

A P R E S E N T A Ç Ã O

Este **Guia EM da NBR 5410** materializa dois desejos. O dos profissionais da área de instalações elétricas, que reclamavam há muito a existência de um documento desse tipo, que os auxiliasse em seu trabalho. E o da equipe da revista *Eletricidade Moderna*, que vem acalentando esse projeto também há tempos.

Eletricidade Moderna tem registrado e acompanhado as sucessivas edições da norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão, a NBR 5410. A ponto de ambas as trajetórias, a da revista e a da norma, se confundirem. A revista se tornou uma referência obrigatória quando o assunto é a norma de instalações.

Isso desde o impacto da edição de 1980, que representou uma grande mudança em relação à norma anterior. Além de numerosos artigos, a revista tem publicado, mensalmente, seções dedicadas ao debate e ao esclarecimento da norma.

Parte desse rico acervo foi revisada, editada e atualizada, compondo, ao lado de um bom volume de material inédito, esta publicação especial que agora chega às mãos do profissional de instalações.

E chega, por coincidência, numa data relevante na história da norma brasileira de instalações elétricas. Em outubro último essa história completou 60 anos.

Talvez a melhor imagem para caracterizar a natureza desse **Guia EM** seja descrevê-lo como semelhante aos manuais de “visita guiada” de museus e exposições; ou, esquecendo o formato impresso, imaginá-lo como a própria visita monitorada a uma exposição.

Esse é, de fato, o espírito presente em muitas partes deste guia. Ele promove visitas a diferentes seções da norma, conduzindo o leitor a descobertas: qual a razão de tal regra, como interpretá-la, com quais outras ela se relaciona, etc.

O guia complementa a norma. A companhia da norma, evidentemente, torna a leitura do guia mais enriquecedora. Ou vice-versa. Por exemplo, o guia traz inúmeras referências a partes da norma, como tabelas ou mesmo texto, que não reproduz. Isso não significa que o leitor precisará proceder a uma imediata consulta à parte da norma referida para a compreensão do que é exposto. Porque o guia não foi redigido pressupondo que isso devesse acontecer ou então que o leitor devesse ter conhecimento da parte referida. Voltando à analogia do museu, pode-se adquirir o guia de visita em qualquer livraria e lê-lo a milhares de quilômetros de distância das atrações descritas. Mas, claro, é bem melhor desfrutar de ambos conjuntamente.

O Guia está estruturado em “seções” e “artigos”. Cada seção é dedicada a um dos assuntos-chave da norma: linhas elétricas, proteção contra choques, proteção contra sobrecorrentes e assim por diante. Na norma, cada uma dessas questões é geralmente tratada de forma recorrente ao longo do texto. Por exemplo, a proteção contra sobrecorrentes é abordada em pelo menos três diferentes trechos da NBR 5410: em 5.3, onde as

.....

medidas de proteção são expostas; em 5.7.4, que se ocupa da aplicação das medidas; e em 6.3.4, que retoma o tema sob o ponto de vista da seleção e instalação do dispositivo que irá cumprir a função (proteção contra sobrecorrentes). No Guia, tudo isso está reunido numa seção só.

Há, naturalmente, referências cruzadas entre artigos e entre seções. Não têm a comodidade dos *hyperlinks* da informação eletrônica, é verdade, mas ajudam bem o leitor a se localizar no estudo de um tópico particular. Foram aplicadas de forma comedida, no entanto. Para não truncar a leitura dos textos, sobre muitas vezes serem óbvias.

Comparado a outros guias de normas de instalações, de outros países, este **Guia EM da NBR 5410** tem suas peculiaridades. Pode ficar devendo a eles em muitos aspectos. Mas com certeza é melhor num ponto. A maioria dos guias existentes se contenta em apresentar as regras de “sua” norma de uma maneira mais inteligível — já que não é próprio das normas técnicas uma linguagem didática — e a fornecer orientação sobre a aplicação dessas regras, às vezes recorrendo a exemplos práticos. Nosso guia vai mais longe. Ele explica as razões de certas prescrições.

Vale a pena? Não é essa uma preocupação de duvidosa utilidade?

Ao contrário, saber por que se faz é o melhor caminho para bem fazer. Sem contar sua eficácia como mecanismo cognitivo. Apontar as razões, desvendar o cerne das questões, tem um efeito na retenção da informação transmitida muito superior à da assimilação que essa informação teria se passada de forma simplesmente descritiva, mecânica.

Esta primeira edição do **Guia EM da NBR 5410** concentrou-se no essencial da norma. Ou seja, a preocupação foi, principalmente, explicar e detalhar as regras da norma no que elas têm de geral. E as exceções? Bem, freqüentemente essas exceções são colocadas de forma explícita na norma e não há muito o que acrescentar. Por isso, o Guia optou por debruçar-se, no particular, sobre exceções relevantes e de interpretação intrincada.

A idéia, de qualquer forma, é que após o pontapé inicial dessa primeira edição as posteriores venham a enriquecer o Guia ainda mais. Entendemos o Guia como uma obra dinâmica. E desatrelada das edições da norma, em si. Ele será novamente publicado sempre que o material disponível para acréscimo, sem contar atualizações e eventuais correções, for julgado o suficiente para justificar nova edição. E pretendemos também que ele seja, doravante, uma obra aberta, acolhendo colaborações.

Aliás, são desde já bem-vindas as críticas e reparos que o leitor nos dedicar, a quem rogamos, também antecipadamente, escusas por erros cometidos.

Por fim, rendemos aqui nossa homenagem a um colega e colaborador que fez história na área de instalações elétricas, no Brasil: Ademaro Cotrim. Esperamos que este **Guia EM da NBR 5410** faça jus à sua memória — algo do qual ele pudesse se orgulhar.

São Paulo, dezembro de 2001
José Rubens Alves de Souza
Hilton Moreno

CONTRIBUIÇÃO PARA A QUALIDADE DAS INSTALAÇÕES

Ao apoiar a publicação do **Guia EM da NBR 5410**, o Procobre - Instituto Brasileiro do Cobre quer ressaltar a importância que deve ser dada na busca da qualidade nas instalações elétricas de baixa tensão no Brasil.

Seguir as prescrições estabelecidas em um documento tão abrangente como a NBR 5410, seja na fase de projeto, execução, verificação final, operação ou manutenção é garantir a segurança dos usuários e a proteção do patrimônio. Afinal de contas, os acidentes provocados por problemas nas instalações elétricas executadas em não-conformidade com as normas técnicas representam uma parcela significativa das estatísticas registradas, por exemplo, pelo Corpo de Bombeiros.

Nos últimos anos o Procobre vem realizando pesquisas em várias cidades do País com o objetivo de avaliar a situação das instalações elétricas, sobretudo no que diz respeito às prescrições de segurança conforme a NBR 5410. Embora tenhamos observado uma tendência de aumento na qualidade das instalações e na obediência aos requisitos mínimos da norma, consideramos que ainda estamos distantes de comemorar o atendimento pleno da NBR 5410. Talvez um dos motivos que venha fazendo com que os profissionais não atendam completamente à norma seja a linguagem característica que é empregada na elaboração do texto normativo, complexo e árido por natureza.

Assim sendo, o Procobre, que há anos vem colaborando com a formação dos profissionais brasileiros através da publicação de livros, manuais, vídeos e CDs, entende que, ao apoiar a publicação de um Guia para a NBR 5410, possa estar contribuindo de modo direto para que suas prescrições sejam mais utilizadas pelo setor técnico nacional responsável pelas instalações elétricas.

Agindo dessa forma, o Procobre reafirma a sua missão de ser um agente difusor de informações técnicas onde o cobre está presente e que contribuem para a elevação da qualidade e segurança das instalações elétricas em geral.

.....
*PROCOBRE - Instituto Brasileiro do Cobre
São Paulo, dezembro de 2001.*

ÍNDICE DAS SEÇÕES

SEÇÃO		
1	Campo de aplicação – Definições – Circuitos	11
2	Infuências externas	25
3	Proteção contra choques elétricos	39
4	Linhas elétricas – Condutores	103
5	Proteção contra sobrecorrentes	139
6	Dimensionamento de circuitos	187
7	Circuitos de motores	211
8	Proteção contra sobretensões	223
9	Eqüipotencialização e compatibilidade eletromagnética	229
10	Harmônicas	239
11	Quadros de distribuição – Tomadas	249
12	Iluminação	273
13	Verificação Final – Documentação	283
14	Índice dos anunciantes	291

INTRODUÇÃO

Origem e evolução

A norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão, hoje mais conhecida pelo rótulo NBR 5410, completou, em outubro de 2001, 60 anos de história.

Sua primeira edição é de 1941. Os textos preliminares que deram origem a esse documento inaugural foram uma versão revisada do Código de Instalações Elétricas da antiga Inspeção Geral de Iluminação, datado originalmente de 1914, e um anteprojeto elaborado por uma comissão de especialistas. Ambos resultaram num projeto cuja aprovação formal como norma se deu então em outubro de 1941, sob o título *Norma Brasileira para a Execução de Instalações Elétricas*. A norma, como consta de seu preâmbulo, foi “adotada em caráter obrigatório para todo o país pelo DNIG”, o extinto Departamento Nacional de Iluminação e Gás.

Seguiram-se as edições de 1960, 1980, 1990 e a de 1997. Todas, desde a publicação de 1941, foram elaboradas no âmbito da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, entidade privada, sem fins lucrativos, fundada em 1940 (portanto, no ano anterior ao da primeira edição da norma de instalações) e única oficialmente reconhecida, no Brasil, no campo da normalização.

Como em toda norma da ABNT, a elaboração da NBR 5410 — vale dizer, de suas sucessivas edições ou revisões — segue os trâmites do processo de normalização vigentes no Brasil: a redação do documento é preparada por uma comissão de estudo (CE), resultando em um projeto (no caso, projeto de revisão de norma), que é submetido a consulta pública. Obtendo maioria absoluta de aprovações, esse projeto, com as sugestões de alteração acolhidas, passa então a constituir norma de fato, tão logo o documento é oficialmente publicado pela ABNT.

A comissão responsável pela redação da NBR 5410 é a CE-03:064.01: Comissão de Estudo de Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Dentro da estrutura da ABNT, ela está ligada ao CB-03 - Comitê Brasileiro de Eletricidade, mais conhecido pela sigla Cobei (a sigla advém da antiga denominação, “Comitê Brasileiro de Eletricidade e Iluminação”, substituída por “Comitê Brasileiro de Eletricidade”, simplesmente).

A própria designação “NBR 5410” com que hoje a maioria dos profissionais da área identifica a norma de instalações só adquiriu essa condição de referência quase unânime nos anos 90. Durante bom tempo, entre a versão de 1980 e as dos anos 1990, perdurou ainda o rótulo histórico de “NB-3” — que é da nomenclatura original ABNT. Ainda hoje, não só a norma de instalações, como, em geral, os documentos da ABNT cuja história antecede o advento da codificação “NBR” são às vezes evocados pela sigla ABNT original⁽¹⁾. A rotulagem “NBR” só começou a ser aplicada às normas brasileiras na segunda metade da década de 1970, quando os textos ABNT, por uma disposição legal, passaram a ser submetidos a registro no Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, criado no final de 1973.

Naturalmente, este **Guia EM da NBR 5410** tem como referência a edição mais recente da norma, de 1997.

NBR 5410 e IEC 60364

A NBR 5410 é baseada na norma internacional IEC 60364: *Electrical Installations of Buildings*.

O alinhamento do documento brasileiro com a normalização IEC vem desde 1980. A edição da norma brasileira introduzida naquele ano representou uma grande mudança em

.....

relação à versão anterior, de 1960. O texto que vigeu durante as duas décadas anteriores era adaptação bastante resumida da norma norte-americana, o NEC.

As edições posteriores da NBR 5410, de 1990 e de 1997, não alteraram em nada o alinhamento com a IEC.

Mas não há uma identidade total entre a NBR 5410 e a IEC 60364, quer no conteúdo (as prescrições propriamente ditas), quer na estrutura.

Isso não quer dizer que haja conflitos. A filosofia, os aspectos conceituais são os mesmos.

Os desvios de conteúdo referem-se, tipicamente, ao caráter de certas regras — que, no documento IEC são geralmente mais abertas, como é próprio de uma norma internacional, e mais definidas ou precisas no caso da NBR 5410⁽²⁾.

Os desvios de forma, incluindo a estrutura dos documentos, também não são consideráveis. A divergência mais visível decorre da diferença existente entre o sistema de numeração ditado pela ABNT e o praticado pela IEC. De qualquer forma, é possível estabelecer uma correspondência entre os sistemas de numeração da norma internacional e da norma brasileira:

Correspondência entre os sistemas de numeração das normas IEC 60364 e NBR 5410

("X" representa um algarismo qualquer)

IEC 60364		NBR 5410/ABNT
Numeração	Terminologia usada para designar o item	Numeração
X	Parte	X
XX	Capítulo	X.X
XXX	Seção	X.X.X
XXX.XX	Artigo	X.X.X.X
XXX.XX.XX	Parágrafo	X.X.X.X.X

Neste **Guia EM da NBR 5410**, quando se mostrou necessário não só indicar um determinado tópico da norma, mas também qualificar seu nível “hierárquico” dentro do sistema de numeração, optou-se pela terminologia adotada pela IEC 60364, já que a ABNT não tem uma nomenclatura clara, neste particular. Enfim, usaram-se as denominações “parte”, “capítulo”, “seção”, etc. conforme o quadro acima.

Notas

(1) A ABNT atribuía um código composto de duas letras, que identificava o tipo de norma, seguido do número de ordem do documento. Assim, existiam as siglas EB, de “especificação brasileira”, PB, de padronização, SB, de simbologia, NB, de norma (reservada para os textos que fixavam procedimentos, geralmente de projeto e execução), MB, de método de ensaio, e assim por diante. A norma de instalações elétricas (NB-3) seria, pois, a terceira norma brasileira — pelo menos, da série NB —, o que lhe confere inequívoca importância histórica.

(2) Um exemplo: na proteção contra choques elétricos por seccionamento automático da alimentação, o texto da IEC 60364 menciona que tal seccionamento poderia ser feito, no esquema TT, por dispositivo DR ou dispositivo a sobrecorrente. A NBR 5410 entende que o uso do dispositivo a sobrecorrente, no caso em questão, é uma possibilidade meramente teórica e, por isso, só admite o uso de dispositivo DR.

CAMPO DE APLICAÇÃO – DEFINIÇÕES – CIRCUITOS

Campo de aplicação da NBR 5410	12
Definições e conceitos (I): instalações e alimentação	12
Definições e conceitos (II): os componentes da instalação	17
Definições e conceitos (III): isolamento, choques, aterramento	19
Definições (IV): faltas, sobrecorrentes e sobretensões	21
Definições (V): circuitos, divisão da instalação e número de pontos	23

Campo de aplicação da NBR 5410

A norma brasileira NBR 5410 - “Instalações Elétricas de Baixa Tensão”, última edição de dezembro de 1997, fixa as condições que as instalações de baixa tensão devem atender, a fim de garantir seu funcionamento adequado, a segurança das pessoas e animais domésticos e a conservação de bens. Aplica-se a instalações novas e a reformas em instalações existentes — considerando como “reforma” qualquer ampliação de instalação existente (criação de novos circuitos, alimentação de novos equipamentos, etc.), bem como qualquer substituição de componentes que implique alteração de circuito.

A norma cobre praticamente todos os tipos de instalações de baixa tensão, a saber:

- edificações residenciais e comerciais em geral;
- estabelecimentos institucionais e de uso público;
- estabelecimentos industriais;
- estabelecimentos agropecuários e hortigranjeiros;
- edificações pré-fabricadas;
- reboques de acampamentos (*trailers*), locais de acampamentos (*campings*), marinas e instalações análogas; e
- canteiros de obras, feiras, exposições e outras instalações temporárias.

A norma aplica-se também:

- aos circuitos que, embora alimentados através de instalação com tensão igual ou inferior a 1000 V em CA, funcionam com tensão superior a 1000 V, como é o caso dos circuitos de lâmpadas de descarga, de precipitadores eletrostáticos (excetuam-se os circuitos desse tipo que sejam internos aos equipamentos);
- a qualquer linha elétrica (ou fiação) que não seja especificamente coberta pelas normas dos equipamentos de utilização; e
- às linhas elétricas fixas de sinal, exceto àquelas correspondentes aos circuitos internos dos equipamentos, no que se refere aos aspectos relacionados à segurança (contra choques elétricos e efeitos térmicos em geral) e à compatibilidade eletromagnética.

Por outro lado, a norma *não se aplica* a:

- instalações de distribuição (redes) e de iluminação pública;
- instalações de tração elétrica, de veículos automotores,

embarcações e aeronaves;

- instalação em minas;
- instalação de cercas eletrificadas;
- equipamentos para supressão de perturbações radioelétricas, na medida em que eles não comprometam a segurança das instalações; e
- instalações específicas para proteção contra descargas atmosféricas.

A NBR 5410 é complementada atualmente por outras duas normas, a NBR 13570 - “Instalações elétricas em locais de afluência de público - Requisitos específicos” e a NBR 13534 - “Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde - Requisitos para segurança”. Ambas complementam, quando necessário, prescrições de caráter geral contidas na NBR 5410 e relativas aos campos de aplicação específicos das duas normas.

A NBR 13570 aplica-se às instalações elétricas de locais como cinemas, teatros, danceterias, escolas, lojas, restaurantes, estádios, ginásios, circos e outros recintos especificados, com a indicação da capacidade mínima de ocupação (número de pessoas).

A NBR 13534, por sua vez, aplica-se a determinados locais de hospitais, ambulatorios, unidades sanitárias, clínicas médicas, clínicas veterinárias e odontológicas, tendo em vista a segurança dos pacientes.

Definições e conceitos (I): instalações e alimentação

Define-se *instalação elétrica* como um conjunto de componentes elétricos, associados e com características coordenadas entre si, constituído para uma finalidade determinada. No uso corrente do termo, essa finalidade é via de regra associada à *utilização* de energia elétrica.

As instalações elétricas podem ser classificadas quanto à sua *tensão nominal*, U_N , utilizada para designar a instalação, como:

- *de baixa tensão* (BT), com $U_N \leq 1000$ V em corrente alternada (CA), ou com $U_N \leq 1500$ V em corrente contínua (CC);
- *de alta tensão* (AT), com $U_N > 1000$ V em CA, ou com

$U_N > 1500 \text{ V}$ em CC;

- de *extra-baixa tensão* (EBT ou ELV, de *extra-low voltage*), com $U_N \leq 50 \text{ V}$ em CA, ou com $U_N \leq 120 \text{ V}$ em CC.

Em sua maioria, as instalações BT situam-se, total ou parcialmente, no interior de edificações, sejam de uso comercial, industrial ou residencial. O termo “instalação predial”, muitas vezes utilizado para designar apenas instalações residenciais ou comerciais, corresponde, na verdade, a qualquer tipo de instalação contida num “prédio”, seja ele destinado a uso residencial, comercial ou industrial. É preferível usar o termo “edificação” ao invés de “prédio”, pois é a tradução mais precisa dos termos *building* e *bâtiment*, utilizados pela IEC.

Uma *instalação temporária* é uma instalação elétrica prevista para uma duração limitada às circunstâncias que a motivam. As instalações temporárias são admitidas durante o período de construção, reforma, manutenção, reparo ou demolição de edificações, estruturas, equipamentos ou atividades similares. São três os tipos de instalação temporária considerados pela NBR 5410: instalação de reparos, de trabalho e semipermanente.

Uma *instalação de reparos* é a instalação temporária que substitui uma instalação permanente, ou parte de uma instalação permanente, que esteja defeituosa. As instalações de reparos são necessárias sempre que ocorre um acidente que impeça o funcionamento de uma instalação (ou de um setor) existente.

Já a *instalação de trabalho* é uma instalação temporária que admite reparações ou modificações de uma instalação existente sem interromper seu funcionamento.

E a *instalação semipermanente* é a instalação temporária destinada a atividades não-habituais ou que se repetem periodicamente. As *instalações elétricas de canteiros de obras* são um exemplo típico de instalação semipermanente, e como tal são consideradas as instalações destinadas:

- à construção de edificações novas;
- aos trabalhos de reforma, modificação, ampliação ou demolição de edificações existentes; e
- a obras públicas (redes de água, gás, energia elétrica, obras viárias, etc.).

Alimentação de instalações BT

Uma instalação de baixa tensão pode ser alimentada:

a) diretamente em baixa tensão:

- por rede pública em baixa tensão da concessionária, caso típico de pequenas edificações residenciais, comerciais e mesmo industriais (pequenas oficinas, por exemplo);
- por transformador exclusivo, da concessionária, como é o caso de edificações residenciais e comerciais de maior porte (muitas vezes as unidades residenciais ou comerciais em edificações de uso coletivo são alimentadas,

em baixa tensão, por sistemas de distribuição padronizados, da concessionária, internos à edificação, que partem, seja da rede pública de baixa tensão, seja de transformador exclusivo);

b) em alta tensão, através de subestação de transformação do usuário, caso típico de edificações de uso industrial de médio e grande porte;

c) por fonte própria em baixa tensão, como é o caso típico dos chamados “sistemas de alimentação elétrica para serviços de segurança”, ou mesmo de instalações em locais não servidos por concessionária.

A figura 1 indica os elementos básicos constituintes da alimentação de uma instalação por parte de uma concessionária, correspondendo às condições (a) e (b) descritas anteriormente. A *entrada de serviço* é o conjunto de equipamentos, condutores e acessórios instalados entre o ponto de derivação da rede (de alta ou de baixa tensão) da concessionária e a proteção e medição, inclusive. O *ponto de entrega* é o ponto até o qual a concessionária se obriga a fornecer energia elétrica, participando dos investimentos necessários, bem como responsabilizando-se pela execução dos serviços, pela operação e pela manutenção. A *entrada consumidora* é o conjunto de equipamentos, condutores e acessórios instalados entre o ponto de entrega e a proteção e medição, inclusive. Os conjuntos de condutores e acessórios instalados entre o ponto de derivação e o ponto de entrega, de um lado, e entre o ponto de entrega e a proteção e medição, correspondem, respectivamente, ao *ramal de ligação* e ao *ramal de entrada*. Os diversos tipos padronizados de entradas de serviço são descritos pormenorizadamente nos “manuais de ligação” e nos regulamentos das concessionárias.

Chama-se *unidade de consumo* a instalação elétrica pertencente a um único consumidor, recebendo energia elétrica em um só ponto, com sua respectiva medição. Numa edificação de uso coletivo, comercial ou residencial, cada conjunto comercial (de salas), cada loja, cada apartamento, etc. constitui uma unidade de consumo.

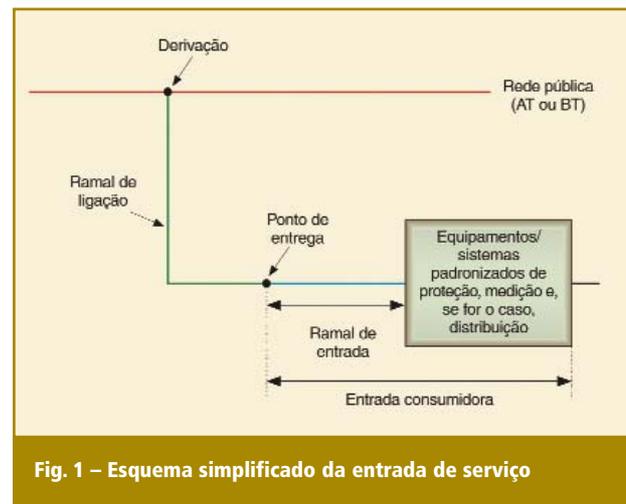
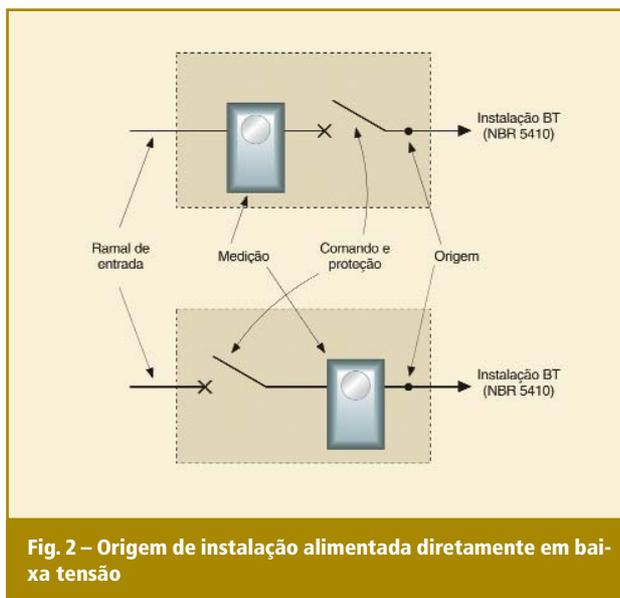


Fig. 1 – Esquema simplificado da entrada de serviço

A *origem* de uma instalação de baixa tensão é o ponto a partir do qual se aplicam as prescrições da NBR 5410. Devemos observar que:

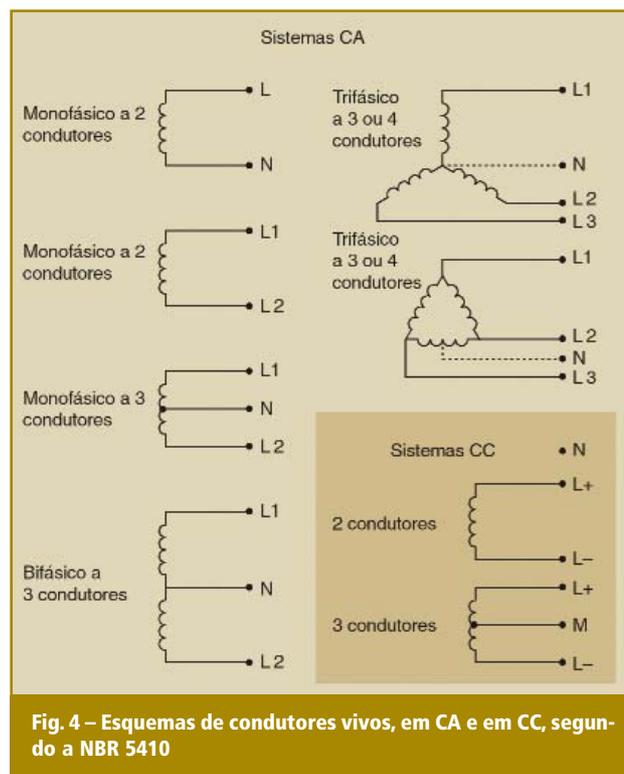
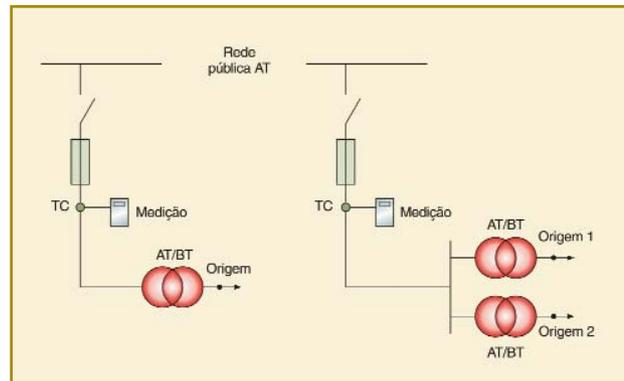
- quando a instalação é alimentada diretamente em baixa tensão, correspondendo à condição (a) descrita anteriormente, a origem corresponde aos terminais de saída do dispositivo geral de comando e proteção. Nos casos em que esse dispositivo se encontra antes do medidor, a origem corresponde aos terminais de saída do medidor (figura 2);
- quando a instalação é alimentada através de subestação de transformação do usuário, condição (b) descrita anteriormente, a origem corresponde ao secundário (terminais de saída) do transformador; se a subestação possuir dois ou mais transformadores não ligados em paralelo, haverá tantas origens (e tantas instalações) quantos forem os transformadores (figura 3);
- numa instalação alimentada por fonte de baixa tensão própria, condição (c), a origem deve incluir a fonte.

No caso de uma edificação de uso coletivo, comercial ou residencial, a cada unidade de consumo corresponde uma instalação elétrica — cuja origem está localizada nos terminais de saída do respectivo dispositivo geral de comando e proteção ou do respectivo medidor, se for o caso.



A NBR 5410 considera, para a alimentação da instalação, diversos esquemas de condutores vivos, em corrente alternada (CA) e em corrente contínua (CC). São eles:

- em CA:
 - monofásico a 2 condutores (fase–neutro ou fase–fase);
 - monofásico a 3 condutores (2 fases–neutro);
 - bifásico a 3 condutores (2 fases–neutro);
 - trifásico a 3 condutores (3 fases);
 - trifásico a 4 condutores (3 fases–neutro).



- em CC:
 - 2 condutores;
 - 3 condutores.

É o que mostra a figura 4, indicando o tipo de fonte (secundário do transformador, em CA, e saída do gerador, em CC).

Para as unidades consumidoras alimentadas pela concessionária diretamente em baixa tensão — a chamada “tensão secundária de distribuição” —, o esquema de condutores vivos é determinado em função do sistema de distribuição (rede pública com transformadores com secundário em delta ou em estrela), da potência instalada e da potência máxima, individual, para motores e outros equipamentos, conforme indicam os “manuais de ligação” das diversas concessionárias.

Definições e conceitos (II): os componentes da instalação

Componente de uma instalação elétrica é um termo geral que se refere a um equipamento elétrico, a uma linha elétrica ou a qualquer outro elemento necessário ao funcionamento da instalação.

Equipamento elétrico é uma unidade funcional completa e distinta, que exerce uma ou mais funções relacionadas com geração, transmissão, distribuição ou utilização de energia, incluindo máquinas, transformadores, dispositivos, aparelhos de medição e *equipamentos de utilização* — que convertem energia elétrica em outra forma de energia diretamente utilizável (mecânica, luminosa, térmica, etc.).

Linha elétrica é o conjunto de um ou mais condutores com seus elementos de fixação e suporte e, se for o caso, de proteção mecânica, destinado a transportar energia ou transmitir sinais elétricos. O termo corresponde ao inglês *wiring system* e ao francês *canalization*. As linhas podem ser constituídas apenas por condutores com elementos de fixação, como é o caso dos condutores diretamente fixados em paredes ou em tetos e dos fixados sobre isoladores em paredes, tetos ou postes.

As linhas podem também ser constituídas por condutores em condutos (*conduto* é o elemento de linha que contém os condutores elétricos), sobre suportes ou ainda do tipo pré-fabricada, como os “barramentos blindados”.

O termo *aparelho elétrico* designa equipamentos de medição e outros de utilização, como:

- *eletrodoméstico*: destinado ao uso residencial ou análogo, como enceradeira, aspirador de pó, liquidificador, lavadora de roupas, etc.;
- *eletroprofissional*: utilizado em estabelecimentos comerciais ou análogos, como máquina de escrever, copiadora e computador, incluindo equipamentos eletromédicos; e
- *de iluminação*: conjunto constituído, no caso mais geral, por uma ou mais lâmpadas, luminárias e acessórios como reator, starter, etc.

Os termos “aparelho eletrodoméstico” e “aparelho eletroprofissional” correspondem ao termo *appliance* definido pelo NEC - National Electrical Code norte-americano.

O *dispositivo elétrico* é ligado a um circuito com o objetivo de desempenhar uma ou mais das seguintes funções: manobra, comando, proteção, seccionamento e conexão. Essas funções, por sua vez, também exigem definições claras:

- *manobra* é a mudança na configuração elétrica de um circuito, realizada manual ou automaticamente por dispositivo adequado e destinado a essa finalidade;
- *comando* é uma ação humana ou de dispositivo automático que modifica o estado ou a condição de determinado equipamento;
- *proteção* é a ação automática provocada por dispositivos sensíveis a determinadas condições anormais que ocorrem num circuito, no sentido de evitar danos a pessoas e animais e/ou a um sistema ou equipamento elétrico; e
- *seccionamento* é a ação de desligar completamente um equipamento ou circuito de outros equipamentos ou circuitos, provendo afastamentos adequados que garantam condições de segurança especificadas.

Numa instalação de BT, temos os seguintes tipos de equipamentos:

- os relacionados à alimentação da instalação, que são os transformadores, os geradores e as baterias;
- os destinados à manobra, comando, proteção e seccionamento, como seccionadores, chaves em geral, fusíveis, botões, disjuntores, etc.; e
- os de utilização, que podem ser classificados em:
 - industriais ou análogos, como máquinas-ferramenta, compressores, fornos, etc.;
 - não-industriais, caso dos aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais; e
 - de iluminação.

Os equipamentos em geral podem ser divididos, quanto à sua instalação, em:

- *fixos*: projetados para instalação permanente num lugar determinado, como, por exemplo, um transformador em um poste ou em uma cabina primária, um disjuntor em um quadro ou um aparelho de ar-condicionado em parede ou janela;
- *estacionários*: não são movimentados quando em funcionamento e não dispõem de alça para transporte, sendo dotados de massa tal que não podem ser deslocados facilmente. Exemplos: gerador provido de rodas, microcomputador, geladeira doméstica;
- *portáteis*: equipamentos que podem ser movimentados quando em funcionamento, ou deslocados de um lugar para outro, mesmo quando ligados à fonte de alimentação. Exemplos: eletrodomésticos como enceradeira, aspirador de pó, etc.; e
- *manuais*: equipamentos portáteis empunháveis, como ferramentas elétricas e certos aparelhos de medição, como amperímetros-alcate.

A *caixa de derivação* é utilizada para passagem e/ou ligação de condutores, entre si e/ou a dispositivos nela instalados, como por exemplo tomadas de corrente e interruptores. Um *condutele* é um tipo particular de caixa de derivação, utilizado em linhas aparentes.

Nas instalações elétricas, os equipamentos de utilização fixos podem ser alimentados *diretamente* pelos condutores do circuito respectivo, como é o caso de muitos equipamentos de uso industrial ou análogo (máquinas-ferramenta, fornos, etc.) e de certos aparelhos eletroprofissionais de porte (raios-X, por exemplo). Podem também ser ligados a tomadas de corrente exclusivas — no jargão da NBR 5410, *tomadas de uso específico* —, como é o caso, entre os aparelhos eletrodomésticos, de condicionador de ar tipo janela e, entre os eletroprofissionais, de estufas e exaustores. Ou, ainda, através de caixas de derivação exclusivas – caso típico de chuveiros e torneiras elétricas – que, para efeito de projeto, podem ser consideradas tomadas de uso específico.

Em geral, os equipamentos de utilização estacionários, como copiadoras, microcomputadores e geladeiras, são ligados a tomadas de corrente não-exclusivas, *de uso geral*, a menos que, quando da elaboração do projeto, exista um *layout* preestabelecido. Nesse caso, as tomadas serão “de uso específico”.

Por sua vez, os equipamentos de utilização portáteis e manuais são ligados, naturalmente, a tomadas de uso geral.

Quadros de distribuição destinam-se a receber energia de uma ou mais alimentações e distribuí-la a um ou mais circuitos, podendo também desempenhar funções de proteção, seccionamento, comando e/ou medição. Trata-se, como se vê, de um conceito amplo que abrange quadros de luz, painéis de força, centros de medição e CCMs (centros de comandos de motores), entre outros equipamentos.

Definições e conceitos (III): isolação, choques, aterramento

Isolação é o material isolante ou o conjunto de materiais isolantes utilizados para isolar eletricamente, isto é, impedir a circulação de corrente entre partes condutoras. Trata-se de um conceito estritamente “qualitativo” (a isolação de um equipamento, uma isolação de PVC, etc.).

Isolamento é o conjunto das propriedades adquiridas por um corpo condutor, decorrentes de sua isolação. Tem o sentido “quantitativo” e seu uso está sempre associado à idéia de valor, por vezes até implicitamente (resistência de isolamento, isolamento para baixa tensão, isolamento para 0,6/1 kV).

Quando uma isolação perde sua propriedade de isolar, falamos em falha de isolamento.

Choque elétrico é o efeito patofisiológico resultante da passagem de uma corrente elétrica, a chamada corrente de choque, através do corpo de uma pessoa ou de um animal. Eletrocussão é o choque elétrico fatal.

No estudo da proteção contra choques elétricos devemos considerar três elementos fundamentais:

- *Parte viva* – condutor ou parte condutora a ser energizada em condições de uso normal, incluindo o condutor neutro, mas, por convenção, excluindo o condutor PEN — que exerce a dupla função de neutro (N) e de condutor de proteção (PE), sendo $PEN = PE + N$.
- *Massa* (ou parte condutiva exposta) – parte condutiva que pode ser tocada e que normalmente não é viva, mas pode tornar-se viva em condições de falta, isto é, de falha de isolamento. Um invólucro metálico de um equipamento elétrico é o exemplo típico de massa.
- *Elemento condutivo estranho (à instalação)* – não faz parte da instalação elétrica, mas pode nela introduzir um potencial, geralmente o da terra. É o caso dos elementos metálicos usados na construção de edificações, das canalizações metálicas de gás, água, ar condicionado, aquecimento, etc., bem como dos pisos e paredes não-isolantes.

Numa instalação, os choques elétricos podem provir de dois tipos de contatos:

- *contato direto*: contato de pessoas ou animais com partes vivas sob tensão; e
- *contato indireto*: contato de pessoas ou animais com uma massa que ficou sob tensão em condições de falta (falha de isolamento).

Um *aterramento* é uma ligação intencional com a terra, realizada por um condutor ou por um conjunto de condutores enterrados no solo, que constituem o *eletrodo de aterramento*. Este pode ser constituído por uma simples haste vertical, por um conjunto de hastes interligadas ou pelas armaduras de concreto das fundações de uma edificação.

A região do solo formada por pontos suficientemente distantes do eletrodo e cujo potencial é considerado igual a zero, é a *terra de referência*.

Definições (IV): faltas, sobrecorrentes e sobretensões

Uma *falta elétrica* é o contato ou arco acidental entre partes vivas sob potenciais diferentes, entre parte viva e a terra ou entre parte viva e massa (falta para a terra ou falta para massa), num circuito ou equipamento elétrico energizado. As faltas são causadas, via de regra, por falhas de isolamento entre as partes, podendo a impedância entre elas ser considerável ou desprezível (falta direta).

Um *curto-circuito* é uma ligação intencional ou acidental entre dois ou mais pontos de um circuito através de uma impedância desprezível. Logo, um curto-circuito acidental é uma falta direta.

A *capacidade de condução de corrente* de um condutor é a corrente máxima que pode ser por ele conduzida continuamente, em condições especificadas, sem que sua temperatura em regime permanente ultrapasse um valor predeterminado.

A *corrente de projeto* é a corrente prevista para ser transportada pelo circuito durante seu funcionamento normal.

A *corrente de fuga*, como conceito geral, é a corrente de condução que, devido à imperfeição na isolação, percorre um caminho diferente do previsto. Na prática, não existe uma isolação perfeita e, portanto, sempre existe corrente de fuga. Em particular, a corrente de fuga de uma instalação é a corrente que, na ausência de falta, flui para a terra ou para elementos condutivos estranhos à instalação.

Uma *sobrecorrente* é uma corrente que excede um valor nominal. Para condutores, o valor nominal considerado é a capacidade de condução de corrente. Nas instalações elétricas, as sobrecorrentes podem ser de dois tipos:

- *corrente de sobrecarga*: sobrecorrente em um circuito sem que haja falta elétrica; e
- *corrente de falta*: corrente que, num circuito ou num equipamento, flui de um condutor para outro e/ou para a terra (ou para a massa), no caso de uma falta.

A *corrente de curto-circuito*, um caso particular da corrente de falta, é a sobrecorrente que resulta de uma falta direta entre condutores vivos sob potenciais diferentes em funcionamento normal. Por essa definição, só poderiam ser chamadas de correntes de curto-circuito aquelas resultantes de faltas diretas entre condutores de fase e/ou entre condu-

Falta, falha e defeito

Os termos "falha" e "defeito" não devem ser usados no lugar de "falta", cuja definição é apresentada no artigo.

Falha significa o término da capacidade de desempenhar a função requerida. É o caso, por exemplo, de um dispositivo automático que não atua mais nas condições em que deveria ou de uma isolação que perdeu sua capacidade de isolamento.

Defeito é uma alteração física que prejudica a segurança e/ou o funcionamento de um componente. É, por exemplo, o caso de um disjuntor com a caixa moldada rachada ou de um cabo cuja isolação foi "machucada", durante o puxamento, nas rebarbas de uma caixa de passagem.

Observe-se que um "defeito" pode dar origem a uma "falha" e esta a uma "falta", como pode ocorrer com um cabo cuja isolação esteja defeituosa.

tor(es) de fase e o condutor neutro.

A *corrente diferencial-residual* (i_{DR}) de um circuito é a soma algébrica dos valores instantâneos das correntes que percorrem todos os condutores vivos do circuito, em um dado ponto. Assim, por exemplo, num circuito trifásico com neutro, temos:

$$i_{DR} = i_1 + i_2 + i_3 + i_N$$

Na ausência de fuga ou de falta para a terra, i_{DR} é igual a zero; caso contrário (havendo corrente de fuga e/ou corrente de falta para terra), i_{DR} será diferente de zero.

Sobretensões e surtos

Uma *sobretensão* é definida como uma tensão cujo valor de crista é maior do que o valor de crista correspondente à tensão máxima de um sistema ou equipamento elétrico.

Nas instalações elétricas, as sobretensões consideradas são:

- as de origem atmosférica, transitórias, transmitidas pela rede de distribuição que alimenta a instalação;
- as de manobra, transitórias, provocadas por equipamentos da própria instalação ou a ela ligados; e
- as decorrentes de faltas para terra numa instalação de tensão mais elevada que alimenta a instalação considerada.

Um *surto* é uma onda transitória de tensão, corrente ou potência, caracterizada por elevada taxa de variação e que se

propaga ao longo de um sistema elétrico. Em geral, o termo é utilizado referindo-se à tensão e à corrente. Define-se:

- *surto atmosférico* como o surto de tensão provocado por uma descarga atmosférica; e
- *surto de manobra* como o surto de tensão provocado pela operação de um dispositivo de manobra.

Um impulso, de corrente ou de tensão, é um transitório produzido em laboratório para efeito de ensaio dos componentes de uma instalação.

Definições (V): circuitos, divisão da instalação e número de pontos

Podemos definir *circuito* (elétrico) de uma instalação como o conjunto de componentes da instalação alimentados a partir da mesma origem e protegidos contra sobrecorrentes pelos mesmos dispositivos de proteção. Assim, um circuito compreende, no caso mais geral, além dos condutores, todos os dispositivos neles ligados, como os de proteção, comando e manobra e, se for o caso, as tomadas de corrente, não incluindo os equipamentos de utilização alimentados. Sua característica essencial é a proteção dos condutores contra sobrecorrentes. Os condutores podem eventualmente não possuir a mesma seção nominal ao longo do circuito, desde que os dispositivos de proteção sejam selecionados para proteger os condutores de menor seção.

Numa instalação de baixa tensão, podemos distinguir dois tipos de circuitos: o *circuito de distribuição*, que alimenta um ou mais quadros de distribuição; e o *circuito terminal*, que é ligado diretamente a equipamentos de utilização e/ou a tomadas de corrente. Um quadro de distribuição de onde só partem circuitos terminais, pode ser chamado de *quadro de distribuição terminal* ou, simplesmente, *quadro terminal*.

A NBR 5410 prescreve que uma instalação deve ser dividida, de acordo com suas necessidades, em vários circuitos (terminais e, em muitos casos, de distribuição), sendo que cada circuito deve ser concebido de forma a poder ser seccionado sem risco de realimentação inadvertida, através de outro circuito. A previsão de vários circuitos permite:

- limitar as conseqüências de uma falta, que provocará apenas o seccionamento do circuito atingido, sem prejuízos a outras partes da instalação;

- facilitar as verificações e os ensaios que se façam necessários; e
- realizar manutenções e eventuais ampliações, sem afetar outras partes da instalação.

A norma impõe que os circuitos terminais sejam individualizados pela função dos equipamentos de utilização alimentados, fazendo com que a instalação seja dividida em diversas categorias de circuitos, cada uma com um ou mais circuitos terminais, dependendo, é lógico, do tipo e do tamanho da instalação. De um modo geral, são as seguintes as categorias de circuitos terminais:

- circuito de iluminação;
- circuitos de tomadas de corrente, de uso geral e/ou de uso específico;
- circuitos para equipamentos (que não aparelhos domésticos) de ar condicionado e/ou de aquecimento ambiental;
- circuitos para equipamentos fixos a motor;
- circuitos auxiliares de comando e sinalização.

Em geral, um circuito de distribuição alimenta um único quadro de distribuição. Mas tornam-se cada vez mais frequentes, em instalações comerciais e industriais, as distribuições com *barramentos blindados*, servindo a diversos quadros de distribuição.

Um circuito terminal pode, em princípio, alimentar diversos equipamentos de utilização ou tomadas de corrente, que designamos, de modo genérico, de “pontos de utilização”. Desde que o circuito seja corretamente dimensionado não existe, tecnicamente falando, qualquer limitação quanto ao número de pontos de utilização, devendo-se apenas observar a compatibilidade entre a seção dos condutores e as dimensões dos terminais de ligação dos equipamentos ou das tomadas alimentadas. No entanto, é conveniente, por razões práticas e mesmo de segurança, que não se tenha um número excessivo de pontos num circuito terminal. Assim, por exemplo, para uma unidade residencial, o guia da norma francesa NFC 15-100 recomenda um máximo de oito pontos para os circuitos terminais de iluminação e para os de tomada de corrente.

A NBR 5410 impõe, para as unidades residenciais e acomodações (quartos e apartamentos) de hotéis, motéis e similares, circuitos independentes para cada equipamento com corrente nominal superior a 10 A (1270 VA em 127 V ou 2200 VA em 220 V), isto é, circuitos “individuais”, com um único ponto, para tais equipamentos.

A propósito, é bom lembrar que a NBR 5410 impõe ainda circuitos distintos para pontos de iluminação e para tomadas de corrente. Quer dizer, não é possível incluir, num mesmo circuito, pontos de iluminação e tomadas de corrente. O objetivo principal dessa prescrição é evitar que um problema (por exemplo, uma falta) numa tomada de corrente, que provoque a atuação da proteção do circuito e/ou exija para seu reparo o desligamento do circuito, deixe sem iluminação um determinado setor.

INFLUÊNCIAS EXTERNAS

Influências externas definem seleção de medidas e dos componentes ...	26
Influências externas e graus de proteção	27
Os graus de proteção IP exigidos em cada local	31
Graus de proteção contra impactos	37

Influências externas definem seleção de medidas e dos componentes

A instalação não pode ser dissociada do ambiente em que se encontra. Esse ambiente, não sendo ideal, introduz riscos maiores ou menores à segurança das pessoas e ao desempenho dos componentes da instalação. Conseqüentemente, as condições do ambiente devem ser consideradas na definição das medidas para garantir segurança e das características exigíveis dos componentes, para que tenham um desempenho satisfatório. Essas condições constituem as chamadas “influências externas.”

A NBR 5410 elenca e classifica um grande número de influências externas. Nessa classificação é usado um código composto de duas letras seguidas de um algarismo. A letra inicial, limitada às três primeiras do alfabeto, designa a *categoria geral* de influência externa. São, portanto, três *categorias gerais* de influências externas:

- A = meio ambiente;
- B = utilização;
- C = construção dos prédios.

A segunda letra indica o *tipo* ou *natureza* de influência externa. No caso da categoria “meio ambiente”, por exemplo, são relacionados 12 tipos de influências externas:

- AA = temperatura ambiente;
- AC = altitude;
- AD = presença de água;
- AE = presença de corpos sólidos;
- AF = presença de substâncias corrosivas ou poluentes;
- AG = choques mecânicos;
- AH = vibrações;
- AK = presença de flora e mofo;
- AL = presença de fauna;
- AM = influências eletromagnéticas, eletrostáticas ou ionizantes;
- AN = radiações solares; e

- AQ = raios.

Na categoria “utilização” (primeira letra B) são identificados cinco tipos de influências externas:

- BA = competência das pessoas;
- BB = resistência elétrica do corpo humano;
- BC = contato das pessoas com o potencial da terra;
- BD = condições de fuga das pessoas em emergências; e
- BE = natureza dos materiais processados ou armazenados.

Na categoria “construção dos prédios” (letra inicial “C”), por fim, são elencados dois tipos de influências externas:

- CA = materiais de construção; e
- CB = estrutura dos prédios.

