem esquecer que ambos deverão ser do mesmo padrão (DIN). A associação poderá ser feita conforme a Tabela 5.21.

Tabela 5.21: Associação de IDR com DTM (Padrão DIN)

DTM (A)	10/16/20/25	32/40	50/63	70/80
IDR (A)	25	40	63	80

Fonte: autor



Os IDR's são instalados em série com os DTM's no quadro de distribuição, tendo como característica a interrupção dos fios fase e neutro.

Para nosso projeto, por obrigações normativas, usaremos IDR para os circuitos 3, 4 e 5 associados aos DTM's, segundo a orientação da Tabela 5.21.

Padronizaremos disjuntores DIN/IEC no quadro de distribuição e disjuntor NEMA no quadro de medição, conforme mostra a Tabela 5.22.

Tabela 5.22: Disjuntores

Circuito	1	2	3	4	5	6	Geral
Fiação (mm²)	1,5	1,5	4,0	2,5	2,5	2,5	10,0
DTM (A)	1 × 20	1 × 20	2 × 32	1 × 32	1 × 25	1 × 32	2 × 60
IDR (A)	-	-	2 × 40	2 × 40	2 × 25	-	-

Fonte: autor

Como se vê, já necessitou em nosso projeto de um quadro de distribuição que tenha treze espaços para comportar os seguintes nove disjuntores:

DTM – 5 monofásicos e 1 bifásico = 7 espaços

IDR – 3 bipolares = 6 espaços

E ainda, precisamos de espaço para disjuntores reservas de mais dois circuitos, conforme observamos na Tabela 5.11. Se cada um desses dois circuitos reservas

necessitar de disjuntores DTM e IDR, serão, para cada um desses circuitos 3 espaços (1 DTM monofásico e 1 IDR bipolar).

Devemos, portanto ter um quadro de distribuição com espaço que comporte além dos nossos nove disjuntores, pelo menos mais quatro disjuntores reservas, ou seja, um total de dezenove espaços, pelo menos.

Os quadros para maior quantidade de disjuntores devem ser providos de barramentos, tanto para as fases como para o neutro e aterramento. É necessário ainda espaço para um disjuntor geral.

Os elementos de proteção dos circuitos (DR's ou DTM's) são projetados para desarmar diante de falhas do sistema, muitas vezes provocadas por instalações mal feitas ou danificadas. Conheça, portanto, os materiais e suas aplicações e, sobretudo, tenha um projeto elétrico correto com sua montagem confiável.



Finalmente na conclusão do dimensionamento dos circuitos, passaremos ao dimensionamento dos eletrodutos que os abrigarão.

5.1.4 Dimensionamento dos eletrodutos

Eletrodutos são os dutos por onde passam os condutores elétricos (Figura 5.22). Eles se destinam a proteger esses condutores contra as agressividades químicas e mecânicas dos ambientes, como também proteger os ambientes contra os perigos de incêndio resultantes de superaquecimento dos condutores. Podem ser instalados externamente, mas normalmente em edificações são embutidos nas alvenarias. Inclusive já adotamos esta situação quando optamos pela referência nº 7 (B1) da Figura 5.9.

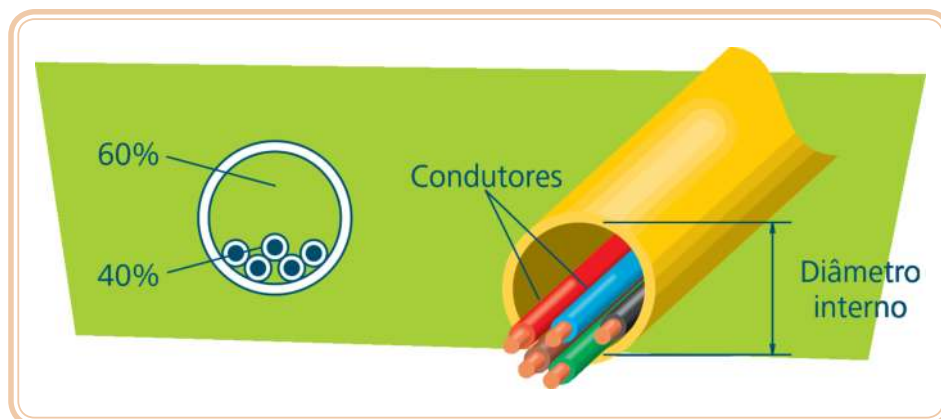


Figura 5.22: Eletroduto e condutores com taxa de ocupação de 40%

Fonte: CTISM

5.1.4.1 Relação direta diâmetro do eletroduto/quantidade de condutores de mesma seção

Os eletrodutos são definidos normalmente por consulta à tabela dos fabricantes, pela quantidade de condutores e respectiva seção, que passam por eles. Apesar de variar ligeiramente em função dos materiais e fabricantes a Tabela 5.23, com taxa de ocupação de 40%, serve como referência para condutores flexíveis (cabos).