O algarismo final que completa o código das influências externas é uma medida do *grau de severidade* com que um determinado tipo de influência externa existe ou se faz presente. Enfim, com o código completo (duas letras e um algarismo) fica perfeitamente definida uma *classe* ou *condição* de influência externa. Por exemplo, a norma prevê quatro *condições* ou *classes* de choques mecânicos (AG) — cuja severidade, conforme mencionado, cresce com o número:

- AG1 = fracos;
- AG2 = médios;
- AG3 = significativos; e
- AG4 = muito significativos.

Uma condição de influência externa ou, mais comumente, uma combinação de condições, é às vezes fator decisivo na definição da medida de proteção a ser adotada. Tanto que a NBR 5410 dedica um tópico específico a essa questão. Trata-se do capítulo 5.8: “Seleção das medidas de proteção em função das influências externas”. Aí se constata, por exemplo, que o uso de obstáculos ou a colocação fora de alcance só são aceitas como medidas de proteção contra contatos acidentais com partes vivas — e em condições especificadas — em locais BA4 ou BA5, ou seja, em locais acessíveis apenas a pessoas advertidas (BA4) ou qualificadas (BA5). Aí se constata, também, que numa edificação ou local BD3, isto é, cujas condições para a fuga das pessoas em emergências são *incômodas*, devido à alta densidade de ocupação (caso, por exemplo, de teatros e cinemas), todos os componentes da instalação elétrica aparentes devem ser em material não-propagante de chama e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos.

Além de orientar, como se viu, a aplicação de medidas de proteção contra choques e contra incêndios, as influências externas também pesam diretamente na seleção e instalação dos componentes, o que inclui as linhas elétricas. É do que tratam, expressamente, as tabelas 27 e 29 da NBR 5410 — a primeira enfocando a seleção de componentes em geral e a segunda especificamente de linhas elétricas.

Apenas para ilustrar, pode-se citar, neste último caso, o

exemplo de uma instalação sujeita à presença significativa de agentes corrosivos ou poluentes de origem atmosférica — devido à proximidade da orla marítima ou de uma indústria química ou cimenteira — e classificável, portanto, como AF2 (tabela 5 da NBR 5410). Ora, numa condição de influência externa AF2, como estabelece a tabela 29 da norma, só podem ser utilizados condutores isolados (desprovidos de cobertura) se envolvidos por eletroduto que apresente resistência adequada aos agentes presentes; e em linhas com cabos uni ou multipolares expostas deve ser dada preferência aos com cobertura de EPR ou XLPE, materiais mais resistentes aos agentes químicos e atmosféricos.

Conhecendo-se as influências externas que imperam num local, a adequação necessária dos componentes da instalação pauta-se por informações que o fabricante do componente deve fornecer — enfim, pelas características de desempenho e resistência do componente às influências externas pertinentes, cabendo ao projetista a previsão de medidas compensatórias, durante a instalação, sempre que esta ou

aquela característica do componente não preencher de forma satisfatória a condição de influência externa correspondente.

Boa parte dessas características a serem informadas integrada a normalização do produto e/ou a ficha de ensaios específicos a que foi submetido. Incluem-se aí, notadamente, dados definidores do comportamento do produto em matéria de temperatura ambiente (AA), fogo, corrosão (AF) e resistência mecânica (AG).

Outras características, mais exatamente aquelas associadas às influências externas AD (presença de água), AE (presença de corpos sólidos) e BA (competência das pessoas), são de indicação virtualmente compulsória para o fabricante, tendo em vista a existência de uma normalização consagrada cobrindo esses aspectos e aplicável a uma gama ilimitada de produtos. Trata-se dos conhecidos índices de proteção IP.

O próximo artigo explica os graus de proteção IP e o artigo seguinte indica, para uma série de locais, o grau IP a ser adotado em cada um.

Influências externas e graus de proteção

Um dos pilares da NBR 5410 é a classificação das chamadas *influências externas*, que orienta as tarefas de seleção e instalação dos componentes — além de definir, em vários casos, as medidas de proteção exigidas ou admitidas. Infelizmente, na prática, essa orientação, que impõe compatibilidade entre as características construtivas do componente e o ambiente onde será instalado, não tem sido muito respeitada. Um exemplo corriqueiro é o emprego de materiais sem o *grau de proteção* adequado — como é caso sobejamente conhecido de tomadas, interruptores ou luminárias concebidas para uso interno instaladas em áreas externas.

Em particular, a questão do *grau de proteção* chama a atenção porque é tratada com clareza pela norma e é também o tipo de informação que os fabricantes de material elétrico costumam fornecer. Assim, o profissional de instalações encontra, na norma de instalações, orientação sobre o *grau de proteção* que determinado local impõe aos componentes a serem nele utilizados e, na literatura do fabri-

cante, a especificação do grau de proteção característico desta ou daquela linha de componentes. Portanto, bastaria tão-somente conferir ambos.

Há uma norma internacional, a IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*, que define os graus de proteção providos por invólucros, classificando-os com os conhecidos índices IP (**I**nternational **P**rotection Code). O relacionamento desses índices com a norma de instalações se dá, diretamente, através das influências externas AD (presença de água), AE (presença de corpos sólidos) e BA (competência das pessoas) — podendo suas implicações se estenderem, indiretamente, a outros tipos de influências externas.

A IEC 60529 não só define os graus de proteção como especifica os ensaios que os invólucros devem satisfazer para enquadramento neste ou naquele índice. O invólucro tanto pode ser o de um equipamento pronto para uso quanto um invólucro puro e simples — como as caixas, dos mais diversos tipos, disponíveis para o alojamento de componentes e equipamentos, a realização de conexões e derivações ou a montagem de quadros elétricos. Quer dizer: o invólucro de que trata a norma tanto pode ser a “carcaça” de um produto quanto invólucros vazios — caixas, condutos, etc. —, utilizáveis inclusive em aplicações não-elétricas.

A classificação IP é constituída das letras “IP” seguidas por dois algarismos e, conforme o caso, por mais uma ou duas letras (ver figura 1).

O primeiro algarismo ganhou, desde a edição 1989 da

Divulgação



O usuário da instalação é uma das “influências externas”. Assim, em locais acessíveis apenas a pessoas advertidas ou qualificadas (BA4 e BA5, na classificação da NBR 5410), admitem-se até mesmo componentes sem proteção contra contatos acidentais com partes vivas; mas em locais residenciais e análogos, a norma exige componentes com grau de proteção no mínimo IP2X

IEC 60529, um duplo significado. Tradicionalmente, ele indica a proteção que o invólucro oferece contra a penetração de corpos ou objetos sólidos estranhos, isto é, o tipo de barreira que o invólucro proporciona, ao equipamento montado em seu interior, contra o ingresso de materiais es-

tranhos — como ferramentas, pontas de fio, poeiras nocivas, etc. O segundo significado, mais recente, traduz a proteção que o invólucro oferece, ao usuário, contra contatos acidentais com partes internas perigosas, seja o perigo elétrico (partes vivas), seja de outra natureza (por exemplo, lâminas rotativas).

O segundo algarismo identifica a proteção que o invólucro proporciona, ao equipamento no seu interior, contra o ingresso prejudicial de líquidos, mais exatamente de água.

A norma prevê o uso da letra “X” no lugar de qualquer dos dois algarismos quando a proteção correspondente não for pertinente (não aplicável).

Vejam agora as duas letras finais previstas na IEC 60529. A norma qualifica a primeira de *letra adicional* e a segunda de *letra suplementar*.

A *letra adicional* trata também do segundo significado que se atribuiu ao primeiro algarismo dos códigos IP, isto é, de proteção das pessoas contra contatos acidentais com partes perigosas no interior do invólucro. Não se trata de redundância, mas sim da previsão de que certas soluções, em matéria de “invólucro”, podem apresentar determinado grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos, cuja indicação continuaria delegada ao

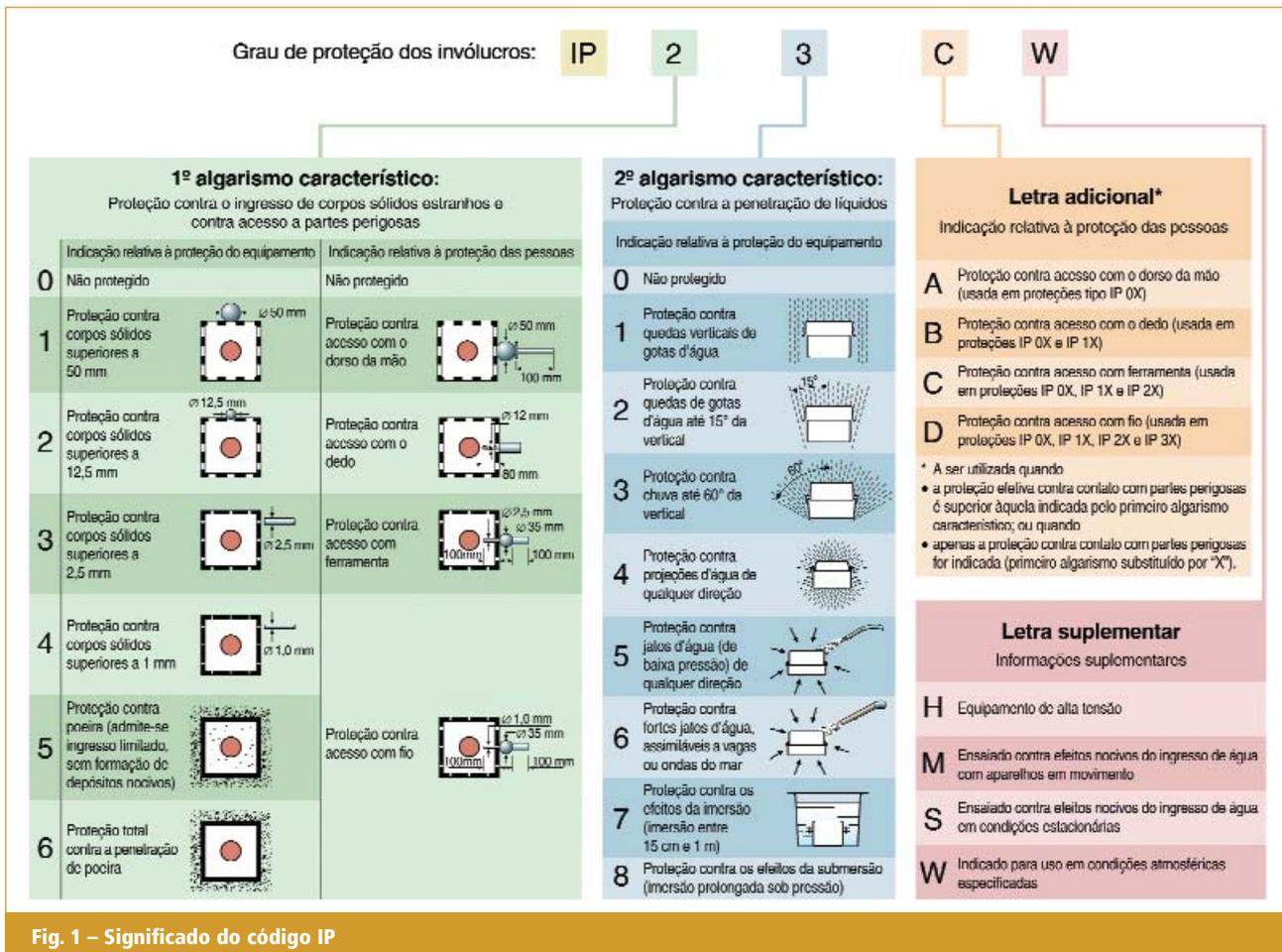


Fig. 1 – Significado do código IP



O exemplo mais comum de inobservância das regras da NBR 5410 relativas às influências externas é o emprego, em áreas externas, de materiais concebidos para uso interno. No jardim ou no quintal de uma residência, por exemplo, os componentes devem ter grau de proteção IPX4, como a tomada da foto da esquerda, ou mesmo IPX5, como a caixa da direita.

primeiro algarismo característico, mas um grau de proteção contra contatos acidentais efetivamente superior àquele — que caberia então à *letra adicional* informar. Exemplo: imaginemos um invólucro com orifício ou abertura tal que o enquadramento resultante fosse IP1X (note-se que aberturas podem ser mesmo uma necessidade, para fins de ventilação ou drenagem). Mas imaginemos, também, que o fabricante ou montador fixe, no interior do invólucro, uma barreira entre a abertura e a parte perigosa. Assim, com a barreira interna, o equipamen-

to/invólucro torna-se IP1XC ou IP1XD.

Também aqui, se for necessária a indicação do grau de proteção contra contato com elementos perigosos mas a proteção contra o ingresso de corpos sólidos não for pertinente ou aplicável, informa-se a *letra adicional* e o primeiro algarismo característico torna-se “X” — por exemplo, IPXXB.

Por fim, a última letra, ou *letra suplementar*, acrescenta informações gerais ao índice IP: a de que se trata de equipamento de alta tensão (letra

H); de equipamento de uso móvel ou rotativo, e como tal ensaiado em movimento (letra M); de equipamento ensaiado em condições estacionárias (letra S); ou de equipamento concebido para condições atmosféricas especificadas, geralmente acordadas entre fabricante e usuário (letra W).

Além de mostrar o significado dos algarismos e letras do código IP, a figura 1 inclui algumas informações sobre os ensaios respectivos, embutidas nos desenhos que a acompanham.

Os graus de proteção IP exigidos em cada local

Como salientado nos artigos anteriores desta seção dedicada às influências externas, é importante atentar para que os componentes da instalação sejam de construção compatível com as influências a que estarão submetidos, destacando-se, em particular, a necessidade de o componente apresentar o adequado grau de proteção IP.

A tabela I, alinhada com a tabela 27 da NBR 5410, apresenta as influências externas AD (presença de água) e AE (presença de corpos sólidos) e os graus de proteção IP exigidos em cada uma.

Já a tabela II lista uma série de locais indicando direta-

Tab. I – Influências externas AD e AE e respectivos graus de proteção

Código	Influência externa	Grau de proteção exigido
AD	Presença de água	
AD1	Desprezível	IPX0
AD2	Quedas de gotas d'água	IPX1 ou IPX2
AD3	Aspersão de água	IPX3
AD4	Projeções de água	IPX4
AD5	Jatos d'água (sob pressão)	IPX5
AD6	Vagas	IPX6
AD7	Imersão (≤ 1 m)	IPX7
AD8	Submersão (> 1 m)	IPX8
AE	Presença de corpos sólidos	
AE1	Desprezível	IP0X, IP1X ou IP2X
AE2	Objetos pequenos ($\leq 2,5$ mm)	IP3X
AE3	Objetos muito pequenos (≤ 1 mm)	IP4X
AE4	Poeira	IP5X ou IP6X

mente o grau IP que os componentes da instalação neles situados devem apresentar. É claro que essa exigência do grau de proteção se aplica, mais nitidamente, aos componentes aparentes, isto é, a todo componente que não seja objeto de embutimento (devendo também os embutidos serem adequados à ação dos materiais e às solicitações envolvidas no embutimento). Isso inclui, para ficar nos exemplos mais notórios, condutos, caixas, tomadas, interruptores e equipamentos de utilização — luminárias, motores, etc.

As indicações da tabela II foram extraídas da normalização francesa, mais exatamente do guia prático UTE C 15 103.

A indicação de mais de um índice IP para um mesmo local significa que o índice a ser efetivamente adotado depende da avaliação das condições reais do local.

Tab. II – Graus de proteção IP de acordo com o local

Local	Grau IP
Locais domésticos e análogos	
Banheiro	
– Volume 0	27
– Volume 1	24, 25
– Volume 2	24
– Volume 3	21
Copa	21
Cozinha	21
Dormitório	20
Garagem	21
Jardim, quintal	24, 25
Lavabo	21
Lavanderia	24
Piscina (ao tempo)	
– Volume 0	28
– Volume 1	24
– Volume 2	24
Porão	21
Sala	20
Terraço (coberto)	21
Locais técnicos	
Acumuladores (salas de)	03
Bombas d'água (casas de)	23
Câmaras frigoríficas	33
Garagens (servindo exclusivamente para o estacionamento de veículos) de área não superior a 100 m ²	21
Laboratórios	21, 23
Máquinas (casas de)	31
Oficinas	21, 23
Salas de controle	20
Serviço elétrico	00
Garagens e parques de estacionamento cobertos com área superior a 100 m²	
Áreas de estacionamento	21
Áreas de lavagem	25
Áreas de segurança	
– interiores	21
– exteriores	24
Áreas de lubrificação	23
Áreas de recarga de baterias	23
Oficinas	21

Local	Grau IP
Locais sanitários de uso coletivo	
Áreas contendo ducha ou chuveiro	
– Volume 0	27
– Volume 1	25
– Volume 2	25
– Volume 3	25
Lavabos coletivos	23
Lavabos individuais	21
Mictórios	21
WCs com bacia sanitária convencional	21
WCs com bacia sanitária turca	23
Edificações de uso coletivo	
Escritórios	20
Bibliotecas	20
Salas de arquivo	20
Salas de mecanografia, de máquinas contábeis	20
Salas de desenho	20
Salas de reprografia	20
Salas de telefonia	20
Salas de guichês	20
Estabelecimentos de ensino, exceto seus laboratórios	20, 21
Salas de restaurantes e cantinas	21
Grandes cozinhas	35
Alojamentos coletivos e dormitórios	20
Salas de esporte	21
Casernas	21
Salões de baile	20
Salas de reunião	20
Salas de espera	20
Consultórios médicos, não incluindo equipamentos específicos	20
Salas de exposição	20
Locais de atividades agropecuárias	
Aduos (depósitos de)	50, 60
Álcool (entrepósitos de)	23
Áreas de lavagem	24
Áreas de ordenha	25
Cavalariças	45
Celeiros	50, 60
Chiqueiros	45
Currais (fechados)	24
Debulha de cereais	50, 60
Estábulos	45
Estufas	23
Feno (paióis de)	50, 60
Forragem (armazéns de)	50, 60
Galinheiros	45
Lenheiros	30

Local	Grau IP
Palha (paióis de)	50, 60
Pátios	25
Silos de cereais	50, 60
Estabelecimentos industriais	
Abatedouros	55, 65
Ácidos (fabricação e depósito)	33
Acumuladores (fabricação)	33
Álcool (fabricação e armazenamento)	33
Alumínio (fabricação e depósito)	51, 53, 61, 63
Asfalto, betume (depósitos)	53, 63
Borracha (fabricação, transformação)	54, 64
Cal	50, 60
Caldeiraria	30
Carboneto (fabricação e depósito)	51, 61
Cartuchos (fabricação)	53, 63
Carvão (entrepósitos)	53, 63
Celulose (fabricação)	34
Cervejarias	24
Cimento (fabricação)	50, 60
Cloro (fábrica e depósitos)	33
Cobre (tratamento dos minérios)	31
Colas (fabricação)	33
Combustíveis líquidos (depósitos)	31, 33
Coquearias	53, 63
Couro (fabricação, depósitos)	31
Cromagem	33
Curtumes	35
Decapagem	54, 64
Destilarias	33
Detergentes (fabricação dos produtos)	53, 63
Eletrólise	03
Enxofre (tratamento)	51, 61
Explosivos (fabricação e depósitos)	55, 65
Ferro (fabricação e tratamento)	51, 61
Fertilizantes (fabricação e depósitos)	53, 63
Fiações	50, 60
Gás (usinas e depósitos)	31
Gesso (trituração e depósitos)	50, 60
Gráficas	20
Grãos e sementes (venda de)	50, 60
Gravação de metais	33
Hidrocarbonetos (fabricação)	33, 34
Lãs (tratamento)	50, 60
Laticínios	25
Lavanderias	24, 25
Licores (fabricação)	21
Linhas de engarrafamento/embalamento	35
Líquidos halogenados (emprego)	21
Líquidos inflamáveis (depósitos, oficinas onde se emprega)	21
Lixo doméstico (tratamento)	53, 54, 63, 64
Madeira (trabalhos de)	50, 60
Magnésio (fabricação, trabalho e depósitos)	31

Local	Grau IP
Marcenarias	50, 60
Matérias plásticas (fabricação)	51, 61
Metais (tratamento de)	31, 33
Munições (depósito de)	33
Níquel (tratamento dos minérios)	33
Olarias	53, 54, 63, 64
Óleos vegetais (extração)	31
Panificações	50, 60
Papel (entrepósitos)	31
Papel (fábricas)	33, 34
Papelão (fabricação)	33
Pasta de papel (preparação)	34
Pedreiras	55, 65
Peles	50, 60
Perfumes (fabricação e depósitos)	31
Pós (fábrica)	55, 65
Produtos químicos (fabricação)	30, 50, 60
Refinarias de petróleo	34
Salsicharias	24, 25
Saponáceos (fabricação)	31
Sedas (fabricação)	50, 60
Serralherias	30
Serrarias	50, 60
Soda (fabricação, depósitos)	33
Têxteis, tecidos (fabricação)	51, 61
Tintas (fabricação, depósitos)	33
Tinturarias	35
Usinas de açúcar	55, 65
Vernizes (fabricação e aplicação)	33
Vidros (fabricação)	33
Zinco (trabalhos com)	31
Locais de afluência de público	
Estruturas infláveis	44
Ginásios esportivos cobertos	21
Locais ao tempo	25
Parques de estacionamento cobertos	21
Outros locais*	20
Locais comerciais e anexos	
Açougue	
– área de vendas	24
– câmara fria	23
Drogaria, perfumaria (depósitos)	33
Exposição, galeria de arte	20
Floricultura	24
Fotografia (laboratório)	23
Frutas, legumes	24
Livraria, papelaria	20
Lavanderia	24
Lojas de ferragens	20
Marcenaria	50, 60
Mecânica, autopeças, acessórios	20
Móveis (exposição e vendas)	20

Local	Grau IP
Padaria, confeitaria	
– área de produção	50, 60
– área de vendas	20
Peixaria	25
Sapataria	20
Tapeçaria	50, 60
Tinturaria	23
Vidraçaria	20

* Salas de audição, de conferência e de espetáculos; magazines, centros comerciais; restaurantes, bares e hotéis; salões de dança e de jogos; estabelecimentos de ensino, colônias de férias; bibliotecas, centros de documentação; locais de exposição e de cultos; bancos e locais administrativos.

Graus de proteção contra impactos

Como explicado nos artigos anteriores, os graus de proteção IP — objeto da norma internacional IEC 60529 — identificam, através de uma combinação de algarismos e letras, a proteção que o invólucro oferece **1)** contra o ingresso de corpos sólidos estranhos e contra acesso a partes perigosas e **2)** contra a penetração de água.

Inspirada no exemplo da IEC 60529, e visando preencher uma lacuna não coberta pelo documento, há também uma norma internacional, embora de âmbito menor, européia, que define um código semelhante destinado a retratar o grau de proteção oferecido pelo invólucro contra impactos mecânicos externos, especificando também os ensaios pertinentes. A norma em questão é a EN 50102, *Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code)*, e o código é constituído

do pelas letras IK seguidas de dois algarismos, de 00 a 10.

A tabela I traz os onze graus de proteção IK previstos na norma, juntamente com a energia de impacto correspondente a cada um. Os ensaios devem ser efetuados por martelos, que podem ser de três tipos:

- martelo pendular, aplicável a todos os graus de proteção;
- martelo de mola, para os graus IK 01 a IK07; e
- martelo de queda livre, para os graus IK 07 a IK 10.

Note-se, como curiosidade, que o grau IK 07 é o único que pode ser avaliado com qualquer dos três martelos — de pêndulo, de mola ou de queda livre. E que a energia de 2 J especificada para o mesmo IK 07 corresponde, por exemplo, a um martelo de 0,5 kg caindo de 0,40 m. Abaixo do IK 07 pode ser usado o martelo de pêndulo ou de mola; e, acima, o de pêndulo ou o de queda livre.

Quando submetido ao(s) ensaio(s) previsto(s) na norma, o equipamento — ou, mais precisamente, seu invólucro — deve suportar a energia de impacto definida sem que isso afete sua segurança elétrica, sua segurança mecânica e sua função básica. Usando como exemplo uma luminária, isso significa, na prática, que após suportar o impacto, a luminária pode ter seu corpo e seu refletor deformados, mas não a quebra da lâmpada, que é uma situação elétrica insegura; e a luminária também não pode ter sua classificação IP comprometida.

Explorando um pouco mais o significado prático dos graus IK, pode-se dizer que o IK02 corresponderia a uma proteção contra impactos mecânicos “normal”; IK04 a uma proteção “extra”; IK07 a uma proteção “reforçada”;

Tab. I – Graus de proteção IK (cf. EN 50102)

Grau de proteção IK	Energia de impacto (J)
00	0
01	0,15
02	0,20
03	0,35
04	0,50
05	0,70
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

IK08 à de um produto “protegido contra vandalismo”; e IK10 à de um produto “resistente a vandalismo”. Não é possível e nem tecnicamente correto apresentar algum produto como sendo “à prova de vandalismo”. A rigor, não existe tal produto.

Está prevista para 2002 a publicação de uma norma IEC baseada na EN 50102. E já tem número previamente definido: IEC 62262.

PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

Proteção contra choques: conceitos	40
Ligação eqüipotencial: conexão das tubulações	44
TN,TT e IT: sobrecorrente ou dispositivo DR?	44
Seccionamento automático(I): para começar, eqüipotencialização	47
Seccionamento automático(II): uso de dispositivo DR	49
Seccionamento automático(III): uso de dispositivo a sobrecorrente	53
Funcionamento e classificação dos dispositivos DR	63
DRs sem e com fonte auxiliar	65
Sensibilidade, divisor na aplicação dos dispositivos DR	66
Tipos de faltas detectáveis pelos dispositivos DR	72
Curvas de atuação e seletividade dos dispositivos DR	75
DRs: disparos indesejáveis e imunidade a transitórios	81
Entradas, um exemplo prático da dupla isolação na instalação	85
Separação elétrica e sistemas isolados	93
Separação elétrica: o que conta, na prática	95
Locais de serviço elétrico	97

Proteção contra choques: conceitos

A compreensão dos aspectos conceituais da proteção contra choques elétricos é ponto-chave para o entendimento das regras pertinentes da NBR 5410.

Assim, a regra fundamental da proteção contra choques — indistintamente, para produtos e instalações — é que

- partes vivas perigosas não devem ser acessíveis; e
- partes condutivas acessíveis (massas) não devem oferecer perigo, seja em condições normais, seja, em particular, em caso de alguma falha que as tornem acidentalmente vivas.

Observe-se que na expressão *parte condutiva acessível* o termo “condutiva” significa “de material condutor”; partes normalmente destinadas a conduzir corrente são designadas “partes vivas”. Note-se, também, que a questão da *acessibilidade* tem um tratamento diferenciado, nas normas, dependendo do usuário do produto ou instalação, se é uma pessoa comum ou uma pessoa tecnicamente esclarecida.

Da regra fundamental exposta conclui-se, portanto, que a proteção contra choques elétricos deve ser garantida através de duas disposições protetoras, ou duas “linhas de defesa”, quais sejam:

- uma proteção *básica*, que assegura a proteção contra choques elétricos em condições normais, mas que é suscetível de falhar, devendo essa possibilidade de falha

ser levada em conta; e

- uma proteção *supletiva*, que assegure a proteção contra choques elétricos em caso de falha da proteção básica.

Essa proteção supletiva pode ser implementada:

- no equipamento ou componente;
- na instalação; ou
- parte no equipamento, parte na instalação.

Deduz-se também, do exposto, que a instalação de um equipamento elétrico deve ser compatível com a proteção contra choques de que ele é dotado. Ora, do ponto de vista da proteção contra choques elétricos, a normalização prevê quatro classes de equipamentos: classes 0 (zero), I, II e III. Surgem, assim, diferentes possibilidades de combinação *proteção básica + proteção supletiva*. As mais comuns são aquelas descritas na tabela I.

Deve-se notar que, na verdade, os conceitos de classe 0, classe I, classe II e classe III não são aplicáveis única e exclusivamente a equipamentos elétricos, no sentido estrito do termo (isto é, a equipamentos de utilização, como aparelhos eletrodomésticos, por exemplo), mas também a componentes e a disposições ou soluções construtivas na instalação. Um bom exemplo é o da classe II: podemos tanto ter equipamentos prontos de fábrica classe II, como são as ferramentas elétricas com dupla isolamento, quanto arranjos construtivos conceitualmente classe II, como seria o caso de uma linha elétrica constituída de condutores isolados em eletroduto isolante. Aqui, temos um produto pronto de fábrica “apenas” com isolamento básica, o condutor isolado, que, associado a um outro componente da instalação, o eletroduto isolante, resulta numa solução equivalente à classe II. Outro exemplo é o da classe III, que é sinônimo de extra-baixa tensão de segurança, ou vice-versa: na maioria dos casos, é difícil até mesmo avaliar, num sistema SELV (sigla em inglês adotada pela norma para identificar a extra-baixa tensão de segurança), o que é do

domínio dos materiais/equipamentos e o que é do domínio da instalação.

Como previsto, tendo em mente a combinação *proteção básica + proteção supletiva*, que traduz o espírito da proteção contra choques consagrado pela normalização internacional, fica mais fácil compreender as regras pertinentes da NBR 5410. Mas convém ainda trocar em miúdos alguns conceitos e definições relativos à matéria, a maioria dos quais figura, explícita ou implicitamente, na tabela I.

Isolação básica – Isolação aplicada às partes vivas, destinada a assegu-

Tab. I - Combinações mais comuns visando proteção contra choques elétricos (equipamento + instalação, ou só equipamento)

Classes de equipamentos/ componentes	Proteção básica	Proteção supletiva	
Classe 0	Isolação básica	Ambiente (locais não-condutores)	
		Separação elétrica (um único equipamento alimentado)	
Classe I	Isolação básica	Equipotencialização de proteção	Seccionamento automático da alimentação
Classe II	Isolação básica	Isolação suplementar	
	Isolação reforçada ou disposições construtivas equivalentes		
Classe III	Limitação da tensão	Separação de proteção de outros circuitos e separação básica da terra	

rar proteção básica contra choques elétricos. Ela não inclui, necessariamente, a isolação utilizada exclusivamente para fins funcionais.

Isolação suplementar – Isolação independente e adicional à isolação básica, destinada a assegurar proteção contra choques elétricos em caso de falha da isolação básica (ou seja, assegurar proteção supletiva).

Dupla isolação – Isolação compreendendo, ao mesmo tempo, uma isolação básica e uma isolação suplementar.

Isolação reforçada – Isolação única, aplicada às partes vivas, que assegura um grau de proteção contra choques elétricos equivalente ao da dupla isolação. A expressão “isolação única” não implica que a isolação deva constituir uma peça homogênea. Ela pode comportar diversas camadas impossíveis de serem ensaiadas isoladamente, como isolação básica ou como isolação suplementar.

Eqüipotencialização de proteção – Num equipamento, significa que as partes que compõem a massa do equipamento (já que raramente a massa é uma peça única) devem constituir um conjunto eqüipotencial, provido, ademais, de meios para conexão a um condutor de proteção externo. Note-se que, por definição, compõem a massa do equipamento todas as partes condutivas (*de material condutor!*) que podem ser tocadas e que não são normalmente vivas, mas que podem se tornar vivas em caso de falta. Deve também ser integrada a esse conjunto eqüipotencial qualquer *blindagem de proteção* (ver adiante), se existente. É uma exigência que figura nas normas de equipamentos — aplicável, naturalmente, às versões classe I dos equipamentos.

Ligação eqüipotencial – É a eqüipotencialização de proteção aplicada à instalação elétrica (ou parte desta) e a seu ambiente. Seu objetivo é evitar diferenças de potencial perigosas – entre massas e entre massas e os chamados elementos condutivos estranhos à instalação.

Separação de proteção – Separação entre circuitos por uma proteção básica e uma proteção supletiva, ou solução equivalente. Isso significa que o circuito protegido deve ser separado de outros circuitos por qualquer um dos seguintes meios:

- isolação básica mais isolação suplementar, ou seja, dupla isolação;
- isolação reforçada;
- blindagem de proteção;
- combinação das possibilidades anteriores.

Blindagem de proteção – Blindagem condutiva interposta entre as partes vivas perigosas de uma instalação, sistema ou equipamento e a parte (da instalação, sistema ou equipamento) objeto da proteção. A blindagem deve integrar a eqüipotencialização do equipamento ou instalação e, portanto, deve dispor de, ou estar ligada a, meios de conexão ao condutor de proteção. En-

fim, quando uma *separação de proteção* é realizada por meio de *blindagem de proteção*, os condutores dos circuitos a serem separados devem sê-lo, por exemplo, por uma blindagem metálica

- separada de cada circuito adjacente por uma isolação básica dimensionada de acordo com a tensão do circuito correspondente,
- conectada, direta ou indiretamente, a terminal para ligação do condutor de proteção externo, e
- capaz de suportar as solicitações térmicas e dinâmicas que podem ocorrer em caso de falha de isolamento.

Separação básica – É a separação entre circuitos provida pela isolação básica.

Por fim, a título de ilustração, analisemos algumas das medidas de proteção contra choques elétricos previstas na NBR 5410, sob o ângulo dos aspectos conceituais aqui expostos (ver tabela I).

1) A proteção por *seccionamento automático da alimentação* (5.1.3.1 da NBR 5410), que pressupõe equipamentos/componentes classe I, é uma medida em que

- a *proteção básica* é provida pela isolação básica entre partes vivas e partes condutivas acessíveis e
- a proteção supletiva (ou proteção em caso de falta) é garantida pela eqüipotencialização de proteção, tanto no plano do equipamento (classe I) quanto no plano da instalação, associada ao seccionamento automático da alimentação.

2) A medida intitulada *proteção em locais não-condutores* (5.1.3.3 da NBR 5410), na qual se admite o uso de equipamentos/componentes classe 0, comporta

- uma *proteção básica* provida por isolação básica entre partes vivas e partes condutivas acessíveis (a única proteção de que dispõe o equipamento ou componente classe 0) e
- uma proteção supletiva representada pela exigência de que o piso e as paredes do local onde serão instalados os equipamentos/componentes classe 0 sejam isolantes.

3) A proteção por SELV (“extra-baixa tensão de segurança”, 5.1.1.1 da NBR 5410), sinônimo de proteção classe III, implica

- uma *proteção básica* provida pela limitação da tensão do circuito SELV e
- uma proteção supletiva provida por *separação de proteção* entre o circuito SELV e outros circuitos e por *separação básica* entre o circuito SELV e a terra.

Ligação eqüipotencial: conexão das tubulações

Ao tratar da chamada *ligação eqüipotencial principal*, a NBR 5410 especifica que tubulações como as de água, gás e esgoto, quando metálicas, sejam nela incluídas. A conexão dessas tubulações à ligação eqüipotencial principal deve ser efetuada o mais próximo possível do ponto em que penetram na edificação. A interligação destes e outros elementos metálicos provenientes do exterior, entre si e a elementos condutivos da própria edificação, visa evitar, através da eqüipotencialização, que faltas de origem externa dêem margem ao aparecimento de diferenças de potencial perigosas entre elementos condutivos do interior da edificação. É uma exigência clara e categórica da NBR 5410.

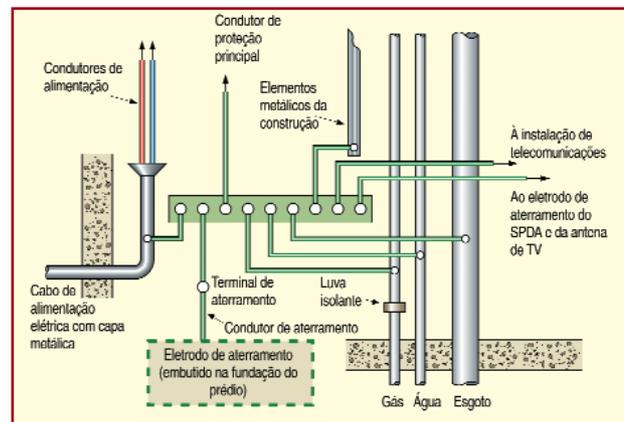
Uma dúvida freqüente dos profissionais de instalações refere-se aos procedimentos para executar a conexão que integrará as canalizações metálicas, em particular a de gás, à ligação eqüipotencial principal. De fato, a canalização de gás merece maiores cuidados e, nesse particular, convém respeitar as seguintes recomendações, adotadas em vários países europeus:

- a mudança de materiais, nas conexões, não deve ser efetuada sobre a parede da canalização, a fim de evitar as corrosões provocadas por pares galvânicos;
- tratando-se de canalizações de aço ou cobre, as conexões devem ser constituídas por cintas ou presilhas da mesma natureza da canalização e montadas sobre esta por soldagem (aço) ou brasagem (cobre);
- no caso de canalização de alumínio, a solução mais freqüente consiste em utilizar uma braçadeira de mesma liga, fixada sobre a canalização por meio de parafusos passantes e porcas em aço inoxidável.

Por outro lado, é recomendável dotar a própria canalização de gás de uma luva isolante, próximo ao seu afloramento na edificação (ver figura). Essa luva protegerá a rede de distribuição pública de gás, isolando-a eletricamente da instalação interior da edificação.

Conseqüentemente, a eqüipotencialização deve ser realizada após essa luva isolante, ou seja, do lado das instalações internas da edificação. Além disso, o trecho de canalização entre o ponto de penetração e a luva isolante deve ser isolado de qualquer elemento metálico da edificação; quando a extensão desse trecho exigir que a canalização seja fixada em um ou mais pontos à edificação, deve-se interpor um elemento isolante entre a canalização e cada uma das fixações.

Convém lembrar que a NBR 5410 proíbe utilizar as canalizações de gás, de água e de outros serviços como eletrodo de aterramento (item 6.4.2.2.4).



Esquema da ligação eqüipotencial principal

Outro dado importante a ser mencionado é que a NBR 5410 inclui, expressamente, entre os elementos que devem figurar na ligação eqüipotencial principal, o eletrodo de aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (“pára-raios” predial) da edificação e o da antena externa de televisão — diretamente ou via eletrodo de aterramento comum, quando de fato o sistema de pára-raios e a antena utilizarem um eletrodo de aterramento comum ao do sistema elétrico.

TN, TT E IT: sobrecorrente ou dispositivo DR?

Ao apresentar os princípios da proteção contra choques elétricos (contatos indiretos) por seccionamento automático da alimentação, o artigo 5.1.3.1 da NBR 5410 diz que massas devem ser ligadas a

condutores de proteção, compondo uma “rede de aterramento”, e que “um dispositivo de proteção deve seccionar automaticamente a alimentação do circuito por ele protegido sempre que uma falta entre parte viva e massa der origem a uma tensão de contato perigosa”.

O tempo máximo admissível para a consumação desse seccionamento, que antes da última edição da norma (1997) era dado em função da tensão de contato presumida, hoje é dado diretamente em função da tensão fase-terra U_0 da instalação, nas tabelas 20 e 21 da norma. A primeira, aqui reproduzida como tabela I, é válida para esquemas TN e a segunda para esquemas IT.

A edição 1997 também tornou mais claro o tipo de dispositivo que deve ser usado na proteção por seccionamento automático da alimentação — dispositivo a sobrecorrente ou dispositivo a corrente diferencial-residual?

Essa questão remete, necessariamente, ao exame do esquema de aterramento. Dependendo do esquema de aterramento, apenas um dos dispositivos, ou ambos, podem ser utilizados.

No esquema TN-C, o dispositivo capaz de garantir a proteção por seccionamento automático é necessariamente um dispositivo a sobrecorrente, dada a incompatibilidade entre o PEN (condutor reunindo as funções de neutro e de proteção), que constitui o traço característico do esquema TN-C, e o princípio de funcionamento dos dispositivos a corrente diferencial-residual.

No esquema TN-S, é possível utilizar tanto o dispo-

itivo a sobrecorrente quanto o dispositivo a corrente diferencial-residual.

Já no esquema TT, de acordo com a edição 1997, só é possível utilizar, na proteção por seccionamento automático, dispositivos a corrente diferencial-residual.

Quanto ao esquema IT (item 5.1.3.1.6), convém lembrar, inicialmente, que a definição do tipo de dispositivo é a mesma aplicável ao esquema TN ou TT, dependendo da forma como as massas estão aterradas. Quando as massas são aterradas individualmente, ou por grupos, aplicam-se as regras prescritas para o esquema TT — portanto, dispositivos DR. Quando todas as massas são interligadas (massas coletivamente aterradas), valem as regras do esquema TN — portanto, dispositivo a sobrecorrente ou dispositivo DR.

Agora, independentemente do esquema de aterramento, TN, TT ou IT, o uso de proteção DR, mais particularmente de alta sensibilidade (isto é, com corrente diferencial-residual nominal $I_{\Delta N}$ igual ou inferior a 30 mA), tornou-se expressamente obrigatória, com a edição de 1997, nos seguintes casos (artigo 5.1.2.5):

- a) circuitos que sirvam a pontos situados em locais contendo banheira ou chuveiro;
- b) circuitos que alimentem tomadas de corrente situadas em áreas externas à edificação;
- c) circuitos de tomadas de corrente situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos no exterior;
- d) circuitos de tomadas de corrente de cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, de todo local interno molhado em uso normal ou sujeito a lavagens

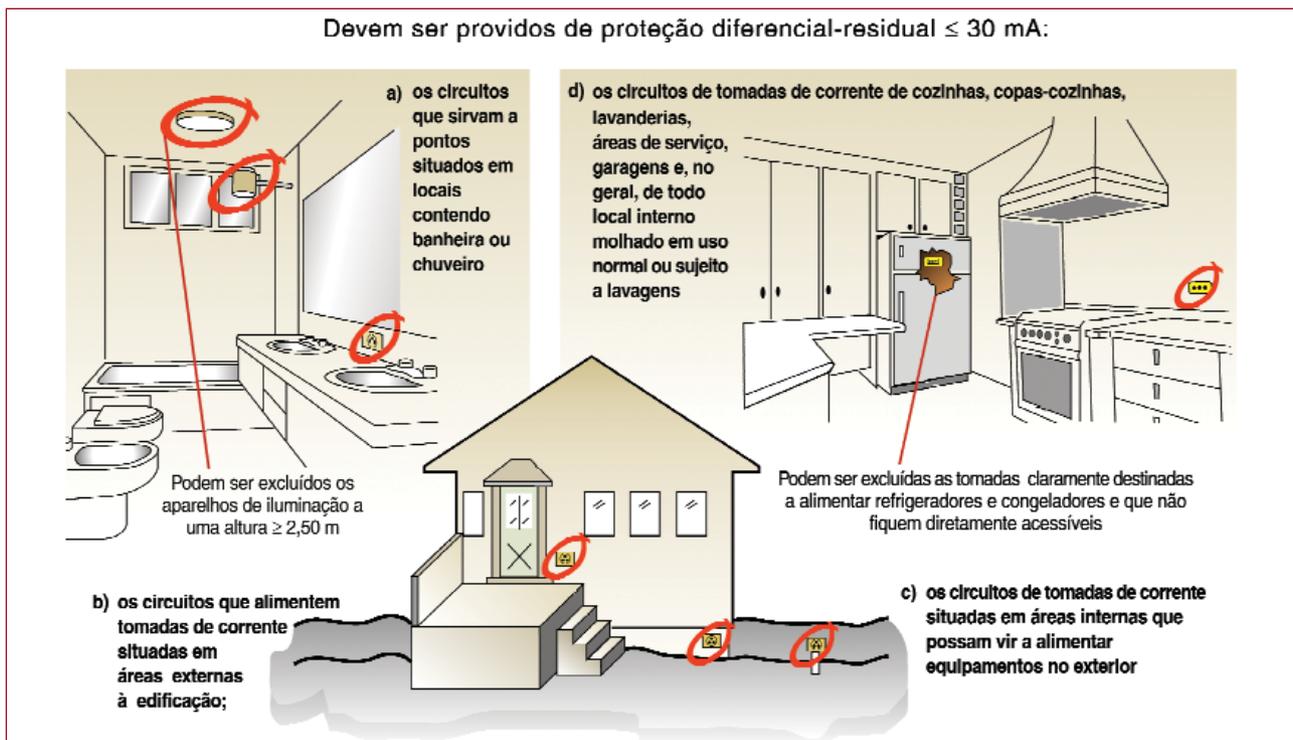


Fig.1 – Os casos (e exceções) em que a norma exige proteção diferencial-residual de alta sensibilidade ($I_{\Delta N} \leq 30$ mA).

Tab. I – Tempos de seccionamento máximos no esquema TN (tabela 20 da NBR 5410)

Tensão nominal fase-terra (V)	Tempos de seccionamento (s)	
	Situação 1	Situação 2
115,120,127	0,8	0,35
220	0,4	0,20
277	0,4	0,20
100	0,2	0,05
>400	0,1	0,02

Tabela 20 da NBR 5410. Os tempos de seccionamento máximos admissíveis são dados agora diretamente em função da tensão fase-terra: na tabela 20, os valores a serem observados nos esquemas TN e, na tabela 21, os valores aplicáveis a esquemas IT

cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, de todo local interno molhado em uso normal ou sujeito a lavagens.

O documento admite que sejam excluídos, na alínea *a*), os circuitos que alimentem aparelhos de iluminação posicionados a uma altura igual ou superior a 2,50 m; e, na alínea *d*), as tomadas de corrente claramente destinadas a alimentar refrigeradores e congeladores e que não fiquem diretamente acessíveis.

O texto conclui o artigo 5.1.2.5 com a observação de que “a proteção dos circuitos pode ser realizada individualmente ou por grupos de circuitos.”

A figura 1 ilustra a exigência, esclarecendo também as exceções previstas.

Seccionamento automático (I): para começar, equipotencialização

No artigo anterior, ficou clara a relação entre o tipo de dispositivo a ser usado na proteção contra choques elétricos (contatos indiretos) por seccionamento automático da alimentação e o esquema de aterramento. No esquema TT, só pode ser usado dispositivo DR. No esquema TN-C, só dispositivo a sobrecorrente. No esquema TN-S, qualquer um dos dois (sobrecorrente ou DR).

E, finalmente, no esquema IT, a definição do tipo de dispositivo depende da forma como as massas estão aterradas: dispositivo DR quando as massas são aterradas individualmente ou por grupos; dispositivo a sobrecorrente ou DR, quando todas as massas são interligadas (massas coletivamente aterradas).

Analisou-se, portanto, a *seleção* do dispositivo a ser usado na proteção por seccionamento automático — que é função do esquema de aterramento. Mas, e a *aplicação* desse dispositivo? Enfim, como se aplicam, na prática, as regras do seccionamento automático? Como se incorpora essa exigência da norma ao projeto de uma instalação elétrica?

O lado prático da aplicação da regra gira, mais uma vez, em torno do dispositivo a ser usado nessa função. Isso, evidentemente, pressupondo que uma exigência indissociável do seccionamento automático esteja previamente cumprida. Qual? A da *equipotencialização de proteção*, isto é, da realização de ligações equipotenciais — uma, geralmente referida como *ligação equipotencial principal*, ou tantas quantas forem necessárias, sendo as ligações equipotenciais adicionais geralmente referidas como *ligações equipotenciais locais*. A primeira (*principal*) é aquela associada ao chamado *terminal de aterramento principal* (TAP), ao qual se ligam as tubulações metálicas de serviços e utilidades, o mais próximo possível do ponto em que ingressam na edificação, e as estruturas metálicas e outros elementos condutivos que integram a edificação. A essa equipotencialização se juntam, naturalmente, os itens que compõem a própria definição do TAP:

- o(s) condutor(es) de proteção principal(ais) — *principal* no sentido de que são ligados ao TAP, previsivelmente, o condutor ou condutores de proteção que constituem o tronco da arborescência formada pela rede de condutores de proteção;
- o condutor que conecta ao TAP o condutor da alimentação a ser aterrado (em geral o neutro), quando isso for previsto, o que depende do esquema de aterramento adotado;
- o(s) condutor(es) de aterramento proveniente(s) do(s) eletrodo(s) de aterramento existente(s) na edificação.

Já as ligações equipotenciais locais são aquelas destinadas a constituir um ponto de referência tal que, na ocorrência de uma falta, seu potencial possa ser considerado como praticamente equivalente ao da ligação equipotencial principal (ver figura 1). O exemplo típico é o da equipotencialização realizada em andares da edificação, tendo como centro-estrela o quadro de distribuição do andar respectivo. Como na ligação equipotencial principal, a equipotencialização local reúne os condutores de proteção dos circuitos, as tubulações metálicas e os elementos condutivos da edificação.