Tabela 5.23: Dimensionamento de eletrodutos em função do n° máximo de cabos com isolamento PVC/70°C

Condutor (mm ²)	Eletroduto PVC rígido (DN – mm)				
	16	20	25	32	40
1,5	6	11	19	32	51
2,5	4	8	13	23	36
4	3	6	10	16	26
6	2	4	7	12	19
10	1	3	4	8	13
16	1	2	3	5	8
25	0	1	2	3	5

Fonte: autor



A Tabela 5.23 é mais utilizada para cabos (condutor flexível) que têm sido mais comuns no comércio. Entretanto pode ser utilizada para fios rígidos (sólidos) que são ligeiramente mais finos. Nesse caso estaremos com uma taxa de ocupação ligeiramente menor que 40%.

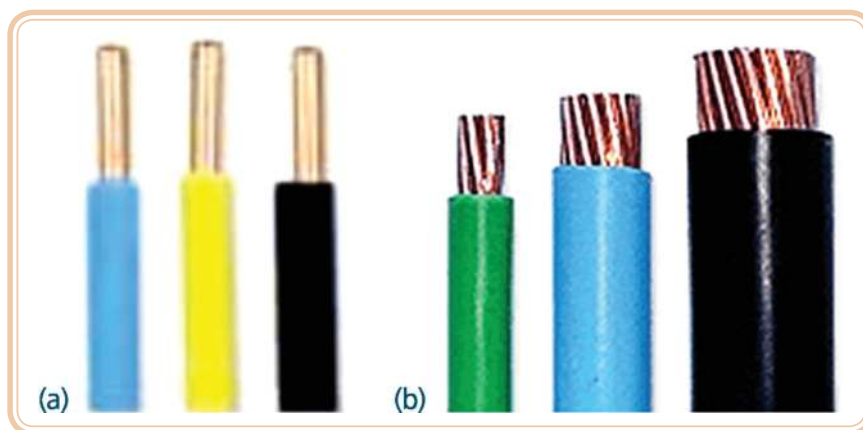


Figura 5.23: (a) Fio rígido (sólido) e (b) cabo flexível

Fontes: (a) http://www.hotfrog.com.br/Uploads/PressReleases2/Fio-Solido-59172_image.jpg
(b) http://www.digitronrs.com.br/site/prod/gr/cabosFios/cabo_bwf_750_02.jpg

O fio é um condutor rígido envolvido por isolamento plástico, enquanto o cabo é um condutor flexível composto de vários filamentos trançados, também isolados com plástico. Ambos são identificados pela área da seção transversal, em mm².

5.1.4.2 Determinação do eletroduto pelas seções equivalentes das fiações

Muitas vezes, por passarem pelos eletrodutos fios de diferentes seções, devemos fazer uma conversão em seções equivalentes (Tabela 5.24), ou seja, converter todos os fios para uma mesma seção, de maneira a se poder utilizar, a seguir, a Tabela 5.23.

Tabela 5.24: Seções equivalentes – relações entre áreas de condutores						
mm ²	1	1,5	2,5	4	6	10
1	1,00	1,41	1,97	2,73	3,65	5,50
1,5	0,71	1,00	1,40	1,94	2,60	3,91
2,5	0,51	0,71	1,00	1,38	1,85	2,79
4	0,37	0,52	0,72	1,00	1,34	2,02
6	0,27	0,39	0,54	0,75	1,00	1,51
10	0,18	0,26	0,36	0,50	0,66	1,00

Fonte: autor

Exemplo

Vamos dimensionar o eletroduto por onde passam os fios e suas respectivas seções, esquematizados pela Figura 5.24.