Uma exigência implicitamente associada à equipotencialização de proteção é, claro, que todas as massas da ins-

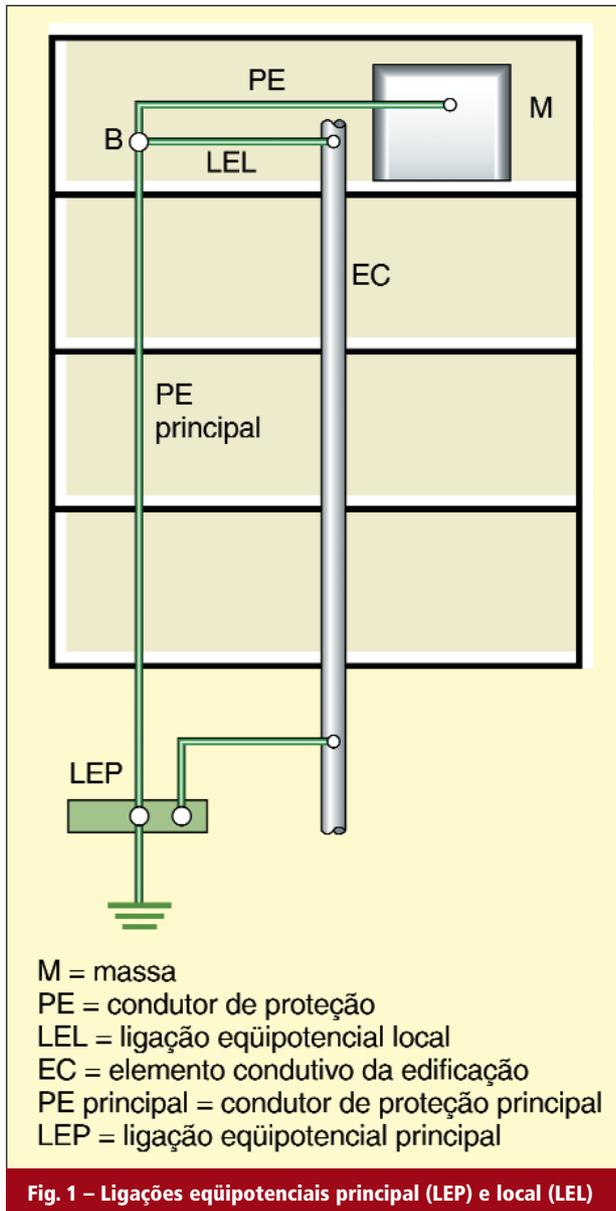


Fig. 1 – Ligações equipotenciais principal (LEP) e local (LEL)

talação estejam ligadas a esse sistema via condutores de proteção — só se admitindo a exclusão de equipamentos ou de partes da instalação que forem objeto de outra medida de proteção contra choques (contatos indiretos). Enfim, o condutor de proteção é e deve ser um elemento onipresente na instalação. Em todos os seus circuitos.

Assim, cumpridos todos os requisitos da equipotencialização de proteção, vejamos então como se incorpora a exigência do seccionamento automático, especificamente, ao projeto de uma instalação elétrica. E já que isso, como mencionado, gira em torno do dispositivo de proteção a ser utilizado, examinemos, primeiro, o uso de dispositivo DR e, em seguida, o de dispositivo a sobrecorrente.

É do que tratam os dois artigos a seguir.

Seccionamento automático (II): uso de dispositivo DR

Pode-se dizer que não há razões para preocupação, quanto ao atendimento da regra do seccionamento automático, quando se usam dispositivos DR — a não ser que a proteção diferencial-residual usada seja de baixíssima sensibilidade. É como se, ao usar DR, a observância do seccionamento automático pudesse passar ao largo do projeto. A análise das regras do seccionamento associado ao uso de DR, feita a seguir, demonstra isso.

Esquema TT

Começemos pelo uso do DR numa instalação TT (onde só é mesmo possível usar tal dispositivo) e, por tabela, no esquema IT em que as massas são aterradas individualmente ou por grupos (seccionamento na ocorrência de segunda falta).

Ora, a NBR 5410 diz que a seguinte condição deve ser atendida:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L$$

A figura 1 traz uma instalação TT esquemática, para ilustrar a condição imposta. Lembremos que:

R_A é a resistência do eletrodo de aterramento das massas (ou, para sermos mais precisos, e sempre em favor da segurança, assumamos R_A como sendo a soma das resistências do condutor de proteção PE e do eletrodo de aterramento das massas);

$I_{\Delta n}$ é a corrente diferencial-residual nominal de atuação do dispositivo (a chamada “sensibilidade”); e

U_L é a tensão de contato limite, isto é, o valor a partir do qual uma tensão de contato passa a ser considerada perigosa. Na situação 1 definida pela norma, que corresponde a condições de influências externas consideradas normais (situação úmida), U_L vale 50 V. E na situação 2, “condições molhadas”, U_L vale a metade, 25 V.

Assim, se for usado um DR com sensibilidade de 30 mA na nossa instalação-exemplo, a regra da norma⁽¹⁾ impõe que R_A deverá ser de, no máximo,

- 1667 Ω na situação 1 (50/0,03); ou de

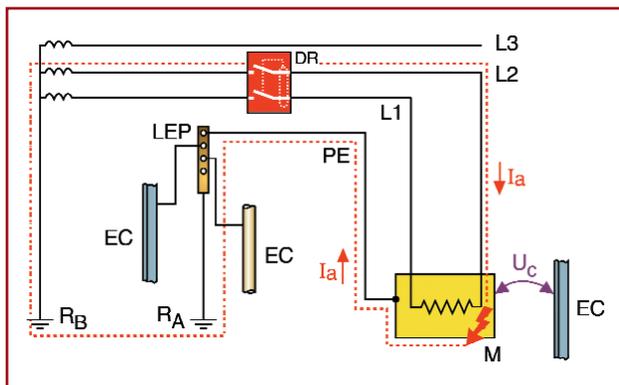


Fig. 1 – Seccionamento automático no esquema TT, com DR (necessariamente). Para não oferecer perigo, a tensão de contato U_c não deve ultrapassar a tensão de contato limite U_l . Caso ultrapasse, o DR deve atuar. E para que o DR atue, a corrente de falta para a terra I_a deve atingir, no mínimo, o valor da corrente diferencial-residual de atuação $I_{\Delta n}$. Assim, para garantir a circulação para a terra de $I_{\Delta n}$, no mínimo, a norma determina que a soma das resistências do PE e de RA não pode exceder $U_l / I_{\Delta n}$. LEP = ligação eqüipotencial principal; E_c = elemento condutivo (da edificação)

- 833 Ω na situação 2 (25/0,03).

Fiquemos, para maior segurança, com os 833 Ω , já que nossa instalação poderá ter massas na situação 1 e outras na situação 2. De qualquer forma, uma resistência de aterramento muito fácil de obter, não?

Um DR de menor sensibilidade evidentemente irá estreitar o valor máximo admissível da resistência de aterramento das massas. Mas nada que assuste. Veja-se o exemplo de um DR de 300 mA:

- $R_A \leq 167 \Omega$ (50/0,3) na situação 1; e
- $R_A \leq 83 \Omega$ (25/0,3) na situação 2.

Esquema TN-S

Apelando para a gíria, o uso de dispositivo DR no esquema TN-S — e em esquemas IT onde todas as massas são interligadas, já que o raciocínio é o mesmo — chega a ser “covardia”.

Veja-se a figura 3. Para que haja o seccionamento automático da instalação TN-S aí ilustrada, é preciso, simplesmente, que a corrente de falta I_a atinja o limiar de atuação (sensibilidade) do dispositivo DR que a protege.

Ora, como manda a regra da NBR 5410 referente ao seccionamento automático em esquemas TN e como a própria figura deixa patente, a impedância do percurso da corrente de falta deve então ser baixa “o suficiente” para que possa circular a corrente que levará o dispositivo a atuar [Na prática, não há a mínima dúvida sobre isso, evidentemente, mas o que importa aqui é o raciocínio]. Partindo da expressão usada na norma,

$$Z_s \cdot I_a \leq U_o$$

vem

$$Z_s \leq U_o / I_a$$

onde

Z_s é a impedância do percurso da corrente de falta;

I_a é a corrente que deve assegurar a atuação do dispositivo de proteção; e

U_o é a tensão nominal entre fase e terra.

Como o dispositivo usado é um DR, resulta suficiente, para a atuação do dispositivo, que I_a seja igual a $I_{\Delta n}$. Logo,

$$Z_s \leq U_o / I_{\Delta n}$$

Claramente a condição será facilmente atendida mesmo com dispositivos DR de baixa sensibilidade. Até porque, como é inerente ao esquema TN, o percurso da corrente de falta é um caminho totalmente metálico, o que antecipa uma Z_s muito baixa.

De qualquer forma, vejamos dois exemplos numéricos “extremos”. O primeiro, supondo “mínima” $I_{\Delta n}$ (sensibilidade “máxima”) e “máxima” tensão fase–neutro. E o segundo, o contrário. Sejam, no primeiro caso,

$$I_{\Delta n} = 30 \text{ mA e } U_o = 220 \text{ V;}$$

e, no segundo,

$$I_{\Delta n} = 500 \text{ mA e } U_o = 127 \text{ V.}$$

Temos, no primeiro caso,

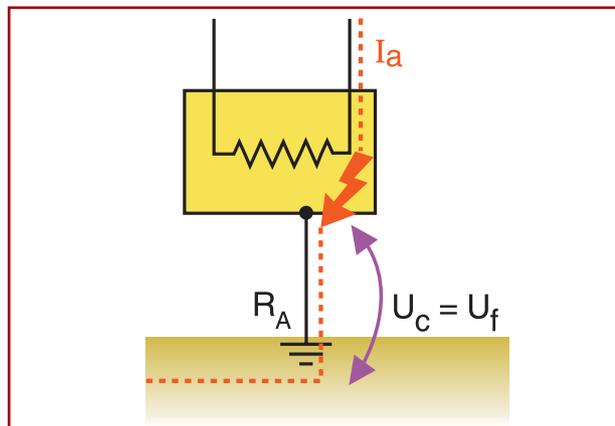


Fig. 2 – A condição a ser preenchida no seccionamento automático em esquema TT deriva da assunção da tensão de contato como igual à tensão de falta

$$Z_s \leq 220 / 0,03$$

$$Z_s \leq 7333 \Omega$$

e, no segundo,

$$Z_s \leq 127 / 0,5$$

$$Z_s \leq 254 \Omega$$

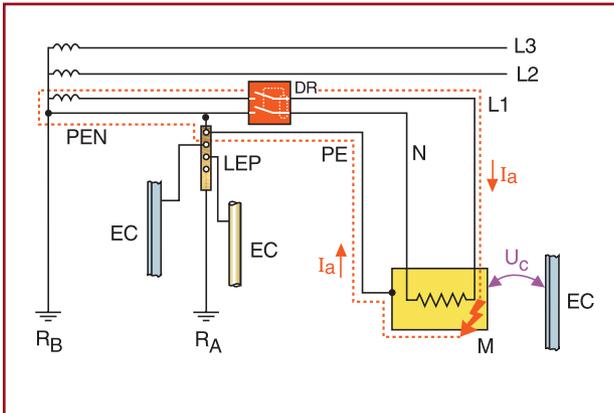


Fig. 3 – Uso de dispositivo DR em esquema TN-S
LEP = ligação equipotencial principal; EC = elemento condutivo (da edificação); U_c = tensão de contato

O valor real de Z_s , evidentemente, estará “infinitamente” abaixo dos apurados nas conjecturas. Tanto que reside aí o porquê de não ser pertinente, no seccionamento com DR em esquema TN, uma eventual discussão sobre se a condição preenchida é ou não suficiente em determinada situação (referimo-nos às situações 1 e 2 definidas pela norma e intervenientes no equacionamento do seccionamento automático. Frise-se, porém, que essa indiferença do seccionamento automático em esquemas TN às duas situações de influências externas consideradas na norma só é totalmente válida quando o dispositivo usado for o DR. Se o dispositivo for a sobrecorrente, como se verá adiante, pode-se ignorá-las em alguns casos, mas não em outros.

Notas

(1) Para os curiosos acerca da origem da expressão $R_A \cdot I_{\Delta n} \leq U_L$, aqui vai a explicação.

Raciocinando em favor da segurança, supõe-se que a pessoa seja submetida a uma tensão de contato igual à tensão de falta (ver figura 2), isto é,

$$U_c = U_f = I_a \cdot R_A,$$

sendo I_a a corrente de falta, ou corrente que circula para a terra. Ora, U_c não deve exceder U_L , isto é,

$$U_c \leq U_L, \text{ vale dizer}$$

$$I_a \cdot R_A \leq U_L$$

Por outro lado, como temos um dispositivo DR protegendo o circuito e o dispositivo funciona como um “monitor de corrente de fuga à terra”, que atua tão logo a corrente para a terra atinja seu limiar de disparo (sensibilidade), o valor máximo teórico que I_a pode assumir, numa situação pré-desligamento, é mesmo $I_{\Delta n}$ (ou uma pequena fração aquém desse limiar, já que, por norma, o dispositivo deve seguramente disparar com $I_{\Delta n}$). Logo,

$$I_{\Delta n} \cdot R_A \leq U_L$$

Seccionamento automático (III): uso de dispositivo a sobrecorrente

No estudo do seccionamento automático usando dispositivo a sobrecorrente, é suficiente analisar a aplicação do dispositivo ao esquema TN. De um lado, porque a NBR 5410 não admite mesmo que lhe seja atribuída essa função no esquema TT. E, de outro, porque a análise aplicável ao caso de segunda falta no esquema IT, quando se tem um IT com todas as massas interligadas, é exatamente a mesma feita para o TN.

O equacionamento da proteção por seccionamento automático quando se usa dispositivo a sobrecorrente, se não é algo que praticamente dispensa verificações, como se dá com o emprego de DRs, também está longe de ser uma tarefa complicada. Pelo menos, não a verificação, em si (o que não quer dizer que o cumprimento das regras pertinentes seja simples). De fato, checar se as exigências da norma referentes ao seccionamento via dispositivo a sobrecorrente estão sendo atendidas, ou não, é um passo facilmente integrável à rotina de cálculos ou procedimentos que o profissional segue no projeto dos circuitos de uma instalação. Até porque é uma etapa que tira proveito de etapas anteriores, dentro da evolução natural do projeto.

Nem poderia ser diferente. Afinal, o cumprimento da função de seccionamento automático está sendo atribuída a um dispositivo que, presumivelmente, cumpre antes, ou cumulativamente, a função que dele se espera pela própria característica de funcionamento: a proteção contra sobrecorrentes. É esse, com efeito, o proveito que se tira de um procedimento anterior e incontornável da rotina de projeto:

tendo já sido equacionada ou dimensionada a proteção contra sobrecorrentes, resta assim, na verificação do seccionamento, apenas a cômoda tarefa de conferir se o disjuntor ou fusível definido na proteção contra sobrecorrentes pode cumprir também a função de seccionamento automático exigida pela proteção contra choques (contatos indiretos).

E qual é mesmo essa rotina de projeto? Mais exatamente, quais são os passos trilhados na determinação das seções dos condutores e seleção dos dispositivos de proteção? Uma seqüência típica seria:

1. Determinação da corrente de projeto do circuito;
2. Determinação das seções dos condutores de fase (critério da capacidade de condução de corrente), neutro e de proteção;
3. Verificação das quedas de tensão;
4. Seleção do dispositivo de proteção contra sobrecargas;
5. Verificação da proteção contra curtos-circuitos; e i-la,
6. Verificação da proteção contra choques elétricos (contatos indiretos) por seccionamento automático da alimentação.

Por tanto, a verificação de que estamos tratando seria a última etapa dessa seqüência.

Identificada a seqüência, ou a posição do passo dentro da seqüência, como realizar esse passo, isto é, como o projetista deve proceder, na prática, para verificar se o circuito conta ou não com proteção contra choques elétricos? Como conferir se o dispositivo de proteção contra sobrecorrentes definido assegura também a proteção contra contatos indiretos?

Na prática, tudo o que o projetista tem a fazer é verificar se o comprimento do circuito em questão ultrapassa ou não um certo limite.

Esses limites podem ser obtidos de tabelas geralmente disponíveis em literatura de fabricante. Basta entrar na tabela com a

- corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes selecionado e com a
- seção dos condutores de fase do circuito sendo analisado, e a tabela fornece o comprimento máximo admissível do circuito, isto é, o comprimento até o qual o seccionamento automático fica garantido.

A tabela I ilustra uma dessas tabelas. Assim, por exemplo, um circuito com condutores de fase de 16 mm² (cobre) e protegido contra sobrecorrentes por um disjuntor modular tipo B com corrente nominal de 50 A terá

também proteção contra contatos indiretos, provida pelo disjuntor, se seu comprimento não for superior aos 250 m indicados na tabela [*Este detalhe será retomado adiante, mas não custa adiantar: minidisjuntores tipo B são disjuntores, conforme a NBR IEC 60898, com faixa de disparo magnético de 3 a 5 x I_n, sendo I_n a corrente nominal do disjuntor*].

Neste ponto, é natural que se pergunte: a tabela do exemplo e outras tabelas análogas são válidas dentro de que limites ou para quais condições? Ou, indo ao cerne da questão, buscando uma resposta que preencha todas as outras: de onde saiu a tabela?

Por trás de toda tabela do gênero há, claro, um método simplificado. Os valores da tabela I foram calculados a partir da expressão

$$L_{\max} = \frac{0,8 U_o S_\phi}{\rho (1+m) I_a}$$

onde

U_o é a tensão fase–neutro, em volts;

S_φ é a seção nominal dos condutores de fase, em mm²;

ρ é a resistividade do material condutor, em Ω.mm²/m, à temperatura de regime;

m é a relação entre as seções do condutor de fase e do condutor de proteção, isto é,

$$m = \frac{S_\phi}{S_{PE}}$$

I_a é a corrente, em ampères, que assegura a atuação do dispositivo de proteção (dispositivo a sobrecorrente) dentro do tempo de seccionamento máximo admissível fixado pela NBR 5410.

Isso não explica tudo, ainda, sobre os números da tabela, mas fiquemos, por enquanto, nas explanações sobre a expressão e o método.

Tab. I – Comprimento máximo de circuito(*) (m)

S _φ (mm ²)	Corrente nominal do disjuntor (A)												
	6	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	195	117	90	73	58	46	36	29	23	18	14	11	9
2,5	325	195	150	122	97	78	61	48	39	31	24	19	15
4	521	312	240	195	156	125	97	78	62	49	39	31	25
6	782	469	361	293	234	187	146	117	93	74	58	46	37
10		782	601	488	391	312	244	195	156	124	97	78	62
16			962	782	625	500	391	312	250	198	156	125	100
25					977	782	611	488	391	310	244	195	156
35						1095	855	684	547	434	342	273	219
50								977	782	620	488	391	312

(*) Circuito com condutores de cobre; disjuntores tipo B conforme NBR IEC 60898 (disparo magnético entre 3 e 5 x I_n)

Exemplo de tabela, encontrável em literatura de fabricantes, que fornece o comprimento máximo de circuito até o qual o seccionamento fica garantido. Basta entrar com a seção do condutor de fase e a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes do circuito

Tab. II – Tempos de seccionamento máximos no esquema TN (tabela 20 da NBR 5410)

Tensão nominal fase-terra (V)	Tempo de seccionamento (s)	
	Situação 1	Situação 2
115,120, 127	0,8	0,35
220	0,4	0,20
277	0,4	0,20
400	0,2	0,05
> 400	0,1	0,02

Os tempos de seccionamento máximos admissíveis no esquema TN são dados na tabela 20 da NBR 5410

O método assume, como hipóteses,

- que a tensão na origem do circuito se mantém em 80% da tensão nominal (portanto, a parte a montante corresponderia a 20% da impedância total do percurso da corrente de falta). Daí a parcela $0,8 U_0$ constante da expressão; e
- que o condutor de proteção está disposto na proximidade imediata dos condutores vivos, sem interposição de elementos ferromagnéticos. É o caso, por exemplo, quando o condutor de proteção é uma das veias do mesmo cabo multipolar ou então é um condutor separado, mas correndo no mesmo conduto (eletroduto, eletrocalha, leito para cabos, etc.). Essa condição também permite assumir que a reatância é pequena face à resistência do cabo, podendo então ser desprezada para cabos de até 120 mm^2 .

O termo I_a da expressão carece uma explicação mais detalhada. Como indicado, é a corrente que irá garantir a atuação do dispositivo dentro do tempo máximo admissível para a consumação do seccionamento — tempo este, no caso do esquema TN, fixado pela tabela 20 da NBR 5410, aqui reproduzida como tabela II. Supondo (ver tabela II) que a tensão nominal fase-neutro do circuito que estamos analisando quanto ao seccionamento automático seja de 220 V, o tempo máximo de seccionamento — na situação 1, por exemplo — seria de 0,4 s.

Para determinar a I_a correspondente, basta então entrar com esse tempo de seccionamento máximo admissível (vamos chamá-lo t_s) na curva tempo-corrente do dispositivo de proteção a sobrecorrente. No caso de um dispositivo fusível, como mostra a figura 1, a corrente I_a é obtida do cruzamento de t_s com a curva tempo máximo de interrupção-corrente do fusível. Afinal, raciocinando sempre em favor da segurança, é preciso ter certeza da atuação do fusível e, por norma, só a curva do tempo

máximo de interrupção nos garante isso.

No caso de disjuntores termomagnéticos, todos os tempos máximos de seccionamento prescritos pela norma — não importa se situação 1 ou situação 2 — caem dentro da faixa de disparo magnético (ou disparo instantâneo) do disjuntor. De fato, como se pode ver na tabela II, todos os tempos ficam abaixo de 1 s; e, como mostra a figura 2, todos situam-se então na faixa de disparo magnético. A figura 2 traz as curvas tempo-corrente de dois disjuntores conforme a NBR IEC 60898: o tipo B, com disparo magnético entre 3 e 5 vezes a corrente nominal I_n ; e o tipo C, com disparo magnético entre 5 e $10 \times I_n$ (a NBR IEC 60898 prevê ainda um terceiro tipo, D, com disparo magnético entre 10 e $20 \times I_n$). A exemplo do raciocínio aplicado aos fusíveis, aqui também, em favor da segurança, I_a seria sempre $5 \times I_n$ no caso de disjuntores tipo B, $10 \times I_n$ no caso dos do tipo C e $20 \times I_n$ no caso dos do tipo D.

Fica clara, a essa altura, a idéia-síntese por trás do método, da tabela ou, enfim, do procedimento de se checar a observância da regra do seccionamento automático verificando se o comprimento do circuito ultrapassa ou não os valores tabelados. O que o projetista faz, ao confrontar o comprimento real de seu circuito com o valor tabelado, é verificar se a impedância do circuito é baixa o suficiente para permitir a circulação de I_a . Aliás, esse é o objetivo do jogo: garantir, de qualquer forma, a circulação de I_a — e, assim, a atuação do dispositivo. Dessa forma, se porventura o comprimento real do circuito sendo projetado for superior ao comprimento máximo admissível, dado na tabela, o projetista deve então rever seu dimensionamento — por exemplo, aumentando a seção nominal do condutor, de tal modo que o comprimento máximo admissível com a nova seção seja superior ou, no mínimo, igual ao comprimento real do circuito.

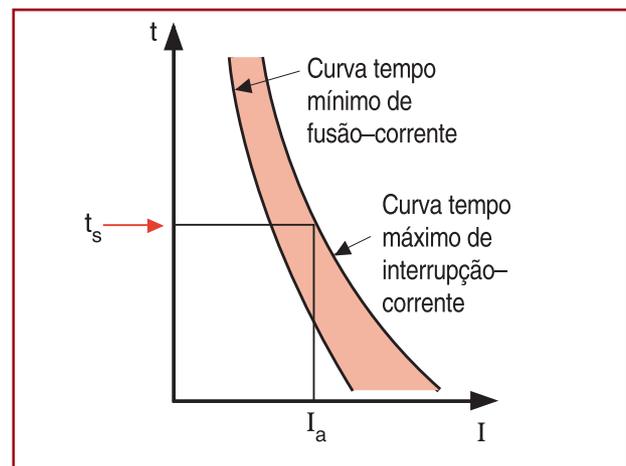


Fig. 1 – Obtenção da corrente I_a , capaz de garantir a atuação do dispositivo fusível, a partir do tempo de seccionamento máximo t_s

Nessa altura, também, fica claro, face à abordagem tri-lhada, que o fato de as massas alimentadas pelo circuito estarem na situação 1 ou na situação 2 não tem qualquer relevância se o dispositivo a sobrecorrente utilizado no seccionamento automático for um disjuntor termomagnético. Afinal, o objetivo por trás de L_{max} (ou seja, da fixação de um comprimento máximo admissível de circuito) é garantir, no caso de disjuntores, a atuação magnética, "instantânea", do dispositivo; e essa atuação não ultrapassa, tipicamente, meio-ciclo. Já se o dispositivo a sobrecorrente for um fusível, o fato de as massas estarem na situação 1 ou numa situação 2 pode pesar significativamente no comprimento máximo admissível do circuito — o tempo de seccionamento menor exigido na situação 2 poderá levar a uma I_a significativamente maior e, portanto, a um L_{max} significativamente menor.

Podemos, agora, voltar à tabela I, e à expressão da qual deriva, para identificar a origem dos valores aí lançados. Não só pela vontade ou pelo dever de explicar, mas porque, de posse dessas informações, o projetista poderá montar suas próprias tabelas.

Pois bem. Na tabela I a tensão fase-neutro U_o considerada é 220 V. Outros parâmetros fixados na montagem da tabela (traduzindo: "a tabela é válida para...") são:

- condutores de cobre, com $\rho = 0,0225 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;
- $m = 1$, isto é, condutores de fase e condutor de proteção apresentando a mesma seção;
- esquema TN.

A tabela refere-se, ainda, como já mencionado, a disjuntores tipo B e, portanto, a uma $I_a = 5 \times I_n$.

Como fazer quando o condutor não for de cobre, a seção do PE for inferior à do condutor de fase, a tensão fase-

neutro não for 220 V, o esquema de aterramento não for TN e/ou o disjuntor não for tipo B?

Na verdade, é possível obter, a partir dos valores da tabela I ou de qualquer tabela similar, o L_{max} para virtualmente qualquer outra condição.

De fato, suponhamos, genericamente, que nessa outra condição qualquer, diferente das condições assumidas no cálculo dos valores da tabela I,

1. o condutor seja de um metal com resistividade ρ' ;
2. a relação entre as seções do condutor de fase e do condutor de proteção seja m' ;
3. a tensão fase-neutro seja U'_o ;
4. o esquema de aterramento seja IT;
5. o disjuntor seja tipo C ou tipo D (conforme NBR IEC 60898).

Para cada condição que difira das adotadas na tabela, teríamos um fator de correção correspondente. E o fator de correção total, portanto, caso todas as condições sejam diferentes, corresponderia à aplicação cumulativa de todos os cinco fatores, isto é,

$$f = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5$$

Esses fatores são, via de regra, mera aritmética. Assim, temos:

- Fator de correção f_1 :

$$f_1 = \frac{\rho_{cobre}}{\rho'} = \frac{0,0225}{\rho'}$$

No caso de condutor de alumínio, com $\rho' = 0,0363 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,

$$f_1 = 0,0225/0,0363 = 0,62$$

- Fator de correção f_2 :

$$f_2 = \frac{2}{m' + 1}$$

Na prática, os valores possíveis de m' (além do $m = 1$ considerado na elaboração da tabela) seriam 2, 3 e 4.

Logo,

- para $m' = 2$, $f_2 = 2/3 = 0,67$
- para $m' = 3$, $f_2 = 2/4 = 0,5$
- para $m' = 4$, $f_2 = 2/5 = 0,25$

- Fator de correção f_3 :

$$f_3 = \frac{U'_o}{220}$$

- Fator de correção f_4 (esquema IT):

$$f_4 = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,86$$

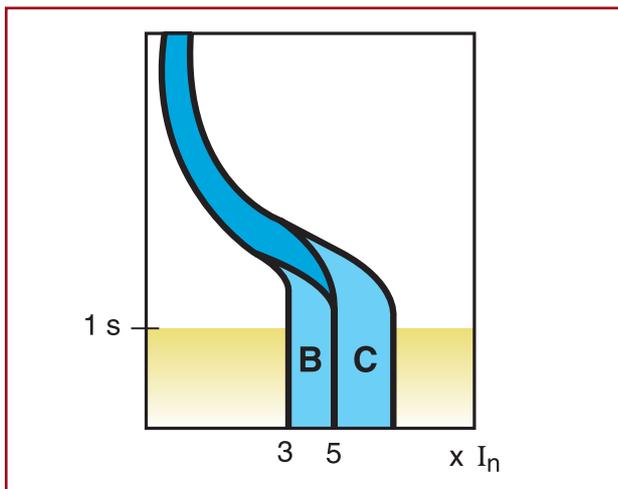


Fig. 2 – No caso de disjuntores termomagnéticos (a figura mostra duas curvas de disjuntores conforme a NBR IEC 60898), todos os tempos de seccionamento máximos impostos pela NBR 5410 caem dentro da faixa de disparo magnético (disparo instantâneo, ou disparo por curto-circuito)

Funcionamento e classificação dos dispositivos DR

A NBR 5410 utiliza a expressão “dispositivos de proteção a corrente diferencial-residual” ou, abreviadamente, “dispositivos DR”, para se referir, genericamente, à proteção diferencial-residual — qualquer que seja a forma que ela venha a assumir.

De fato, o “dispositivo” de que fala a norma pode ter várias “caras”. Assim, na prática a proteção diferencial-residual pode ser realizada através de:

- interruptores diferenciais-residuais,
- disjuntores com proteção diferencial-residual incorporada,
- tomadas com interruptor DR incorporado,
- blocos diferenciais acopláveis a disjuntores em caixa moldada ou a disjuntores modulares (minidisjuntores), e
- peças avulsas (relé DR e transformador de corrente toroidal), que são associadas ao disparador de um disjuntor ou a um contator; ou, ainda, associadas apenas a um elemento de sinalização e/ou alarme, se eventualmente for apenas este, e não um desligamento, o objetivo pretendido com a detecção diferencial-residual.

O termo “dispositivo” será aqui usado com a mesma abrangência adotada pela norma brasileira e pela normalização inter-

nacional, isto é, designando qualquer das concepções de produto ou arranjo capaz de assegurar proteção diferencial-residual.

Por sinal, o uso do termo “diferencial”, como na expressão “proteção diferencial” ou “proteção diferencial-residual”, não é unanimidade. Mesmo nos países latinos em que a denominação “proteção diferencial” ficou consagrada, como na Itália, França ou Espanha, há quem não concorde com ela. Credita-se direito preferencial de seu uso (por anterioridade ou maior difusão, sabe-se lá) à homônima usada em sistemas de média e alta tensão — a proteção diferencial de linhas, de cabos, de transformadores ou de geradores. Sugere-se, ao invés, o emprego de “proteção residual” — alinhada, portanto, com a redação em inglês das normas IEC pertinentes, que convencionou denominar os dispositivos *RCDs - Residual Current Devices*.

Então: proteção diferencial, proteção residual, proteção diferencial-residual, proteção DR ou o quê? O leitor que faça sua escolha. Ficaremos aqui com todos, indistintamente. Com a tranqüilidade de não estar criando qualquer confusão, já que o contexto é bem definido.



Vista em corte de um interruptor diferencial tetrapolar

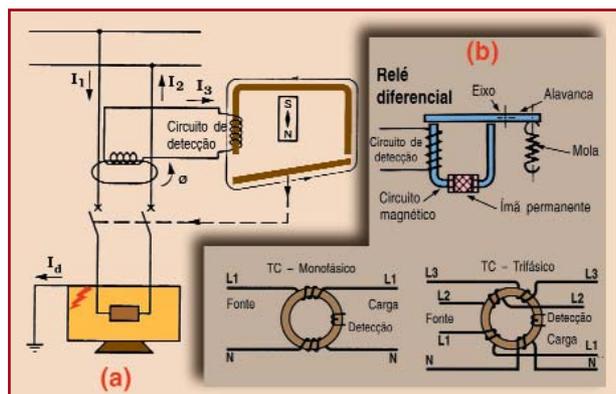


Fig. 1 – Ocorrendo uma corrente de falta à terra I_d , a corrente “de retorno” I_2 não será mais igual à corrente “de ida” I_1 e essa diferença provoca a circulação de uma corrente I_3 no enrolamento de detecção. Cria-se, no circuito magnético do relé, um campo que vence o campo permanente gerado pelo pequeno ímã, liberando a alavanca. A liberação da alavanca detona o mecanismo de abertura dos contatos

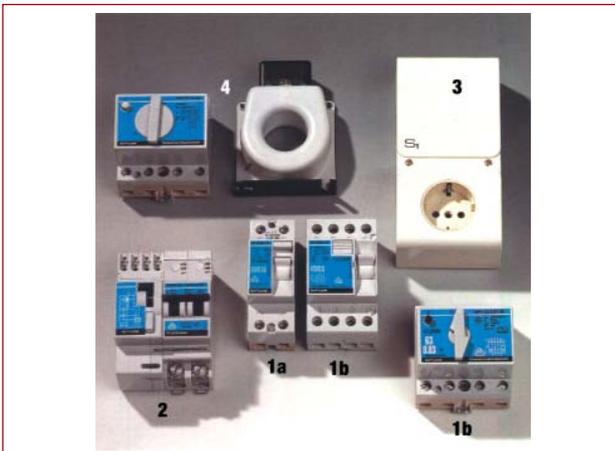
Princípio de funcionamento

Como funciona o dispositivo diferencial? Ele mede permanentemente a soma vetorial das correntes que percorrem os condutores de um circuito (figura 1a). Enquanto o circuito se mantiver eletricamente são, a soma vetorial das correntes nos seus condutores é praticamente nula. Ocorrendo falha de isolamento em um equipamento alimentado por esse circuito, irromperá uma corrente de falta à terra — ou, numa linguagem rudimentar, haverá “vazamento” de corrente para a terra. Devido a esse “vazamento”, a soma vetorial das correntes nos condutores monitorados pelo DR não é mais nula e o dispositivo detecta justamente essa diferença de corrente.

A situação é análoga se alguma pessoa vier a tocar uma parte viva do circuito protegido: a porção de corrente que irá

circular pelo corpo da pessoa provocará igualmente um desequilíbrio na soma vetorial das correntes — diferença então detectada pelo dispositivo diferencial, tal como se fosse uma corrente de falta à terra.

Quando essa diferença atinge um determinado valor, é ativado um relé. Via de regra, este relé irá promover a abertura dos contatos principais do próprio dispositivo ou do dispositivo associado (contator ou disjuntor). Poderia, eventualmente, como observado no início, apenas acionar um alarme visual ou sonoro. Mas estamos tratando de proteção; e proteção, no caso mais geral, significa desligamento do circuito afetado pelo incidente detectado.



As normas referem-se a “dispositivos diferenciais” de forma genérica. Isso significa que o “dispositivo” pode ser um interruptor diferencial (bipolar, 1a, ou tetrapolar, 1b), um disjuntor diferencial (2), uma tomada diferencial (3) ou, ainda, um relé diferencial e respectivo TC toroidal (4) — associados, neste último caso, ao disparador de um disjuntor ou contator

Portanto, um dispositivo diferencial é composto, basicamente, dos seguintes elementos (figura 1b):

- um TC de detecção, toroidal, sobre o qual são enrolados, de forma idêntica, cada um dos condutores do circuito, e que acomoda também o enrolamento de detecção, responsável pela medição das diferenças entre as correntes dos diferentes condutores; e
- um elemento de “processamento” do sinal e que comanda o disparo do DR, geralmente designado relé diferencial ou relé sensível.

O funcionamento do relé diferencial pode ser direto, sem aporte de energia auxiliar; ou então demandar a amplificação do sinal, requerendo, neste caso, aporte de energia auxiliar. Este aspecto, aliás, é um dos ângulos sob os quais se pode classificar os dispositivos diferenciais.

Classificação dos DRs

De fato, quando se procura diferenciar os dispositivos DR, especificando um como tipo “x” e outro como tipo “y”, essa diferenciação segue sempre um determinado cri-

tério. Assim, pode-se classificar — ou diferenciar — os dispositivos segundo diversos critérios: modo de funcionamento (dependente ou não de fonte auxiliar); tipo de montagem ou instalação (fixo/para uso móvel); número de pólos (unipolar, bipolar, etc.); sensibilidade (baixa/alta); se incorporam ou não proteção contra sobrecorrentes; se a sensibilidade pode ser ou não alterada (relés ajustáveis/não ajustáveis); atuação (instantânea/temporizada); tipos de corrente de falta detectáveis; e assim por diante.

É disso que tratam os quatro artigos a seguir, analisando a diferenças entre os DRs disponíveis no mercado segundo:

- o modo de funcionamento;
- a sensibilidade;
- os tipos de correntes de falta detectáveis; e
- as características de atuação.

Finalmente, no quinto artigo dedicado especificamente ao estudo dos dispositivos DR, é abordado o problema dos disparos indesejáveis.

DRs sem e com fonte auxiliar

Um primeiro ângulo sob o qual podem ser examinados os dispositivos DR disponíveis no mercado é o modo de funcionamento. Ora, o funcionamento de um relé diferencial-residual pode ser direto, sem aporte

Tab. I – Condições de utilização dos dispositivos diferenciais segundo seu modo de funcionamento

Modo de funcionamento		Proteção contra contatos indiretos	Proteção complementar contra contatos diretos ($I_{AN} \leq 30 \text{ mA}$)
Não dependente de fonte auxiliar		SIM	SIM
Dependente de fonte auxiliar	Abertura automática em caso de falha da fonte auxiliar	SIM	SIM
	Sem abertura automática em caso de falha da fonte auxiliar	(*)	NÃO
	Capaz de desligamento em situação de perigo		
	Incapaz de desligamento em situação de perigo	NÃO	NÃO

(*) SIM se a instalação estiver sob operação e manutenção de pessoas advertidas (BA4) ou qualificadas (BA5); ou, ainda, se a proteção contra contatos indiretos for assegurada por outros meios no caso de falha da fonte auxiliar.

de energia auxiliar; ou então demandar a amplificação do sinal, requerendo, neste caso, aporte de energia auxiliar — a fonte auxiliar podendo ser a própria rede. No primeiro caso, temos os relés puramente eletromagnéticos; no segundo, relés eletrônicos ou mistos.

Os dispositivos que independem totalmente de energia auxiliar podem ser utilizados, sem restrições, na proteção contra os contatos indiretos, na proteção complementar contra os contatos diretos (quando de alta sensibilidade) e na proteção contra riscos de incêndio. *Totalmente independente* significa que *todas* as funções envolvidas na proteção diferencial-residual (detecção, medição e comparação e interrupção) dispensam, de fato, aporte de energia auxiliar. E a alusão a uso *sem restrição* presta-se, na verdade, a um contraponto: o de que as normas de instalação, em geral, impõem restrições, isso sim, ao emprego dos dispositivos cujo funcionamento *depende* da tensão da rede ou de fonte auxiliar.

O QUE DIZ A NBR 5410

Em 6.3.3.2.2, a NBR 5410 admite o uso de dispositivos DR tanto do tipo sem fonte auxiliar como do tipo dependente de fonte auxiliar (que, acrescenta, pode ser a própria rede de alimentação). Mas ressalva, neste caso, que o uso de versões que não atuem automaticamente no caso de falha da fonte auxiliar é admitido somente se:

- a proteção contra os contatos indiretos for assegurada por outros meios no caso de falha da fonte auxiliar; ou se
- os dispositivos forem instalados em instalações operadas, ensaiadas e mantidas por pessoas advertidas (BA4) ou qualificadas (BA5).

Mas, também aqui, na seara específica dos dispositivos que dependem de fonte auxiliar, podem-se distinguir variantes oferecendo maior ou menor segurança — inclusive níveis de segurança equivalentes ao dos dispositivos que não dependem de fonte auxiliar. Essas variantes podem ser agrupadas em duas categorias:

- a dos dispositivos com abertura automática em caso de falha da fonte auxiliar, conhecidos como dispositivos de “abertura forçada”, ou de “segurança positiva” (a denominação, *fail safe* em inglês, não é específica de DRs, mas aplicada a todo dispositivo de comando, manobra e/ou proteção que automaticamente comuta para uma posição segura na ocorrência de falha que possa comprometer seu desempenho); e
- a dos que não se abrem automaticamente em caso de

falha da fonte auxiliar.

Nesta última categoria, por sua vez, distinguem-se também duas vertentes: 1) dispositivos capazes de atuar (disparar) caso sobrevenha uma situação de perigo após a falha da fonte auxiliar. Esse perigo seria, tipicamente, o surgimento de uma falta fase–massa; e 2) dispositivos incapazes de garantir o desligamento em tais situações.

A tabela I relaciona os tipos de DR quanto ao modo de funcionamento e indica as aplicações, na proteção contra choques, a que eles estão habilitados.

Sensibilidade, divisor na aplicação dos dispositivos DR

A sensibilidade, ou corrente diferencial-residual nominal de atuação ($I_{\Delta n}$), é uma espécie de divisor de águas na aplicação dos dispositivos DR, sobretudo na aplicação que se tornou sua marca registrada: a proteção contra choques elétricos.

Com efeito, é a sensibilidade o primeiro fator a ditar se um DR pode ser aplicado à proteção contra contatos indiretos e à proteção complementar contra contatos diretos; ou se ele pode ser aplicado apenas contra contatos indiretos. O número mágico, divisor de águas: 30 mA. Assim, os DRs com corrente de atuação superior a 30 mA, que compõem o grupo dos dispositivos de baixa sensibilidade, só são admitidos na proteção contra contatos indiretos. E o grupo dos DRs com corrente de atuação igual ou inferior a 30 mA, classificado como de alta sensibilidade, pode ser utilizado tanto na proteção contra contatos indiretos quanto na proteção complementar contra contatos diretos.

As razões que qualificam os dispositivos de até 30 mA como os únicos capazes de prover proteção complementar contra contatos diretos são muito consistentes, porque calcadas nas conclusões do mais completo estudo até hoje produzido sobre os efeitos da corrente elétrica no corpo humano, que é o relatório IEC 60479 (ver boxe “A origem de todas as regras” e apêndice “Por que dispositivo DR de alta sensibilidade”).

Também é fixado um limite máximo, em termos de

SENSIBILIDADE: O ESSENCIAL

Uso obrigatório de DR de alta sensibilidade (≤ 30 mA):

– na proteção complementar contra choques elétricos em circuitos de banheiros, tomadas externas, tomadas de cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e assemelhados [5.1.2.5.1 da NBR 5410].

Uso de DR de alta sensibilidade (≤ 30 mA) como alternativa:

– na proteção de tomadas de corrente situadas no volume 2 de piscinas (as outras opções são separação elétrica individual e SELV) [9.2.4.3.2];

– na proteção de equipamentos de utilização (de classe I) situados no volume 2 de piscinas (as outras opções são classe II, separação elétrica e SELV) [9.2.4.4.3].

Uso previsto de DR com sensibilidade ≤ 500 mA:

– um dos meios prescritos para limitar as correntes de falta/fuga à terra em locais que processem ou armazenem materiais inflamáveis (locais BE2) [5.8.2.2.10]

Uso obrigatório de DR, de sensibilidade indeterminada:

– na proteção contra choques elétricos por seccionamento automático em esquemas TT [5.1.3.1.5-b];

– na proteção contra choques elétricos por seccionamento automático em esquemas IT, quando as massas forem aterradas individualmente ou por grupos [5.1.3.1.6-e].

Uso alternativo de DR, de sensibilidade indeterminada:

– na proteção contra choques elétricos por seccionamento automático em esquemas TN-S e em trechos TN-S de esquemas TN-C-S (a outra opção é o uso de dispositivos a sobrecorrente) [5.1.3.1.4-g].

A origem de todas as regras

Um dos documentos da IEC mais citados e respeitados, em todo o mundo, pelo seu valor científico, é a Publicação 60479, que aborda os efeitos da corrente elétrica no corpo humano. Fruto de estudos e pesquisas que representam o conhecimento mais atual sobre o assunto, o documento foi elaborado por um grupo de especialistas incluindo médicos, fisiologistas e engenheiros eletricitistas.

No que se refere especificamente aos efeitos da corrente alternada de frequência industrial, as conclusões essenciais do documento estão sintetizadas na figura 1, que avalia esses efeitos em função da intensidade e do tempo de passagem da corrente. Distinguem-se, no gráfico, quatro zonas, de gravidade crescente:

- **Zona 1** ($\leq 0,5$ mA) – Normalmente, nenhum efeito perceptível.
- **Zona 2** – Sente-se a passagem da corrente, mas não se manifesta qualquer reação do corpo humano.
- **Zona 3** – Zona em que se manifesta o efeito de agarramento: uma pessoa empunhando o elemento causador do choque elétrico não consegue mais largá-lo. Todavia, não há seqüelas após interrupção da corrente.
- **Zona 4** – Probabilidade, crescente com a intensidade e duração da corrente, de ocorrência do efeito mais perigoso do choque elétrico, que é a fibrilação ventricular.

Na proteção contra choques elétricos estabelecida pelas normas de instalação, é levado em conta apenas o risco de eletrocussão devido à fibrilação ventricular. Como esse risco,

a exemplo dos demais efeitos, é função da intensidade (além do tempo de passagem) da corrente, o documento IEC também traz detalhes deste parâmetro, apurados indiretamente — vale dizer, com dados experimentais, trabalhados estatisticamente, acerca da impedância do corpo humano e da tensão de contato associada. De fato, a impedância do corpo humano varia com o valor da tensão de contato aplicada. E varia, também, com o trajeto da corrente no corpo e com as condições de umidade da pele.

Note-se, sobreposta ao gráfico, a curva de atuação de um dispositivo DR de 30 mA (ver apêndice “Por que dispositivo DR de alta sensibilidade”).

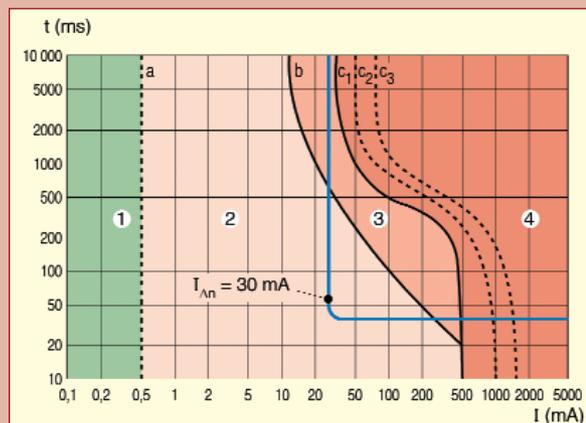


Fig. 1 – Gráfico dos efeitos da corrente elétrica no corpo humano, de acordo com a IEC 60479. Sobreposta ao gráfico, a curva de atuação de um dispositivo DR de 30 mA

corrente de atuação do DR, na outra aplicação prescrita pela normas de instalação em geral, que é a proteção contra riscos de incêndio. Aqui, o DR é previsto como um dos meios para limitar as correntes de falta/fuga à terra em locais classificados como BE2, isto é, locais que processem ou armazenem materiais inflamáveis, como papel, palha, farinha, açúcar, fragmentos de madeira, fibras, hidrocarbonetos, matérias plásticas, etc. Na NBR 5410 e, em geral, nas normas nacionais de instalação alinhadas com a IEC 60364 (*Electrical Installations of Buildings*), a proteção diferencial especificada é de no máximo 500 mA (item 5.8.2.2.10 da NBR 5410), sendo mesmo recomendável DR de no máximo 300 mA. O dispositivo atua antes que a soma das correntes de fuga da instalação ou

do(s) circuito(s) por ele protegido ultrapasse esse valor — considerado suscetível de provocar ignição nos materiais combustíveis presentes no local. Enfim, o DR permite supervisionar o nível de isolamento da instalação ou de parte da instalação e limitar os riscos de incêndio devidos a faltas não-diretas.

É sempre oportuno ressaltar que, por norma, um DR pode atuar para qualquer valor de corrente residual entre $0,5 I_{\Delta n}$ e $I_{\Delta n}$. O limite inferior também tem seu próprio nome: *corrente residual nominal de não-atuação* $I_{\Delta n o}$. Logo, $I_{\Delta n o} = 0,5 I_{\Delta n}$. Assim, o dispositivo não deve atuar com correntes até $I_{\Delta n o}$, inclusive; e não pode deixar de atuar com correntes iguais ou superiores a $I_{\Delta n}$.

Por que dispositivo DR de alta sensibilidade

O que explica a distinção entre DRs que só podem ser usados na proteção contra contatos indiretos e DRs que podem ser usados, além disso, na proteção complementar contra contatos diretos?

Na normalização IEC e de todos os países que com ela se alinham, tornou-se já uma abordagem clássica, quando o assunto é proteção contra choques elétricos, distinguir duas situações de choque: as associadas ao risco de *contatos diretos* e as associadas ao risco de *contatos indiretos*.