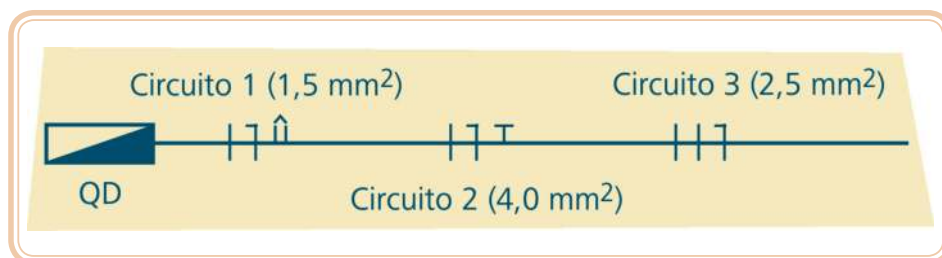


Figura 5.24: Esquema para dimensionamento do eletroduto do exemplo dado

Fonte: autor

Consideremos a equivalência à seção 2,5 mm² (fixar-se na linha de 2,5 da Tabela 5.24).

mm ²	1	1,5	2,5	4	6	10
2,5	0,51	0,71	1,00	1,38	1,85	2,79

Observe os coeficientes para cada bitola de fio.



A quantidade de fios de cada bitola.

4 condutores de 1,5 equivalem a $4 \times 0,71$ condutores de 2,5
2,84 fios

3 condutores de 2,5 equivalem a $3 \times 1,00$ condutores de 2,5
3,00 fios

3 condutores de 4,0 equivalem a $3 \times 1,38$ condutores de 2,5
4,14 fios

$\Sigma = 9,98$ fios

Portanto a equivalência dos fios será a correspondente a 9,98 fios de 2,5 mm². Digamos 10.

Em consulta à Tabela 5.23:

Para 10 condutores de 2,5 mm² → Eletroduto de 25 mm de diâmetro (que cabem 13)



Observe que mesmo no eletroduto de 20 mm estes fios também caberiam, porém com uma taxa de ocupação maior que 40%.

Retornando ao nosso projeto, dimensionemos os eletrodutos.

Consultando a planta de distribuição da fiação PE – 5 (Figura 5.8), verifica-se que:

- a) A maioria dos eletrodutos comporta 3 ou 4 fios, de # 1,5 mm² ou 2,5 mm². Em consulta à Tabela 5.23 observamos que o eletroduto de 16 mm de diâmetro é o suficiente, pois comporta até 6 fios de # 1,5 mm² ou 4 de # 2,5 mm².
- b) Para o circuito do chuveiro (circuito 3), usaremos 3 fios de # 4 mm², cuja tabela indica eletroduto de 16 mm, também.

- c) Do quadro de distribuição, os circuitos 2 e 5 saem pelo mesmo eletroduto. Fazendo uma composição de seções equivalentes, verificamos que o eletroduto que os atende é o de 20 mm.

Equivalência a 2,5 mm²:

Circuito 2: $2 \times 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \times 0,71 = 1,42 \text{ fios de } 2,5 \text{ mm}^2$
Circuito 5: $3 \times 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow 3 \times 1,00 = 3,00 \text{ fios de } 2,5 \text{ mm}^2$
Total: 4,42 fios de 2,5 mm²
5 fios de 2,5 mm² $\rightarrow$ eletroduto 20 mm

- d) Para o circuito de alimentação do quadro de medição ao quadro de distribuição, teremos:

3 # 10 mm² $\rightarrow$ eletroduto 20 mm

Considere que, sendo previsíveis futuras ampliações, a colocação de eletrodutos de diâmetro uma pontuação acima da necessária, pode ser indicada, assim como a colocação de eletrodutos que a princípio não serão preenchidos, mas que ficarão disponíveis para futuras utilizações.



5.2 Quadro e diagramas

5.2.1 Quadro de cargas

O quadro de cargas apresenta de maneira direta e clara os dados sobre cada circuito e seus elementos. Embora possa variar de profissional para profissional, com maior ou menor número de informações, o modelo que segue é bastante representativo.

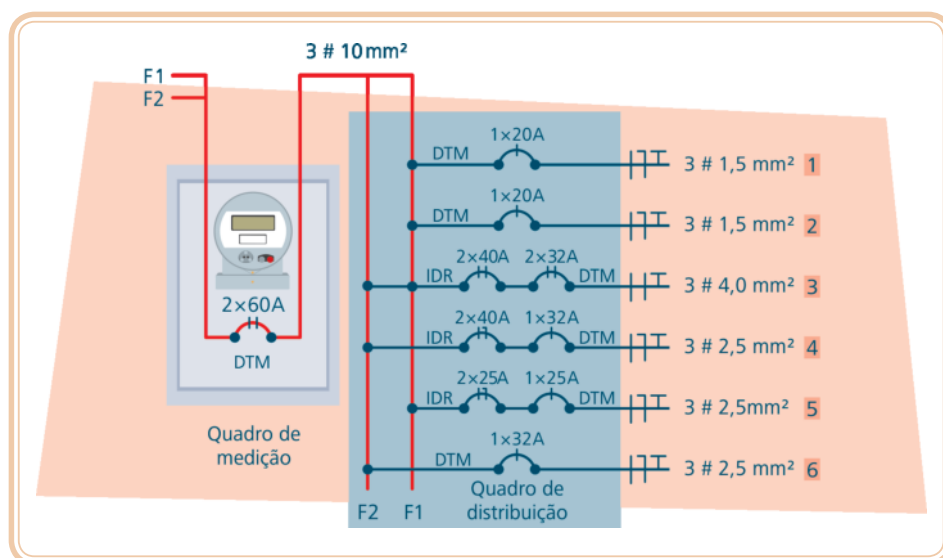
Quadro 5.1: Quadro de cargas

Circuito	Lâmpadas (W)			Tomadas (VA)			Potência (VA)	Fiação (#) (mm ²)	Disjuntor (A)
	18	36	100	100	600	5500			
1	1	4	4				1040	1,5 – F1/N/T	DTM – 1 × 20
2	2	8	3				1040	1,5 – F1/N/T	DTM – 1 × 20
3						1	5500	4,0 – F1/F2/T	IDR – 2 × 40 DTM – 2 × 32
4				3	4		2700	2,5 – F2/N/T	IDR – 2 × 40 DTM – 1 × 32
5				1	3		1900	2,5 – F1/N/T	IDR – 2 × 25 DTM – 1 × 25
6				17			1700	2,5 – F2/N/T	DTM – 1 × 32
Padrão								10,0 – F1/F2/N	DTM – 2 × 60

Fonte: autor

5.2.2 Diagrama de fase(s)

Nesse diagrama representamos exclusivamente o(s) fio(s) fase(s) pelos quadros de medição e distribuição e pelos disjuntores. Nele também se marcam as respectivas especificações dos fios e dos disjuntores. O fio neutro não é representado no diagrama de fases, embora passe pelas mesmas tubulações e tenha a mesma seção do fio fase. O fio terra também não é representado nesse diagrama.

**Figura 5.25: Diagrama de fases (diagrama bifilar)**

Fonte: CTISM, adaptado do autor

5.2.3 Diagrama geral

Representação de todos os fios (fases, neutro e terra), disjuntores e suas conexões com os circuitos de alimentação e distribuição, inclusive o aterramento. Observe, neste diagrama que os DTM's só interrompem os fios fases, já os DR's interrompem tanto o fio fase como o fio neutro. O fio terra não é interrompido por nenhum dispositivo.