Do ponto de vista dos efeitos no corpo humano (ver boxe “A origem de todas as regras”), tanto faz se o choque é de contato direto ou indireto. Assim, por que a distinção? Porque ela é útil, até certo ponto, para dar racionalidade às possíveis medidas de proteção contra choques elétricos, permitindo uma formulação conceitualmente mais consistente e uma aplicação mais precisa.

Os *contatos diretos* são os contatos com partes vivas, isto é, *partes sob tensão em serviço normal* — por exemplo, uma pessoa que toca nos pinos de um plugue enquanto o retira da tomada; ou uma pessoa que toca, por descuido ou imprudência, nos barramentos de um quadro de distribuição. As situações ilustradas evidenciam que a proteção contra contatos diretos é, tipicamente, uma proteção a ser provida pelos próprios produtos — vale dizer, já exigível dos componentes utilizados na instalação. É por isso que as normas de plugues e tomadas para uso predial impõem contato recuado para as tomadas e bainha isolante cobrindo parcialmente os pinos do plugue. Os quadros de distribuição, se já vêm montados de fábrica ou na forma de *kits*, devem incluir um espelho ou contraporta, com a função, justamente, de oferecer uma barreira contra partes vivas em seu interior.

A proteção contra contatos diretos é, com efeito, um atri-

buto *típico* de produto (ou componente). Mas sempre sobrarão buracos ou providências a serem resolvidas no âmbito da instalação. Por exemplo, na instalação de um equipamento de utilização, em que se conecta o rabicho do equipamento aos condutores disponíveis na caixa de derivação, é de se esperar que o instalador cubra as emendas com fita isolante ou utilize emendas pré-isoladas. O exemplo é banal, mas é, de qualquer forma, um exemplo de proteção contra contatos diretos provida *na instalação*. Na montagem do quadro de distribuição, o instalador não pode esquecer do espelho que acompanha o *kit*, fixando-o de forma a não ser facilmente removível; ou mesmo prover ele próprio a barreira, se eventualmente o quadro for do tipo “construído no local”.

Partes vivas *em condições normais* — este é o ponto-chave da proteção contra contatos diretos. E se se trata de parte *normalmente* sob tensão, não há como fugir do “óbvio”, tal como prevêm as normas: isolar ou confinar tais partes. Isolá-las mediante aplicação de isolamento sólida ou de afastamento; ou confiná-las no interior de invólucros ou atrás de barreiras.⁽¹⁾

Esse é o ponto-chave porque dá nitidez conceitual à divisão entre contatos diretos e contatos indiretos. Pois o contato indireto é aquele com partes que *não são vivas em condições normais*, mas que acidentalmente *se tornam vivas*, em consequência de falha na isolação do equipamento ou componente. Isso significa que a proteção contra contatos indiretos supõe, como condição prévia, que tenham sido atendidas exigências da proteção contra contatos diretos, como a isolação básica. Temos, então, o equivalente a duas linhas de defesa: a primeira representada pela proteção contra contatos diretos (via de regra, como visto, atributo de produto); e a segunda pela proteção contra contatos indire-

tos, em que a segurança básica do produto ganha uma proteção supletiva, de prontidão — já que a primeira defesa, tipicamente a isolamento básica, é suscetível de falhar.

Essa segunda linha de defesa pode ser provida pelo próprio produto, por medidas apropriadas na instalação ou por ambos.

No primeiro caso, temos os equipamentos classe II, como o conhecido exemplo das ferramentas elétricas portáteis de dupla isolamento. A concepção ou construção da ferramenta é tal que uma falha na isolamento das partes vivas não resulta em risco de choque elétrico para a pessoa que a empunha.

Já um equipamento classe 0 (zero), cuja proteção inerente contra choques repousa unicamente numa isolamento básica, só pode ser usado, segundo as normas de instalação, em local com paredes e pisos isolantes e com nenhum ou poucos elementos construtivos suscetíveis de nele introduzir o potencial de terra. Portanto, a segunda linha de defesa é aquela imposta pela norma de instalação: o local tem de ser não-condutor! É justamente a ausência do potencial da terra, que de outra forma daria margem ao aparecimento de uma tensão de contato perigosa, que constitui a proteção em caso de falha na isolamento do equipamento classe 0.

Por fim, a proteção contra contatos indiretos proporcionada em parte pelo equipamento e em parte pela instalação é aquela tipicamente associada aos equipamentos classe I. Um equipamento classe I tem algo além da isolamento básica: sua massa é provida de meios de aterramento, isto é, o equipamento vem com condutor de proteção (condutor PE, ou “fio terra”), incorporado ou não ao cordão de ligação, ou então sua caixa de terminais inclui um terminal PE para aterramento. Essa é a parte que toca ao próprio equipamento. A parte que toca à instalação é ligar esse equipamento adequadamente, conectando-se o PE do equipamento ao PE da instalação, na tomada ou caixa de derivação — o que pressupõe uma instalação dotada de condutor PE, evidentemente (e isso deve ser regra, e não exceção!); e garantir que, em caso de falha na isolamento desse equipamento, um dispositivo de proteção atue automaticamente, promovendo o desligamento do circuito.

Essas providências que competem à instalação não são nada mais nada menos que os princípios da chamada *proteção por seccionamento automático da alimentação* (no caso da NBR 5410, item 5.1.3.1).

Ora, as reflexões deste capítulo do **Guia EM da NBR 5410** são dedicadas aos dispositivos diferenciais. Em matéria de proteção contra contatos indiretos, o dispositivo diferencial figura na norma de instalações vinculado à medida *proteção por seccionamento automático da alimentação*. Portanto, quando se discute dispositivo DR, na proteção contra contatos indiretos, estamos falando de proteção por seccionamento automático.

Assim, tendo em vista o objetivo de distinguir conceitualmente o uso de DRs na proteção contra contatos indire-

tos e na proteção complementar contra contatos diretos, é importante reter dois aspectos essenciais da proteção (contra contatos indiretos) por seccionamento da alimentação: 1) a ação protetora se dá automaticamente, no instante da ocorrência da falha de isolamento, independentemente de haver ou não alguém em contato com a massa do equipamento cuja isolamento veio a falhar; e 2) se porventura houver uma pessoa em contato com a massa do equipamento, no momento da falha, a hipotética vítima não seria o único caminho para a corrente de falta à terra, já que a massa do equipamento está presumivelmente “aterrada” (ligada ao sistema de condutores de proteção da instalação).

Já a proteção (complementar) contra contatos diretos que um DR deve ser capaz de oferecer se inspira num cenário mais delicado do ponto de vista da segurança, assumindo que “nem tudo sai como no papel”, ou que “nem tudo se mantém sob controle.” Não constitui exatamente uma redundância, no sentido de representar o que seria uma terceira linha de defesa. Falta-lhe o mesmo caráter preventivo das medidas discutidas anteriormente, lembrando mais um último recurso. O objetivo já não é tanto evitar o choque, mas evitar que ele tenha conseqüências graves ou funestas — assumindo assim que o choque aconteceu, que algo falhou.

O quê? Pode ser a manutenção, inadequada ou inexistente. Pode ser o desgaste da isolamento — que nem sempre resulta em uma falha capaz de acionar a proteção por seccionamento automático, como no caso de um cordão de ligação cujo manuseio excessivo acaba por expor partes vivas, de uma forma nem sempre perceptível. Pode ser o uso de aparelhos (especialmente os portáteis) em ambientes ou condições molhadas, quando não a sua imersão acidental na água, situações em que a isolamento praticamente deixa de existir. Pode ser o uso (indevido) de equipamentos classe 0 em locais não-isolantes — perigo mais grave se o local for úmido ou molhado e se os equipamentos forem portáteis. Pode ser a perda ou interrupção do condutor de proteção. Podem ser, e esse é um ponto importante, riscos difusos, mas reais, que as normas têm dificuldade em abordar, como os decorrentes de descuido ou imprudência dos usuários.

Ora, todos esses casos deixam entrever que na chamada *proteção complementar contra contatos diretos* a ocorrência do choque elétrico praticamente deixa de ser uma possibilidade para ser uma premissa. E que, por um motivo ou outro, não se pode contar com o “aterramento” como um caminho paralelo ao corpo humano, dividindo com este a corrente de falta à terra. Enfim, supõe-se que a corrente de falta fluirá toda pelo corpo da pessoa.

Nessas condições, é fácil perceber, examinando-se o gráfico da IEC 60479 (figura 1 do box “A origem de todas as regras”), que só um dispositivo diferencial com sensibilidade de no máximo 30 mA oferece efetiva proteção. Qualquer dispositivo com corrente de atuação superior a 30 mA implicaria risco de fibrilação ventricular, fatal para as pes-

soas. Afinal, para que um DR atue é preciso que circule uma corrente de falta à terra (a mesma corrente que percorrerá o corpo da pessoa, no caso) igual à sua corrente de atuação. As normas de DR estipulam que o disparo do dispositivo deve se dar entre 50% e 100% da corrente de atuação, é verdade. E na prática os fabricantes costumam calibrar seus dispositivos para algo entre 70% e 75% da sensibilidade nominal. Mas a segurança impõe um raciocínio conservador, que é o de considerar que o dispositivo (só) irá disparar com perto de 100% da corrente de atuação — pois a norma do produto assim permite. Não se diz que um DR de 30 mA, por exemplo, oferece proteção (complementar) contra contatos diretos porque pode atuar, por norma, a partir de 15 mA, mas porque atuando com seus 30 mA nominais ele ainda garante a segurança.

Fica evidenciado, portanto, que apenas os DRs de alta sensibilidade garantem proteção (complementar) contra contatos diretos. Já na proteção contra contatos indiretos podem ser usados dispositivos com qualquer sensibilidade — desde que, claro, a resistência de aterramento das massas ou a impedância do caminho da corrente de falta seja compatível com a sensibilidade adotada.

Na verdade, o rótulo *proteção complementar contra contatos diretos* não é o mais adequado, capaz de refletir todos os casos que aí se abrigam. Certo, é sob esse título que várias normas de instalação, incluindo a nossa NBR 5410 (item 5.1.2.5), impõem o uso de DRs de alta sensibilidade a, por exemplo, tomadas ou circuitos de tomadas situadas em áreas externas e em áreas molhadas. É sob esse rótulo, também, que tratamos até aqui do assunto. Mas os casos todos que a medida contempla, embora talvez sejam **assimiláveis**, indistintamente, a uma situação de contato direto, não seriam a rigor classificáveis como tal. Parte deles são mesmo casos em que se admite a falha de algum ingrediente da proteção contra contatos indiretos — como a perda ou interrupção do

condutor de proteção, por exemplo. No fundo, como já mencionado, o cerne da questão e da medida é propor um remédio para casos que são difusos. Por isso, pela impossibilidade e inutilidade de encontrar um nome mais preciso para algo que não se pode precisar, melhor seria rotular a medida de *proteção complementar contra choques elétricos*, simplesmente.

Seja como for, convém notar que o termo complementar usado no título da medida não é gratuito. Ele tem um significado importante.

A proteção é *complementar* porque não dispensa a adoção das medidas contra contatos diretos de caráter geral relacionadas na norma. E não dispensa, entre outras razões, porque o dispositivo diferencial não atua se a corrente que circular pela pessoa, resultante do contato direto, não percorrer também a “terra”. Assim, por exemplo, se a pessoa se encontra isolada do potencial da terra e toca simultaneamente em duas fases distintas, não haverá fuga para a “terra” e, portanto, o dispositivo enxerga a pessoa como se fosse uma carga qualquer, deixando de atuar.

Notas

(1) Existe ainda outra possibilidade, de aplicação bem particular, que é assegurar que a tensão utilizada, a fonte que a supre e as condições de instalação — tudo isso combinado — não ofereçam qualquer risco. Tal possibilidade tem nome: SELV, ou extrabaixa tensão de segurança. As normas de instalação, incluindo a nossa NBR 5410, apresentam a SELV como aplicável a partes ou itens de uma instalação. Um exemplo notório de SELV é o de sistemas e aparelhos de iluminação com lâmpadas halógenas funcionando a 12 V. Muitos dos trilhos ou varais eletrificados que sustentam lâmpadas halógenas dicróicas na iluminação de lojas são linhas de contato absolutamente nuas. O mesmo se dá com certos aparelhos de iluminação de mesa muito difundidos, em que o conjunto óptico ou a lâmpada halógena, simplesmente, é alojada na extremidade de duas hastes metálicas telescópicas. São as próprias hastes que conduzem energia para a lâmpada e, portanto, não deixam de ser partes vivas.

Tipos de faltas detectáveis pelos dispositivos DR

Depois do modo de funcionamento e da sensibilidade, já vistos nos artigos precedentes, um terceiro ângulo do qual os dispositivos DR devem ser examinados refere-se à sua “capacidade de detecção”, vale dizer, aos tipos de corrente de falta que eles são capazes de detectar. Neste particular, a normali-

zação IEC distingue três tipos de DR:

- tipo AC, sensível apenas a corrente alternada. Ou seja, o disparo é garantido para correntes (diferenciais) alternadas senoidais;
- tipo A, sensível a corrente alternada e a corrente contínua pulsante; e
- tipo B, sensível a corrente alternada, a corrente contínua pulsante e a corrente contínua pura (lisa).

O primeiro tipo é o mais tradicional. Por sinal, os outros dois só foram introduzidos comercialmente, e na ordem apresentada, depois de a classificação ter sido formulada e oficializada. A classificação representou, portanto, um convite aos fabricantes, para que desenvolvessem os novos tipos propostos.

A idéia de que seria necessário dispor de novos DRs, com

as características dos tipos A e B, surgiu como uma consequência natural da evolução das instalações, com a multiplicação dos equipamentos e aparelhos que incorporam semicondutores, em especial, dispositivos retificadores (diodos, tiristores, triacs). Eles estão presentes, tipicamente, nas fontes de alimentação e no comando de potência dos aparelhos.

Quando ocorre uma falta à terra na saída de um retificador, a corrente que circula pode conter uma componente contínua, de certo nível. A classificação IEC procura traduzir, assim, a habilidade de um dispositivo DR em funcionar corretamente com correntes residuais que incluem uma componente contínua.

A Alemanha e a Holanda não mais permitem o uso do tipo AC. Na Suíça, o uso é admitido mas com fortes restrições. A justificativa holandesa para a proibição: “O crescente uso de componentes eletrônicos em aparelhos domésticos justifica a exclusão dos DRs incapazes de detectar correntes residuais CC pulsantes.” Outros países europeus entendem, diferentemente, que não há razão suficiente para se banir o tipo AC, especialmente em instalações domésticas, concordando, em contrapartida, que em instalações elétricas de edificações comerciais, de serviços e industriais — onde se tem, de fato, um grande número de equipamentos de informática e eletrônicos, incluindo os de

Uma detecção de largo espectro

Do ponto de vista do tipo de corrente de falta detectável, os dispositivos diferenciais mais tradicionais são aqueles que a normalização IEC veio a classificar como **AC**, sensíveis apenas a correntes alternadas. Mais recentes, os dispositivos tipo **A** representaram um alargamento da capacidade de detecção: além das formas CA, eles reconhecem também correntes contínuas pulsantes.

Hoje, os fabricantes oferecem versões de DR capazes de detectar virtualmente todos os tipos de corrente residual. Esse empenho, naturalmente, tem a ver com a própria evolução das instalações, que cada vez mais incorporam artefatos eletrônicos.

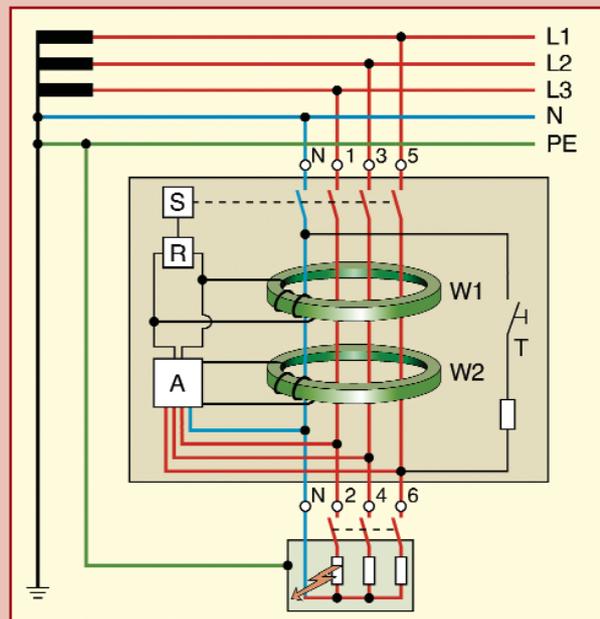
Por exemplo, o avanço da automação, principalmente em aplicações industriais e comerciais, traz como consequência inevitável o aumento do número de circuitos em que as correntes de falta prováveis são do tipo lisa ou quase lisa (com baixa ondulação residual). É o caso dos circuitos para regulação de velocidade alimentados por pontes retificadoras polifásicas, de várias concepções.

Os dispositivos com largo espectro de detecção se enquadrariam no que os documentos IEC previram como tipo **B**, sensíveis a correntes alternadas, a correntes contínuas pulsantes e a correntes contínuas puras.

Para que o dispositivo possa detectar correntes residuais contínuas lisas, uma solução, como mostra a figura, é incluir um segundo sensor (TC), que age sobre o disparador por meio de uma unidade eletrônica de medição e comparação.

A unidade eletrônica requer alimentação auxiliar, extraída da própria rede, mas isso é feito sem qualquer prejuízo à segurança — tal como nos dispositivos que não dependem da tensão da rede. Os cuidados nesse sentido,

como também ilustra a figura, envolvem a obtenção da alimentação auxiliar a partir de **todos** os condutores vivos, incluindo o neutro. Na ocorrência de uma falta à terra no circuito por ele protegido, o dispositivo disparará mesmo se dois dos condutores de fase e o neutro estiverem interrompidos. Além disso, o funcionamento seguro do dispositivo é garantido mesmo quando a tensão de alimentação cair a 70% da nominal.



Constituição de um dispositivo diferencial capaz de detectar correntes de falta CA, CC pulsantes e CC lisas:

R = relé de disparo;
A = unidade de medição e comparação para correntes residuais contínuas lisas;
T = botão de teste;
W1 = sensor de correntes senoidais e correntes contínuas pulsantes;
W2 = sensor de correntes contínuas puras.

eletrônica de potência — podem ser necessários DRs do tipo A ou mesmo do tipo B. Outros, ainda, defendem a necessidade do tipo A mas desdenham o tipo B, pois “o tipo A é suficiente para a maioria das aplicações.” E, finalmente, há quem não veja necessidade de restrições ao tipo AC “se a instalação for do tipo TN e o dispositivo diferencial for usado como proteção complementar contra contatos diretos” — querendo com isso dizer que se a proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático for garantida (também) por dispositivos a sobrecorrente, os DRs do tipo AC seriam perfeitamente aceitáveis, já que neste caso eles estariam formalmente destinados à proteção complementar contra contatos diretos, embora possam funcionar também como proteção redundante contra contatos indiretos.

Por trás desse debate, já antigo dentro da IEC, situa-se a questão de decidir se a norma de instalação deveria reconhecer apenas um tipo de DR — e neste caso qual — ou deixar isso em aberto. Eleger um único tipo, fixando-o como sinônimo de proteção diferencial em todas as regras pertinentes, traz alguma comodidade. Afinal, no projeto da instalação muitas vezes não se conhecem, de antemão, os equipamentos ou aparelhos que serão atendidos por tal circuito ou tal quadro de distribuição. E a hipótese da livre escolha poderia assim conduzir, por pressão de custos ou alguma outra razão, a uma escolha equivocada, incompatível com a natureza do equipamento posteriormente instalado.

O que diz a NBR 5410

É possível que na próxima edição da NBR 5410 o assunto seja aprofundado. Mas a versão em vigor, de 1997, não se manifesta sobre a seleção do tipo de DR face à composição da corrente de falta. A única e lacônica observação acerca de possível incompatibilidade ou insuficiência do dispositivo frente às correntes de falta suscetíveis de por ele circular, é a da alínea d) de 6.3.3.2: “Quando equipamentos elétricos susceptíveis de produzir corrente contínua forem instalados a jusante de um dispositivo DR, devem ser tomadas precauções para que em caso de falta à terra as correntes contínuas não perturbem o funcionamento dos dispositivos DR nem comprometam a segurança.”

A consagração de um dos tipos como padrão talvez levasse também a uma diminuição geral dos custos do produto, pelo efeito de escala. Restaria saber qual. O tipo B, que tem o maior espectro de detecção (ver boxe *Uma detecção de largo espectro*)? Mas ele não é mais caro e, além disso, não exige sempre fonte auxiliar, gerando as dúvidas habituais acerca da confiabilidade, incluindo aí a dos com-

ponentes eletrônicos utilizados? O adicional de detecção que ele aporta é um ganho pouco significativo ou o número de casos que o exigiriam tende de fato a crescer? O tipo A não seria, ao invés, suficiente para a grande maioria dos casos? Ou, então, por que não ficar logo com o tipo tradicional, AC, tratando à parte os casos por ele não cobertos, com regras de instalação específicas, acauteladoras?

Tudo isso foi discutido e tentado. Foi tentado até mesmo um compromisso envolvendo fabricantes de DR e os fabricantes de equipamentos suscetíveis de gerar correntes de falta com componente contínua. A idéia seria ungir o diferencial tipo A, ou mesmo o AC, e obter então dos fabricantes de equipamentos alterações no projeto e/ou na construção dos equipamentos, com a sanção da norma técnica respectiva, de forma a compatibilizar as correntes de falta por eles produzidas com o desempenho do DR escolhido.

Como ficou? No âmbito da IEC, ficou ou tende a ficar cada um por si e Deus por todos. Admite-se o uso dos três tipos de DR e, assim, o caso de equipamentos suscetíveis de produzir correntes de falta à terra com componente contínua (equipamentos instalados a jusante do DR) é abordado com um leque de cautelas. As alternativas sugeridas para que a segurança não fique prejudicada incluem:

- uso de diferencial capaz de detectar as correntes de falta geradas pelo equipamento (portanto, DR do tipo A ou do tipo B, dependendo do caso);
- classe II (se o equipamento ou a parte do equipamento que produz componentes CC for classe II, desaparece o problema);
- o equipamento é alimentado por meio de um transformador de separação;
- o próprio equipamento ou parte do equipamento que produz componente CC incorpora dispositivo de proteção capaz de desligá-lo na ocorrência de falta à terra com componente CC.

Curvas de atuação e seletividade dos dispositivos DR

A normalização IEC estabelece limites tempo-corrente para a atuação dos dispositivos diferenciais — e, com isso, mais um critério de classificação do produto.

Tab I – Limites tempo–corrente para a atuação dos dispositivos diferenciais, conforme a IEC 61008 e IEC 61009

Tipo de dispositivo	Tempo máximo de interrupção (t_o) e Tempo mínimo de não-atuação (t_{no}), em segundos, com corrente de falta igual a...							
	$I_{\Delta n}$		$2 I_{\Delta n}$		$5 I_{\Delta n}$		500 A	
	t_o	t_{no}	t_o	t_{no}	t_o	t_{no}	t_o	t_{no}
G (uso geral, ou instantâneo)	0,3	–	0,15	–	0,04	–	0,04	–
S (seletivo)	0,5	0,13	0,2	0,06	0,15	0,05	0,15	0,04

Nota – As normas prevêem que os dispositivos tipo G possam ter qualquer valor de corrente nominal e qualquer valor de corrente nominal de atuação; mas, quanto ao tipo S, são previstos dispositivos com correntes nominais iguais ou superiores a 25 A e com correntes nominais de atuação superiores a 30 mA.

Como informa a tabela I, as normas IEC 61008 e IEC 61009 estabelecem limites tempo–corrente definidores de dois tipos de DR, batizados G e S. Para o primeiro, a normalização só especifica limites máximos, ou seja, o tempo máximo em que o dispositivo deve efetivar o desligamento do circuito protegido (tempos máximos de interrupção, t_o). Já o tipo S deve obedecer também a tempos mínimos de não-atuação (t_{no}) — isto é, ele só pode atuar depois de decorrido o tempo t_{no} . Os valores de t_o e de t_{no} são especificados em função da corrente residual.

Assim, na representação gráfica desses limites, como mostrado na figura 1, o tipo G é ilustrado apenas com uma linha, ou curva; enquanto o tipo S é retratado com uma faixa.

Esses dados explicam ainda por que o tipo G, formalmente “de uso geral”, é referido também como *instantâneo*. E o tipo S, analogamente, como *seletivo*.

Na prática, porém, o tratamento das normas IEC aos limites tempo–corrente deu margem ao lançamento de dispositivos que atendem os tempos máximos de interrupção fixados para o tipo G mas que não são instantâneos. Isso é

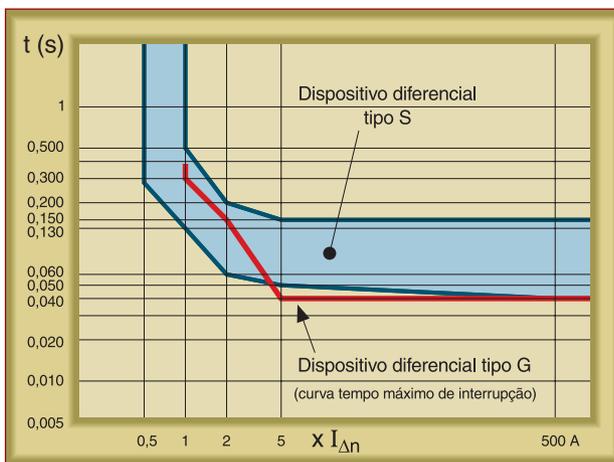


Fig. 1 – Curvas de atuação dos dispositivos diferenciais tipo G e tipo S, conforme IEC 61008 e 61009

feito incorporando-se ao relé um microtemporizador eletrônico. Tais DRs são conhecidos genericamente como dispositivos residuais de curto retardo (*short-time delayed residual current devices*). Esse curto retardo é de cerca de 10 ms, geralmente.

A figura 2 ilustra as faixas tempo–corrente — extraídas de catálogo de fabricante — de um DR dito instantâneo, de um DR de curto retardo e de um DR tipo S (seletivo), todas tendo como fundo os limites tempo–corrente estabelecidos pela normalização IEC para os dispositivos tipos G e S.

A razão que levou ao nascimento do tipo S é, fundamentalmente, aquela que lhe deu alcuha: seletividade. Respeitadas duas condições na seleção dos dispositivos, pode-se então compor uma proteção seletiva com diferencial tipo S a montante de dispositivo(s) tipo G.

Que condições? Primeiramente, como já foi observado (ver artigo “Sensibilidade, divisor na aplicação dos dispositivos DR”), as normas estabelecem que o dispositivo diferencial não deve atuar para correntes até a *corrente residual nominal de não-atuação* ($I_{\Delta no}$), inclusive, e não pode deixar de atuar para correntes iguais ou superiores à *corrente residual nominal de atuação* ($I_{\Delta n}$). Como as normas também fixam que $I_{\Delta no} = 0,5 I_{\Delta n}$, a faixa em que o DR pode atuar, portanto, vai de $0,5 I_{\Delta n}$ a $I_{\Delta n}$.

Fica evidente, assim, a primeira condição: a corrente de atuação ($I_{\Delta n}$) do dispositivo de jusante deve ser menor que a corrente de não-atuação ($I_{\Delta no}$) do dispositivo de montante. Como a relação entre $I_{\Delta n}$ e $I_{\Delta no}$, para um mesmo dispositivo, é de 2, resulta que o dispositivo de montante precisa ter uma corrente residual de atuação ($I_{\Delta n}$) no mínimo o do-

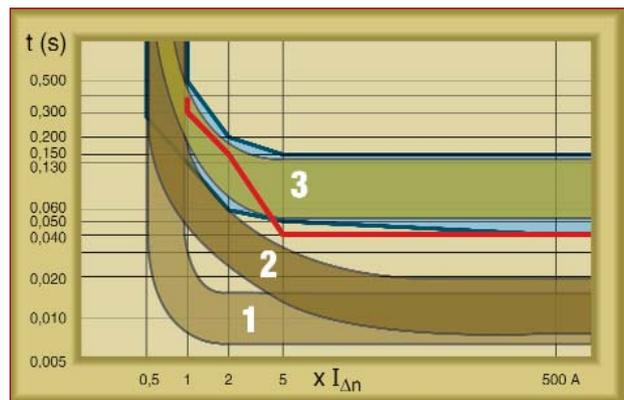


Fig. 2 – Curvas de dispositivos diferenciais, extraídas de catálogo de fabricante: 1) tipo G; 2) tipo curto retardo; e 3) tipo S. Também estão ilustrados os limites tempo–corrente especificados pela normalização IEC (em azul, a faixa limite para o tipo S e, em vermelho, a curva dos tempos máximos de interrupção fixados para o tipo G)

bro da do dispositivo de jusante para se assegurar a seletividade. Por exemplo, um DR com $I_{\Delta n} = 500$ mA pode ser seletivo com um DR de $I_{\Delta n} = 100$ mA, mas não o será com um DR de $I_{\Delta n} = 300$ mA.

A segunda condição: o tempo máximo de interrupção do dispositivo de jusante deve ser inferior ao tempo mínimo de não-atuação do dispositivo de montante. Esta condição implica que o dispositivo de montante seja, por exemplo, do tipo S.

O que diz a NBR 5410

No capítulo 6.4, em que trata da seleção e instalação dos dispositivos de proteção, seccionamento e comando, a NBR 5410 dedica o artigo 6.3.7.3 à seletividade entre dispositivos DR. Primeiramente, a norma lembra que a seletividade (entre dispositivos DR em série) pode ser exigida por razões de serviço, “notadamente quando a segurança está envolvida, de modo a manter a alimentação de partes da instalação não afetadas por uma falta eventual.”

São duas as condições que ela estipula para que seja assegurada seletividade entre dois dispositivos DR em série:

- a característica tempo–corrente de não-atuação do dispositivo DR a montante deve ficar acima da característica tempo–corrente de atuação total do dispositivo DR a jusante; e
- a corrente nominal de atuação do dispositivo DR localizado a montante deve ser maior que a do dispositivo a jusante.

Como se vê, a orientação aqui fornecida pelo Guia EM, sobre seletividade entre DRs, traduz de uma forma bem prática e precisa essa regra da norma.

Mas a NBR 5410 aborda ainda o assunto em 5.1.3.1.5, que trata da proteção (contra choques elétricos) por seccionamento automático no esquema TT. Neste caso preciso, como já explicado anteriormente, só se pode mesmo usar dispositivo DR. O documento indica que, “visando seletividade, dispositivos DR do tipo S conforme IEC 61008-1 e IEC 61009-1 podem ser utilizados em série com dispositivos DR do tipo geral. E para assegurar seletividade com os DRs do tipo S, admite-se um tempo de atuação não superior a 1 s em circuitos de distribuição.”

A figura 3 ilustra as duas condições, fazendo uso das curvas G e S normalizadas pela IEC. A curva G faz o papel de dispositivo de jusante e, obviamente, a S o de montante. A abcissa inicial da curva S foi posicionada em $2 \times I_{\Delta n}$ justamente para ilustrar a primeira condição (considerando a unidade “ $I_{\Delta n}$ ” do eixo das abcissas referente, claro, ao dispositivo G, de jusante). A figura deixa clara a seletividade.

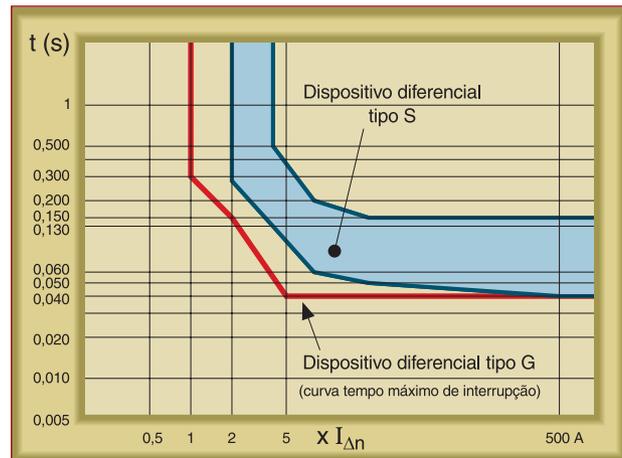


Fig. 3 – Seletividade entre dispositivos diferenciais

No exemplo ilustrado, o tipo G poderia ser tanto do tipo instantâneo, que é de fato o previsto pelas normas IEC 61008 e IEC 61009, quanto do tipo denominado “de curto retardo”.

Por outro lado, as condições para seletividade e as curvas de atuação dos dispositivos tornam muito difícil, para não dizer impossível a proteção seletiva reunindo em série um DR instantâneo e outro de curto retardo. Resta, assim, como única chance de seletividade, o exemplo dado: DR do tipo instantâneo ou de curto retardo a jusante, coordenado com um tipo S a montante ⁽¹⁾. Logo, por que os fabricantes desenvolveram e oferecem a versão de curto retardo (que tem um retardo, ou tempo de não-atuação, de apenas 10 ms, tipicamente...)? Ou: por que razão usar um diferencial de curto retardo ao invés de um instantâneo? Qual a vantagem?

A resposta serve como rito de passagem para o artigo seguinte: porque eles foram concebidos para evitar disparos indesejáveis.

Notas

(1) Na verdade, não se trata da única possibilidade, considerando todo o arsenal de dispositivos DR que o mercado oferece. É a única no campo específico dos dispositivos cobertos pelas normas IEC 1008 e IEC 1009.

DRs: disparos indesejáveis e imunidade a transitórios

Uma antiga queixa associada ao uso dos dispositivos diferenciais refere-se à sua atuação em situações que não se configuram realmente como de falta à terra. O disparo do DR, nessas condições, desligando parte de ou toda uma instalação, pode trazer problemas e até prejuízos para o usuário — o que leva, às vezes, à remoção pura e simples do dispositivo, eliminando toda proteção.

No fundo, esta é apenas uma das facetas daquele que parece ser o eterno dilema em torno das proteções em geral: como conciliar os imperativos de segurança e os da continuidade de serviço? Aliás, em certos casos a própria continuidade de serviço pode representar um grande imperativo de segurança. Não é outra a razão, por exemplo, de se impor que a alimentação de centros cirúrgicos, em hospitais, seja feita com a adoção de um sistema IT local. Não se admite perder a continuidade de serviço nem mesmo na ocorrência de uma (primeira) falta à terra.

A atuação do dispositivo diferencial sem a efetiva ocorrência de uma falta à terra comporta até quatro ângulos de análise, segundo a causa determinante: 1) correntes de fuga permanentes; 2) vícios de construção; 3) fatores acidentais; e 4) fenômenos transitórios e perturbações eletromagnéticas em geral.

Correntes de fuga permanentes

Toda instalação elétrica possui uma corrente de fuga para a terra constituída pela capacitância dos condutores (tanto maior quanto mais extensa for a instalação) e pelas correntes de fuga (normais) dos equipamentos de utilização. Essa corrente de fuga pode ser sensivelmente aumentada pelas capacitâncias de filtragem (ligadas à massa) de certos equipamentos eletrônicos.

Assim, em matéria de correntes de fuga permanentes, os disparos indevidos podem ser evitados com adequada



Os locais contendo banheira ou chuveiro são ambientes que exigem maiores cuidados na proteção contra choques elétricos, tendo em vista os riscos que significam as condições de umidade, de corpo molhado, de imersão. Por isso, a NBR 5410 exige que os circuitos servindo pontos situados nesses locais disponham de proteção diferencial-residual de alta sensibilidade (≤ 30 mA). Como compatibilizar essa exigência com aquecedores de água elétricos instantâneos (chuveiros, duchas, torneiras e aparelhos tipo aquecedor central)? Evitando o uso de aquecedores que apresentem correntes de fuga à terra elevadas. Alguns fabricantes brasileiros têm se empenhado em reduzir ao máximo essas fugas, introduzindo melhorias construtivas em seus produtos. E demonstrado, assim, que a convivência entre chuveiros e DR de alta sensibilidade pode (e deve) ser pacífica. Como também demonstram, aliás, exemplos vindos de fora. É o caso da ducha elétrica instantânea da foto, que *incorpora* proteção DR de 15 mA! O produto ilustrado na foto, em particular, é fabricado na Malásia.

avaliação, na fase de projeto, da corrente de fuga prevista para a instalação como um todo ou para setores da instalação. Por norma, como já explicado, um dispositivo diferencial pode atuar a partir de $0,5 I_{\Delta n}$. E as normas de instalação recomendam que a soma das correntes de fuga prevista para o circuito ou setores protegidos por um DR não ultrapasse um terço de $I_{\Delta n}$. Esse objetivo pode levar à subdivisão dos circuitos.

Fica claro, por outro lado, que sem os devidos cuidados tanto maior será a probabilidade de desligamentos quanto maior a sensibilidade do DR utilizado.

Sem desmerecer as dicas que manuais de fabricantes e a literatura técnica em geral fornecem, a avaliação da corrente de fuga permanente, com vista a compatibilizar esse

parâmetro e a sensibilidade do dispositivo, será sempre um processo impregnado de empirismo. Aí ajuda muito a experiência do projetista ou instalador. Não há fórmulas ou tabelas milagrosas capazes de fornecer uma resposta precisa para essa avaliação.

No Brasil, um caso particular de corrente de fuga permanente tem ocupado o centro dos debates: o dos aquecedores de água elétricos instantâneos (sejam eles chuveiros, torneiras ou aparelhos tipo aquecedor central), em especial os com resistência nua e carcaça metálica, que podem apresentar correntes de fuga à terra elevadas. A norma NBR 5410 prevê que todos os circuitos que sirvam a pontos localizados em banheiros (incluindo, portanto, os aquecedores elétricos de água) sejam protegidos por DR com $I_{\Delta n} = 30$ mA. A solução para compatibilizar DR e aquecedor é adotar modelos de aquecedor com nível adequado de corrente de fuga à terra, se necessário consultando o fabricante — eventualmente, tendo à mão dados acerca da resistividade da água fornecida localmente.

Vícios de construção e fatores acidentais

O dispositivo diferencial é inimigo de gambiarras. Por isso mesmo conquistou o ódio dos eletricitistas “espertos”. E ganhou o título de *persona non grata*, pelo seu papel de dedo-duro da instalação.

Definitivamente, o DR tem muito má vontade com a instalação incorreta (mas mais barata!) de interruptores paralelos, de campainhas e outros vícios de construção.

Dizem, também, que ele não simpatiza com cachorros, ratos e outros animais que apreciam o PVC de eletrodutos e condutores, por compulsão inata ou necessidade alimentar.

A edição de *Eletricidade Moderna* de janeiro de 1986 trouxe um artigo que relata casos no mínimo curiosos de desligamento de DR por vícios de construção e pela deterioração da isolação provocada por animais.

Fenômenos transitórios e outras perturbações eletromagnéticas

São principalmente os fenômenos transitórios — responsáveis por muitos dos desligamentos “inexplicáveis” — que têm impellido os fabricantes e pesquisadores a aperfeiçoar a tecnologia dos dispositivos diferenciais; e, junto com os foros de normalização, a conceber ensaios e exigências que possam garantir ao DR a melhor imunidade possível a tais perturbações.

Os fenômenos transitórios capazes de perturbar o dispositivo diferencial são, principalmente: 1) as correntes de

energização (*inrush*); 2) as sobretensões temporárias; e 3) as sobretensões transitórias. Outras perturbações que também podem afetar o correto funcionamento do DR são: transitórios devidos a bobinas de contadores, relés e contatos secos; as descargas eletrostáticas; as interrupções e quedas de tensão de curta duração; as variações de frequência; os campos magnéticos irradiados por linhas elétricas; e as interferências de alta frequência.

As correntes transitórias de energização são aquelas decorrentes das capacitâncias da instalação.

As sobretensões temporárias são aquelas impostas às fases sãs de uma instalação com esquema IT quando uma das fases vai à terra. Essa elevação repentina e brutal da tensão, nas capacitâncias da instalação, provoca instantaneamente o aparecimento de correntes transitórias.

As sobretensões transitórias são aquelas de origem atmosférica ou devidas a manobras (atuação de proteções na rede de média tensão ou na distribuição em BT, chaveamento de cargas indutivas, etc.). As de origem atmosférica, em particular, podem ser de três tipos: sem disrupção na instalação; com disrupção mas sem corrente subsequente; e com disrupção e corrente subsequente. Os surtos de corrente associados às sobretensões podem fluir para terra pelas capacitâncias da instalação, pelos pára-raios ou descarregadores de surto ou, ainda, por disrupções em pontos fracos da instalação.

Nos laboratórios e, conseqüentemente, nos trabalhos de normalização, os estudiosos procuram definir e/ou identificar as formas de onda de ensaio que melhor simulam cada um dos tipos de sobretensões. Aliás, não só a forma de onda, como todo o ensaio — isto é, incluindo os procedimentos.

Foi assim que as normas IEC de dispositivos diferenciais, em particular a IEC 61008 e a IEC 61009, as mais recentes, introduziram ensaios destinados a verificar e garantir imunidade a disparos indesejáveis, bem como a compatibilidade eletromagnética do produto.

Os ensaios são de fato suficientes para garantir uma imunidade, senão completa, pelo menos adequada à grande maioria dos casos?

Este é um ponto ainda controverso. E envolve, particularmente, os dispositivos do tipo instantâneo ou sem retardo. A leitura de documentos de trabalho da IEC permite deduzir que a maior parte dos países com participação ativa nas normas de DR e de instalação considera os ensaios previstos satisfatórios — e, portanto, que os dispositivos conforme as atuais exigências das normas são “suficientemente resistentes a disparos indesejáveis e a interferência eletromagnética em aplicações normais.”

Mas especialistas de alguns países não pensam assim. Os requisitos não seriam suficientes para garantir que o dis-

O que dizem os símbolos

É uma regra usual da normalização estipular que os produtos sejam marcados, de forma visível, com algumas informações, na forma de expressões, números ou símbolos, capazes de permitir a identificação rápida de suas características — ou, pelo menos, das características essenciais.

Alguns desses códigos gravados no produto são, de fato, flagrantemente claros para um profissional de eletricidade. Não há dificuldade alguma em deduzir, por exemplo, que o número precedido do símbolo " U_N " se refere à tensão nominal do produto; que o valor da corrente nominal é aquele junto ao símbolo " I_N "; que as letras "IP" seguidas de dois algarismos traduzem o grau de proteção característico do invólucro do produto; e mesmo que a expressão " $I_{\Delta N} 0,3 A$ " estampada num dispositivo diferencial significa que sua sensibilidade — ou corrente diferencial-residual nominal de atuação — é de 300 mA.

Mas nem todos os símbolos usados na identificação de um dispositivo diferencial são de conhecimento geral. É o caso daqueles explicados a seguir, quase todos extraídos ou derivados da normalização IEC.

 Significa que o dispositivo diferencial-residual é do **tipo AC**, sensível a correntes de falta CA.

 Identifica os dispositivos diferenciais do **tipo A**, capazes de detectar correntes alternadas e correntes contínuas pulsantes (correntes que caem a zero, ou quase, por no mínimo meio-ciclo em cada ciclo completo da frequência da rede).

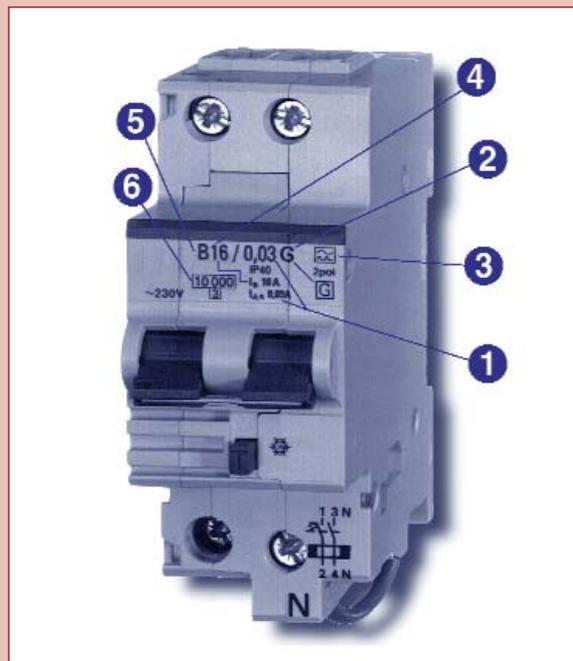
 Informa que o dispositivo é sensível a correntes contínuas lisas ou virtualmente lisas — isto é, com reduzida ondulação. Nos documentos IEC, um dispositivo capaz de detectar todas as formas de corrente acima relacionadas (alternada, contínua pulsante e contínua pura) é classificado como **tipo B**.

 Indica que o dispositivo é do **tipo** sem retardo, "instantâneo" ou, ainda, tipo **G**. O "**G**" vem de "uso geral", que é como as normas IEC qualificam tal

dispositivo. Sua curva de atuação se situa no interior da zona tempo-corrente batizada curva G (ver artigo anterior "Curva de atuação e seletividade dos dispositivos DR").

 Também se refere à curva de atuação do dispositivo, mas informando, neste caso, que o dispositivo é do **tipo S**, ou "**seletivo**". A normalização IEC define como tais os dispositivos cuja atuação se situe dentro dos limites da zona tempo-corrente por ela batizada curva S. Os dispositivos do tipo S têm um retardo, ou tempo de não-atuação.

 Indica que o dispositivo foi submetido a ensaios destinados a garantir imunidade (pelo menos até certo nível) contra atuação incorreta devida a transitórios.



As marcações revelam virtualmente tudo sobre o produto: 1) a sensibilidade é de 30 mA; 2) o dispositivo é do tipo G (instantâneo); 3) é do tipo A (sensível a CA e a CC pulsante); 4) a corrente nominal é de 16 A. E fica evidente, também, que se trata de um dispositivo do tipo disjuntor diferencial, com 5) curva de disparo por curto-circuito, ou disparo magnético, do tipo B (faixa de disparo entre 3 e 5 x I_N) e com 6) capacidade de interrupção de 10 kA.

positivo instantâneo ou sem retardo fique livre de disparos indesejáveis provocados, mais exatamente, por sobreensões de origem atmosférica causadoras de interrupções acompanhadas de corrente subsequente.

O que diz a NBR 5410

Em matéria de disparos indesejáveis, a NBR 5410 limita-se a chamar a atenção para as correntes de fuga naturais da instalação. Em 6.3.3.2.1, o documento determina que “os dispositivos DR devem ser selecionados e os circuitos elétricos divididos de forma tal que as correntes de fuga à terra suscetíveis de circular durante o funcionamento normal das cargas alimentadas não possam provocar a atuação desnecessária do dispositivo.” E lembra que os DRs podem atuar para qualquer valor de corrente diferencial superior a 50% da corrente de disparo nominal.

E neste ponto voltamos aos DRs de curto retardo comentados no artigo anterior (“Curvas de atuação e seletividade dos dispositivos DR”). Pois para os especialistas insatisfeitos somente os diferenciais com curto retardo são inerentemente imunes a tais disparos. Eles entendem, ainda, que um tempo de não-atuação de 10 ms seria suficiente para evitar o desligamento indesejável, pois os surtos de corrente devidos a sobreensões teriam duração inferior a essa.

Pelo sim, pelo não, como mencionado, há fabricantes que oferecem diferenciais “tipo G” de curto retardo. E que o apontam, ainda, como o mais adequado para circuitos particularmente sujeitos a correntes transitórias “normais” potencialmente perturbadoras, como os circuitos muito extensos ou que alimentam muitas lâmpadas fluorescentes. Além disso, os fabricantes costumam ensaiar o diferencial de curto retardo com impulsos de corrente 8/20 μ s de amplitude bem superior à prescrita para o tipo G (instantâneo) — uma amplitude próxima da do ensaio previsto para o tipo S (seletivo). Com efeito, segundo a IEC, a amplitude do impulso 8/20 μ s deve ser de 200 A para o tipo G e de 5 kA para o tipo S; já o dispositivo de curto retardo é ensaiado com 3 kA — pelo menos segundo o catálogo de um fabricante.

Para aqueles que julgam satisfatórios os atuais ensaios especificados na normalização IEC, os dispositivos tipo S e, no geral, os dispositivos com retardo só são realmente necessários, do ponto de vista da resistência a disparos indesejáveis e a interferências eletromagnéticas, em aplicações especiais — ou então nos casos em que se faz necessária seletividade entre DRs.

Entradas, um exemplo prático da dupla isolamento na instalação

As entradas das instalações consumidoras BT constituem uma boa oportunidade para demonstrar como se pode caçar dois coelhos com uma só cajadada. Isto é: de como é possível aplicar, na instalação, o conceito da dupla isolamento — que muitos associam apenas a produtos ou conjuntos prontos de fábrica —, preenchendo, ao mesmo tempo, uma reconhecida lacuna das instalações, que é a freqüente inexistência de proteção contra choques elétricos no trecho que vai da caixa de medição ao quadro de distribuição interno da instalação.