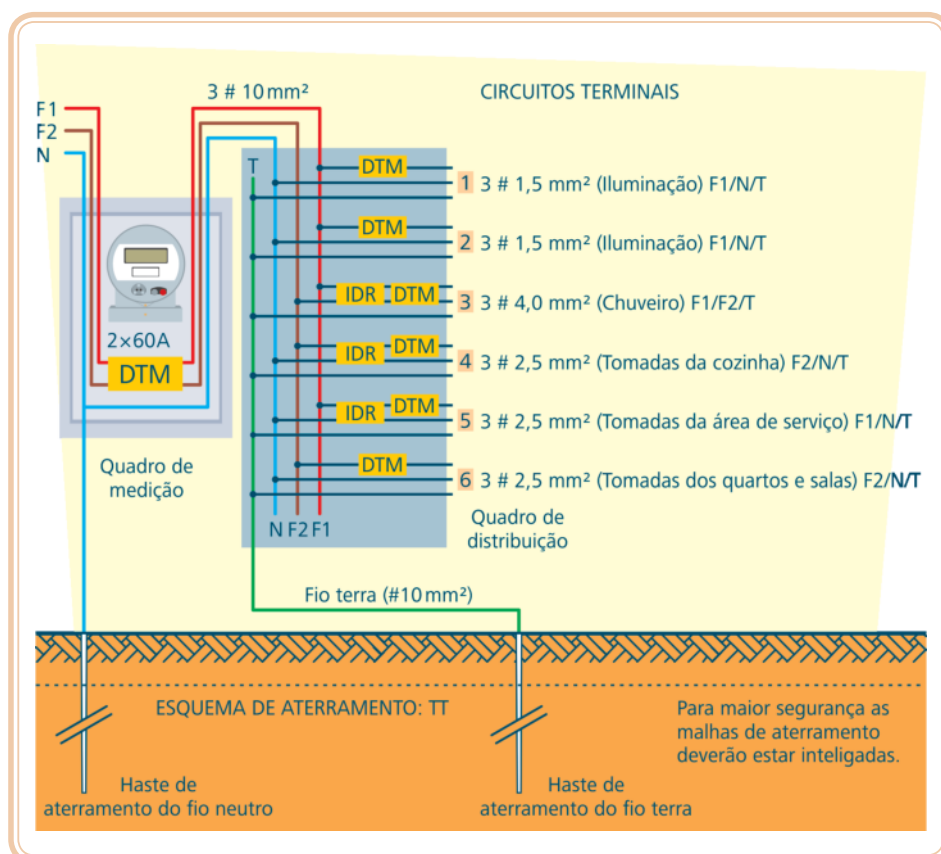


Figura 5.26: Diagrama geral (esquema das ligações com todos os fios e disjuntores)