De fato, constata-se freqüente inobservância da NBR 5410 nas entradas das instalações. A situação mais visível, de mais fácil exemplificação, é a das instalações elétricas residenciais, em casas e apartamentos. Presumindo-se, que nessas instalações, conforme a regra geral do seccionamento automático (proteção contra choques elétricos, mais exatamente contra contatos indiretos) seja garantida, como manda o bom senso, por proteção diferencial-residual, verifica-se que essa proteção é geralmente instalada no quadro de distribuição da instalação consumidora — seja o dispositivo DR um único, interruptor ou disjuntor, sejam vários, para cada circuito terminal. A proteção fica garantida, portanto, desse ponto (quadro) em diante, no sentido de jusante. E a montante? Como fica todo o trecho que vai da caixa ou centro de medição (ou, antes, do ponto de entrega) até o quadro de distribuição? Como garantir a proteção contra choques elétricos (contatos indiretos) nesse trecho?

Para maior clareza, vamos recorrer à figura 1, que mostra um padrão de entrada típico — aplicável, em particular, a edificações individuais atendidas diretamente em BT por rede de distribuição aérea. Mas as idéias e princípios aqui expostos têm caráter abrangente e podem ser transpostos, *mutatis mutandis*, a outros tipos de instalações residenciais, inclusive prédios de apartamentos.

A figura ajuda a caracterizar bem o trecho analisado, que se estende do *ponto de entrega* ao quadro de distribui-

ção, já no interior da residência. Até a saída da caixa de medição e proteção, é a concessionária que “dá as cartas”, isto é, fixa os padrões a serem seguidos. A própria NBR 5410 esclarece que suas regras são aplicáveis, no caso de instalações alimentadas diretamente por rede de distribuição pública em baixa tensão, a partir dos terminais de saída do dispositivo de proteção situado após o medidor. Mas isso também não impede que se analise a questão proposta globalmente, com reflexões que talvez possam ser úteis até para as próprias concessionárias, uma vez que embora fixar os padrões de entrada seja matéria de sua livre competência, essa liberdade deve respeitar os conceitos técnicos envolvidos e que sustentam a norma de instalações elétricas.

Mais uma vez: como garantir proteção contra choques (contatos indiretos) no trecho em questão?

Considerando todos os aspectos envolvidos, desde a segurança, em si, até o lado prático, que passa pelo reconhecimento dos padrões de entrada típicos adotados pelas concessionárias brasileiras, a solução que melhor conviria ao caso seria realizar essa parte da instalação segundo o princípio da proteção classe II — vale dizer, adotando uma solução construtiva que ofereça segurança equivalente à dos equipamentos e componentes classe II.

Essa segurança se baseia na dupla isolamento, isto é, na existência, conjunta, de isolamento básica e de isolamento suplementar. Assim, estaria preenchido o princípio da dupla linha de defesa que caracteriza a proteção contra choques elétricos, como explicado no artigo “Proteção contra choques: conceitos.”

Geralmente as pessoas associam o conceito de classe II, ou dupla isolamento, apenas a aparelhos ou equipamentos de utilização fornecidos como tais, como alguns eletrodomésticos e ferramentas elétricas portáteis. No entanto, os exem-

plos e os casos em que o conceito pode ser aplicado são bem mais amplos.

Mesmo no campo essencialmente industrial, novos materiais isolantes e novas técnicas de concepção têm impulsionado a adoção da classe II, como é o caso dos quadros elétricos, em invólucros isolantes, conhecidos como de “isolação total”, previstos na norma IEC, em normas de outros países e na NBR 6808, “Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão montados em fábrica”.

Componentes ou partes de uma instalação elétrica também podem ser considerados, por construção ou por medidas adotadas durante a montagem, como capazes de oferecer uma segurança equivalente à da classe II. No primeiro caso temos, por exemplo, cabos isolados dotados, adicionalmente, de cobertura (cabos uni e multipolares), sem qualquer elemento metálico; no segundo, o recurso de envolver componentes ou partes da instalação dotados apenas de isolamento básica com caixas ou, em sentido mais amplo, invólucros de material isolante capazes de desempenhar a função de isolamento suplementar. Aliás, esse entendimento está claramente expresso na NBR 5410, no artigo que trata da “proteção pelo emprego de equipamentos classe II ou por isolamento equivalente” (item 5.1.3.2), onde a norma diz que uma das possíveis soluções é a aplicação de uma isolamento suplementar (aos componentes que possuam apenas isolamento básica) durante a execução da instalação elétrica.

A obtenção de uma segurança equivalente a classe II pelo uso de isolamento suplementar exige a observância de

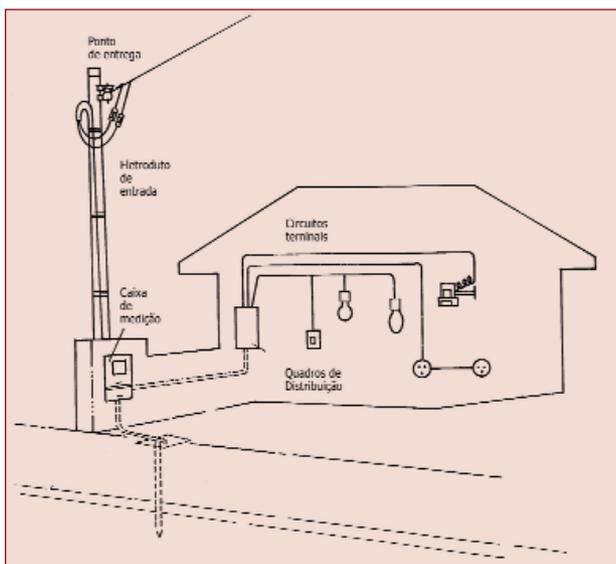


Fig. 1 – Padrão de entrada típico de instalação residencial

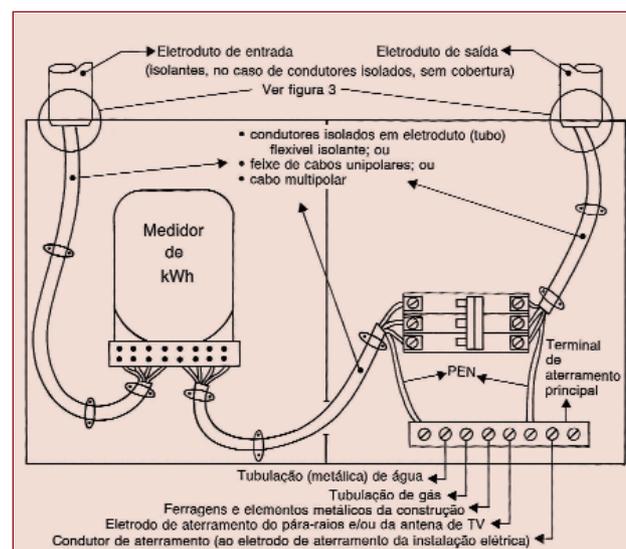


Fig. 2 – Medidas para se obter, no interior de uma caixa de medição metálica, uma segurança comparável à da classe II. Supõe-se que a caixa seja provida de placas de madeira no fundo, para fixação do medidor e do dispositivo de proteção. O terminal de aterramento principal não entra diretamente nessas considerações; evidentemente, ele é exigido em toda instalação, mas sua presença na ilustração destina-se apenas a completá-la

umas tantas regras básicas, contidas na própria NBR 5410. Essas regras impõem, essencialmente,

- que os invólucros (genericamente falando) garantidores da isolação suplementar apresentem características apropriadas às solicitações a que poderão ser submetidos, de tal maneira que a isolação seja mantida ao longo do tempo;
- a proibição de qualquer disposição ou elemento suscetível de comprometer a segurança classe II;
- a fixação segura e durável dos elementos que provêm a isolação suplementar.

Então, como transpor a noção da dupla isolação à entrada da instalação?

Considerando os padrões de entrada BT típicos das concessionárias brasileiras, os invólucros que abrigam a alimentação do consumidor, sentido fonte-carga, são (ver figura 1) o eletroduto de entrada, a caixa de medição, o eletroduto de saída da caixa de medição e o quadro de distribuição — e, eventualmente, caixas de passagem no trecho entre a medição e o quadro de distribuição.

Bem, se todos esses elementos — eletrodutos, caixas e quadro — forem de material isolante, já teremos aí, em princípio, uma solução comparável à proteção classe II, obedecidas todas as regras pertinentes da NBR 5410 (5.1.3.2).

Na prática, porém, tem predominado no Brasil o uso de elementos metálicos — pelo menos no que se refere à caixa de medição e, embora já nem tanto como no passado, ao quadro de distribuição, uma vez que em matéria de eletrodutos o tipo isolante, rígido ou flexível, tem sido bastante utilizado. Mas mesmo nessas condições é possível aplicar o conceito de isolação suplementar — basicamente provendo-a à margem dos invólucros metálicos, que deixariam assim de ser propriamente “massas” para serem apenas “elementos condutivos”.

Lembremos, mais uma vez, no que tange a fios e cabos, que podem ser considerados como oferecendo segurança equivalente a classe II:

- condutores isolados, sem cobertura, em eletroduto isolante;
- cabos unipolares ou cabo multipolar (que são, por definição, dotados de cobertura), qualquer que seja a natureza do eletroduto, metálico ou isolante.

Esclarecido esse ponto, resta saber que providências adotar, no interior das caixas metálicas — a de medição e a do quadro de distribuição —, de modo a obter uma solução aceitável, à luz do conceito classe II.

Para ser classe II, o equipamento, componente ou parte da instalação deve ser concebido e realizado de maneira a tornar improvável qualquer falta entre as partes vivas e as partes condutivas acessíveis. Ou seja: dentro das condições de utilização previstas, a ocorrência de qualquer falha não deve resultar na propagação de um potencial pe-

rigoso para a superfície externa.

As figuras 2, 3 e 4 mostram, com o nível de detalhes possível em ilustrações necessariamente genéricas (para que as idéias possam ser transpostas caso a caso), como esse conceito associado à classe II poderia ser implementado, durante a instalação, ao caso aqui examinado, dos invólucros metálicos.

A linha de alimentação (condutores) deve ser, ela própria, “classe II.” Portanto, são as três possibilidades mencionadas anteriormente: condutores isolados envolvidos por eletroduto isolante (a isolação suplementar); cabos unipolares; cabo multipolar. Mas esses condutores têm pontos de afloramento, em que sua isolação é necessariamente rompida: na entrada e saída do medidor, na entrada e saída dos dispositivos de comando e/ou proteção. E é aí que surge o risco maior de propagação de potencial perigoso para o invólucro metálico: ocorrendo afrouxamento da conexão, o condutor pode se soltar e entrar em contato com o invólucro ou com uma peça metálica em contato com o invólucro. Para evitar esse risco, alguns cuidados se impõem. A linha deve ser fixada, através de braçadeiras isolantes, em tantos pontos quantos necessários — e, em especial, o mais próximo possível dos terminais dos aparelhos, limitando-se também o trecho de condutor, no afloramento, ao mínimo possível, apenas o suficiente para a conexão. Os demais pontos de fixação devem ser em número e localização tais que fiquem aliviadas as tensões mecânicas sobre as conexões.

No caso da caixa de medição (figura 2), supõe-se que tanto o compartimento do medidor quanto o da proteção tenham a usual placa de madeira no fundo, onde são fixados o medidor e o dispositivo de proteção — e que evita, portanto, o contato de um condutor vivo solto com o fundo da

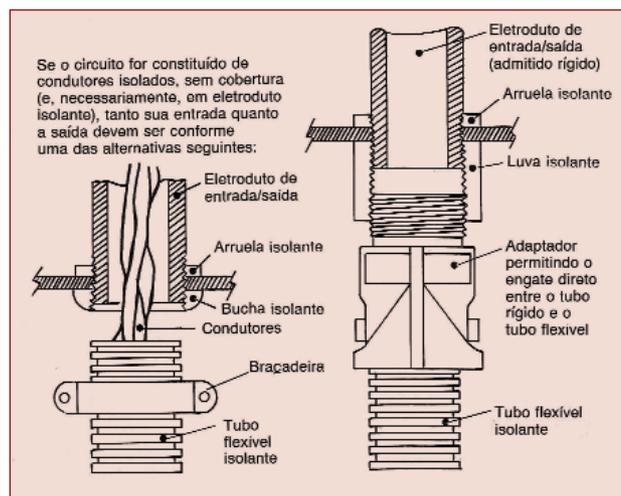


Fig. 3 – Entrada e saída da caixa de medição e entrada no quadro de distribuição no caso de condutores isolados, sem cobertura

caixa metálica. Se eventualmente não houver ou não for aplicada qualquer placa isolante no fundo da caixa, deve-se reforçar a segurança, no afloramento dos condutores, com outros expedientes. Por exemplo, montando uma canaleta de material isolante, do tipo com rasgos laterais e provida de tampa, junto aos bornes dos aparelhos (vide figura 4b). Essa canaleta não pode ser fixada à caixa (de medição ou do quadro de distribuição) por meio de peças metálicas; ou então deve ser de comprimento tal que sua fixação por peça metálicas, nas extremidades, não implique risco de contato de um condutor vivo, que venha a se soltar, com essas peças.

O quadro de distribuição, como se vê na figura 4, compreende uma parte em classe II e outra parte, a jusante, em classe I, sendo que a “linha” divisória entre elas corresponde aos terminais de saída do(s) dispositivo(s) DR. Por isso, a figura 4 ilustra dois casos: **a)** proteção diferencial integrada à “chave geral”, seja essa chave um interruptor ou disjuntor; **b)** proteção diferencial incorporada aos disjuntores de cada circuito terminal. Com a massa do quadro ligada ao aterramento de proteção, teríamos então proteção por seccionamento automático da alimentação para qualquer falta que ocorresse a jusante do(s) DR(s).

Finalmente, convém lembrar a necessidade de serem observadas todas as demais regras aplicáveis ao caso, referentes à proteção contra contatos diretos e à adequação dos componentes da instalação às influências externas dominantes.

Com efeito, as recomendações apresentadas até aqui têm em vista, em particular, a proteção contra contatos in-

diretos. Conseqüentemente, há que se atentar ainda para o outro aspecto da proteção contra choques, que é a proteção contra contatos diretos. No caso concreto do exemplo utilizado, e considerando que a caixa de medição — ou o compartimento da medição, propriamente dita — é geralmente lacrada, inacessível ao consumidor, isso significa que o quadro de distribuição e o compartimento de proteção da caixa do medidor (se não for lacrado) devem ser providos com barreira que proteja contra contatos acidentais com partes vivas. Importante: essa barreira deve ser no mínimo IP2X e sua abertura ou remoção só deve ser possível com o uso de chave ou ferramenta — por exemplo, chave de fenda. Enfim, as exigências são aquelas de 5.1.2.2 (Proteção por meio de barreiras ou invólucros) da NBR 5410. Portanto, não são admitidos meros fechos ou trincos. Claro: essa barreira pode ser a própria tampa, desde que obedecidas as exigências. Caso não haja barreira e a porta ou tampa possa ser aberta sem uso de ferramenta ou chave, então todos os componentes no interior do invólucro devem ter suas partes vivas tornadas inacessíveis, por construção ou montagem.

Outra observação importante é de que o recurso à dupla isolamento para garantir proteção contra choques elétricos em trechos ou partes da instalação, como foi aqui explorado, não dispensa a presença, em absoluto, do condutor de proteção. No trecho analisado ou em qualquer outro segmento que venha a ser objeto de dupla isolamento, o condutor de proteção deve estar presente nos circuitos envolvidos — seja na forma de PE, seja na forma de PEN.

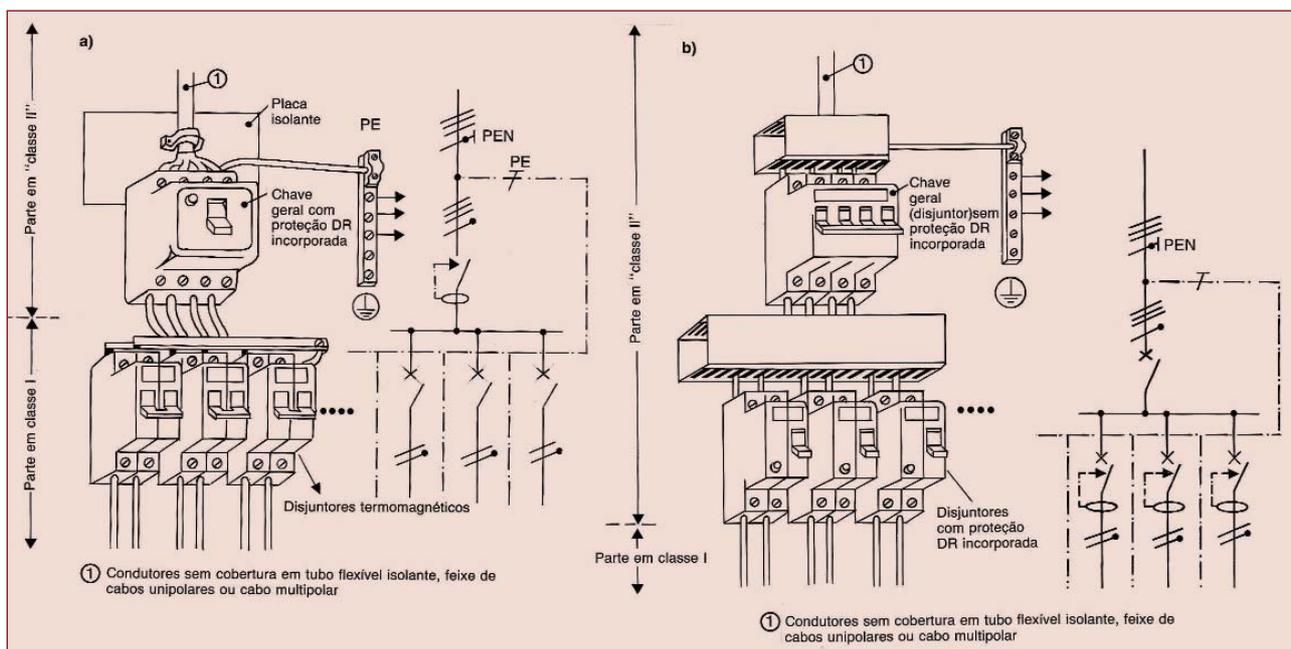


Fig. 4 – Quadro de distribuição parte em “classe II”, parte em classe I: a) proteção diferencial-residual integrada à “chave geral” (no caso, um interruptor); b) proteção diferencial-residual a cargo dos disjuntores dos circuitos terminais (o afastamento entre as canaletas e a aparelhagem deve ser o menor possível, preferencialmente nulo)

Separação elétrica e sistemas isolados

Uma das medidas de proteção contra choques elétricos previstas na NBR 5410, desde a edição de 1980, é a chamada “separação elétrica.” Ao contrário da proteção por seccionamento automático da alimentação, ela não se presta a uso generalizado, porquanto isso seria inviável, na prática. Pela própria natureza, é uma medida de aplicação mais pontual. Isso não impediu que ela despertasse, e talvez ainda desperte, uma certa confusão entre os profissionais de instalações. Alegam-se conflitos entre as disposições da medida e a prática de instalações. Seja como for, a dúvida tem o condão de tocar em pontos essenciais para a compreensão de ambas — da medida e da situação que se contrapõe como conflitante.

O questionamento começa com a lembrança de que a medida “proteção por separação elétrica”, tal como apresentada pela NBR 5410, se traduz pelo uso de um transformador de separação, cujo circuito secundário é isolado (nenhum condutor vivo aterrado, inclusive neutro). E lembra ainda que, pelas disposições da norma, a(s) massa(s) do(s) equipamento(s) alimentado(s) não deve(m) ser aterrada(s) e nem ligada(s) a massas de outros circuitos e/ou a elementos condutivos estranhos à instalação — embora o documento exija que as massas do circuito separado (portanto, quando a fonte de separação alimenta mais de um equipamento) sejam interligadas por um condutor PE próprio, de equipotencialização. É o que diz, de fato, o item 5.1.3.5.4 da NBR 5410.

Isso do lado da norma. Do lado da prática, como presumido conflito com a norma é mencionado o exemplo de instalações elétricas de salas cirúrgicas de hospitais, “em que o sistema também é isolado, usando-se igualmente um transformador de separação, mas todos os equipamentos por ele alimentados têm suas massas aterradas.” E invoca-se, ainda, a literatura sobre o assunto, “que recomenda mesmo a realização de uma ampla e irrestrita rede de aterramento, incluindo as massas dos equipamentos, a mesa cirúrgica, gabinetes e outros objetos metálicos, a malha metálica sob o piso condutivo, etc.”

Daí a dúvida: a norma, no item referente à “separação

elétrica”, manda isolar da terra as massas dos equipamentos alimentados pelo transformador de separação; já a prática, pelo menos em instalações em salas cirúrgicas, é aterrar e equipotencializar tudo. Como se explica então o conflito?

Não há conflito algum. Uma coisa é proteção (contra choques) por separação elétrica. E outra é a prática adotada, por exemplo, nas instalações de centros cirúrgicos (pelo menos, em instalações dignas do nome), que reflete preocupações e objetivos que não são os mesmos da proteção por separação elétrica. Vejamos os conceitos envolvidos em cada caso, detalhadamente.

A separação elétrica, como mencionado, é uma medida de aplicação limitada. A proteção contra choques (contra contatos indiretos) que ela proporciona repousa — numa separação, entre o circuito separado e outros circuitos, incluindo o circuito primário que o alimenta, equivalente na prática à dupla isolação;

— na isolação entre o circuito separado e a terra; e, ainda,

— na ausência de contato entre a(s) massa(s) do circuito separado, de um lado, e a terra, outras massas (de outros circuitos) e/ou elementos condutivos, de outro.

Portanto, mais do que isolado, o circuito separado constitui um sistema elétrico “ilhado”. A segurança contra choques que ele oferece baseia-se na preservação dessas condições.

Os transformadores de separação utilizados na alimentação de salas cirúrgicas também se destinam a criar um sistema isolado. Mas não é por ser o transformador de separação que seu emprego significa necessariamente proteção por separação elétrica.

Seu objetivo, na alimentação de salas cirúrgicas, não é sequer a proteção contra choques. O que se visa, essencialmente, é garantir maior continuidade da alimentação, através da realização de um sistema IT local. Como uma instalação IT (sistema isolado) não possui qualquer ponto de alimentação diretamente aterrado, a alimentação se mantém na ocorrência de uma primeira falta. Graças à sinalização de um dispositivo supervisor de isolamento (DSI), essa falta pode e deve ser então localizada e eliminada antes que sobrevenha uma segunda falta — que provocaria, aí sim, o seccionamento da alimentação. E essa preocupação com a continuidade de serviço é evidente, já que a interrupção de energia poderia colocar em risco a vida de pacientes.

Portanto, no que se refere à proteção contra choques elétricos, a instalação IT médica — como qualquer outra instalação concebida conforme o esquema IT — não constitui, ela própria, qualquer forma de proteção, estando sujeita às prescrições que a NBR 5410 estabelece para os sistemas IT em geral. E isso significa, ao contrário

do que reza a proteção por separação elétrica, o aterramento de todas as massas e, enfim, uma equipotencialização geral e irrestrita, envolvendo tudo quanto é massa e elemento condutivo.

Separação elétrica: o que conta, na prática

Ao tratar da proteção por separação elétrica, a NBR 5410 admite que o circuito separado alimente um único equipamento ou mais de um equipamento (item 5.1.3.5.1). Mas atenção: este não é um mero detalhe. Começando pelo fato de que a norma faz essa distinção. E trata distintamente as duas situações, exigindo providências extras quando a fonte de separação alimenta mais de um equipamento.

Não é só. Em outros trechos da norma, que indicam, concretamente, situações em que a medida pode ser aplicada, a distinção é retomada. Onde? Na parte 9, mais exatamente nos capítulos referentes a locais contendo banheira ou chuveiro, a piscinas e a compartimentos condutores.

E de que forma pode ser aí usada a separação elétrica? Vejamos:

- na alimentação de tomadas situadas no volume 3 de locais contendo banheira ou chuveiro (9.1.4.3.2);
- na alimentação de tomadas situadas no volume 2 de piscinas (9.2.4.3.2);
- na alimentação de equipamentos de utilização situados no volume 2 de piscinas (9.2.4.4.3);
- na alimentação de ferramentas portáteis e de aparelhos de medição portáteis em compartimentos condutores (alínea *a*) de 9.3.2.2.2); e
- na alimentação de equipamentos fixos em compartimentos condutores (alínea *c*) de 9.3.2.2.2).

Finalmente, sob que condições a separação elétrica pode ser usada, nos casos listados? É aí, precisamente, que a distinção entre alimentação de um único e de vários equipamentos é retomada. E, mais uma vez, com uma particularidade que faz a diferença. Em todos os casos listados exige-se que a separação elétrica seja individual, isto é, que o circuito separado alimente um único equipamento/tomada.

A separação elétrica individual é, por assim dizer, o retrato ideal da separação elétrica como medida de proteção. Sendo o circuito separado isolado da terra, uma falha na isolação do equipamento alimentado, que tornasse viva sua massa, não resultaria em choque elétrico, pela inexistência de caminho para a circulação da hipotética corrente de falta. Até aí, nenhuma diferença entre a separação individual e a que alimenta vários equipamentos. Mas evitando-se a alimentação de vários equipamentos — vale dizer, sendo o equipamento alimentado único —, descarta-se, por exemplo, o risco de contato simultâneo com massas que porventura se tornem vivas pela ocorrência de faltas envolvendo duas fases distintas. Daí, aliás, a exigência de equipotencialização (não aterrada!) entre massas quando o circuito separado alimenta mais de um equipamento.

E não pára por aí. Exige-se ainda, além da equipotencialização das massas, que um dispositivo de proteção seccione automaticamente a alimentação do circuito separado, num tempo máximo estipulado, se, preexistindo uma primeira falta, envolvendo uma massa, sobrevir uma segunda falta, envolvendo outra massa e outro condutor (distinto do primeiro).



Nos exemplos mais concretos de aplicação de separação elétrica como medida de proteção contra choques, a fonte de separação (transformador de separação) alimenta um único equipamento. É o caso das tomadas especiais, usadas em banheiros, para alimentação de barbeadores elétricos, muito comuns na Europa. Um relé térmico limita a potência disponível a 20 VA. Outro exemplo são os transformadores de separação usados na alimentação individual de ferramentas ou equipamentos portáteis, em canteiros de obras e serviços industriais realizados no interior de compartimentos condutores ou locais metálicos (serviços de caldeiraria, tipicamente).

O essencial

Embora a NBR 5410 preveja que a separação elétrica, como medida de proteção contra choques (contatos indiretos), possa ser realizada alimentando um ou mais de um equipamento, convém esquecer esta segunda possibilidade. Por razões práticas, assuma que separação elétrica é sempre individual, isto é, alimentando um único equipamento. Os casos concretos de aplicação da medida mencionados na norma reiteram esse ponto de vista. Em todos eles a norma ressalva que a aplicação da medida deve se limitar a um único equipamento alimentado:

- na alimentação de tomadas situadas no volume 3 de locais contendo banheira ou chuveiro (9.1.4.3.2);
- na alimentação de tomadas situadas no volume 2 de piscinas (9.2.4.3.2);
- na alimentação de equipamentos de utilização situados no volume 2 de piscinas (9.2.4.4.3);
- na alimentação de ferramentas portáteis e de aparelhos de medição portáteis em compartimentos condutores (alínea a) de 9.3.2.2.2); e
- na alimentação de equipamentos fixos em compartimentos condutores (alínea c) de 9.3.2.2.2).

Ora, isso não lembra a medida de proteção (contra choques) por seccionamento automático da alimentação? Lembra, não. É a mesma coisa.

Na verdade, como se vê, a proteção por separação elétrica em que a fonte de separação alimenta vários equipamentos é um IT disfarçado. Um IT cuja equipotencialização das massas é ilhada, para evitar que elas sejam “contaminadas”, isto é, para evitar que outras massas ou outros condutores de proteção, estranhos ao circuito separado, transfiram eventualmente potenciais perigosos para as suas (do circuito separado) massas.

Tudo isso reforça a conclusão de que, na prática, proteção por separação elétrica é sinônimo de separação elétrica individual, ou seja, limitada a um único equipamento alimentado.

Ademais, diante das exigências extras e da duvidosa ou inglória tarefa de evitar que as massas do circuito separado entrem em contato com a terra ou com outras massas, que sentido há em se optar pela medida? Se se pretende, por alguma razão, explorar a característica de se ter uma alimentação isolada da terra, por que então não partir logo para a adoção do esquema IT e delegar a proteção contra choques elétricos às regras do seccionamento automático da alimentação? — já que todas as medidas de proteção contra choques são

teoricamente equivalentes do ponto de vista da segurança que proporcionam.

Nesse sentido, o questionamento que pretexta o artigo anterior, sobre as diferenças entre separação elétrica e sistema IT, erra no acessório mas desnuda o essencial. Certo, a motivação maior em torno do IT é a continuidade de serviço, enquanto a separação elétrica, com esse nome, figura na norma explicitamente como medida de proteção contra choques. Mas por que alguém usaria a separação elétrica que não a individual? Pergunta para a próxima revisão da norma.

Locais de serviço elétrico

Na proteção contra contatos diretos, isto é, contra contatos acidentais com partes vivas, as medidas de aplicação geral são a *proteção por isolamento das partes vivas* (5.1.2.1 da NBR 5410) e a *proteção por meio de barreiras ou invólucros* (5.1.2.2).

Mas há casos em que a NBR 5410 admite o uso de medidas de proteção (contra contatos diretos) apenas parciais ou mesmo a sua dispensa. Trata-se, essencialmente, dos chamados “locais de serviço elétrico” — locais técnicos que abrigam equipamentos elétricos e nos quais é proibido o ingresso de pessoas que não sejam advertidas ou qualificadas (BA4 e BA5, segundo a classificação da própria norma). Em suma, o acesso a esses locais é restrito apenas aos técnicos responsá-

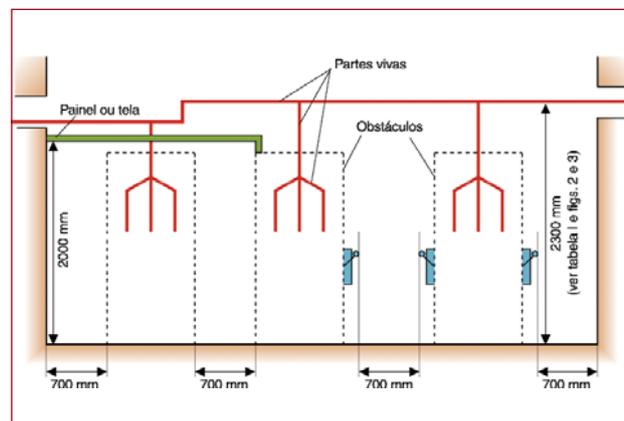


Fig. 1 – Passagens destinadas à operação e manutenção em locais com proteção parcial por meio de obstáculos

Tab. I – Distâncias mínimas a serem obedecidas nas passagens destinadas à operação e/ou manutenção desprovidas de qualquer proteção contra contatos diretos (*)

Situação	Distância
1. Apenas um dos lados da passagem apresenta partes vivas não protegidas (ver figura 2)	
1.1 largura da passagem entre parede e partes vivas.....	1 000 mm
1.2 passagem livre defronte manípulos (punhos, volantes, alavancas, etc.) de dispositivos elétricos.....	700 mm
2. Os dois lados da passagem apresentam partes vivas (ver figura 3)	
2.1 largura da passagem entre partes e/ou condutores vivos de cada lado	
a) passagem destinada exclusivamente à manutenção, prevendo-se que qualquer trabalho de manutenção seja precedido da colocação de barreiras protetoras.....	1 000 mm
b) passagem destinada exclusivamente à manutenção, não estando previsto que os trabalhos de manutenção sejam precedidos da colocação de barreiras protetoras...	1 500 mm
c) passagem destinada tanto à operação quanto à manutenção, prevendo-se que todo trabalho de manutenção seja precedido da colocação de barreiras protetoras..	1 200 mm
d) passagem destinada tanto à operação quanto à manutenção, não estando previsto que os trabalhos de manutenção sejam precedidos da colocação de barreiras protetoras.....	1 500 mm
2.2 passagem livre defronte manípulos (punhos, volantes, alavancas, etc.) de dispositivos elétricos	
a) passagem destinada à manutenção.....	900 mm
b) passagem destinada à operação.....	1 100 mm
3. Altura das partes vivas acima do piso.....	2 300 mm

(*) Tabela 25 da NBR 5410

veis pela operação e manutenção do sistema elétrico.

O assunto é tratado na seção 5.8.1 da NBR 5410 (*Seleção das medidas de proteção contra choques elétricos em função das influências externas*). Nesses locais, como mencionado, a norma admite que a proteção contra contatos acidentais com partes vivas seja apenas parcial, através do uso de obstáculos (5.1.2.3 da NBR 5410) e/ou da colocação fora de alcance (5.1.2.4), e até mesmo a inexistência de qualquer tipo de proteção.

Mas quando as medidas parciais são efetivamente necessárias e quando elas podem ser dispensadas, pura e simplesmente?

As diferenças essenciais entre os dois casos referem-se às características do local e às distâncias mínimas de segurança a serem observadas nas passagens destinadas à circulação do pessoal de operação e manutenção.

Em ambos, ressalte-se, vale a regra geral: só se admite

o ingresso de pessoas BA4 e BA5. Além disso,

- o local deve ser sinalizado de forma clara e visível, por meio de indicações apropriadas; e
- as passagens com extensão superior a 20 m devem ser acessíveis nas duas extremidades, recomendando-se que também o sejam passagens menores, com comprimento superior a 6 m.

Mas para que no local a proteção, inclusive a parcial, possa ser omitida,

- a pessoa BA4 ou BA5 deve estar devidamente instruída com relação às condições do local e às tarefas a serem nele executadas;
- a pessoa BA4 ou BA5 só deve poder nele ingressar com o auxílio ou a liberação de algum dispositivo especial; e
- as portas de acesso devem permitir a fácil saída das pessoas. A abertura das portas, pelo lado interno do local, deve ser possível sem o uso de chaves, mesmo que as portas sejam fechadas a chave do exterior.

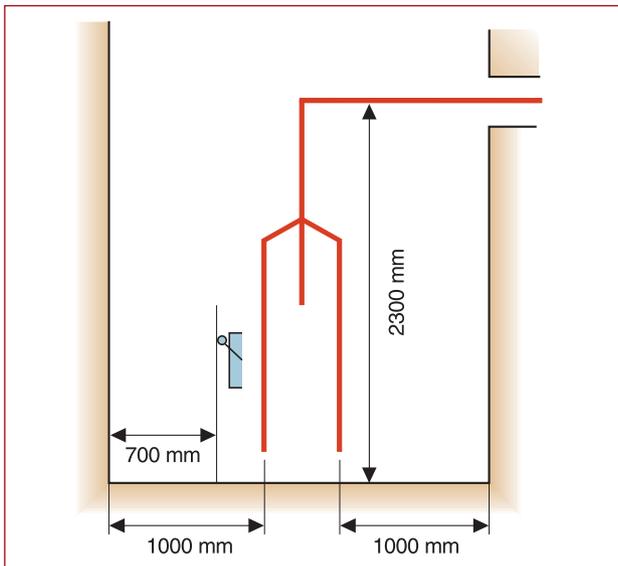
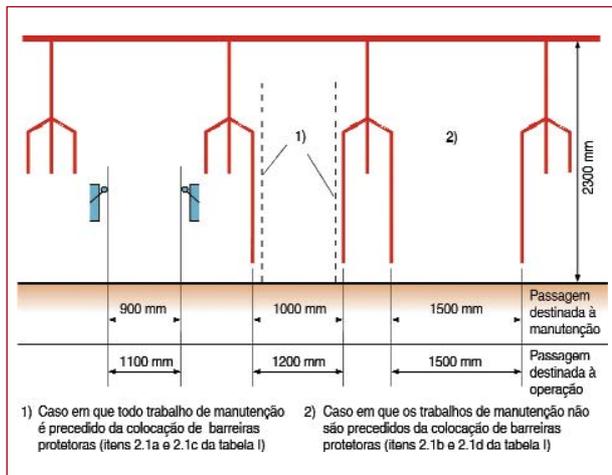


Fig. 2 – Passagens com partes vivas de um único lado

Distâncias mínimas em locais com proteção parcial

Quanto às distâncias mínimas, a figura 1 ilustra os valores a serem observados nos locais nos quais se prevê ou que exigem pelo menos a proteção parcial — seja por meio de obstáculos, por colocação fora de alcance ou, ainda, por uma mistura de ambas. Assim,

- a distância mínima entre obstáculos, entre manípulos de dispositivos elétricos (punhos, volantes, alavancas, etc.), entre obstáculos e parede ou entre manípulos e pa-



1) Caso em que todo trabalho de manutenção é precedido da colocação de barreiras protetoras (itens 2.1a e 2.1c da tabela I) 2) Caso em que os trabalhos de manutenção não são precedidos da colocação de barreiras protetoras (itens 2.1b e 2.1d da tabela I)

Fig. 3 – Passagens com partes vivas dos dois lados, sem proteção

rede é de 700 mm; e

- a altura da passagem sob tela ou painel deve ser de pelo menos 2000 mm.

As distâncias indicadas são válidas considerando-se todas as partes dos painéis devidamente montadas e fechadas.

Distâncias mínimas em locais sem proteção

Já as distâncias mínimas aplicáveis a locais desprovidos de qualquer meio de proteção contra contatos diretos estão indicadas na tabela I e nas figuras 2 e 3.

LINHAS ELÉTRICAS – CONDUTORES

Cores de fios e cabos de BT	104
Características essenciais da isolação dos condutores	105
O roteiro das linhas elétricas	111
Dimensionamento de eletrodutos	123
Dimensionamento de bandejas, eletrocalhas e leitos	124
Condutores em paralelo	127
Linhas elétricas em <i>shaft</i>	129
Linhas elétricas enterradas	133
Linhas elétricas em locais de afluência de público	135

Cores de fios e cabos de BT

A identificação por cores dos condutores, em uma instalação elétrica, tem como finalidade facilitar a execução de conexões, emendas e as intervenções em geral para manutenção. Além disso, a correta identificação dos condutores aumenta a segurança de quem executa esses trabalhos.

A NBR 5410 faz recomendações claras sobre como identificar corretamente os componentes em geral e, em particular, os condutores.

Antes de apresentar as prescrições da norma sobre o assunto, é conveniente recordar três definições: condutor isolado, cabo unipolar e cabo multipolar (figura 1).

O *condutor isolado* é aquele que possui condutor e isolamento. Mesmo óbvia, essa definição é necessária para diferenciar o condutor isolado dos cabos nus e dos cobertos ou protegidos, em que a camada de revestimento não tem função isolante elétrica, mas apenas de proteção mecânica e/ou química.

O *cabo unipolar* possui um único condutor, isolamento e uma segunda camada de revestimento, chamada *cobertura*, para proteção mecânica. O *cabo multipolar* possui, sob a mesma cobertura, dois ou mais condutores isolados, denominados *veias*.

Como geralmente os condutores isolados são disponíveis comercialmente na classe de tensão 750 V, e os cabos uni ou multipolares na classe 0,6/1 kV, muitas vezes associam-se, equivocadamente, as definições às classes de tensão — identificando-se os condutores isolados como cabos 750 V e os uni e multipolares como cabos 1 kV. Isso não é absolutamente correto, uma vez que, por exemplo, existem cabos multipolares na classe 750 V, como os comumente conhecidos como PP e PB.

Voltando ao tema da identificação, a NBR 5410, como mencionado, traz diversas recomendações, apresentadas a seguir.

Condutor neutro

O item 6.1.5.3.1 da norma prevê que “qualquer condutor isolado, cabo unipolar, ou veia de cabo multipolar utilizado como condutor neutro deve ser identificado conforme essa função. Em caso de identificação por cor, deve

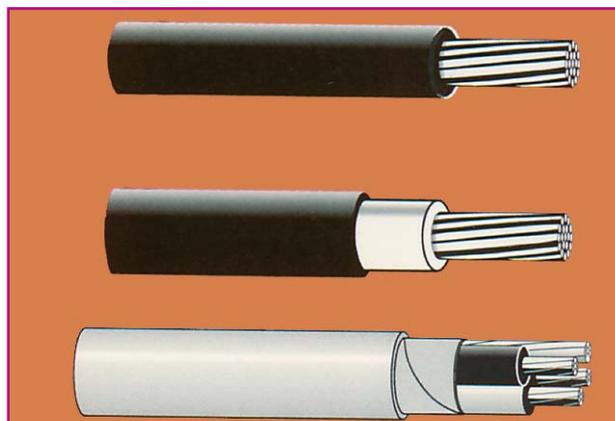


Fig. 1 – Condutor isolado (acima) e cabos uni e multipola

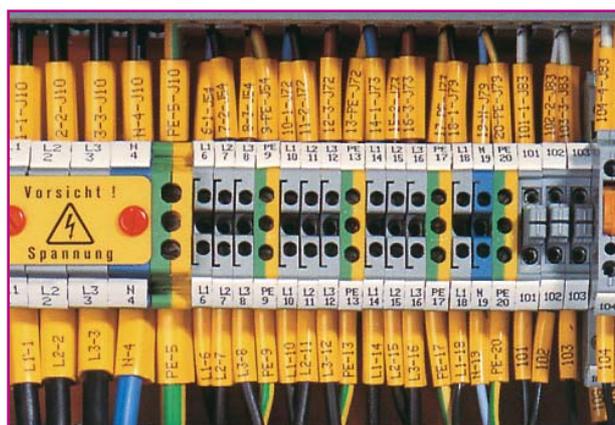


Fig. 2 – Cabos identificados por anilhas

ser adotada a cor azul-clara na isolação do condutor isolado ou da veia do cabo multipolar, ou na cobertura do cabo unipolar”.

Na nota deste item, temos que “a veia com isolação azul-clara de um cabo multipolar pode ser usada para outras funções, que não a de condutor neutro, se o circuito não possuir condutor neutro ou se o cabo apresentar um condutor periférico utilizado como neutro”.

A norma *não obriga ao uso de cores* para identificar um condutor. Diz apenas, como vimos, que, “em caso de identificação por cor”, o condutor neutro deve ser azul-clara. Como alternativa às cores, podem ser utilizadas gravações aplicadas na isolação do cabo ou também empregados sistemas externos de identificação, como anilhas, adesivos, marcadores, etc. (figura 2).

A nota destaca outro ponto importante, permitindo o uso da cor azul-clara para outra função *apenas no caso de veia de um cabo multipolar*. Ou seja, só podem ser usados condutores isolados ou cabos unipolares de cor azul-clara, numa instalação, se destinados à função de neutro.

Condutor de proteção

Segundo o item 6.1.5.3.2 da NBR 5410, “qualquer con-

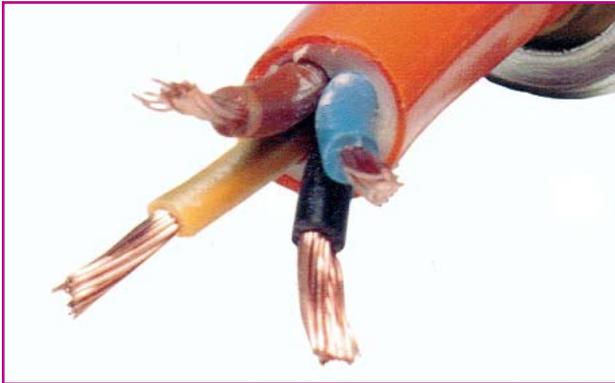


Fig. 3 – Identificação por meio de cores dos condutores de um cabo multipolar

dutor isolado, cabo unipolar, ou veia de cabo multipolar utilizado como condutor de proteção (PE) deve ser identificado de acordo com essa função. Em caso de identificação por cor, deve ser utilizada a dupla coloração verde-amarela (cores exclusivas da função de proteção), na isolação do condutor isolado ou da veia do cabo multipolar, ou na cobertura do cabo unipolar”. E acrescenta, através de nota: “na falta da dupla coloração verde-amarela, admite-se, provisoriamente, o uso da cor verde”.

Portanto, não se admite utilizar as cores verde-amarela e verde para outra função que não a de proteção. Quanto ao caráter “provisório” com que se admite o uso da cor verde, na realidade não há qualquer data limite estabelecida para o fim desse reconhecimento. Aliás, é mais comum encontrar no mercado o cabo totalmente verde que o verde-amarelo.

Condutor PEN

Trata-se do condutor com dupla função: proteção (PE) e neutro (N). Vale lembrar que seu uso ocorre nos esquemas de aterramento tipo TN-C e que há limitações quanto à seção nominal mínima desses condutores (ver 6.4.6.2 da NBR 5410).

Sobre a identificação do PEN, em 6.1.5.3.3 temos que “qualquer condutor isolado, cabo unipolar, ou veia de cabo multipolar utilizado como condutor PEN deve ser identificado de acordo com essa função. Em caso de identificação por cor, deve ser adotada a cor azul-clara, com anilhas verde-amarelas nos pontos visíveis ou acessíveis, na isolação do condutor isolado ou da veia do cabo multipolar, ou na cobertura do cabo unipolar”.

Os “pontos visíveis ou acessíveis” mencionados ocorrem, por exemplo, no interior de quadros, caixas de passagem e de ligações.

Condutor de fase

O item 6.1.5.3.4 da NBR 5410 estabelece que “qualquer condutor isolado, cabo unipolar, ou veia de cabo multipolar

utilizado como condutor de fase deve ser identificado de acordo com essa função. Em caso de identificação por cor, poderá ser usada qualquer tonalidade, observadas as restrições estabelecidas em 6.1.5.3.1, 6.1.5.3.2 e 6.1.5.3.3”.

A nota do item 6.1.5.3.4 indica que, por razões de segurança, a cor da isolação não deve ser exclusivamente amarela “onde houver risco de confusão com a dupla coloração verde-amarela, cores exclusivas do condutor de proteção”.

Resumidamente, os condutores de fase podem ser de qualquer cor, exceto azul-clara, verde ou verde-amarela. O “risco de confusão” ao qual o texto se refere acontece com frequência no interior de quadros.

Coberturas dos cabos de BT uni ou multipolares

A análise feita permite concluir que, no caso de identificação por cores, a cobertura dos cabos unipolares deve ser azul-clara para os condutores neutro e PEN; verde ou verde-amarela para o PE; e de qualquer outra cor que não as anteriores para os condutores de fase — comercialmente, as coberturas mais comuns são as pretas e cinzas.

Já para os cabos multipolares, em princípio a cobertura pode ser de qualquer cor, uma vez que as prescrições referem-se apenas às veias no interior do cabo (figura 3). No entanto, é recomendável não utilizar em cabos multipolares coberturas nas cores azul-clara, verde ou verde-amarela, para que não haja confusão com as funções de neutro e proteção. De qualquer forma, as coberturas de cabos multipolares são, normalmente, disponíveis nas cores preta e cinza.

Características essenciais da isolação dos condutores

No Brasil, os compostos isolantes mais utilizados na fabricação de condutores elétricos são o PVC e o EPR. O cloreto de polivinila (PVC) é, na realidade, uma mistura de cloreto de polivinila puro (resina sinté-

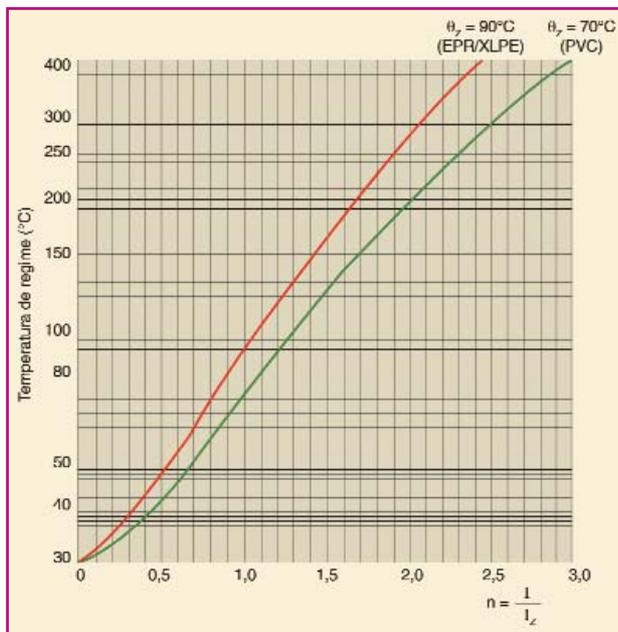


Fig. 1 – Temperatura nos condutores em função da sobrecarga

tica) com plastificante, cargas e estabilizantes. Sua rigidez dielétrica é relativamente elevada, porém apresenta perdas dielétricas também elevadas, principalmente em tensões superiores a 10 kV. Com isso, o emprego de cabos isolados com PVC fica limitado, no máximo, à tensão de 6 kV.