Fonte: CTISM, adaptado do autor

5.3 Planta completa

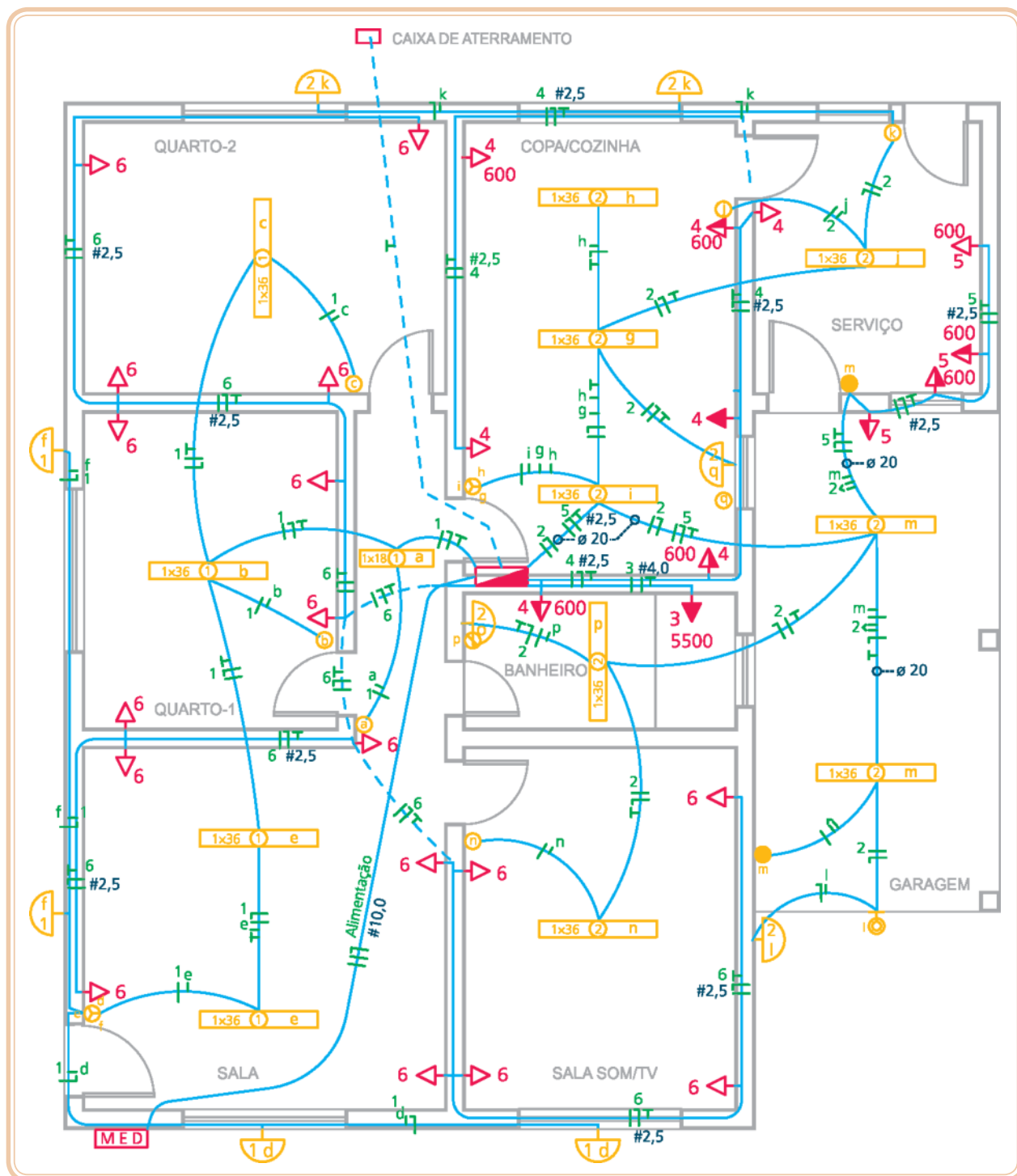


Figura 5.27: PE – 6 – planta completa com dimensionamentos

Fonte: CTISM, adaptado do autor

5.4 Materiais

5.4.1 Características de alguns materiais elétricos

Os materiais empregados em instalações elétricas são, na maioria, os metais cobre e alumínio por serem condutores, os plásticos por serem isolantes, e materiais cerâmicos vitrificados como bocais de lâmpadas. Outros ainda como os eletrodutos, disjuntores, interruptores, tomadas, reatores, caixas de embutir e complementos indispensáveis como conectores, fita isolante, receptáculos, suportes, etc.

Os condutores são fabricados com uma liga de cobre onde se misturam elementos diversos em pequenas quantidades, a fim de diminuir a formação de óxido cuproso que é corrosivo e faz diminuir a seção, reduzindo a condutividade do material. São revestidos por uma capa plástica, apresentando-se em várias cores. Por norma, na construção dos circuitos, o fio neutro deve ser o azul-claro, ficando as demais cores para os fios fases, exceto o verde ou verde-amarelo que caberão ao fio terra.

Os plásticos são de PVC na maioria. Utilizado como revestimento dos condutores e como caixas de embutir, quadros e eletrodutos. Eles ampliam sua utilização em instalações elétricas devido à leveza, boa trabalhabilidade e durabilidade.

Um disjuntor é identificado por sua corrente nominal e por sua capacidade de interrupção que representa o valor máximo da corrente de curto-circuito (I_{cc}) que o fabricante do disjuntor garante sem que ele sofra avarias. Suas características, bem como sua curva de atuação devem estar grafadas no disjuntor.

Muitas peças como luminárias, espelhos de tomadas e interruptores que ficarão à vista, são oferecidos em vários estilos e linhas, de modo a atender aos mais variados gostos dos usuários.

Muitos materiais e equipamentos são mais confiáveis por serem testados pelo INMETRO que os aprova segundo suas normas e favorece o selo de inspeção e qualidade.

Em todos os projetos, é de fundamental importância a especificação técnica dos diversos componentes. É a partir das especificações que os materiais serão adquiridos para a montagem das instalações, devendo garantir adequado funcionamento e segurança aos usuários e ao patrimônio. Dessa forma, na lista de materiais, deve constar com clareza a descrição dos componentes



elétricos, suas características (especificações) e a quantidade a ser adquirida. Mais completa será se vier acompanhada de preços individuais e totais.