A resistência do PVC a agentes químicos e à água é relativamente alta. Além disso, possui boa característica de não-propagação de chama — gerando, no entanto, uma considerável quantidade de fumaça e de gases tóxicos e corrosivos quando submetido ao fogo.

Já a *borracha etileno-propileno* (EPR), por se tratar de uma mistura reticulada quimicamente, possui excelente resistência ao envelhecimento térmico. Apresenta também ótima flexibilidade, mesmo em baixas temperaturas, e rigidez dielétrica elevada, com baixas perdas dielétricas, o que possibilita seu emprego em alta tensão, usualmente até 138 kV.

Quando formulada adequadamente, a borracha EPR possui boa resistência à água e aos agentes químicos em geral. Seu bom desempenho em relação ao envelhecimento térmico permite a aplicação de altas densidades de corrente.

O dimensionamento dos cabos em função da isolamento

As duas principais solicitações a que a camada de isolamento está sujeita são o campo elétrico (tensão) e a temperatura (corrente).

Tensão elétrica

Como mencionado, o PVC está limitado a 6 kV, o que

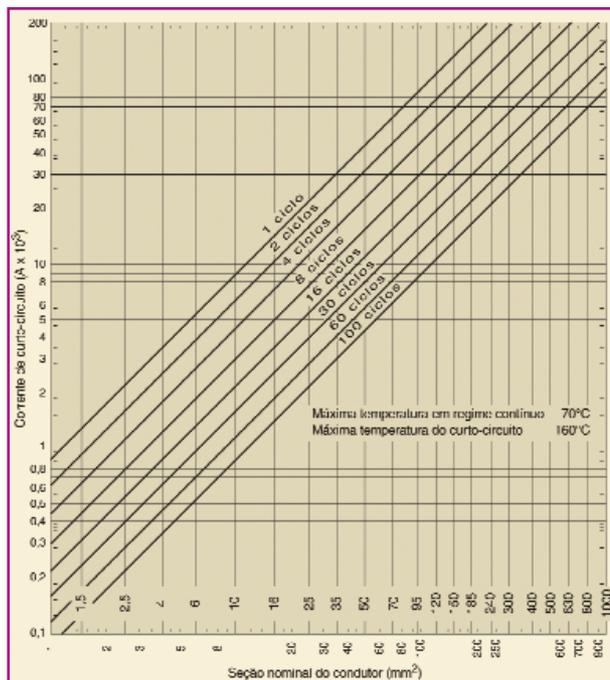


Fig. 2 – Características de curto-circuito de cabos de PVC

o torna recomendado para emprego em cabos de baixa tensão, sejam de potência, de controle, de sinal ou para ligação de equipamentos. Por sua vez, o EPR pode ser utilizado em cabos de baixa, média ou alta tensão.

A principal característica construtiva dos cabos associada com a tensão elétrica é a espessura da isolamento. Ela varia de acordo com a classe de tensão do cabo e a qualidade do material utilizado, sendo fixada pelas respectivas normas técnicas. Em geral, quanto maior a tensão elétrica de operação do cabo, maior a espessura da isolamento.

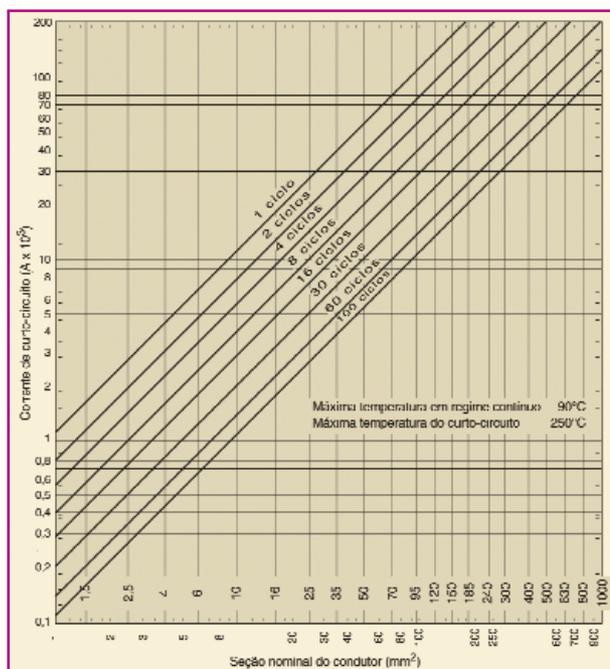


Fig. 3 – Características de curto-circuito de cabos de EPR

PVC OU EPR/XLPE?

Quando é mais interessante utilizar cabos isolados com EPR ou XLPE, de classe térmica superior, em vez de cabos unipolares ou multipolares de PVC?

Como regra, nos casos em que a corrente máxima admissível dos condutores é o principal critério de dimensionamento dos circuitos é sempre oportuno realizar um estudo comparativo das alternativas, PVC vs EPR/XLPE.

Lembremos, inicialmente, que o dimensionamento correto e completo de um circuito depende da aplicação de seis critérios técnicos:

- seção mínima;
- capacidade de condução de corrente;
- queda de tensão;
- sobrecarga;
- curto-circuito; e
- proteção contra contatos indiretos (seccionamento automático).

Nas instalações em que o critério de dimensionamento por queda de tensão não é o mais crítico, dentre os seis mencionados, a *classe térmica* adquire maior relevância na seleção do condutor.

A classe térmica está relacionada com as máximas temperaturas suportadas pelo material isolante de um cabo nas condições de funcionamento **normal** (em regime), em **sobrecarga** e em **curto-circuito** (ver tabela I do artigo). A classe térmica superior dos cabos de EPR/XLPE se traduz, como visto, em maiores correntes admissíveis, em relação aos cabos de PVC — para uma mesma seção nominal. Ou, inversamente, em menores seções, para uma mesma corrente. E isso é que pode tornar a opção dos cabos de EPR/XLPE mais atraente que a dos cabos unipolares ou multipolares de PVC.

Seja, por exemplo, uma bandeja perfurada na qual devem ser instalados três circuitos trifásicos compostos por cabos unipolares

contíguos (justapostos), cujas características estão indicadas na tabela B1. A queda de tensão máxima admitida para os circuitos é de 4%, o fator de potência de cada um é 0,8 e a temperatura ambiente considerada é de 30°C. Em todos os circuitos prevaleceu, como critério de dimensionamento, o da capacidade de condução de corrente.

A partir desses dados e utilizando as tabelas de capacidade de corrente admissível dos condutores da NBR 5410 e de queda de

Tab B1 – Características dos circuitos do exemplo

Circuito	Corrente (A)	Tensão (V)	Comprimento (m)
A	60	220	50
B	84	220	50
C	104	220	50

tensão disponíveis nos catálogos de fabricantes, encontramos os resultados expostos na tabela B2. A alternativa dos cabos de EPR/XLPE representa, como se vê, uma seção nominal menor que a dos cabos de PVC.

Em termos de instalação, a opção pelos cabos isolados com EPR/XLPE resulta em menos espaço ocupado e, portanto, numa bandeja de menores dimensões. Ou, se a linha elétrica fosse constituída por eletroduto, num eletroduto de menor diâmetro. Essas reduções nas dimensões dos condutos significam menor custo de material e maior facilidade de manuseio.

Tab B2 – Dimensionamento dos circuitos do exemplo

Circuito	Seção do cabo (mm ²)	
	isolado com EPR/XLPE	isolado com PVC
A	10	16
B	16	25
C	25	35

Corrente elétrica

Uma noção básica de física é que todo condutor elétrico percorrido por uma corrente se aquece. E também que todo material suporta temperaturas até um determinado valor, acima do qual começa a perder suas propriedades físicas, químicas, mecânicas, elétricas, etc.

Desse modo, a cada tipo de material de isolamento correspondem três temperaturas características, que são:

- *temperatura em regime permanente*: maior temperatura que a isolamento pode atingir continuamente em serviço normal. É a principal característica para a determinação

da capacidade de condução de corrente de um cabo;

- *temperatura em regime de sobrecarga*: temperatura máxima que a isolamento pode atingir em regime de sobrecarga. Segundo as normas de fabricação, a duração desse regime não deve ser superior a 100 horas durante doze meses consecutivos, nem superar 500 horas durante a vida do cabo.

- *temperatura em regime de curto-circuito*: temperatura máxima que a isolamento pode atingir em regime de curto-circuito. Segundo as normas de fabricação, a duração desse regime não deve superar cinco segundos durante a vida do cabo.

Tab. I – Temperaturas características de cabos isolados

Isolação	Temperatura em regime (°C)	Temperatura em sobrecarga (°C)	Temperatura em curto-circuito (°C)
PVC	70	100	160
EPR/XLPE	90	130	250

A tabela I indica as temperaturas características das isolações de PVC e EPR. Verifica-se que o EPR suporta temperaturas mais elevadas que o PVC. Isto significa que, para a mesma seção de cobre, um cabo isolado com EPR pode ser percorrido por uma corrente elétrica maior do que um cabo isolado com PVC.

Dessa forma, na prática, há duas tabelas de capacidade de condução de corrente nos catálogos de fios e cabos: uma relativa aos cabos isolados com PVC e outra para os cabos isolados com EPR, sendo a capacidade de condução de corrente dos cabos de EPR, naturalmente, sempre maior que a dos cabos (de mesma seção) de PVC, para uma mesma maneira de instalar.

No que diz respeito aos regimes de sobrecarga e curto-circuito, os cabos de EPR também suportam, para a mesma seção de condutor, solicitações maiores, conforme mostram as figuras 1, 2 e 3.

Podemos observar na figura 1 que, para a mesma relação de sobrecarga, os cabos de EPR suportam solicitações térmicas superiores às dos de PVC.

Já nas figuras 2 e 3 verifica-se que, para a mesma corrente de curto-circuito e a mesma seção de cabo, a isolação de EPR suporta um tempo maior de solicitação.

O roteiro das linhas elétricas

Refletindo diretamente seu peso na composição de custos de uma instalação, as “linhas elétricas” — como a norma designa o conjunto formado pelos condutores e todos os demais componentes associados — são o assunto dominante em qualquer seminário ou curso que se promova sobre instalações elétricas ou sobre a norma NBR 5410.

Coincidência ou não, as “linhas elétricas” são também o tópico que, isoladamente, mais espaço ocupa na própria norma. Das 128 páginas da edição de 1997, por exemplo, cerca de 30 são ocupadas por um capítulo totalmente relacionado com o tema: o 6.2, “Seleção e instalação das linhas

elétricas”. O que corresponde a 23,4%. Se excluirmos do total de páginas da edição as nove ocupadas pelo índice, o percentual sobe então para 25,2%.

Como registrado neste **Guia EM da NBR 5410**, no capítulo que trata de definições, *linha elétrica* é o conjunto de um ou mais condutores com seus elementos de fixação e suporte e, se for o caso, de proteção mecânica, destinado a transportar energia ou transmitir sinais elétricos. O termo corresponde ao inglês *wiring system* e ao francês *canalization*.

As linhas podem ser constituídas:

- apenas por condutores e elementos de fixação, como é o caso dos condutores diretamente fixados em paredes ou em tetos, e dos condutores fixados sobre isoladores em paredes, tetos ou postes;
- por condutores em condutos (*conduto* é o elemento de linha que contém os condutos elétricos);
- por condutores sobre suportes; ou ainda,
- do tipo pré-fabricada, como os “barramentos blindados”.

Genericamente, portanto, uma *linha elétrica*, ou um *tipo de linha elétrica* pode ser caracterizado, sob a ótica que interessa à norma e ao profissional de instalações, por três parâmetros principais:

- o **tipo de conduto utilizado**;
- o **tipo de condutor utilizado**; e
- a **montagem adotada**, que implicitamente define o espaço ocupado ou percorrido pela linha.

O tipo de conduto utilizado pode ser *nenhum*, pode ser um *conduto propriamente dito* ou então algum componente que cumpra papel similar, como o isolador ou suporte mencionado. Portanto, apesar das definições iniciais, *conduto* passa a ter aqui esse sentido abrangente. E inclui, quando existentes, todos os acessórios indispensáveis à sua função de elemento de sustentação, de acomodação, de fixação e/ou de proteção mecânica do condutor.

O *tipo de condutor* pode ser, por exemplo:

- fio ou cabo nu;
- cabo com cobertura (ou *apenas* com cobertura);
- fio ou cabo com isolação (ou *apenas* com isolação. É o que a norma chama de “condutor isolado”);
- cabo com isolação e cobertura (nas versões “cabo unipolar” e “cabo multipolar”, para usar a terminologia consagrada pela norma)
- barramento nu; e
- barramento revestido.

Finalmente, o *tipo de montagem* revela — convém repetir — como a linha se encontra integrada à edificação ou, num sentido mais geral, ao ambiente que percorre. Desse ponto de vista, e para começo de conversa, uma linha poderia ser, por exemplo, *externa* ou *interna* (à edificação). Prosseguindo com o jogo classificatório, as *linhas externas* poderiam ser *aéreas*, *subterrâneas* (ou *enterradas*) e *sub-*

mersas. Se internas, mas sem com isso descartar as possibilidades identificadas no cenário externo, elas poderiam ser *aparentes, embutidas, contidas* (por exemplo, em espaços de construção)... As *aparentes*, por sua vez, poderiam ser *sobrepostas, suspensas*, etc., etc.

Todos esses parâmetros importam na caracterização do tipo de linha porque, afinal, influem no resultado técnico e econômico de uma opção. Não se pode utilizar condutor nu, vivo, numa residência, evidentemente. Se o percurso da linha será essencialmente vertical, um tipo de conduto será mais apropriado e outros serão descartados. O tipo de montagem, como o próprio conduto utilizado, pode favorecer ou prejudicar a dissipação de calor e, portanto, pesa na capacidade de condução de corrente que se poderá efetivamente extrair de um condutor.

É assim, portanto, com esses três parâmetros em mente (tipo de condutor, tipo de conduto, tipo de montagem), que se deve encarar a tabela 28 da NBR 5410, que relaciona diversos tipos de linhas elétricas.

A listagem fornecida pela norma não se deve, evidentemente, a uma preocupação burocrática, de ditar que tipos de linhas seriam por ela “reconhecidos e aprovados”. Nem meramente investigante, de identificar arranjos praticados e, talvez, avançar outros tantos que a imaginação sugira.

Os tipos de linhas elétricas apresentados lá estão porque deles a norma pode oferecer um dado que, em última análise, é o “segredo cobijado”: a capacidade de condução de corrente que se pode confiavelmente esperar de um condutor, num arranjo determinado (o tipo de linha) e em circunstâncias previsíveis (a temperatura ambiente, o efeito de outros condutores carregados com os quais ele compartilha a linha, etc.).

Tabela 28 - Tipos de linhas elétricas

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede terminicamente	A1
2		Cabo multibutido	A2
3		Condutor eletro parede	A1

Tabela 31 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D
 - condutores isolados, cabos unipolares e multipolares - cobre e alumínio, isolamento de PVC;
 - temperatura de 70°C no condutor;
 - temperaturas - 30°C (ambiente); 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de instalação definidos na tabela 28											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados	condutores carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31

Tabela 34 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G
 - condutores isolados, cabos unipolares e multipolares - cobre e alumínio, isolamento de EPR ou XLPE; temperatura de 90°C no condutor;
 - temperatura ambiente - 30°C

Seções nominais mm ²	Métodos de instalação definidos na tabela 28					
	E	E	F	F	G	G
(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
10	15	12	17	19	16	22
14	23	19	30	30	25	42
17	35	25	41	41	35	55
22	48	35	56	56	48	77
30	63	48	73	73	63	105
42	83	63	101	101	83	141
55	101	83	137	137	101	141

A tabela 28 da NBR 5410 é o “mostruário” das linhas elétricas. Cada linha-tipo é aí identificada por um número, descrita com o apoio de um esquema ilustrativo e associada a um arranjo de referência (ou “método de referência”, como registra a norma). É essa referência que o projetista usa para encontrar, nas tabelas de capacidade de condução de corrente (tabelas 31 a 34), a seção de condutor que atende às necessidades do seu circuito.

Aqui, no Guia EM da NBR 5410, a tabela 28 da norma foi traduzida numa versão prática e compacta (mas completa): a tabela I que acompanha o artigo. Ela constitui um mapeamento de todos os tipos de linhas elétricas previstos na NBR 5410, mediante combinação de tipo de conduto, tipo de condutor e tipo de montagem, fornecendo também, diretamente, o arranjo de referência em que cada linha se enquadra.

Enfim, oferecendo a citada tabela 28 como porta de entrada, a norma provê um conjunto de informações, com grande grau de inter-relacionamento, que são fundamentais para o projeto de uma instalação elétrica. Essas informações são, essencialmente:

- o menu de tipos de linhas (a tabela 28), que o profissional consulta para saber em qual linha-tipo se enquadra a que ele está projetando;
- as tabelas que fornecem a capacidade de condução de corrente dos condutores (tabelas 31 a 34); e
- as tabelas que indicam os fatores de correção (tabelas 35 a 42) a serem aplicados à situação real que o projetista tem pela frente. Isso de modo a tornar coerente a utilização dos valores de capacidade de condução de corrente fornecidos, que são calculados em condições ditas de referência.

Vamos examinar em detalhes, a seguir, o conteúdo desses três blocos de informações e como manuseá-las corretamente.

A tabela com os tipos de linhas (tabela 28)

A norma relaciona, na tabela 28, uma grande variedade de tipos de linhas (a quantidade pode ir de 40 a bem mais, se consideradas variantes assemelháveis aos tipos listados). Cada linha-tipo tem um número de identificação.

Mas muitas das linhas-tipo listadas se equivalem do ponto de vista do comportamento térmico. E, portanto, são equivalentes do ponto de vista da capacidade de condução de corrente que o condutor pode oferecer, nas circunstâncias.

Comparando-se assim os quarenta e tantos tipos de linhas, procurando identificar quem é parecido com quem, termicamente falando, chega-se a nove situações ou arranjos de referência, em torno dos quais poderiam ser agrupados todos os tipos listados.

Para uma melhor compreensão, imagine que um grupo de especialistas se reúne e

- elaborasse uma lista quase exaustiva das possibilidades construtivas em matéria de linhas elétricas (as possíveis combinações práticas dos três parâmetros já mencionados: tipo de condutor, tipo de conduto e tipo de montagem),
- agrupasse os arranjos possíveis segundo o comportamento térmico presumido,
- identificasse, em cada grupo, o arranjo que seria talvez o mais representativo (ou, como manda a segurança, o mais crítico, termicamente falando, dentro do grupo)
- e fizesse do arranjo escolhido o banco de ensaios e/ou o objeto de investigações mais detalhadas no campo da simulação e modelamento computacionais.

Foi mais ou menos isso que aconteceu, na vida real.

Assim, as mais de 40 linhas-tipo da tabela 28 da NBR 5410 podem ser enquadradas em nove arranjos de referência, que receberam uma codificação especial:

A1: condutores isolados em eletroduto embutido em parede termicamente isolante;

A2: cabo multipolar em eletroduto embutido em parede termicamente isolante;

B1: condutores isolados em eletroduto sobre parede;

B2: cabo multipolar em eletroduto sobre parede;

C: cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede;

D: cabo multipolar em eletroduto enterrado;

E: cabo multipolar ao ar livre;

F: cabos unipolares justapostos (na horizontal, na vertical ou em trifólio) ao ar livre;

G: cabos unipolares espaçados (no mínimo de um diâmetro) ao ar livre.

A tabela I aqui publicada é uma versão prática e didática da tabela 28 da NBR 5410.

É prática porque adota como ponto de partida a situação real vivida pelo projetista, traduzível na seguinte pergunta: como ou com o que você pretende instalar seus condutores?

Assim, a tabela, de consulta direta, mostra as combinações (conduto + condutor + montagem) admitidas pela norma. A tabela relaciona:

- o tipo de conduto (ou equivalente) que se pretende utilizar, que pode eventualmente ser acompanhado de um segundo conduto, envolvendo ou abrigando o primeiro. Vale lembrar que “conduto” está sendo aqui usado com a abrangência já enfatizada, em que pese o cuidado de reforçar essa abrangência com a expressão “conduto ou equivalente”;

- as formas de montagem ou instalação possíveis; e

- os tipos de condutores. Estes são relacionados, de forma abreviada, pelas letras:

N = condutor nu;

C = condutor coberto;

I = condutor isolado;

U = cabo unipolar; e

M = cabo multipolar.

A tabela é prática, também, porque não só aponta as combinações possíveis, no cruzamento de linhas e colunas, como incorpora a essa informação o arranjo de referência em que a combinação se enquadra (os arranjos de A1 a G apresentados acima). E, explorando o uso de cores, a tabela permite identificar facilmente quem-é-quem nesse particular. Além disso, acrescenta, à margem, uma informação que se revela muito útil no mapeamento visual dos tipos de linhas aí propostos: a seqüência ordenada dos arranjos de referência, do mais restritivo ao mais favorável do ponto de vista da capacidade de condução de corrente.

Com efeito, a ordem alfanumérica natural da codificação dos arranjos de referência — como foram, aliás, apresenta-

dos acima — não corresponde exatamente à ordem crescente da capacidade de condução de corrente a eles “associada”. Sob esse critério, a ordem seria, como mostra a tabela⁽¹⁾,

$$A2 \rightarrow A1 \rightarrow B2 \rightarrow B1 \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G$$

A análise (“visual”) dos tipos de linhas proposta pela tabela I fica ainda mais facilitada se o leitor tiver em mente que, resumidamente,

1) os arranjos de referência **A2**, **A1**, **B2** e **B1** são representativos de **linhas fechadas**, ou de linhas que devem ser assim consideradas.

2) **D** é sinônimo de **linha enterrada**; e

3) **C**, **E**, **F** e **G** são **linhas “abertas”**⁽²⁾. Os condutos ou equivalentes não envolvem (ou não envolvem inteiramente) os condutores.

A identificação direta da linha que o projetista tem em mente pelo arranjo de referência em que se enquadra é um recurso muito conveniente porque, afinal, é essa informação (o código **A2** a **G**) que ele leva para as tabelas de capacidade de condução de corrente, explicadas mais adiante.

Por sinal, e embora à custa de redundância, a tabela procura facilitar ao máximo a consulta do projetista ao relacionar as opções de condutos por todos os nomes possíveis e imagináveis. Portanto, algumas opções listadas são, sim, meras repetições — a mesma coisa apresentada com outro nome. Tudo isso porque, no campo das “linhas elétricas”, o mercado não tem uma terminologia uniforme para designar os produtos e, via de regra, nem segue a que a norma propõe.

Para a norma, por exemplo, *eletrocalha* é, por definição, fechada; uma “eletrocalha aberta”, para a norma, seria uma *bandeja*. Ela não reconhece o uso do termo “duto”: um “duto” destinado a conter condutores elétricos é, por definição, um *eletroduto*. Assim, por exemplo, o “duto de piso” tão conhecido no mercado, seria classificável, no vocabulário da norma (o “duto de piso” fechado, tipicamente metálico, de seção retangular!), como um *eletroduto de seção não-circular* — embora o “duto de piso” em questão realmente não lembre um eletroduto tradicional em vários aspectos, como o da produção efetivamente em massa, a oferta em varas de comprimentos padronizados, etc.

Do lado do mercado, a confusão não é pouca. Um mesmo produto pode ser chamado de *canaleta* ou *perfilado*, dependendo do fabricante. A (eletro)calha “aramada”, para alguns, é *leito aramado* (ou mesmo *leito sanitário*, na versão do produto oferecida para a indústria alimentícia ou outras que promovem lavagens e desinfecções constantes em suas instalações). Há *canaletas* e *canaletas* — a versão mais associada ao nome sendo aquela também conhecida como *rodapé*. Que, por seu turno, às vezes leva sobrenome: *rodapé falso*, *rodapé técnico*. É sintomático, a propósito, o

esforço de alguns fabricantes, similar ao de nossa tabela I, de designar o produto por mais de um nome, de acordo com o gosto do freguês (Não vai ser por ruído de comunicação que se vai deixar de vender, ora bolas!).

De um modo geral, porém, há alguns termos mais consensuais, no sentido de que o nome dificilmente não seria associado ao produto a que se quer efetivamente referir. São eles: leito, perfilado e eletrocalha (mas aqui sem o preciosismo da norma, que vincula eletrocalha à condição de conduto necessariamente fechado). E o mais importante: os desencontros terminológicos, felizmente, parecem não constituir uma séria ameaça à aplicação correta das regras da norma, uma vez que para efeito dessas regras (as pertinentes às linhas elétricas), o enquadramento de um conduto conhecido aqui como “X”, ali como “Y”, em geral resulta o mesmo.

De todo modo, a tabela I também faz o gosto do freguês. Na verdade, ela partiu daí. Foram levantados praticamente todos os nomes com que são conhecidos e vendidos os condutos mais usados em instalações elétricas no Brasil. Eles foram examinados à luz da tabela 28 da NBR 5410 e são agora devolvidos na tabela I, como prático feito, para o mercado.

Note-se que, explorando ainda mais o recurso das cores, quase todos os condutos listados na tabela I aparecem vinculados a uma delas. Através da cor ficam assim associados, de forma biunívoca, *conduto* e *arranjo de referência*. Só não levou cor o conduto (ou equivalente!) que pode ser utilizado em tipos de linhas distintos sob o ponto de vista do arranjo de referência.

As tabelas de capacidade de condução de corrente

A NBR 5410 apresenta quatro tabelas de capacidade de condução de corrente (31, 32, 33 e 34). Essencialmente, essas tabelas informam, para cada seção de condutor (mm²), a capacidade de condução de corrente que a seção proporciona, em cada um dos arranjos de referência. Isso para condutores de cobre e de alumínio. Façamos uma leitura atenta do escopo de cada tabela.

No que se refere aos cabos cuja capacidade de condução de corrente é informada,

- as tabelas 31 e 33 referem-se a condutores com isolamento de PVC;
- as tabelas 32 e 34 referem-se a condutores com isolamento de EPR/XLPE.

No tocante aos arranjos de referência,

- as tabelas 31 e 32 cobrem os arranjos de referência A2, A1, B2, B1, D e C; e
- as tabelas 33 e 34 cobrem os arranjos de referência E, F e G.

Tab. I – Os tipos de linhas elétricas previstos na NBR 5410 e os arranjos de referência em que se enquadram

TIPO DE CONDUTO (ou equivalente)	MONTAGEM																																
	Aparente						Embutida						Encaixada no piso	Em espaço de construção (3)	Enterrada																		
	Sobreposta (1)		Suspensa ou não-sobreposta (2)				Em parede termicamen- te isolante		Em alvenaria		Em caixilhos																						
	Em parede	No teto																															
TIPO DE CONDUTOR																																	
	I	U	M	I	U	M	N	C	I	U	M	I	U	M	I	U	M	I	U	M	I	U	M	I	U	M	I	U	M				
Nenhum. Só o condutor														A1		C	C			A1	A1							(9)	(9)		D	D	
Fixador, abraçadeira (4)		C	C		C	C																						(9)	(9)				
Suporte (5)										F	E																	(9)	(9)				
Isolador							G	G	G	G																							
Cabo mensageiro/cabo de suporte										F	E																						
Eletroduto de seção circular	B1	B1	B2						B1	B1	B2	A1	A1	A2	B1	B1	B2	A1										(11)	B2	B2	(8)	D	D
Eletroduto seção circ. em canaleta fechada (6)	(12)	(12)																															
Eletroduto seção circ. em canaleta ventilada (6)																					B1												
Duto/Eletroduto de seção não-circular	B1	B1	B2						B1	B1	B2			(10)	B2	B2				B1	B1	B2	(11)	B2	B2	(8)	D	D					
Eletrocalha/calha não-perfurada (7) com tampa	B1	B1	B2						B1	B1	B2				B1	B1	B2			B1	B1	B2											
Perfilado com tampa	B1	B1	B2						B1	B1	B2				B1	B1	B2			B1	B1	B2											
Canaleta não-perfurada com tampa	B1	B1	B2						B1	B1	B2				B1	B1	B2			B1	B1	B2											
Rodapé (pressupõe c/ tampa)	B1	B1	B2																														
Eletrocalha não-perfurada com tampa ventilada																					B1	B1											
Canaleta não-perfurada com tampa ventilada																					B1	B1											
Bandeja não-perfurada										C	C																						
Eletrocalha/calha não-perfurada sem tampa										C	C																						
Perfilado sem tampa									(13)	C	C																						
Canaleta não-perfurada sem tampa										C	C																						
Bandeja perfurada										F	E																						
Eletrocalha/calha perfurada sem tampa										F	E																						
Eletrocalha/calha aramada sem tampa										F	E																						
Leito para cabos										F	E																						

I = condutor isolado

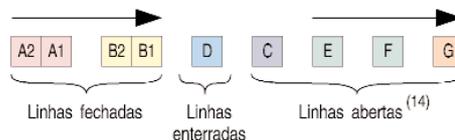
U = cabo unipolar

M = cabo multipolar

N = cabo nu

C = cabo coberto

Maior capacidade de condução de corrente



(1) Em contato direto com a superfície de paredes, tetos e lajes, ou ligeiramente afastada (por exemplo, até o equivalente a 0,3 vez o diâmetro externo do cabo ou do eletroduto, no caso de cabo ou eletroduto fixado diretamente à superfície).

(2) Montagens pendentes ou suficientemente afastadas da superfície de paredes ou tetos (a superfície é usada apenas para fixação dos elementos de sustentação). Por exemplo, é suficiente que o suporte de um cabo ou eletroduto proporcione um afastamento da superfície igual ou superior a 0,3 vez o diâmetro externo do cabo ou do eletroduto, respectivamente, para que a montagem seja considerada não-sobreposta.

(3) São exemplos de espaços de construção: os poços (shafts), galerias, o forro falso, o piso elevado.

(4) Para efeito da tabela, assume-se que o fixador ou abraçadeira é um elemento associado sempre a montagem sobreposta (ver nota 1).

(5) Para efeito da tabela, assume-se que o suporte é um elemento associado sempre a montagens aparentes suspensas ou não-sobrepostas (ver nota 2). O suporte pode ser, por exemplo: do tipo engastado em parede ou teto, para sustentação de condutores na horizontal; do tipo perfil metálico com abraçadeiras, para fixação de condutores na vertical; do tipo tirante de suspensão, sustentando cabos na horizontal através de coleiras, redes ou malhas; etc.

(6) A canaleta pode ser construída no local (obra civil), ou usar elementos prontos de fábrica.

(7) Os fabricantes denominam "liso" o conduto não-perfurado. Achou-se mais seguro empregar as qualificações "não-perfurado" e "perfurado", para evitar dúvidas.

(8) Embora não conste da tabela 28 da NBR 5410, o uso de condutores isolados em eletroduto/duto enterrado é admitido pela norma, nas condições especificadas na nota de 6.2.11.6.1. Na tabela 28, essa possibilidade corresponderia à linha-tipo 61 ou 61A e, portanto, ao arranjo de referência D (há aí um equívoco no texto da norma, na descrição da linha-tipo 61. Ao invés de "cabos unipolares ou cabo multipolar", como seria o correto, saiu apenas "cabo multipolar").

(9) e (10): B2 ou B1. B2 se a altura útil do espaço de construção (nota 9), ou do duto (nota 10) for inferior a cinco vezes o diâmetro externo do cabo. B1 se for igual ou maior. De qualquer forma, a altura útil não poderá jamais ser inferior a 1,5 vez o diâmetro externo do cabo.

(11) e (12): B2 ou B1. B2 se a altura útil do espaço de construção (nota 11), ou da canaleta (nota 12) for inferior a 20 vezes o diâmetro ou altura do eletroduto/duto. B1 se for igual ou maior. De qualquer forma, a altura útil não poderá jamais ser inferior a 1,5 vez o diâmetro ou altura do eletroduto/duto.

(13) Embora não conste, inequivocamente, da tabela 28 da NBR 5410, o uso de condutores isolados em perfilado ou canaleta sem tampa é admitido pela norma, nas condições especificadas na nota de 6.2.11.4.1. Na tabela 28, essa possibilidade é assemelhável à linha-tipo 12 e, portanto, ao arranjo de referência C.

(14) Neste grupo, há um único tipo de linha que não poderia ser considerado como "linha aberta": aquele constituído por cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria. Todavia, tanto a NBR 5410 como a IEC 60364 o enquadram no arranjo de referência C, assimilando-o, portanto, às linhas abertas que caracterizam este arranjo.

Se esses dados forem diferentes daqueles que constituem as condições de referência das tabelas da norma, não é possível entrar diretamente com I_B na tabela de capacidade de corrente. Antes é preciso aplicar à I_B calculada os fatores de correção pertinentes. Enfim, a corrente levada à tabela é I_B' (*corrente fictícia do projeto*), dada por:

$$I_B' = \frac{I_B}{f}$$

onde f é fator de correção total, resultante da multiplicação de todos os fatores de correção aplicáveis ao caso (temperatura ambiente, agrupamento de circuitos, temperatura do solo, resistividade do solo...), isto é,

$$f = f_1 \times f_2 \times \dots \times f_n$$

A norma também fornece fatores de correção. Mas antes de entrar nesse que seria o terceiro bloco de informações a que nos referimos anteriormente, vamos retomar a leitura das tabelas de capacidade de corrente para informar, afinal, os parâmetros assumidos ou adotados na determinação dos valores de capacidade tabelados.

Temperatura ambiente

Em todas as tabelas (31 a 34), a temperatura ambiente de referência é 30°C.

Agrupamento de circuitos

1) Nas tabelas 31 e 32 (arranjos A1, A2, B1, B2, C e D), as capacidades referem-se a um único circuito, sendo fornecidos valores para dois casos distintos:

- dois condutores carregados (dois condutores isolados, dois cabos unipolares ou um cabo bipolar); e
- três condutores carregados (três condutores isolados, três condutores unipolares ou um cabo tripolar).

2) Nas tabelas 33 e 34 (arranjos E, F e G), e valendo-se da numeração que a norma atribui a cada coluna das tabelas, as capacidades indicadas referem-se a:

- coluna 2: um cabo bipolar, arranjo E;
- coluna 3: um cabo tripolar, arranjo E;
- coluna 4: dois cabos unipolares justapostos, horizontal ou verticalmente, arranjo F;
- coluna 5: três cabos unipolares em trifólio, arranjo F [Note-se, em passant, que há um equívoco na ilustração da norma referente à coluna em questão. Ao invés de cabos unipolares, o desenho indica cabos bipolares];
- coluna 6: três cabos unipolares justapostos, horizontal ou verticalmente, arranjo F;
- coluna 7: três cabos unipolares dispostos horizontalmente e afastados, um do outro, no mínimo o equivalente a $1 \times D_e$ (diâmetro externo do cabo), arranjo G;
- coluna 8: três cabos unipolares dispostos verticalmente

e afastados, um do outro, no mínimo o equivalente a $1 \times D_e$ (diâmetro externo do cabo), arranjo G.

Temperatura do solo

As capacidades indicadas para o arranjo D, tabelas 31 e 32, referem-se a uma temperatura do solo de 20°C.

Resistividade do solo

As capacidades indicadas para o arranjo D, tabelas 31 e 32, referem-se a uma resistividade do solo de 2,5 K.m/W.

Tabelas de fatores de correção

Para cada um dos parâmetros analisados (temperatura ambiente, agrupamento, temperatura do solo, resistividade do solo), com destaque para o agrupamento, que é o mais trabalhoso, a norma fornece então fatores de correção.

Parâmetro por parâmetro, são relacionadas a seguir as tabelas da NBR 5410 que trazem os fatores de correção respectivos, com a indicação dos tipos de linhas, ou arranjos de referência, a que os fatores se aplicam.

- *Temperatura ambiente* (todos os arranjos de referência, exceto o D): tabela 35.
- *Temperatura do solo* (linhas enterradas, arranjo de referência D): tabela 35.
- *Resistividade térmica do solo* (linhas enterradas, arranjo de referência D): tabela 36.
- *Agrupamento, linhas enterradas* (arranjo de referência D): tabela 38 para cabos diretamente enterrados e tabela 39 para cabos em eletrodutos enterrados.
- *Agrupamento, linhas fechadas em geral (arranjos de referência A2, A1, B2, B1)*: tabela 37, linha 1
- *Agrupamento, linhas abertas enquadráveis no arranjo de referência C*: tabela 37, linhas 2 e 3, para uma única camada de condutores; tabela 42 para várias camadas.
- *Agrupamento, linhas abertas enquadráveis nos arranjos de referência E e F*: tabela 37, linhas 4 e 5, para uma única camada de condutores; tabela 42 para várias camadas.

A tabela II, que é uma versão ligeiramente adaptada da tabela I, indica onde se localizam, na NBR 5410, os fatores de correção por agrupamento aplicáveis a cada tipo de linha.

Notas

- (1) No geral, as capacidades de condução de corrente indicadas pela NBR 5410, para todas as seções de condutores, seguem a ordem crescente apresentada. A convergência não chega a ser absoluta porque numa pequena faixa de seções, menores, o arranjo de referência D chegar a ser um pouco mais favorável que o C. É o único caso de "cruzamento" de valores de capacidade de corrente entre arranjos.
- (2) Neste grupo, há um único tipo de linha que não poderia ser considerado como "linha aberta": aquele constituído por cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria. Todavia, tanto a NBR 5410 como a IEC 60364 o enquadram no arranjo de referência C, assimilando-o, portanto, às linhas abertas que caracterizam este arranjo.

Dimensionamento de eletrodutos

Para a determinação do tamanho mínimo de um eletroduto, necessário para acomodar um dado número de condutores, sejam eles de mesma seção ou não, a NBR 5410 fixa algumas regras básicas. A norma limita, além da ocupação, o comprimento e o número de curvas por trecho, tendo em vista a necessidade de instalar e retirar com facilidade os condutores, sem afetar sua integridade. Em resumo:

1) Não são permitidos trechos de tubulação contínuos, retilíneos, sem interposição de caixas, com mais de 15 m; nos trechos com curvas, essas devem ser limitadas a três de 90°, ou o equivalente a 270°, não sendo permitidas curvas com deflexão superior a 90°, devendo o comprimento máximo ser de 15 m menos 3 m por curva de 90° (item 6.2.11.1.2 da norma). Assim, por exemplo, um trecho com três curvas de 90° deve ter um comprimento máximo de

$$15 - (3 \times 3) = 6 \text{ m.}$$

2) Quando a tubulação passar por uma área inacessível, onde não possam ser instaladas caixas, a distância máxima entre duas caixas pode ser aumentada, desde que se aumente a seção do eletroduto (ver nota de 6.2.11.1.2).

3) A máxima porcentagem de área útil do eletroduto ocupada pelos condutores é de 53% no caso de um condutor, de 31% no caso de dois condutores e de 40% para três ou mais condutores.

Pelo que vimos em **3)**, a ocupação máxima de um eletroduto pode ser calculada conhecendo-se a área útil do ele-

troduto A_E e a área ocupada por cada condutor A_{cj} .

No caso (mais freqüente) de eletroduto circular, A_E é dada por:

$$A_E = \pi (d_e - 2e)^2/4 \quad (1)$$

onde d_e é o diâmetro externo do eletroduto e “e” a espessura.

A área de cada condutor, A_{cj} , é dada por:

$$A_{cj} = \pi d_j^2/4 \quad (2)$$

onde d_j é o diâmetro externo do condutor genérico. Devemos ter:

$$\Sigma A_{cj} \leq k A_E \quad (3)$$

onde k é um fator que, conforme visto em **2)**, vale 0,53 para um condutor, 0,31 para dois e 0,40 para três ou mais.

Vamos calcular o tamanho mínimo do eletroduto isolante médio capaz de conter três circuitos de uma mesma instalação, todos com condutores isolados Cu/PVC, sendo: um circuito com dois condutores de 2,5 mm²; um circuito com dois condutores de 4 mm²; um circuito com dois condutores de 6 mm²; e um condutor de proteção de 6 mm².

A partir de dados de fabricante e da expressão (2), calculamos a área de cada condutor: 10,8 mm² para o condutor de 2,5 mm²; 13,9 mm² para o condutor de 4 mm²; e 18,1 mm² para o de 6 mm².

A área total ocupada pelos condutores será:

$$\Sigma A_{cj} = (2 \times 10,8) + (2 \times 13,9) + (3 \times 18,1) = 103,7 \text{ mm}^2.$$

No caso dos eletrodutos isolantes (tabela I), sendo dados os diâmetros internos (mínimos) d_i , podemos escrever:

$$A_E = \pi d_i^2/4 \quad (4)$$

De (3) virá:

$$\Sigma A_{cj} \leq k \pi d_i^2/4 \quad (5)$$

e o diâmetro interno será:

$$d_i \geq \frac{4 \Sigma A_{cj}}{k \pi} \quad (6)$$

Assim, teremos, com $k = 0,4$:

Tab. 1 – Dimensões dos eletrodutos conforme IEC

Tamanho nominal (IEC 60423)	Diâmetro externo (IEC 60423) (mm)	Eletrodutos metálicos		Eletrodutos isolantes		
		Espessura da parede (IEC 60614-2-1) (mm)		Diâmetro interno mínimo (IEC 60614-2-2) (mm)		
		Não-roscaáveis	Roscaáveis	Leve	Médio	Posado
16	16	1,0±0,1	1,4±0,15	13,7	13,0	12,2
20	20	1,0±0,1	1,6±0,15	17,4	16,9	15,8
25	25	1,2±0,12	1,6±0,15	22,1	21,4	20,6
32	32	1,2±0,12	1,6±0,15	28,6	27,8	26,6
40	40	1,2±0,12	1,6±0,15	35,8	35,4	34,4
50	50	1,2±0,12	1,6±0,15	45,1	44,3	43,2
63	63	1,2±0,12	1,6±0,15	57,0	-	-

$$d_i \geq \sqrt{\frac{4 \times 103,7}{0,4 \pi}}$$

$$d_i \geq 18,1 \text{ mm}$$

o que, pela tabela I, nos remete a um eletroduto (isolante, médio) de tamanho nominal 25.

Dimensionamento de bandejas, eletrocalhas e leitos

Na seção em que apresenta as prescrições para instalação das linhas elétricas e, em particular, no artigo que trata das chamadas linhas “ao ar livre”, que incluem as linhas em bandejas (eletrocalhas sem tampa) e leitos (6.2.11.3), a NBR 5410 não fixa limites de ocupação, como faz para a instalação em eletrodutos.

De fato, a norma não entra, aí, em detalhes acerca da quantidade de cabos que podem ser instalados nesses condutos, limitando-se a *recomendar* que os cabos seja dispostos em uma única camada e que não seja excedido determinado volume de material combustível por metro linear de linha elétrica (6.2.11.3.5) [Ver boxe “Cuidados para evitar a propagação de fogo”].

Verifica-se, portanto, que a NBR 5410 oferece bastante liberdade ao projetista na definição das linhas em questão. E presume-se, conseqüentemente, que ele deveria buscar a melhor solução de compromisso, do ponto de vista econômico — uma solução que não onere o dimensionamento dos cabos, tendo em vista os fatores de correção por agrupamento previstos na norma, e nem incorra em despesas, com os condutos e/ou elementos de suporte, que anulem a economia obtida com os cabos.

De qualquer forma, há alguns critérios que o projetista pode adotar — no mínimo como ponto de partida — para dimensionar a bandeja ou leito destinado a acomodar um certo número de cabos, de tais e tais seções. Ou, inversamente, calcular a quantidade de cabos, de seções especificadas, que poderá ser disposta numa determinada bandeja ou leito.

O método de dimensionamento de bandejas ou leitos descrito a seguir é de aplicação simples e baseia-se em quatro pontos:

1) não são estabelecidas premissas quanto ao espaçamento entre os cabos — enfim, quanto a disposição que poderiam proporcionar um dimensionamento elétrico otimizado dos condutores. Portanto, os cabos podem ser admitidos contíguos e, se for o caso, em várias camadas;

2) a seção total de um cabo (S) é considerada igual ao quadrado de seu diâmetro externo (D). Isto é, despreza-se o fator $\pi/4$, para levar em conta os vazios entre os cabos. Assim,

$$S = D^2$$

3) é considerado um “coeficiente de enchimento” (k), igual a 1,4 para cabos de potência e a 1,2 para cabos de controle; e

4) é também considerado um “fator de reserva” (a), dado em porcentagem (quando não for prevista reserva, $a = 0$).

A seção mínima necessária (S_c) para a bandeja ou leito é dada por:

$$S_c = \sum_1^n S_i \times k \times \frac{100+a}{100}$$

Seja, por exemplo, dimensionar uma bandeja para conter 20 cabos unipolares de cobre, com isolamento e cobertura de PVC, 120 mm², admitindo-se, na bandeja, uma reserva de 20%.

Do catálogo de fabricante obtemos, para o cabo, $D = 19$ mm. Teremos:

$$S = 19^2 = 361 \text{ mm}^2$$

$$S_c = 20 \times 361 \times 1,4 \times \frac{100+20}{100} = 12\,130 \text{ mm}^2$$

o que pode conduzir à escolha de uma bandeja com, por exemplo, 215 mm de largura e 60 mm de altura (12 900 mm²).

Equacionado o aspecto “geométrico”, deve-se conferir o aspecto “mecânico”, isto é, avaliar se o peso dos cabos (por metro linear) é perfeitamente suportável pela bandeja ou se haveria necessidade, por exemplo, de reduzir o espaçamento entre os elementos de sustentação.

Quanto ao fator de agrupamento, as tabelas da NBR 5410 aplicáveis são a 37, para cabos em uma só camada, e a 42, para várias camadas.

CUIDADOS PARA EVITAR A PROPAGAÇÃO DE FOGO

Em 6.2.11.3.5, a NBR 5410 recomenda que o volume de material combustível dos cabos — isolamento, cobertura, capa interna, enchimento, enfim, tudo que for material combustível empregado na fabricação dos cabos — não exceda, por metro linear de linha elétrica em bandeja e leito,

3,5 dm³ para cabos da categoria BF da NBR 6812 ou

7,0 dm³ para cabos da categoria AF ou AF/R da NBR 6812.

A norma NBR 6812 é a que descreve o chamado *ensaio de queima vertical (fogueira)*. Esse ensaio destina-se a verificar as características do cabo quanto à não-propagação e auto-extinção do fogo. No

ensaio, realizado numa câmara especial, um feixe de cabos de mesma seção e cerca de 3 m de comprimento é alojado em um leito vertical e submetido à chama de um queimador, devendo então a amostra apresentar determinados resultados, especificados na norma, para que seja considerada aprovada.

As categorias AF e BF de que fala a NBR 6812 não se referem a tipos de cabos, mas sim ao volume de material não metálico envolvido no ensaio — em última análise, ao número de cabos que comporão a amostra (feixe). E é aí que entram os dois valores citados na NBR 5410, e extraídos da NBR 6812.

Com efeito, num ensaio de queima vertical da categoria BF a quantidade de cabos (ou de segmentos de cabos) ensaiada, qualquer que seja sua seção, não deve ser inferior ao equivalente a 3,5 dm³ de material combustível por metro linear. Na categoria AF, o parâmetro é 7 dm³.

Ao reproduzir esses valores na NBR 5410, os redatores da norma de instalações quiseram lembrar que as características de não-propagação e de auto-extinção (de fogo) dos cabos são garantidas, em princípio, para até aqueles valores, convindo não excedê-los — ainda que se possa contar com a segurança adicional representada pelo fato de que nas

Tab. I – Quantidade de cabos em bandeja, leito ou prateleira⁽¹⁾ – Cabos com isolamento e cobertura de PVC

Seção nominal (mm ²)	Cabos unipolares	Cabos tripolares	Cabos tetrapolares
1,5	189	52	44
2,5	163	40	38
4	115	29	26
6	102	24	22
10	89	20	17
16	76	17	14
25	52	11	10
35	46	9	8
50	33	10 ⁽²⁾	8 ⁽²⁾
70	30	9 ⁽²⁾	7 ⁽²⁾
95	23	7 ⁽²⁾	5 ⁽²⁾
120	22	6 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾
150	18	5 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾
185	14	4 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾
240	12	3 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾

(1) Considerando o limite de 3,5 dm³/m.
(2) Cabos setoriais

instalações as bandejas e leitos são normalmente dispostos na horizontal (quer dizer, a extensão das linhas na horizontal é bem superior à dos trechos verticais), quando o ensaio é feito na vertical, uma condição mais crítica.

As tabelas I e II indicam a quantidade de cabos que resultaria da aplicação da recomendação contida na NBR 5410, isto é: a partir de dados constantes de catálogos de fabricantes foi calculado o volume de material combustível por metro linear de cabo (v), para as diferentes seções e, a partir daí, deduzido o número de cabos que resultaria num volume total de material combustível de no máximo 3,5 dm³

por metro linear de linha elétrica ($n = 3,5/v$). E foi utilizado o valor de 3,5 dm³ porque os cabos de potência BT nacionais são submetidos, em sua grande maioria, ao ensaio de queima vertical categoria BF.

Observa-se, nas tabelas, que a recomendação da NBR 5410 é restritiva, principalmente para cabos multipolares. Nessas condições, quando for necessário utilizar uma quantidade de cabos superior à indicada nas tabelas, devem ser tomadas precauções para evitar uma eventual propagação de fogo, utilizando-se, por exemplo, barreiras corta-fogo convenientemente dispostas ao longo da linha em bandeja, leito ou prateleira.

Assim, a recomendação da norma deve ser entendida como um parâmetro a balizar a atenção do projetista para a necessidade ou não de cuidados extras com a propagação de fogo. Até porque não se pode garantir, categoricamente, que o próprio ensaio de queima vertical, na forma atual, seja um método perfeito, definitivo, para avaliação do problema. Verificou-se, aliás, que a aeração do feixe de cabos pode ser um fator tão ou mais crítico, na propagação do fogo, que o volume de material combustível envolvido, e que se torna mais acentuado dependendo das seções dos cabos.

Tab. II – Quantidade de cabos em bandeja, leito ou prateleira⁽¹⁾ – Cabos com isolamento de EPR e cobertura de PVC

Seção nominal (mm ²)	Cabos unipolares	Cabos tripolares	Cabos tetrapolares
1,5	154	43	36
2,5	129	37	31
4	115	29	26
6	101	24	22
10	89	20	17
16	76	17	14
25	52	11	10
35	46	9	8
50	33	6	5
70	30	5	4
95	23	4	3
120	22	3	3
150	18	3	2
185	14	2	2
240	12	1	1

(1) Considerando o limite de 3,5 dm³/m.

Condutores em paralelo

Uso de dois ou mais condutores em paralelo por fase — e, eventualmente, também no neutro —, ao invés de um único condutor, representa uma solução prática e econômica, quando se trata de transportar correntes elevadas, geralmente em circuitos de distribuição e em entradas de energia. Com efeito, quanto menor a seção do cabo, mais fácil seu manuseio e sua instalação e maior a corrente que pode ser conduzida por unidade de área.

Via de regra, costuma-se limitar a seção dos condutores, na grande maioria das aplicações, a 240 ou 300 mm². Assim, para correntes que exijam seções nominais maiores, recorre-se a dois ou mais condutores por fase, eletricamente ligados em ambas as extremidades, formando um único condutor — solução que pode ser estendida ao neutro ou ao condutor de proteção, quando for o caso. Por outro lado, não parece existir nenhuma razão de ordem prática para colocar em paralelo condutores de seção nominal inferior a 50 mm² (pelo menos nas aplicações correntes).

A NBR 5410 prescreve, em 6.2.5.7, que sejam tomadas medidas para garantir a igual divisão de corrente entre os condutores ligados em paralelo na mesma fase (ou polaridade, no caso de CC).

Para garantir o mais possível uma igual divisão de corrente entre os condutores ligados numa mesma fase (ou no neutro, se for o caso), é necessário *inicialmente* que esses condutores:

- tenham o mesmo comprimento;
- sejam de mesmo material condutor (cobre ou alumínio);
- tenham a mesma seção nominal;
- tenham o mesmo tipo de isolamento;
- tenham terminações iguais.

Admitamos um circuito constituído por cabos unipolares contíguos numa bandeja, leito ou prateleira, com n cabos por fase, sendo os cabos de cada fase agrupados lado a lado, isto é

RR.....RTT.....TSS.....S

Verifica-se que a distribuição de correntes será muito irregular entre os cabos de uma mesma fase e que haverá de-

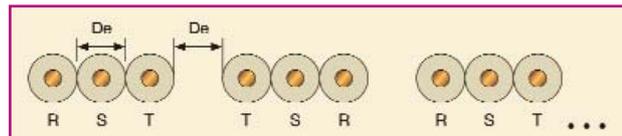


Fig. 1 – Disposição com os cabos de cada grupo RST posicionados lado a lado

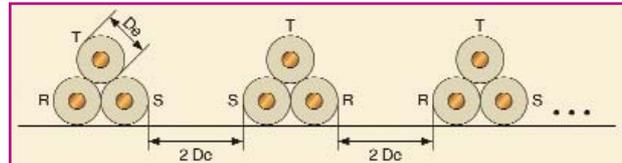


Fig. 2 – Disposição com os cabos de cada grupo RST posicionados em trifólio

sequilíbrio também na estrela de tensões na barra da carga. A razão desses desequilíbrios é a diferença entre as *indutâncias mútuas* dos cabos.

Se os cabos unipolares contíguos forem dispostos com as três fases agrupadas, isto é

RSTTSRRSTTSR.....

as correntes, embora diferentes nas três fases, serão iguais nos condutores de cada fase. Se tivermos cabos unipolares, ou condutores isolados, contidos em condutos fechados, cada conduto deverá conter as três fases e os diversos condutos deverão ter as mesmas características físicas e, principalmente no caso de condutos magnéticos fechados, é desejável, caso exista neutro no circuito, que cada conduto contenha seu condutor neutro.

Para igualdade das correntes, não só entre os condutores de cada fase, como entre as três fases, e para o equilíbrio das tensões na carga, as soluções mais satisfatórias consistem em utilizar cabos unipolares em trifólios ou cabos multipolares de idênticas características físicas.

Para cabos unipolares em bandejas, leitos para cabos ou prateleiras, tipos comuns de linhas, em instalações industriais e em grandes instalações comerciais, são as seguintes as disposições mais recomendadas:

1) num mesmo plano, pode-se ter

RST TSR RST TSR.....

mantendo-se entre dois grupos consecutivos uma distância equivalente a um diâmetro externo de cabo, assumindo-se que os cabos de um mesmo grupo sejam dispostos de forma contígua (figura 1);

2) ainda num mesmo plano (e apenas no mesmo plano), uma disposição dos grupos em trifólios separados entre si de uma distância da ordem do dobro do diâmetro externo do cabo, como indicado na figura 2;

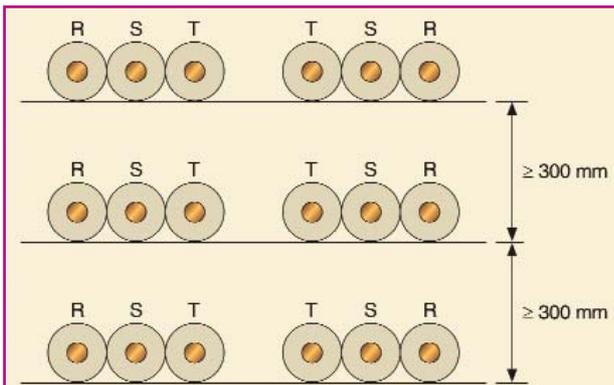


Fig. 3 – Disposição dos cabos em diferentes planos

3) em diferentes planos, os cabos devem ser dispostos como indicado a seguir

RST	TSR	
RST	TSR	
RST	TSR	...

devendo ser de 300 mm, no mínimo, a distância vertical entre os níveis, obedecendo-se em cada nível as recomendações de 1) (figura 3).

Vejamos um exemplo de dimensionamento, em que se evidencia também o uso dos fatores de agrupamento.

Seja alimentar um quadro de distribuição, com três fases e PEN e uma corrente de 720 A, utilizando condutores de cobre com isolamento de PVC e admitindo um local a 30°C, com solo a 20°C. Uma rápida olhada nas tabelas de capacidade de condução de corrente da NBR 5410 mostra que a seção necessária será superior a 300 mm², qualquer que seja o tipo de linha previsto. Logo, é conveniente utilizar condutores em paralelo. Vamos optar por três condutores por fase e dimensionar para duas possibilidades,

a) três cabos tetrapolares contidos em eletrodutos enterados, espaçados de 0,5 m, lado a lado, e

b) três cabos tetrapolares contíguos em bandeja perfurada,

considerando apenas o critério da capacidade de condução de corrente, desprezando a presença de outros circuitos.

Teremos então três circuitos, cada um correspondendo a um cabo tetrapolar (3 fases + PEN), com corrente de projeto $I_B = 720/3 = 240$ A. No caso a) o fator de agrupamento será 0,90 (tabela 39 da NBR 5410) e a corrente fictícia de projeto $I_B' = 240/0,9 = 267$ A, levando assim a uma seção nominal de 240 mm² (vide tabela 31 da norma, linha tipo D). No caso b), o fator será 0,82 (tabela 37 da norma) e $I_B' = 240/0,82 = 293$ A, levando a uma seção nominal de 150 mm² (tabela 33, coluna 3).

Linhas elétricas em shafts

Uma das formas de instalação mais comuns em edifícios é aquela alojada em poços verticais, chamados de *shafts*. Trata-se de aberturas nos pisos dos andares, todas alinhadas, formando uma “chaminé” por onde passam os condutores que alimentam as cargas ao longo do prédio.

Esses *shafts* costumemente se transformam em objeto de grande disputa entre os responsáveis pelas instalações elétricas, hidráulicas, de segurança contra incêndio, de ar condicionado e outras utilidades, uma vez que o espaço disponibilizado pelos arquitetos é pouco para tantas tubulações.

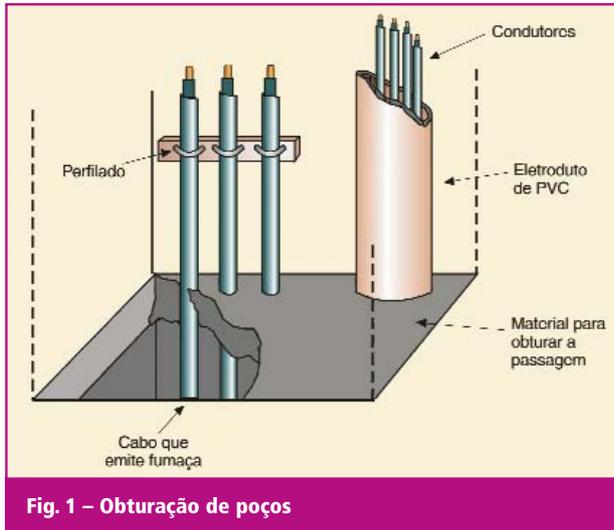
Para bem lutar por seu espaço nos *shafts*, é fundamental que o profissional de instalação elétrica esteja familiarizado com o que a NBR 5410 prescreve para tais locais.

Primeiramente, vejamos a terminologia relativa aos *shafts*. A NBR IEC 50 (826) - *Vocabulário eletrotécnico internacional - Instalações elétricas em edificações* define poço como “espaço de construção vertical, estendendo-se, geralmente, por todos os pavimentos da edificação”. E *espaço de construção*, por sua vez — ainda conforme a mesma norma —, “é aquele existente na estrutura ou nos componentes de uma edificação, acessível apenas em determinados pontos”.

Proteção contra incêndio

Em 6.2.9.6.3, referindo-se a linhas elétricas em *shafts*, a NBR 5410 prescreve que toda travessia de piso deve ser obturada de modo a impedir a propagação de incêndio. Esse bloqueio deve ser garantido por materiais capazes de suportar a ação de chama direta por um determinado tempo. Na norma de instalações, não há referência explícita quanto ao tipo de material e seus requisitos técnicos. Na falta de uma orientação mais precisa, é razoável exigir do material que irá obturar a passagem as mesmas propriedades impostas, por exemplo, aos cabos conforme a IEC 60331: *Tests for electric cables under fire conditions - Circuit integrity*, isto é, resistência à chama direta de 750°C por três horas consecutivas.

Tem-se observado, em alguns casos, a utilização de concreto magro ou de gesso como elemento de obturação, além de certas “espumas” que impedem a propagação das



chamas. Não se pode improvisar ou deixar dúvidas nessa questão. O material empregado deve ter resistência ao fogo comprovada, definida (temperatura e tempo) e informada pelo fabricante/fornecedor do material.

Só são dispensadas de bloqueio contra propagação de incêndio, nos *shafts*, as linhas elétricas dotadas de condutores e/ou condutos resistentes ao fogo, livres de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos. Assim, distinguem-se aqui três possibilidades:

- se a linha se resumir ao cabo (preso diretamente à parede do poço por abraçadeiras ou outros fixadores), este deverá, obviamente, atender à condição indicada;
- a situação se repete se o cabo for acomodado em um conduto aberto. Adicionalmente, o conduto, sobretudo se for contínuo (e não apenas suportes de pequenas dimensões, espaçados), deverá também atender à condição indicada;
- todavia, o cabo poderá ser “apenas” antichama se estiver contido em conduto fechado e esse conduto for, ele próprio, resistente ao fogo, livre de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos. É o caso dos eletrodutos metálicos, de seção circular ou não.

Linhas que não se enquadrem nessas três possibilidades, como as prumadas aparentes compostas de eletrodutos de PVC, por exemplo — não importando o tipo de condutor neles contido —, devem ser obturadas em todas as travessias de pisos. É o caso, também, de linhas “abertas” — como mencionado, cabos alojados em condutos abertos, fixados a suportes ou, ainda, diretamente à parede do shaft — quando o cabo não for do tipo resistente à chama, livre de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos (figura 1).

Ainda assim, com obturação e tudo, linhas como as desses dois últimos exemplos só são admitidas, **em certos locais**, se o *shaft* — visto como um componente da instalação — possuir grau de proteção IP5X, no mínimo, e for acessível somente com a utilização de chave ou ferramenta (tampa de acesso com fechadura ou aparafusada).

Que locais? Aqueles objeto de uma seção específica da norma, a 5.8.2, que fixa cuidados especiais, visando a segurança contra incêndios, em locais

- BD2, BD3 e BD4;
- BE2;
- CA2; e
- CB2.

A classificação BD refere-se às condições de fuga das pessoas em emergências [o artigo “Linhas elétricas em locais de afluência de público” cobre o assunto em detalhes].

Já os locais BE2 são aqueles que apresentam riscos de incêndio, como os que processam ou armazenam papel a granel, farinha, aparas de madeira e matérias plásticas, entre outros materiais.

Locais CA2 são aqueles construídos principalmente com materiais combustíveis, como madeira e lonas plásticas. E CB2, por fim, aqueles com estruturas que podem propagar incêndios em função de suas formas e dimensões, como edificações de grande altura (prédios residenciais com mais de 15 pavimentos e não-residenciais com mais de 6 pavimentos), ou ainda edificações com sistemas de ventilação forçada.

Com os requisitos relativos ao grau de proteção (provido, naturalmente, por uma compartimentação incomustível) e à acessibilidade, a norma na verdade abre caminho para que as linhas elétricas no interior do *shaft* possam ser consideradas “embutidas” e, assim, fora das exigências que ela própria estabelece para as linhas aparentes, naqueles locais (BD2, BD3, etc.). Exigências que, por sinal, são aquelas mesmas, já descritas, impostas às linhas em *shafts* quando não forem usados bloqueios corta-fogo nas travessias dos pisos.

Não fosse então essa “abertura”, estaria morta, em última análise, a possibilidade de adotar nos *shafts dos locais em questão* soluções de linhas elétricas que não o uso de cabos e/ou condutos resistentes ao fogo, livres de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos; e dispensada, conseqüentemente, qualquer discussão sobre o uso de bloqueios corta-fogo.

IP5X significa: protegido contra poeira [ver artigo “Influências externas e graus de proteção”]. Não uma vedação total; mas a poeira não deve penetrar em grande quantidade. Isso seria conseguido, na prática, com a utilização de tampas sem aberturas e com alguma vedação (guarnição) nos acessos ao *shaft* nos andares.

Vizinhança com outras linhas elétricas

As linhas elétricas de baixa tensão e as de tensão superior a 1000 V não devem ser colocadas no mesmo poço, a

menos que sejam tomadas precauções para evitar que os circuitos de baixa tensão sejam submetidos a sobretensões, em caso de falta na rede de MT.

Tais precauções podem incluir, no caso mais simples, a colocação de uma barreira física entre as linhas. No entanto, o mais prudente é não colocar, no mesmo *shaft*, linhas de baixa e de média tensão.

Dutos de ar condicionado, ventilação e exaustão

Embora os dutos mencionados nem sempre sejam shafts, é conveniente lembrar que a NBR 5410 proíbe, em 6.2.9.4.3, que linhas elétricas sejam instaladas no interior de dutos de exaustão de fumaça ou de ventilação. Portanto, cuidado com forros e pisos elevados utilizados para retorno de sistemas de ar condicionado, ventilação ou exaustão!

Tipos de condutores em shafts

O parágrafo 6.2.11.5.1 da NBR 5410 estabelece que podem ser utilizados nos *shafts* condutores isolados e cabos uni ou multipolares, sob qualquer forma normalizada de instalação, desde que os condutores ou cabos possam ser instalados ou retirados sem intervenção nos elementos de construção do prédio.

Tem havido uma certa confusão sobre o significado de “forma normalizada de instalação”. A intenção da norma é apenas lembrar um dos critérios gerais com que disciplina a composição das linhas elétricas: o de que, em princípio, condutores dotados apenas de isolamento têm de ser instalados dentro de condutos fechados e condutores com isolamento e cobertura podem ser instalados em qualquer tipo de linha.

Assim, por exemplo, em um *shaft* pode ser utilizado condutor apenas isolado, desde que no interior de eletrodutos ou eletrocalhas fechadas, fixados à parede do poço.

Dimensionamento de circuitos contidos em shafts

Os *shafts* estão genericamente relacionados, na tabela 28 da NBR 5410 (a que apresenta os tipos de linhas elétricas), como “espaços de construção”. São os métodos de instalação identificados pelos números 21 a 25, naquela tabela.

Para se determinar a capacidade de corrente de um condutor dentro do *shaft*, o método de referência, como indica a tabela I do artigo “O roteiro das linhas elétricas”, é o B1 ou B2, dependendo do caso. As tabelas de capacidade de condução de corrente que abrangem esses dois métodos são

as tabelas 31 e 32 da norma. Conseqüentemente, no dimensionamento de um circuito em *shaft* deve ser utilizada a coluna B1 ou B2 da tabela 31 (PVC) ou 32 (EPR/XLPE) da norma, afetado ou não pelos fatores de correção por agrupamento da tabela 37.

Linhas elétricas enterradas

As linhas elétricas enterradas, constituídas por cabos diretamente enterrados no solo ou contidos em eletrodutos enterrados no solo (linhas-tipo 61, 62 e 63, tabela 28 da NBR 5410), são uma maneira de instalar que exige certas precauções, tendo em vista as solicitações de diversas naturezas a que os cabos podem ser expostos — movimentação de terra, contato com corpos duros, choque (mecânico) de ferramentas, umidade e ações químicas causadas por elementos do solo.

Condutores admitidos

Conforme 6.2.11.6.1 da norma, os cabos diretamente enterrados ou contidos em eletrodutos enterrados devem

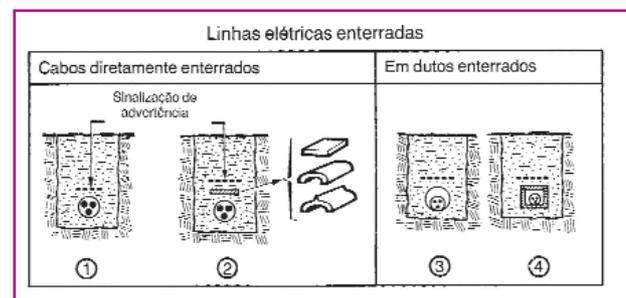


Fig. 1 – As linhas subterrâneas devem ser adequadamente protegidas contra solicitações mecânicas, umidade e agentes químicos. Especialmente no caso de linhas constituídas de cabos diretamente enterrados, a resistência aos agentes químicos e à ação da água pode ser garantida com uma judiciosa seleção do cabo — vale dizer, dos materiais de isolamento e de cobertura do cabo. Quanto à proteção mecânica, ela pode ser provida pelo próprio cabo (1), se for do tipo armado. Se o cabo não for armado, e levando em conta o risco mais comum de dano mecânico, que é aquele decorrente de escavações, ele deve contar com uma proteção mecânica complementar — por exemplo, placas de concreto (2), eletrodutos (3) ou canaletas de concreto (4). Além disso, acima da linha elétrica (10 cm, no mínimo) deve ser disposto, de forma contínua, um elemento de advertência, não sujeito a corrosão.

ser unipolares ou multipolares. Quando diretamente enterrados, eles devem ser do tipo armado (isto é, construtivamente dotados de armação metálica) ou então providos, na instalação, de proteção mecânica adicional (figura 1).

No entanto, a norma admite que sejam utilizados condutores isolados dentro de eletrodutos enterrados se não houver qualquer caixa de passagem em toda a extensão da linha e se for garantida a estanqueidade do eletroduto.

Prescrições para instalação

Em 6.2.11.6.3 são impostas, para as linhas enterradas de qualquer tipo, as profundidades de (ver figura 2):

- 0,70 m em terreno normal; e de
- 1 m na travessia de vias acessíveis a veículos e numa zona de 0,50 m de largura, de um e de outro lado dessas vias.

Essas profundidades podem ser reduzidas em terreno rochoso ou quando os cabos estiverem protegidos, por exemplo, por eletrodutos que suportem sem danos as influências externas a que possam ser submetidos.

Sobre a sinalização de linhas enterradas, a NBR 5410 exige sinalização contínua por elemento de advertência não sujeito a corrosão (fita colorida, por exemplo) e disposto a, no mínimo, 10 cm acima da linha (6.2.11.6.6).

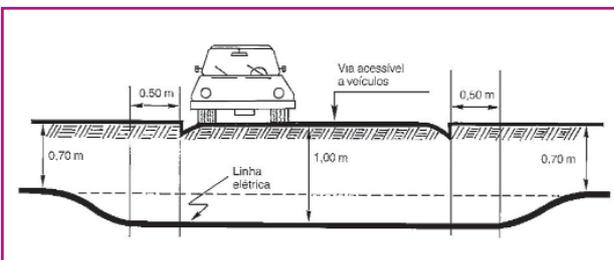


Fig. 2 – Em terreno normal, a profundidade mínima dos cabos diretamente enterrados deve ser de 0,70 m em relação à superfície do solo; esse valor deve ser aumentado para 1,00 m na travessia de vias acessíveis a veículos, incluindo uma faixa contígua de 0,50 m em ambos os lados da via.

Caso a linha elétrica enterrada venha a cruzar com outra linha, também elétrica, deve ser observado um afastamento mínimo de 0,20 m entre elas.

Em relação a condutos de outras linhas que não elétricas, o afastamento mínimo também é de 0,20 m, qualquer que seja a situação relativa das duas linhas, de cruzamento ou de simples aproximação. A distância, portanto, é a mínima admissível entre dois pontos quaisquer das duas linhas. Mas a norma permite uma redução desse afastamento quando as linhas elétricas e os condutos de outras instalações forem separados por meios que garantam uma segurança equivalente.

Linhas elétricas em locais de afluência de público

A NBR 5410 estabelece que devem ser tomadas medidas especiais para a prevenção de incêndios em locais de afluência de público. Essas medidas são reiteradas e reforçadas na NBR 13570 - “Instalações elétricas em locais de afluência de público - Procedimento”.

Os locais de afluência de público são designados na NBR 5410, em sua tabela 15, pela classificação BD3 e BD4. O código BD refere-se às condições de fuga das pessoas em emergências, a saber:

- BD3 é uma situação de fuga “incômoda”, típica de locais de alta densidade de ocupação e condições de fuga fáceis. São os casos de teatros, cinemas e áreas de circulação de shopping centers, onde há (ou deveria haver) grandes e muitas saídas de emergência disponíveis;
- BD4 é uma situação de fuga “longa e incômoda”, característica de locais de alta densidade de ocupação e condições de fuga difíceis. Exemplos destes locais são hotéis e hospitais.

Mas a NBR 5410 fala apenas em “alta densidade de ocupação”, sem especificar exatamente de quantas pessoas se está tratando em cada caso. A NBR 13570 esclarece melhor o assunto: em sua tabela A.1, ela estabelece a quantidade de pessoas a partir da qual um dado local passa a ser considerado como de afluência de público. A seguir, na tabela A.2, a norma aponta a classificação BD para cada tipo de local.

Como exemplo de aplicação destas tabelas, vamos tomar os cinemas. Conforme o item 02 da tabela A.1 (transcrita parcialmente na tabela I aqui publicada), qualquer cinema com capacidade a partir de 50 pessoas já é considerado um local de afluência de público. E, pelo item 01 da tabela A.2 (também transcrita em parte aqui, na tabela II), um cinema deve ser classificado como BD3 ou BD4 — o que, neste caso, não é relevante, pois as prescrições são as mesmas para as duas classificações.

É importante destacar, como faz o item 1.4 da NBR 13570, que a norma não se aplica aos ambientes não acessíveis ao público, tais como salas administrativas, técnicas ou operacionais. Assim, em nosso exemplo anterior, a sala da ge-

Tab. I – Locais de afluência de público e capacidade mínima⁽¹⁾

Item	Local	Capacidade mínima (quantidade de pessoas) ⁽²⁾
01	Auditórios, salas de conferências/reuniões	200
02	Cinemas	50
03	Hotéis, motéis, similares	50
04	Locais de culto	300
05	Estabelecimentos de atendimento ao público	100
:	:	:
:	:	:
24	Estações e terminais de sistemas de transporte	⁽³⁾

(1) Reprodução parcial da tabela A.1 da NBR 13570.

(2) O cálculo da capacidade dos locais deve ser regulamentado pelas autoridades competentes, normalmente o Poder Público Municipal.

(3) Nestes locais, a aplicação da norma independe da quantidade de pessoas.

Tab. II – Classificação das influências externas de acordo com a codificação da NBR 5410⁽¹⁾

Item	Local	BD
01	Auditórios, salas de conferências/reuniões, cinemas, hotéis, motéis e similares, locais de culto, estabelecimentos de atendimento ao público, bibliotecas, arquivos públicos, museus, salas de arte	3 ou 4
07	Circulações e áreas comuns em centros comerciais, shopping centers	3
15	Estações e terminais de sistemas de transporte	3 ou 4

(1) Reprodução parcial da tabela A.2 da NBR 13570.

rência do cinema ou a sala de projeção dos filmes, onde não há acesso de grande quantidade de pessoas, não são locais BD3 ou BD4 (seriam tipicamente locais BD1) e, dessa forma, a instalação elétrica no interior de tais salas segue as prescrições gerais da NBR 5410.

Em seu item 4.2 *Seleção e instalação das linhas elétricas*, a NBR 13570 aponta uma série de medidas específicas aplicáveis a locais de afluência de público.

Antes de mais nada, em locais BD3 ou BD4 somente podem ser utilizados condutores de cobre (4.2.1). Isto evita os riscos potenciais de elevações de temperaturas indesejadas em ligações com cabos de alumínio. Além disso, todos os cabos utilizados têm de ser do tipo antichama (4.2.2) — melhor dizendo, no mínimo antichama. Pois, dependendo do tipo de

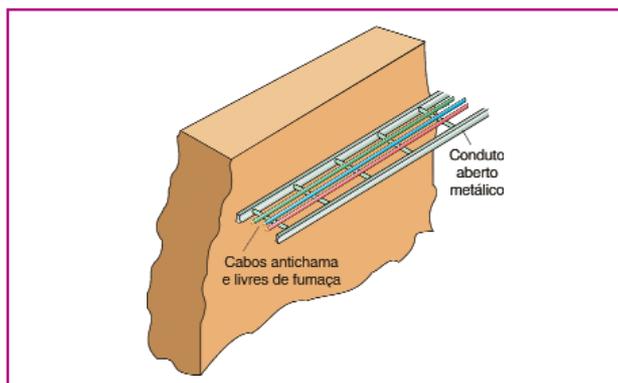


Fig. 1 – Instalação em linha aparente com conduto aberto em locais BD3 e BD4

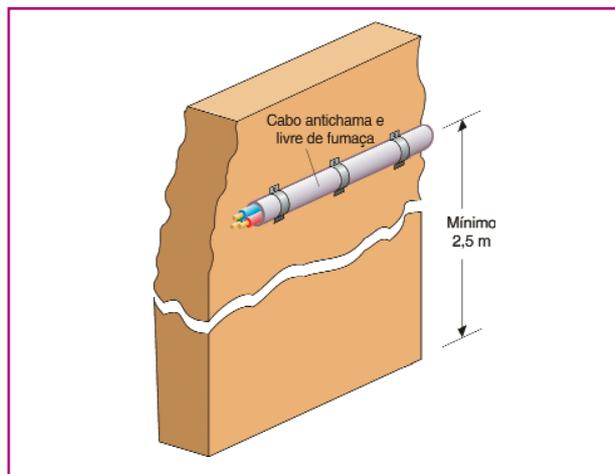


Fig. 2 – Instalação em linha aparente com cabo diretamente fixado, em locais BD3 e BD4

linha, cabos e condutos devem atender a exigências adicionais, como veremos.

Linhas "abertas"

As linhas elétricas aparentes constituídas por *condutos abertos* devem utilizar *cabos e condutos* livres de halogênios e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos (4.2.4.a, 4.2.4.b). Isso quer dizer que nos locais indicados, quando as linhas não forem embutidas e utilizarem eletrocalhas sem tampa, leitos, suportes, prateleiras, etc., ou seja, um conduto no qual o cabo pode ser diretamente atingido pelo fogo, é obrigatório o uso de cabos que atendam à norma NBR 13248 – “Cabos de potência e controle com isolamento sólida extrudada e com baixa emissão de fumaça, para tensões de isolamento até 1 kV – Especificação”. Tais cabos, quando queimam, praticamente não emitem fumaça nem gases prejudiciais à saúde (tóxicos) e à integridade do patrimônio (corrosivos).

Além disso, como mencionado, os próprios condutos têm de ser isentos de fumaça, o que leva, na prática, a condutos metálicos (figura 1).

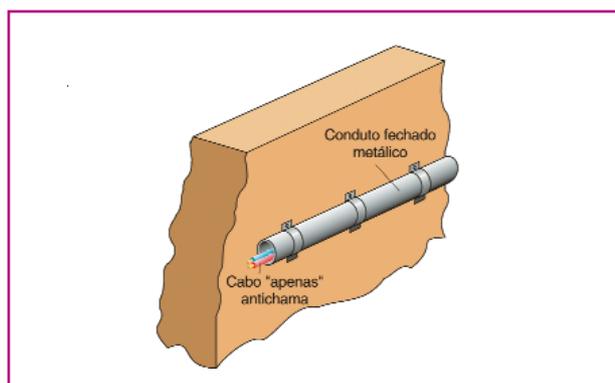


Fig. 3 – Instalação em linha aparente com conduto fechado em locais BD3 e BD4

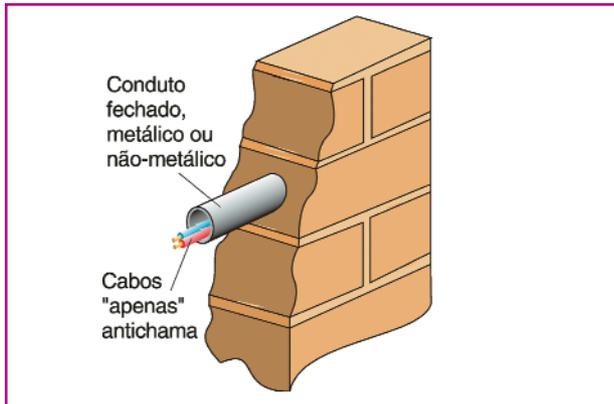


Fig. 4 – Instalação em linha embutida em locais BD3 e BD4

Naturalmente, a obrigatoriedade de cabos antichama e isentos de fumaça também se aplica a linhas aparentes em que o cabo é diretamente fixado em parede ou teto. E neste caso a linha (ou seja, o cabo) deve estar, no mínimo, 2,5 m acima do piso acabado (4.2.4.a) (figura 2).

A exigência de cabos e condutos que não emitam fumaça é mais do que justificável. Levantamentos realizados após grandes incêndios com vítimas (edifícios Andraus, Joelma, Grande Avenida, Andorinhas, etc.) revelaram que a maioria das mortes ocorreu por asfixia, devido à grande quantidade de fumaça no local. É claro que os cabos e os condutos não são os únicos responsáveis pela

geração da fumaça durante um incêndio, mas eles contribuem com uma parcela importante, tanto em quantidade quanto em toxicidade.

Condutos fechados

Quando os condutos forem fechados (eletrodutos, eletrocalhas com tampas), eles é que devem ser antichama e não emitir fumaça, enquanto os cabos em seu interior podem ser “apenas” antichama (4.2.4.c). Até o momento, os únicos condutos fechados que atendem às exigências mencionadas são aqueles fabricados com materiais metálicos (eletrodutos metálicos, eletrocalhas metálicas, etc.) (figura 3).

Linhas embutidas

As linhas embutidas devem estar envolvidas por material incombustível (4.2.3). Isto é obtido naturalmente em instalações de eletrodutos em alvenaria, por exemplo (figura 4). Observe-se que nestes casos os cabos podem ser “apenas” antichama e os condutos podem ser metálicos ou isolantes. Em nenhuma hipótese é permitida, nos locais analisados, a instalação de cabos diretamente embutidos em alvenaria (4.2.5).

PROTEÇÃO CONTRA SOBRECORRENTES

Normalização IEC de disjuntores BT	140
Tipos e normalização de dispositivos fusíveis	145
Equacionamento da proteção contra sobrecargas	151
Equacionamento da proteção contra curtos-circuitos	155
Determinação da corrente de curto-circuito presumida	163
Integral de Joule: coordenando condutores e dispositivos de proteção ..	169
Corrente de curto mínima: atenção ao comprimento do circuito	175
Proteção de cabos em paralelo	181

Normalização IEC de disjuntores BT

Os disjuntores de baixa tensão são hoje cobertos por uma completa normalização internacional (tabela I), liderada pela IEC 60947-2 — no Brasil, NBR IEC 60947-2. Esta norma aplica-se a todos os disjuntores cujos contatos principais são destinados à ligação a circuitos cuja tensão nominal não ultrapassa 1000 VCA ou 1500 VCC, quaisquer que sejam as correntes nominais, os métodos de construção e a utilização prevista.

A IEC 60898 (no Brasil, NBR IEC 60898) trata especificamente dos disjuntores de tensão nominal inferior ou igual a 440 V, corrente nominal inferior ou igual a 125 A, para uso em circuitos CA de instalações domésticas e análogas, concebidos para uso por pessoas não advertidas ou qualificadas e para não exigir manutenção (o que não quer dizer que eles não possam ser usados em instalações industriais, claro). É o domínio, por excelência, dos *minidisjuntores* (ou, na denominação internacional, MCB, de *miniature circuit-breakers*). A IEC 60898 não se aplica aos disjuntores destinados à proteção de motores e àqueles cuja regulagem de corrente seja acessível ao usuário.

As prescrições relativas aos disjuntores para equipamentos constam da IEC 60934, enquanto os disjuntores utilizados como dispositivos de partida de motores são tratados, pelo menos parcialmente, pela IEC 60947-4.

Os disjuntores, no exercício da função principal de proteção contra sobrecorrentes, operam através de disparadores que podem ser térmicos, magnéticos e eletrônicos.

Os disjuntores mais tradicionais, para uso geral, são equipados com disparadores térmicos, que atuam na ocorrência de sobrecorrentes moderadas (tipicamente correntes de sobrecarga), e disparadores magnéticos, para sobrecorrentes elevadas (tipicamente correntes de curto-circuito). Daí o nome *disjuntores termomagnéticos*.

O *disparador térmico* típico é constituído de uma lâmina bimetalica que se curva sob ação do calor produzido pela passagem da corrente. Essa deformação temporária da lâmina, devido às diferentes dilatações dos dois metais que a compõem, provoca, em última análise, a abertura do disjuntor. O disparador térmico bimetalico apresenta característica de atuação a tempo inverso, isto é, o disparo se dá em um tempo tanto mais curto quanto mais elevada for a (sobre)corrente.

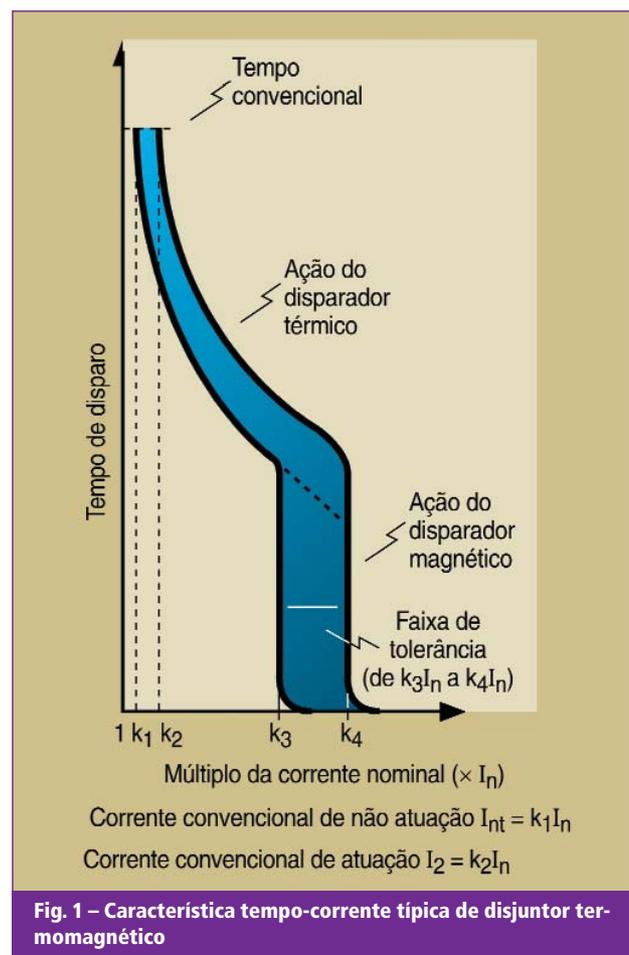
Alguns disparadores térmicos possuem uma *faixa de corrente de ajustagem*. Também existem disparadores térmicos *com compensação de temperatura*.

Já o *disparador magnético* é constituído por uma bobina (eletroímã) que atrai um peça articulada (armadura) quando a corrente atinge um certo valor. Esse deslocamento da armadura provoca, através de acoplamentos mecânicos, a abertura dos contatos principais do disjuntor. Há disjuntores que têm o disparo magnético ajustável.

A figura 1 mostra a *característica tempo-corrente* típica de um disjuntor termomagnético, evidenciando a atuação do disparador térmico de sobrecarga (a tempo inverso) e do disparador magnético (instantâneo).

O *disparador eletrônico*, por fim, compreende sensores de corrente, uma eletrônica de processamento dos sinais e de comando e atuadores. Os sensores de corrente são constituídos de um circuito magnético e elaboram a imagem da corrente medida. A eletrônica processa as informações e, dependendo do valor da corrente medida, determina o disparo do disjuntor no tempo previsto. A *característica tempo-corrente* dos disparadores eletrônicos apresenta três zonas de atuação (figura 2):

— a zona de proteção térmica de longo retardo, que repre-



senta um modelamento das características de elevação de temperatura dos condutores;

- a zona de curto retardo, que assegura a proteção contra correntes de falta distantes. O curto retardo, que é compatível com os limites de elevação de temperatura dos condutores, possibilita seletividade com dispositivos de proteção a montante;
- a zona de atuação instantânea, que é a da proteção contra curtos-circuitos elevados e imediatamente a jusante do disjuntor.

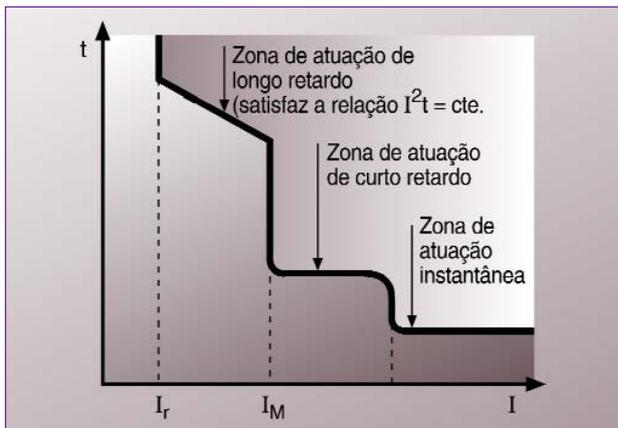


Fig. 2 – Característica tempo-corrente de um disparador eletrônico. I_r pode ser ajustado, tipicamente, entre 0,4 e 1 vez a corrente nominal; e I_M entre 2 e 10 vezes I_n .

Características nominais

● **Tensões nominais** – Os disjuntores são caracterizados pela *tensão nominal de operação*, ou *tensão nominal de serviço* (U_e) e pela *tensão nominal de isolamento* (U_i). Nos catálogos dos fabricantes, freqüentemente indica-se apenas a primeira, chamada simplesmente de *tensão nominal* ($U_n = U_e$). Geralmente, U_i é o maior valor admissível de U_e .

● **Correntes nominais** – De acordo com a IEC 60947-2, a *corrente nominal* (I_n) de um disjuntor é a corrente ininterrupta nominal (I_u) e tem o mesmo valor da corrente térmica convencional ao ar livre (I_{th}), isto é, $I_n = I_u = I_{th}$. A norma não padroniza valores de I_n .

A IEC 60898, mais explícita, define *corrente nominal* como a corrente que o disjuntor pode suportar em regime ininterrupto, a uma temperatura de referência especificada. A norma considera 30°C como temperatura ambiente de referência e indica os seguintes valores preferenciais de I_n : 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 e 125 A.

Via de regra, os fabricantes de disjuntores termomagnéticos indicam, além das correntes nominais na temperatura de referência, valores de I_n correspondentes a outras temperaturas ou então os fatores a aplicar para

temperaturas diferentes das de referência.

● **Correntes convencionais** – A IEC 60947-2 define a *corrente convencional de atuação* (I_2) e a *corrente convencional de não-atuação* (I_{nt}) em função da corrente de ajustagem I_r . Já a IEC 60898 — que, como vimos, aplica-se a disjuntores cuja regulagem de corrente não é acessível — define ambas as grandezas em função da corrente nominal. A tabela II indica os valores definidos em ambas as normas.

● **Disparo instantâneo** – A IEC 60898 define, para o disparo instantâneo, em geral magnético, as faixas de atuação B, C e D ilustradas na figura 3:

- B: de $3 I_n$ a $5 I_n$;
- C: de $5 I_n$ a $10 I_n$;
- D: de $10 I_n$ a $20 I_n$.

A fixação das três faixas, através de valores-limite, não significa, porém, que o fabricante deva observá-los estritamente, particularmente no que se refere ao limite superior. Em outras palavras, determinado fabricante pode oferecer um disjuntor com característica D, mas com faixa de atuação de $10 I_n$ a, digamos, $15 I_n$.

A IEC 60947-2, por sua vez, refere-se a “abertura em condição de curto-circuito” e prescreve apenas que o disjuntor correspondente deve provocar a abertura do disjuntor com uma precisão de $\pm 20\%$ em torno do valor ajustado/calibrado.

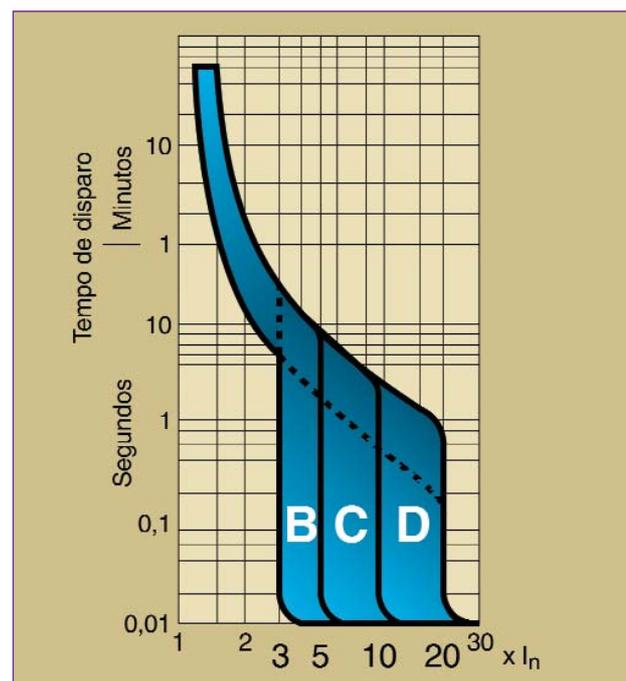


Fig. 3 – Características tempo-corrente de minidisjuntores normalizadas pela IEC 60898

Tab. I – As diferentes categorias de disjuntores BT

Categoria	Características	Normas	Correntes nominais	Aplicações
Minidisjuntores – Disjuntores para instalações domésticas e análogas	<ul style="list-style-type: none"> • Construção modular, montagem em trilho (quando padrão DIN) • Disparador não ajustável 	IEC 60898	0,5 a 125 A	Proteção de circuitos terminais em instalações com tensão de no máximo 440 VCA
Disjuntores para uso geral:	Construção consagrada, e tecnologia em constante aperfeiçoamento. Ampla variedade de disparadores e acessórios Ao lado da tradicional construção aberta, versões em invólucros isolantes. Unidades de disparo versáteis e com amplos recursos, incluindo comunicação	IEC 60947-2	40 a 3200 A	Proteção de circuitos principais, de distribuição e terminais
Disjuntores em caixa moldada			630 a 6300 A	Proteção do quadro geral (QGBT)
Disjuntor-motor	Características apropriadas às dos motores. Podem ser usados como dispositivo de partida.	IEC 60947-2 IEC 60947-4.1	0,1 a 63 A	Circuitos de alimentação de motores, máquinas e processos industriais
Disjuntores para equipamentos	Dispositivos simples, geralmente proporcionando proteção contra sobrecargas mas não contra curtos-circuitos	IEC 60934	0,1 a 125 A	Destinados a ser incorporados a equipamentos de utilização (eletrodomésticos, bombas, etc.)

● **Capacidades de interrupção** – A IEC 60947-2 define *capacidade limite de interrupção* (de curto-circuito) I_{cu} e *capacidade de interrupção* (de curto-circuito) em serviço I_{cs} .

Já a IEC 60898 refere-se simplesmente a *capacidade de interrupção nominal* (I_{cn}), igual à capacidade limite de interrupção, isto é $I_{cn} = I_{cu}$, fixando os valores de 1,5, 3, 4,5, 6, 10, 15, 20 e 25 kA. A *capacidade de interrupção em serviço* é definida em função de I_{cn} , sendo fixados os seguintes valores:

- para $I_{cn} \leq 6$ kA, $I_{cs} = I_{cn}$;
- para $6 < I_{cn} \leq 10$ kA, $I_{cs} = 0,75 I_{cn}$ (mínimo de 6 kA);
- para $I_{cn} > 10$ kA, $I_{cs} = 0,5 I_{cn}$ (mínimo de 7,5 kA).

São as características I_{cu} e I_{cn} que devem ser comparadas, no projeto da instalação, com o valor da corrente de curto-circuito presumida no ponto de instalação do disjuntor [Ver artigo “Equacionamento da proteção contra curtos-circuitos”]. Assim,

$$I_{cu} \text{ ou } I_{cn} \text{ (do disjuntor)} \geq I_k \text{ presumida (do sistema)}$$

I_{cu} e I_{cn} representam, enfim, a máxima corrente de curto-circuito que um disjuntor é capaz de interromper.

Mas no cálculo da corrente de curto-circuito presumida I_k geralmente são assumidas, em favor da segurança, condições e circunstâncias que correspondem ao pior caso. O resultado é que quando um curto-circuito ocorre, seu valor na realidade é bem inferior ao da corrente presumida I_k .

Por outro lado, é importante que essas correntes de curto menores, mas com maior probabilidade de ocorrência, sejam interrompidas em perfeitas condições, de forma que

o retorno ao serviço, após a eliminação da falta, seja rápido e seguro para toda a instalação.

É essa a razão da *capacidade de interrupção em serviço* I_{cs} , cuja comprovação as normas assim especificam:

- o disjuntor deve realizar três interrupções sucessivas de I_{cs} ;
- a capacidade de o disjuntor preencher todas as suas funções é então verificada por uma série de medições (elevação de temperatura, ensaio de tensão aplicada, verificação da atuação dos disparadores, etc.).