5.4.2 Relação de materiais para o nosso projeto

1. Quadro de distribuição de embutir, com espaço para 20 disjuntores, padrão IEC/DIN – 01 un.
2. Eletroduto rígido de PVC, Ø de 16 mm – 50 tubos de 3 m.
3. Idem, Ø de 20 mm – 10 tubos de 3 m.
4. Curva PVC rígido 90° x Ø 16 mm – 30 un.
5. Curva PVC rígido 90° x Ø 20 mm – 06 un.
6. Caixa de PVC retangular 4 x 2, de embutir – 49 un.
7. Caixa de PVC de fundo móvel – 13 un.
8. Interruptor completo com espelho de uma seção – 7 un.
9. Idem, de duas seções – 01 un.
10. Interruptor de três seções – 02 un.
11. Interruptor paralelo (*three-way*) – 02 un.
12. Sensor de presença para lâmpada 100 W/127 V – 01 un.
13. Tomada de três pinos (F/N/T) completa com espelho – 28 un.
14. Arandela com bocal (boquilha), rosca E-27 com lâmpadas incandescentes 100 W/127 V – 07 un.
15. Luminária completa com lâmpada fluorescente de 36 W, TCC = 3800 K, IRC > 95%, reator de alto fator de potência e THD < 30% – 12 un.
16. Idem, 18 W: 03 un.

17. Disjuntor termomagnético, padrão IEC/DIN, monofásico de 20 A – 02 un.

18. Idem, 32 A – 02 un.

19. Idem, 25 A – 01 un.

20. Disjuntor termomagnético, padrão IEC/DIN, bifásico de 32 A – 01 un.

21. Disjuntor termomagnético padrão NEMA, bifásico, 60 A – 01 un.

22. Dispositivo residual IDR, bipolar, sensibilidade 30 mA, corrente nominal 40 A – 02 un.

23. Dispositivo residual IDR, bipolar, sensibilidade 30 mA, corrente nominal 25 A – 01 un.

24. Cabo flexível, # 1,5 mm², isolamento de PVC, 70°C, BWF, 750 V, vermelho – 70 m.

25. Idem, branco – 85 m.

26. Idem, azul-claro – 75 m.

27. Idem, amarelo – 30 m.

28. Idem, verde-amarelo – 25 m

29. Cabo flexível, # 2,5 mm², isolamento de PVC, 70°C, BWF, 750 V, preto – 70 m.

30. Idem, verde-amarelo – 70 m.

31. Idem, azul-claro – 70 m.

32. Cabo flexível, # 4,0 mm², isolamento de PVC, 70°C, BWF, 750 V, vermelho – 8 m.

33. Idem, verde-amarelo – 4 m.

34. Fio rígido, # 10,0 mm², isolamento de PVC, 70°C, BWF, 750 V, preto – 30 m.

35. Idem, azul-claro – 15 m.

36. Idem, verde-amarelo – 15 m.

37. Fita isolante, rolo de 40 m – 4 un.

38. Chuveiro, 5500 W/220 V – 01 un.

39. Padrão completo (caixas, pontaletes, duas hastes de aterramento, conectores, etc.) – 01 un.

5.5 Manual do proprietário

Como os moradores normalmente são leigos em instalações elétricas, deve ser deixado na residência o Manual do Usuário, redigido em linguagem simples, que contenha, no mínimo, os seguintes elementos:

- Esquema do quadro de distribuição com indicação dos circuitos e respectivas finalidades.
- Potências máximas que podem ser ligadas em cada circuito efetivamente disponível.
- Potências máximas previstas nos circuitos deixados como reserva, quando for o caso.
- Recomendações explícitas para que não sejam trocados, por tipos com características diferentes, os dispositivos de proteção (disjuntores) existentes no quadro.

Quadros como estes podem ser de grande utilidade.

Quadro 5.2: Manual do proprietário – Dados

Endereço:		
Área construída: 110 m ²	Padrão: BIFÁSICO	Concessionária: CEMIG
Proprietário:	Tel:	
Responsável pelo projeto:	Tel:	
Eletricista:	Tel:	

Fonte: autor

Quadro 5.3: Manual do proprietário – Advertências

1. Quando um disjuntor atua, desligando algum circuito ou a instalação inteira, a causa pode ser uma sobrecarga ou um curto-circuito. Desligamentos frequentes são sinais de sobrecarga. Por isso NUNCA troque seus disjuntores por outro de maior corrente (maior amperagem) simplesmente. Como regra, a troca de um disjuntor por outro de maior corrente requer, antes, a troca dos fios elétricos, por outro de maior seção.
2. Da mesma forma, NUNCA desative ou remova a chave automática de proteção contra choques elétricos (dispositivo DR), mesmo em caso de desligamentos sem causa aparente. Se os desligamentos forem frequentes e, principalmente, se as tentativas de religar a chave não tiverem êxito, isto significa, muito provavelmente, que a instalação elétrica apresenta anomalias internas que só podem ser identificadas e corrigidas por profissionais qualificados. A DESATIVAÇÃO OU REMOÇÃO DA CHAVE SIGNIFICA A ELIMINAÇÃO DE MEDIDA PROTETORA CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS E RISCO DE VIDA PARA OS USUÁRIOS DA INSTALAÇÃO.
3. Qualquer acréscimo de carga além da prevista (circuito 7) exigirá a substituição da fiação de alimentação do QD de 10,0 mm² por outra de maior seção, além do pedido de aumento de carga à concessionária.

Fonte: ABNT/NBR-5410/04

Quadro 5.4: Manual do proprietário – Quadro de caracterização dos circuitos

Circuito	Potência (VA)	Fase 1	Fase 2	# (mm ²)	Disjuntor (A)	Área a que atende*
1	1040	X	-	1,5	1 × 20 DTM	Iluminação lateral direita
2	1040	X	-	1,5	1 × 20 DTM	Iluminação lateral esquerda
3	5500	X	X	4,0	2 × 40 IDR 2 × 32 DTM	Chuveiro
4	2700	-	X	2,5	2 × 40 IDR 1 × 32 DTM	Tomadas da copa-cozinha e banheiro
5	1900	X	-	2,5	2 × 25 IDR 1 × 25 DTM	Tomadas área de serviço e garagem
6	1700	-	X	2,5	1 × 32 DTM	Tomadas das salas, quartos e circulação
7 Reserva**	1400	-	-	-	-	-
Geral	13880	6730	7150	10,0	2 × 60 DTM	Toda a instalação

* Posicione-se de frente para o quadro de distribuição.

** No caso da criação do circuito 7 (1400 VA), haverá redistribuição dos circuitos nas fases, assim ficando:

Fase 1: 1 + 2 + 3/2 + 4 = 7530 VA **Fase 2:** 3/2 + 5 + 6 + 7 = 7750 VA

Fonte: autor

Resumo

Dimensionar circuitos corresponde a dimensionar fiação, disjuntores e eletrodutos. Na complementação do projeto elétrico, o quadro de carga e os diagramas sintetizam em leitura rápida e fácil os elementos do projeto e suas ligações. A relação de material é componente essencial de um projeto.

Informações complementares deixadas na residência com os moradores, facilitam o conhecimento da instalação para manutenção e futuros acréscimos, oferecendo segurança e confiabilidade.



Atividades de aprendizagem

1. Efetue no seu projeto os cálculos pertinentes e complete-o com os quadros e diagramas necessários para a complementação do projeto elétrico.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC-60947-2**: dispositivo de manobra e comando de baixa tensão. Parte 2: disjuntores. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-60898**: disjuntores para proteção de sobrecorrentes para instalações domésticas e similares. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5413**: iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5444**: símbolos gráficos para instalações elétricas prediais. Rio de Janeiro, 1989.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **ND-5.1**: fornecimento de energia elétrica em tensão secundária. Rede de distribuição aérea – edificações individuais. Belo Horizonte, 2009.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações elétricas**. São Paulo: Makron Books, 2008.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ da Portaria 243**: disjuntor de baixa tensão para uso residencial. Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, Mauri Luiz. **Luz, lâmpadas e iluminação**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.

TAMINETTI, Ricardo Prado. **Projeto de instalações elétricas residenciais**. Belo Horizonte: Vert Engenharia, 2006.

Currículo do professor-autor



Luiz Alcides Mesquita Lara nasceu a 14/04/1954, no Rio de Janeiro. Estudou o curso secundário no Colégio Estadual Professor Soares Ferreira em Barbacena-MG e se formou em Engenharia Civil pela Escola de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto em julho de 1979. Desenvolveu, a partir de então atividades de engenheiro na Prefeitura Municipal de Mariana-MG e na construção do campus da Universidade Federal de Ouro Preto até 1990, quando foi admitido na carreira de docente para o curso de Edificações da então Escola Técnica Federal de Ouro Preto, hoje, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, campus Ouro Preto. Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico tem curso de Licenciatura Plena pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e Especialização em Materiais para a Construção Civil pelo mesmo instituto. Entre outras disciplinas, ministra aulas de Instalações Elétricas e Materiais de Construção.