Todas essas exigências configuram I_{cs} como uma característica de *desempenho*, uma indicação da capacidade do disjuntor em garantir um funcionamento completamente normal mesmo após ter

interrompido correntes de curto-circuito.

Embora a norma de instalações não inclua regras envolvendo especificamente a característica I_{cs} , é importante e conveniente, a fim de garantir melhor continuidade de serviço, escolher disjuntores cujo desempenho I_{cs} seja tal que

$$I_{cs} > I_k \text{ provável.}$$

Tab. II – Correntes convencionais de não-atuação (I_{nt}), de atuação (I_2) e tempo convencional para disjuntores BT

I_n (*) (A)	IEC 60947-2		IEC 60898		Tempo convencional (h)
	I_{nt}	I_2	I_{nt}	I_2	
≤ 63					1
> 63	1,05	1,30	1,13	1,45	2

(*) I_n é corrente de ajustagem (IEC 60947-2) ou corrente nominal (IEC 60898)

Vejamos dois exemplos genéricos, para melhor ilustrar essa recomendação.

No caso de um disjuntor com função típica de chave geral, em um quadro ou painel de

distribuição, e cujo campo de proteção é geralmente limitado ao próprio quadro ou painel, as correntes de curto-circuito que caberá ao dispositivo eliminar serão apenas ligeiramente inferiores ao valor teórico da corrente de curto-circuito presumida. Assim, deve ser selecionado um disjuntor cuja I_{cs} seja próxima de ou igual a I_{cu} , isto é,

$$I_{cs} = 100\% I_{cu}$$

Já no caso de disjuntores de saída de quadros ou painéis, que basicamente protegem circuitos entre quadros (circuitos de distribuição), ou entre quadro e equipamento de utilização (circuito terminal), os curtos-circuitos prováveis resultarão em correntes bastante inferiores à I_k presumida no ponto de instalação do dispositivo, uma vez que as faltas quase sempre envolverão apenas uma ou duas fases e ocorrerão na extremidade final do circuito protegido. Assim, a corrente de curto-circuito provável será

- geralmente inferior a 25% da I_k presumida na origem do circuito;
- e, na quase totalidade dos casos, inferior a 50% da I_k presumida.

Logo, dependendo das condições reais da instalação e, portanto, do valor da corrente de curto-circuito *provável* (a que ocorreria na extremidade final da linha protegida), o projetista poderia adotar, preservando o bom funcionamento e a vida útil da instalação e componentes, disjuntores de saída de quadros com I_{cs} de 25% ou, melhor ainda, 50% ($I_{cs} = 50\% I_{cu}$).

Convém lembrar ou repetir que isso não tem nada a ver com a regra básica da proteção contra curtos-circuitos, contida na norma de instalações, que exige do disjuntor uma capacidade de interrupção no mínimo igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que for instalado. Com efeito, e como dito inicialmente, em qualquer dos dois exemplos genéricos ilustrados acima o disjuntor deve ter

$$I_{cu} > I_k \text{ presumida.}$$

Tipos e normalização de dispositivos fusíveis

Embora na linguagem do dia-a-dia o nome usado seja “fusível”, simplesmente, convém inicialmente lembrar que, “fusível” é apenas parte do que as normas chamam, apropriadamente, de “dispositivo fusível”. Pois, de fato, no caso mais geral um dispositivo fusível é constituído de base, porta-fusível, fusível, indicador e, eventualmente, percussor.

A *base* é a parte fixa do dispositivo, com contatos e ter-

minais. O *porta-fusível* é a parte móvel do dispositivo, onde é instalado o *fusível* – sendo este, por sua vez, a parte substituível, ou *consumível*, que deve ser trocada sempre que o dispositivo atuar. O fusível contém o *elemento fusível*, que é o componente que deve fundir quando percorrido por uma corrente especificada, por um tempo especificado. O *indicador* é a parte que dá uma indicação visível de que o dispositivo fusível operou e o *percussor* um dispositivo mecânico que, quando da operação do fusível, libera a energia necessária para acionar outros dispositivos ou indicadores, ou para fazer um intertravamento.

A normalização internacional (IEC 60269) e nacional (NBRs 11840 a 11849) define três tipos de dispositivos fusíveis, todos limitadores de corrente (ver boxe “A ação limitadora de corrente”): **gG**, para proteção de circuitos contra correntes de sobrecarga e correntes de curto-circuito; **gM** e **aM**, que proporcionam apenas proteção contra correntes de curto-circuito, sendo por isso mesmo indicados tipicamente para circuitos de motores (onde a proteção contra sobrecargas geralmente é feita pelo relé térmico associado ao contator) ou como proteção de retaguarda (para completar a insuficiente capacidade de interrupção de um disjuntor, por exemplo).

Outra distinção importante, e que delimita o campo de aplicação das normas que tratam do produto, é a do tipo de instalação a que o dispositivo fusível se destina. Assim, temos

- os dispositivos fusíveis destinados a uso doméstico ou similar, também designados “para uso por pessoas não qualificadas”. Tratados mais particularmente na norma IEC 60269-3, são via de regra tipo gG e com correntes nominais até 100 A; e
- os dispositivos fusíveis para uso industrial, ou “para uso por pessoas autorizadas”, enfocados nas normas IEC 60269-1 e 60269-2. Podem ser tipo gG, gM ou aM.

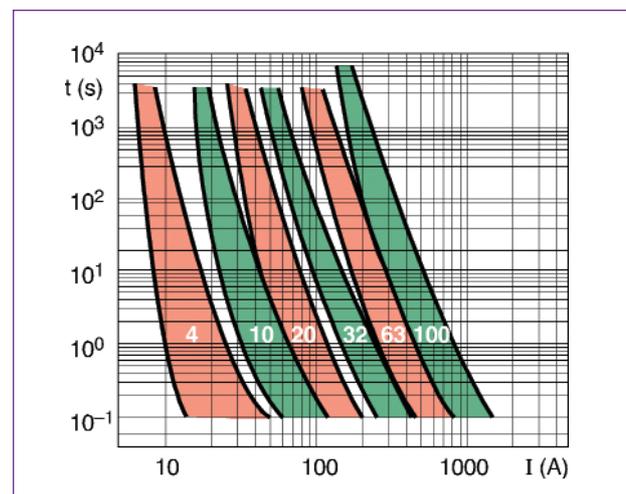


Fig. 1 - Zonas tempo-corrente para fusíveis gG de 4, 10, 20, 32, 63 e 100 A

A ação limitadora de corrente

Todos os três tipos de dispositivos fusíveis previstos na normalização IEC (gG, gM e aM) são **limitadores de corrente**. Isso significa que, durante e em consequência da fusão do elemento fusível dentro de uma faixa de correntes especificadas, eles limitam a corrente a um valor significativamente mais baixo que o valor de crista da corrente presumida (figura B1).

Como consequência, essa limitação da corrente reduz, também significativamente, as solicitações térmicas e dinâmicas que de outra forma sobreviriam — minimizando assim os danos no ponto de ocorrência da falta.

A capacidade de interrupção nominal do fusível, portanto, é baseada no valor eficaz da componente CA da corrente de falta presumida.

Vale lembrar que as correntes de curto-circuito contêm inicialmente componentes CC cuja magnitude e duração dependem da relação X_L/R do percurso da corrente de falta.

Próximo à fonte (transformador), a relação I_{crista}/I_{ef} da componente CA, imediatamente após o instante da

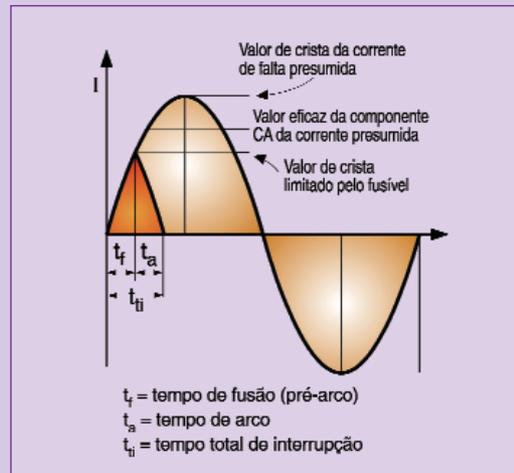


Fig. B1 – Limitação da corrente pelo fusível

falta, pode ser tão alta quanto 2,5 (relação, aliás, normalizada pela IEC, como indicado na figura B2).

Já nos trechos finais da distribuição elétrica (extremidades de circuitos terminais, por exemplo), X_L é pequena comparada a R e, assim, a relação I_{crista}/I_{ef} cai para cerca de 1,41.

A ação limitadora do valor de crista da corrente se manifesta a partir de determinado nível do valor eficaz da componente CA da corrente de falta presumida.

Por exemplo, no gráfico da figura o fusível de 100 A começará a limitar o valor de crista quando a corrente de falta presumida (valor eficaz) atingir 2 kA (ponto a). No caso de uma corrente presumida eficaz de 20 kA, o mesmo fusível irá limitar o valor de crista a 10 kA (ponto b).

Sem o fusível limitador de corrente, o valor de crista poderia atingir, neste caso particular, 50 kA (ponto c).

Por outro lado, nos trechos finais da distribuição, como mencionado, R é bem maior que X_L e os níveis de curto-circuito são geralmente baixos — talvez mesmo insuficientes para deflagrar a ação limitadora. Além disso, neste caso o efeito dos transitórios CC sobre a magnitude do valor de crista da corrente é insignificante.

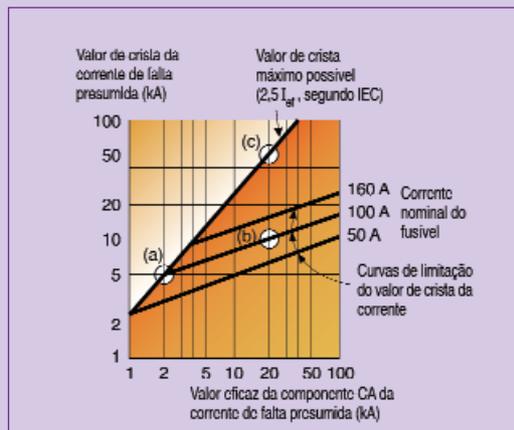


Fig. B2 – Ação limitadora dos fusíveis: valor de crista limitado vs valores eficazes da componente CA da corrente de falta presumida

As principais diferenças entre os dispositivos fusíveis “industriais” e “domésticos” referem-se às tensões nominais, à faixa de correntes nominais (que vai além de 1000 A nos industriais, o que faz do tamanho uma outra diferença importante entre as duas categorias), à capacidade de interrupção e às exigências impostas pela proteção contra choques, isto é, contra o risco de contatos acidentais com partes vivas — naturalmente, exigências

maiores no caso dos dispositivos “domésticos”.

Do ponto de vista da forma construtiva, os fusíveis “industriais” são disponíveis, tipicamente:

- com contatos cilíndricos (usualmente chamados de “cartuchos tipo industrial”);
- com contatos tipo faca (correspondendo ao tipo conhecido como NH); e
- com contatos aparafusados.

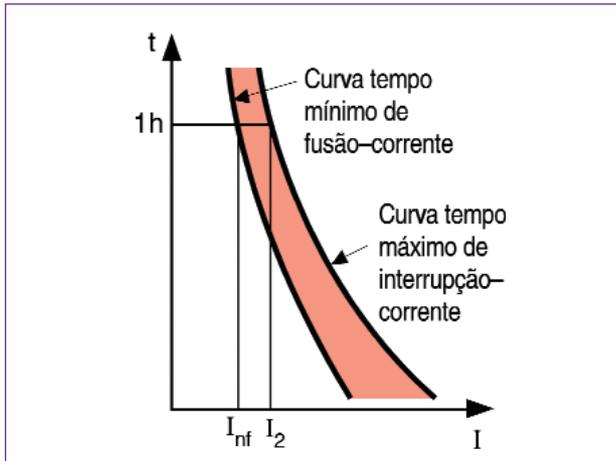


Fig. 2 – Zonas de fusão e de não-fusão para fusíveis gG e gM

Os fusíveis “domésticos”, ou — apelando para uma denominação popular mais apropriada quando se trata de contrapor algo àquilo que é destinado a uso industrial - fusíveis “prediais”, por sua vez, são disponíveis, tipicamente, nos formatos:

- *cartucho*; e
- *tipo D* (também referidos comumente como “diazed”, que no entanto é marca de um fabricante).

Evidentemente, um dispositivo fusível “predial” pode ser utilizado em uma instalação industrial; ou mesmo deve, se essa instalação, por exemplo, não for servida permanentemente por pessoas BA4 ou BA5. Mas um dispositivo fusível “industrial”, ou *para uso por pessoas autorizadas*, não pode, em absoluto, ser utilizado numa instalação residencial ou predial. Vale notar que os fusíveis *cartucho* (melhor dizendo, com *formato cartucho*) cobertos pelas normas aqui citadas nada têm a ver com os antigos *fusíveis cartucho*. Da mesma forma, não é por serem roscáveis que dispositivos fusíveis conforme as normas mencionadas, como os do tipo D, se confundem com os antigos *fusíveis rolha*.

Características tempo-corrente

A figura 1 traz, a título de exemplo, as zonas tempo-corrente fixadas pela normalização para alguns fusíveis gG. Com efeito, as normas conceituam e padronizam dois parâmetros fundamentais na composição dessas zonas tempo-corrente (delimitadas, como se vê na figura 2, pela curva tempo mínimo de fusão-corrente, à esquerda, e pela curva tempo máximo de interrupção-corrente, à direita):

- a *corrente convencional de não-fusão* I_{nf} , que é o valor da corrente que o elemento fusível pode suportar, durante um tempo especificado (tempo convencional), sem se fundir; e
- a *corrente convencional de fusão* I_2 , que é o valor da corrente que assegura a fusão do elemento fusível antes de decorrido o tempo convencional.

A tabela I reproduz os valores de I_{nf} e de I_2 , bem como os tempos convencionais respectivos, normalizados pela IEC 60269-1 e IEC 60269-2, em função da corrente nominal (I_n) do fusível. Assim, por exemplo, um fusível gG de 32 A conduzindo uma corrente equivalente a $1,25 I_n$ (ou seja, 40 A), não deve fundir antes de 1 h. Mas se circular pelo mesmo fusível uma corrente correspondente a $1,6 I_n$ (ou seja, 52,1 A), ele deve fundir em 1 h ou menos.

A mesma tabela — de I_{nf} , I_2 e respectivos tempos convencionais — é aplicável também aos fusíveis gM. Mas, nesse caso, os valores de I_{nf} e de I_2 (vale dizer, a característica tempo-corrente) não estão atrelados à grandeza *corrente nominal*, mas sim ao que a normalização do produto chama de I_{ch} — assim mesmo, abreviadamente, sem denominação por extenso.

Explica-se. Os dispositivos fusíveis gM são caracterizados, na verdade, por dois valores de corrente de referência: o primeiro, I_n , representa a corrente nominal do fusível e do respectivo porta-fusível (isto é, das respectivas partes condutoras); o segundo, I_{ch} (sendo $I_{ch} > I_n$), refere-se à característica tempo-corrente. Trocando em miúdos: a identificação ou marcação de um fusível gM é feita por $I_n M I_{ch}$; assim, por exemplo, *16M32* indica um fusível gM cuja corrente permanente máxima (incluindo o porta-fusível) é de 16 A e cuja característica tempo-corrente é a mesma de um fusível gG de 32 A. Enfim, seria como ter um fusível gG que combinasse os contatos do modelo de 16 A com o elemento fusível do modelo de 32 A. Ou como ter, ainda, um fusível gG com corrente nominal (térmica, de regime permanente) de 16 A, mas com característica tempo-corrente correspondente à de um gG de 32 A. Daí o tipo gM ser indicado para circuitos de motores, pois suporta *transitoriamente* as altas correntes de partida, sem se fundir,

Tab. I – Zonas de fusão e de não-fusão para fusíveis tipo gG e gM

Corrente nominal* I_n	Corrente convencional de não-fusão I_{nf}	Corrente convencional de fusão I_2	Tempo convencional (h)
$I_n \leq 4$ A	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1
$4 < I_n \leq 16$ A	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1
$16 < I_n \leq 63$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$ A	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	3
$400 < I_n$	$1,25 I_n$	$1,6 I_n$	4

* I_{ch} para fusíveis gM

mas é dimensionado (entrando aí o lado econômico) para suportar *permanentemente* apenas a corrente de regime do motor.

O dispositivo fusível tipo aM, por fim, tem a mesma aplicação do gM (circuitos de motores, assegurando apenas proteção contra correntes de curto-circuito) e é caracterizado, essencialmente, por uma corrente nominal (I_n) e pela zona tempo-corrente mostrada na figura 3. Em resumo, o elemento fusível de um fusível aM: **a)** não deve fundir para correntes menores ou iguais a $K_1 I_n$; **b)** pode fundir para correntes entre $K_1 I_n$ e $K_2 I_n$, desde que o tempo de fusão seja maior que o indicado

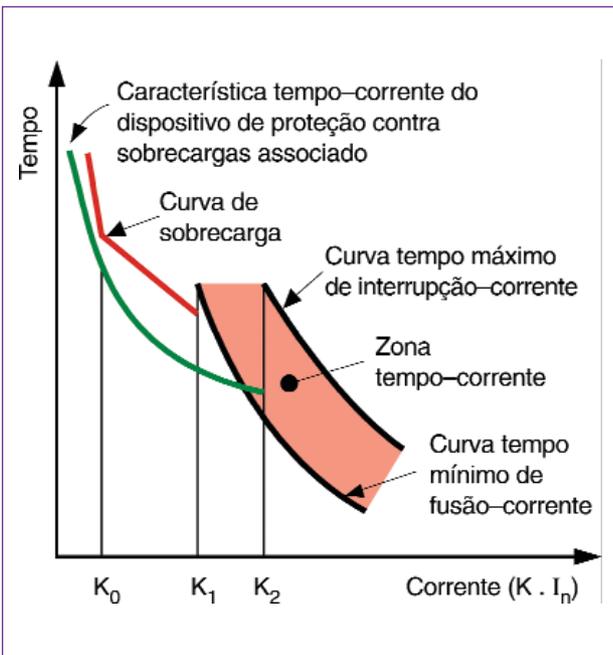


Fig. 3 – Características tempo-corrente dos fusíveis tipo aM

na curva tempo mínimo de fusão-corrente; e **c)** deve fundir para correntes maiores que $K_2 I_n$, com os tempos correspondentes caindo dentro da zona tempo-corrente. Já a curva de sobrecarga também ilustrada na figura 3 indica, para as correntes superiores a I_n mas inferiores a $K_1 I_n$ (ou seja, entre $K_0 I_n$ e $K_1 I_n$), qual a duração máxima (da corrente) que o fusível suporta sem se deteriorar. Seria, enfim, a curva de suportabilidade térmica das partes condutoras do fusível. A curva de atuação do dispositivo que será responsável pela proteção contra sobrecargas deveria se situar, portanto, abaixo dessa curva, como também mostra a figura. Mas na prática essa verificação é quase sempre dispensável, uma vez que os fabricantes costumam dimensionar o fusível aM de forma compatível com o dispositivo de proteção contra sobrecargas que seria a ele associado, seja outro fusível ou um relé térmico, baseando-se para tanto na própria normalização dos dispositivos.

Equacionamento da proteção contra sobrecargas

Uma exigência básica da proteção contra sobrecorrentes, seja a sobrecorrente uma sobrecarga ou um curto-circuito, é que haja coordenação entre o dispositivo encarregado dessa função e os condutores do circuito a ser protegido.

Para garantir a proteção contra sobrecargas, conforme 5.3.3.2 da NBR 5410, a seleção do dispositivo de proteção deve satisfazer então às seguintes condições, representativas da exigência de coordenação com os condutores:

- a) $I_B \leq I_n$
- b) $I_n \leq I_z$
- c) $I_2 \leq 1,45 I_z$

onde:

I_B = corrente de projeto do circuito;

I_n = corrente nominal do dispositivo de proteção (ou corrente de ajuste, para dispositivos ajustáveis);

I_z = capacidade de condução de corrente dos condutores; e I_2 = corrente convencional de atuação, para disjuntores, ou corrente convencional de fusão, para fusíveis.

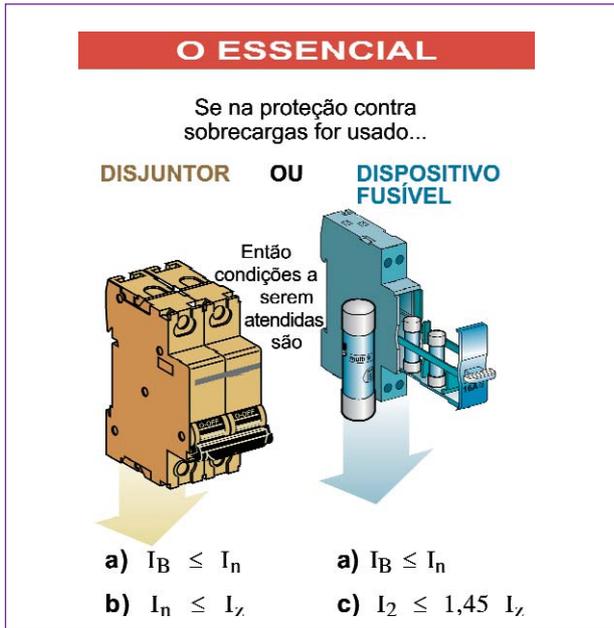
Analisemos um pouco mais detalhadamente cada um desses termos.

A determinação da capacidade de condução de corrente dos condutores I_z é sempre calculada nas condições de instalação previstas no projeto. Assim, temos

$$I_z = f \hat{I}_z$$

sendo \hat{I}_z o valor de capacidade de condução de corrente dos condutores dado na tabela pertinente da NBR 5410 e f o fator ou o produto dos fatores de correção tabelados aplicáveis (temperatura ambiente, agrupamento e/ou, no caso de linha subterrânea, resistividade térmica do solo).

I_n , a corrente nominal (ou de ajuste) do dispositivo de



proteção a ser considerada, também leva em conta as condições reais da instalação. Por isso, o valor de I_n a ser considerado é:

$$I_n = f \cdot \hat{I}_n$$

sendo \hat{I}_n a corrente nominal (ou de ajuste) do dispositivo na temperatura de referência, ou temperatura de calibração (20, 30 ou 40°C), e f um dos, ou o produto dos, seguintes fatores dados pelos fabricantes:

- fator de correção de temperatura ambiente (aplicável, claro, quando o dispositivo de proteção se encontrar submetido a uma temperatura diferente da de calibração); e
- fator de agrupamento dos dispositivos.

Quanto à condição **c**) da proteção contra sobrecargas, convém notar, primeiramente, que o termo $1,45 I_z$ corresponde à sobrecorrente que leva o condutor a uma temperatura de regime aproximadamente igual à temperatura limite de sobrecarga (100°C para isolação de PVC e 130°C para isolação de EPR ou XLPE).

Já I_2 , corrente convencional de atuação do disjuntor, ou corrente convencional de fusão do fusível, pode ser expressa como múltiplo da corrente nominal do dispositivo.

Assim,

$$I_2 = \alpha I_n$$

De fato, como mostram os dois artigos anteriores, “Normalização de disjuntores BT” [tabela II] e “Normalização de dispositivos fusíveis” [tabela I],

- nos disjuntores conforme a NBR IEC 60898,

$$I_2 = 1,45 I_n$$

- nos disjuntores conforme a NBR IEC 60947-2,

$$I_2 = 1,3 I_n$$

- nos disjuntores conforme a NBR 5361,

$$I_2 = 1,35 I_n$$

- e, nos fusíveis gG (os que oferecem proteção contra sobrecargas) conforme a IEC 60269 (NBRs 11840 a 11849),

$$I_2 = 1,6 I_n \text{ (para } I_n > 16 \text{ A)}$$

$$I_2 = 1,9 I_n \text{ (para } 4 < I_n \leq 16 \text{ A)}$$

$$I_2 = 2,1 I_n \text{ (para } I_n \leq 4 \text{ A)}$$

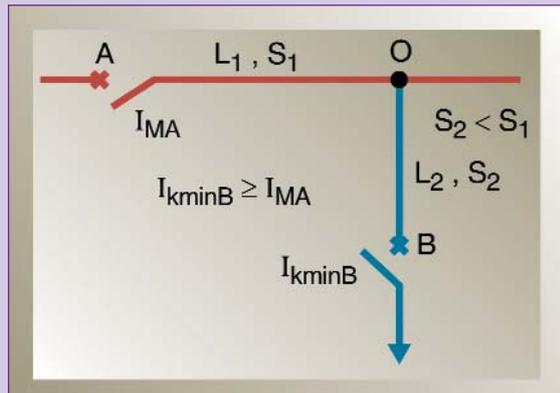
Substituindo I_2 , na condição **c**), pelos seus equivalentes das três normas, vem,

- no caso da NBR IEC 60898,
 $1,45 I_n \leq 1,45 I_z$, ou seja,
 $I_n \leq I_z$;

Deslocamento da proteção

Em geral, o dispositivo responsável pela proteção contra sobrecargas é disposto na origem do circuito por ele protegido. Mas ele pode ser deslocado, no sentido a jusante de sua origem, se o circuito correspondente for protegido contra curtos-circuitos.

Essa possibilidade de deslocamento da proteção contra sobrecargas, prevista em 5.7.4.1.1 da NBR 5410, está ilustrada na figura, que utiliza disjuntores como exemplo: responsável pela proteção contra sobrecargas da derivação OB, de seção S_2 , o disjuntor B pode ser deslocado da origem O do circuito para o ponto B se a corrente de curto-circuito mínima I_{kminB} nos seus terminais for pelo menos igual à corrente de atuação instantânea (ou de curto retardo) I_{MA} do disjuntor A.



- no caso da NBR IEC 60947-2,
 $1,3 I_n \leq 1,45 I_z$, ou seja,
 $I_n \leq 1,11 I_z$
- no caso da NBR 5361,
 $1,35 I_n \leq 1,45 I_z$, ou seja
 $I_n \leq 1,07 I_z$
- e, no caso da IEC 60269 (aqui já saltando a passagem da substituição),
 $I_n \leq 0,91 I_z$ (para $I_n > 16 A$)
 $I_n \leq 0,76 I_z$ (para $4 < I_n \leq 16 A$)
 $I_n \leq 0,69 I_z$ (para $I_n \leq 4 A$)

Ora, isso evidencia, no caso dos disjuntores, que a condição **c)** se torna dispensável — no caso de disjuntores conforme a NBR IEC 60898, porque se afigura como uma repetição da condição **b)**; e, no caso de disjuntores conforme a NBR IEC 60947-2 e NBR 5361, porque a condição **b)** se mostra mais restritiva.

Portanto, se o dispositivo de proteção for um disjuntor conforme a NBR IEC 60898, NBR IEC 60947-2 ou NBR 5361, a observância da regra da proteção contra sobrecargas fica reduzida às condições **a)** e **b)**.

Já no caso dos dispositivos fusíveis gG, todas as três possibilidades da condição **c)** avaliadas acima, quando comparadas com a condição **b)**, mostram que a condição **c)** é mais restritiva — tornando dispensável, aqui, a condição **b)**.

Portanto, se o dispositivo de proteção for um dispositivo fusível gG conforme IEC 60269, a observância da regra da proteção contra sobrecargas fica reduzida às condições **a)** e **c)**.

Equacionamento da proteção contra curtos-circuitos

A proteção contra sobrecorrentes, como vários outros passos no projeto de uma instalação elétrica, consiste essencialmente em selecionar (ou, seguindo o jargão da engenharia, “dimensionar”) corretamente o dispositivo responsável pela função — no caso, um disjuntor, um dispositivo fusível ou uma combinação de ambos. E “corretamente” significa atender todas as regras que a norma de instalações elétricas

impõe para que a proteção fique assegurada.

Portanto, a essência das disposições da NBR 5410 quanto à proteção contra curtos-circuitos, como não poderia deixar de ser, gira em torno da seleção do dispositivo. E o aspecto essencial dessa seleção, por sua vez, como já salientado no artigo anterior, consiste em garantir que seja atendida a exigência de coordenação entre o dispositivo e os condutores do circuito a ser protegido — sem falar da coordenação com outros dispositivos, a montante ou a jusante, que pode ser também imperiosa.

Em que pese a distinção adotada na norma (como, aliás, em todos os manuais de engenharia elétrica) entre sobrecorrentes classificáveis como de “sobrecarga” e sobrecorrentes tipicamente de “curto-circuito” — distinção que atende uma necessidade prática, real —, convém ter em mente que, afinal, todas são sobrecorrentes. Assim, e já que equacionar uma proteção é, essencialmente, selecionar o dispositivo respectivo, um bom começo para o exame da proteção contra curtos-circuitos é lembrar que a “seleção” do dispositivo, aqui, pode ser o mero prolongamento de um estudo que começou com a aplicação dos critérios referentes à proteção contra sobrecargas. Ou não.

Essa é, por sinal, a abordagem presente na NBR 5410: o reconhecimento de que poderemos ter dispositivos preenchendo, simultaneamente, a proteção contra sobrecargas e contra curtos-circuitos; dispositivos preenchendo só a proteção contra sobrecargas; e, por fim, dispositivos preenchendo só a proteção contra curtos-circuitos.

Assumir, como ponto de partida da seleção do dispositivo de proteção contra curtos-circuitos, as hipóteses de que esta seleção pode ser ou não o mero prosseguimento de um exame iniciado, antes, com a proteção contra sobrecargas, é provavelmente a forma mais clara de assimilar as exigências pertinentes da NBR 5410.

Esta é a proposta do **Guia EM** para a abordagem do assunto, sintetizada no fluxograma da figura 1. O diagrama é o nosso plano de vôo para as orientações e comentários que se seguem. Por isso, ele não precisa ser entendido, por enquanto. Ele ficará claro quando as passagens que apresenta, à guisa de roteiro, forem descritas e explicadas, aqui e nos artigos seguintes. Depois, poderá servir como lembrete prático para o profissional.

Assim, vamos começar com a pergunta que é o ponto de partida do diagrama: o dispositivo do qual se espera a proteção contra curtos-circuitos será também o responsável pela proteção contra sobrecargas?

Provavelmente sim, certo? Afinal, essa é a situação mais geral. Os exemplos em que se faz necessária ou conveniente a existência de dispositivos distintos para a proteção contra sobrecargas e proteção contra curtos-circuitos, convenhamos, estão mais para casos particulares do que

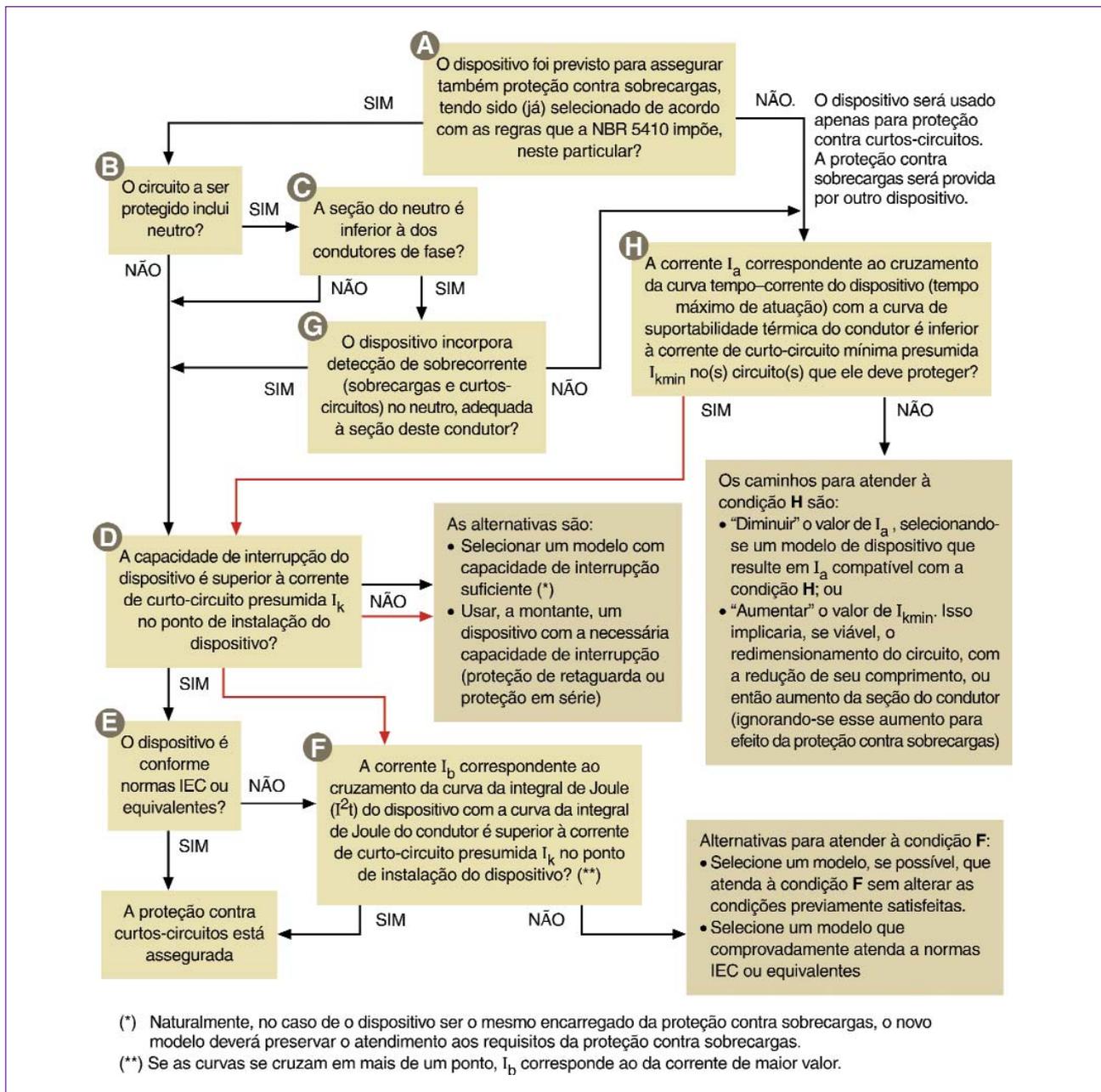


Fig. 1 – Fluxograma da seleção do dispositivo de proteção contra curtos-circuitos

para o trivial.

Se o mesmo dispositivo cumprirá as duas funções, ele já foi analisado sob o critério da proteção contra sobrecargas, tendo já atendido o que a NBR 5410 exige nesse particular, incluindo a questão do neutro⁽¹⁾? E, ainda: o dispositivo segue as normas IEC aplicáveis ou outra norma equivalente?

Se a resposta a essas duas perguntas for positiva, tudo o que o projetista precisa verificar, em matéria de proteção contra curtos-circuitos, resume-se, na grande maioria dos casos, à condição **a)** de 5.3.4.3 da NBR 5410: a de que o dispositivo deve possuir uma capacidade de interrupção

(I_{cn}) não inferior à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que será instalado (I_k), isto é,

$$I_{cn} \geq I_k$$

Isso embute, claro, uma tarefa da qual não é possível se esquivar, sejam quais forem as circunstâncias (um mesmo dispositivo, dispositivos distintos e todas as variantes imagináveis): apurar, por algum meio válido, o valor aproximado de I_k , com tanta maior precisão quanto maiores a complexidade da instalação, o vulto dos bens e dos riscos em jogo. [O artigo "Determinação da corrente de curto-

circuito presumida” traz um método simplificado para essa determinação.]

Se o dispositivo (o modelo específico cujas características nominais estão sendo consideradas) não apresenta uma capacidade de interrupção suficiente, há duas saídas:

- selecionar um outro modelo, com capacidade de interrupção adequada (preservando-se, claro, o atendimento às condições da proteção contra sobrecargas, já que é este o nosso ponto de partida); ou
- “repassar” a exigência da capacidade de interrupção para um dispositivo a montante, seguindo o esquema conhecido como “proteção de retaguarda” (*back up*), ou “proteção em série”. Este dispositivo de montante deverá, no mínimo, cobrir os flancos da proteção contra curtos-circuitos deixados pelo dispositivo de jusante — incluindo a capacidade de interrupção, claro —, podendo mesmo chegar à situação que caracteriza a outra hipótese inicial do nosso flu-

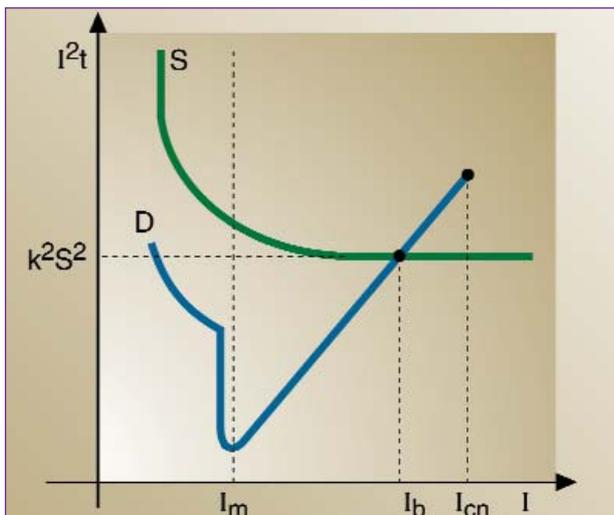


Fig. 2 – A corrente I_b , correspondente ao ponto em que as curvas I^2t do condutor e do dispositivo de proteção se cruzam, deve ser superior à corrente de curto-circuito presumida I_{cn} .

xograma: a de termos um dispositivo assegurando apenas proteção contra sobrecargas, o de jusante, e outro garantindo apenas a proteção contra curtos-circuitos, o de montante. Esta hipótese, em particular, é discutida mais adiante. Na prática, e levando ainda em conta a habitual exigência de seletividade, o recurso à “proteção de retaguarda” implica uma tal necessidade de coordenação, entre os dois dispositivos, que só os fabricantes têm condições de especificar. São as conhecidas tabelas de coordenação, que geralmente listam na horizontal as opções de dispositivo de jusante, na vertical as opções de dispositivo de montante e, no cruzamento das linhas e colunas, as indicações de quais combinações garantem coordenação.

Retomando a seqüência do fluxograma, vamos admitir agora que o dispositivo tenha suficiente capacidade de in-

terrupção mas não atenda uma especificação IEC (publicações IEC 60947 e 60898, para disjuntores, e IEC 60269, para dispositivos fusíveis) ou outra norma que conduza a resultados equivalentes. Neste caso, é necessário checar também a segunda exigência que a NBR 5410 impõe aos dispositivos encarregados da proteção contra curtos-circuitos (condição **b**) de 5.3.4.3), assim expressa: “a integral de Joule que o dispositivo deixa passar deve ser inferior ou igual à integral de Joule necessária para aquecer o condutor desde a temperatura máxima para serviço contínuo até a temperatura limite de curto-circuito.”

Entenda-se: esta última exigência, bem como a relativa à capacidade de interrupção, constam da NBR 5410 e não devem ser ignoradas. Só que usando dispositivos conforme as normas IEC ou equivalentes na proteção contra sobrecargas, fica garantida, via de regra — pelas razões detalhadas mais adiante —, o atendimento da segunda exigência.

E como se faz para saber se um dispositivo — seja porque não siga as normas em questão, seja porque não traga claramente indicada sua norma de referência ou, seja, ainda, pelo desejo puro e simples de verificação — preenche a segunda exigência, relativa à integral de Joule?

Não é algo tão complicado quanto a redação da norma faz supor. Naturalmente, cabe ao fabricante do dispositivo prover essa informação. De que forma?

Ele pode fornecer a informação sobre a integral de Joule (I^2t) que o dispositivo de proteção deixa passar na forma de uma curva $I^2t = f(I)$, isto é, com os valores de I^2t (em A^2s) nas ordenadas e de I nas abcissas, plotada em escala bilogarítmica. Ele pode fornecer um único valor, o da I^2t máxima que o dispositivo deixa passar entre a irrupção e a eliminação do curto-circuito. Ou pode, ainda, fornecer outro(s) valor(es) de I^2t , além do máximo. [O artigo “Integral de Joule: coordenando condutores e dispositivos de proteção” traz explicações sobre o conceito da integral de Joule e sobre a utilização desse parâmetro na caracterização do comportamento de condutores e de dispositivos de proteção]

O dado, na forma de curva ou número, deve ser então confrontado com a curva ou o número referente ao condutor utilizado no circuito que se quer proteger contra curtos-circuitos. Portanto, temos também uma curva $I^2t = f(I)$ e um I^2t máximo de curto-circuito para cada tipo (cobre ou alumínio, isolamento de PVC ou de EPR/XLPE) e seção (mm^2) de condutor.

Vejam, primeiramente, a utilização das curvas, usando como ilustração a figura 2. A figura mostra a curva I^2t do condutor (curva S), que lembra uma curva de 90° unindo duas assíntotas, uma vertical e outra horizontal; e a curva I^2t do dispositivo de proteção (curva D, de um disjuntor).

A verificação a ser feita, descrita no bloco F da figura 1, envolve a corrente I_b , correspondente ao cruzamento das curvas do condutor e do dispositivo de proteção. Para que a proteção contra curtos-circuitos seja assegurada, como exige o item 6.3.4.3 da norma, I_b deve ser superior ou, no mínimo, igual à corrente de curto-circuito presumida simétrica no ponto de instalação do dispositivo (I_k), isto é,

$$I_b \geq I_k$$

Portanto, se o I_k calculado ou estimado pelo projetista se situar à esquerda de I_b , a condição fica atendida.

Vamos agora aproveitar a figura 2 — mas sobretudo como ferramenta de raciocínio — para discorrer sobre a situação em que o fabricante informa apenas um número, a I^2t máxima que o dispositivo de proteção deixa passar. Como se vê na figura, os valores de I^2t que o dispositivo deixa passar, na região que vai de I_m a I_{cn} (como se trata de um disjuntor, essa é a região que vai do limiar de atuação magnética, I_m , à capacidade de interrupção nominal, I_{cn}), variam do mínimo correspondente à ordenada de I_m ao máximo correspondente à ordenada de I_{cn} . Portanto, quando um fabricante informa um valor como sendo a máxima I^2t que seu dispositivo deixa passar, deduz-se que ele está se referindo ao valor de I^2t no ponto I_{cn} , vale dizer, à I^2t correspondente à capacidade de interrupção do disjuntor, e apurada nos ensaios de curto-circuito.

Convém ressaltar, mais uma vez, que agora o projetista não dispõe da curva do dispositivo, só de um número: a I^2t máxima que ele deixa passar. Como o projetista só tem um número e não sabe, portanto, onde a curva do dispositivo cruza com a curva do condutor, ele terá de necessariamente confrontar esse número com o valor assintótico horizontal da I^2t do condutor. Esse trecho assintótico horizontal resulta da assunção de que, para solicitações de duração inferior a 5 s, o aquecimento do condutor é adiabático, isto é,

sem troca de calor entre condutor e isolamento. Como o aquecimento é considerado adiabático, a I^2t suportável pelo condutor passa a ser representada por um valor constante — o que é intuitivo, pois trata-se do máximo que o condutor suporta sem troca térmica com o meio circundante. Esse valor, como informa a própria NBR 5410, é igual a k^2S^2 , sendo S a seção do condutor, em mm^2 , e k uma constante também fornecida pela norma. São dados valores de k para cada tipo de condutor (cobre, alumínio, isolamento em PVC, isolamento em EPR ou XLPE). É possível, assim, calcular a $I^2t = k^2S^2$ para todo tipo e seção de condutor.

Portanto, na situação sob análise, o projetista nem precisa mesmo da curva I^2t do condutor; basta fazer a conta de k^2S^2 . E aí ele compara então os dois valores de I^2t : o máximo que o dispositivo deixa passar, fornecido pelo fabricante, e o calculado para o condutor. Se o do dispositivo for inferior ao do condutor, a proteção está garantida.

Perceba-se, porém, que neste caso a verificação é naturalmente conservadora.

O conservadorismo (sem significado prático, como se verá, mas, de qualquer forma, inerente à abordagem) deriva do fato de se dispor apenas da I^2t máxima que o dispositivo deixa passar e, por isso mesmo, necessariamente associada à capacidade de interrupção I_{cn} do dispositivo (disjuntor). Note-se, no caso do disjuntor da figura 2, que se fosse fornecida apenas a sua I^2t máxima, aquela associada a I_{cn} , ele seria descartado, pois a I^2t máxima (no ponto I_{cn} , repita-se) é superior à k^2S^2 do condutor (o valor assintótico horizontal da curva). Ao passo que o exame das curvas mostra que o disjuntor pode ser usado se $I_b \geq I_k$, como já mencionado.

O comentário e a figura também são úteis para explicar por que ou como um dispositivo de proteção conforme as normas IEC ou equivalentes, que proteja o condutor contra sobrecargas, e que possua uma $I_{cn} \geq I_k$, protegeria automaticamente o condutor contra curtos-circuitos — no sentido

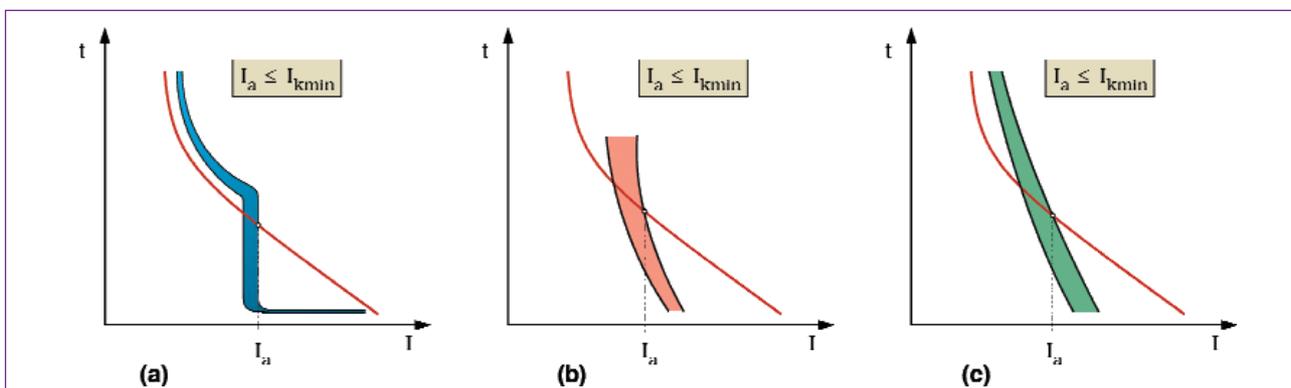


Fig. 3 – A corrente I_a (interseção entre a curva de suportabilidade térmica do condutor e a curva tempo–corrente do dispositivo de proteção) deve ser inferior à corrente de curto-circuito presumida mínima (I_{kmin}) no circuito a ser protegido. O gráfico a) mostra o caso de um disjuntor; b) o de um dispositivo fusível aM; e c) o de um dispositivo fusível gG

de que dispensa a verificação do critério da integral de Joule. Ora, as regras da proteção contra sobrecargas impõem uma “amarração” entre o condutor, vale dizer, sua seção (que define, para um mesmo tipo de cabo — por exemplo cobre com isolamento em PVC —, a sua capacidade de condução de corrente I_z), e a corrente nominal do dispositivo (I_n), pois estipulam que $I_n \leq I_z$. Simplesmente, as especificações da norma do produto são tais que, respeitadas essa relação entre dispositivo e condutor ($I_n \leq I_z$) e a condição $I_{cn} \geq I_k$ (o que significa dizer, em outras palavras, que por premissa o condutor jamais seria submetido a uma corrente de curto-circuito superior a I_{cn}), a I^2t máxima que o dispositivo deixa passar, aquela correspondente a I_{cn} , via de regra sempre será inferior à k^2S^2 do condutor (mais precisamente, à k^2S^2 do tipo e seção de condutor aos quais o dispositivo está “amarrado”). Em outras palavras, e recorrendo mais uma vez ao gráfico da figura 2: supondo que D efetivamente atenda às regras da proteção contra sobrecargas ($I_{nD} \leq I_{zS}$), não teremos a curva I^2t de D cruzando com a curva I^2t de S.

Essa será a situação mais comum. E, com certeza, a de todos os casos em que o condutor não é de seção reduzida. Com efeito, o cruzamento só aconteceria em situações muito particulares, que supõem uma conjugação pouco realista de circunstâncias:

- 1) o condutor é de seção bastante reduzida; e
- 2) a origem do circuito em questão é tal que ele estaria sujeito a uma elevada corrente de curto-circuito presumida (digamos, um circuito com condutores de 1,5 ou 2,5 mm² saindo diretamente de um quadro geral de baixa tensão, o que é, convenhamos, uma hipótese pouco realista).

Ainda assim, seria virtualmente necessário que nenhum dos dispositivos capazes de garantir a proteção contra sobrecargas desse circuito tivesse a capacidade de interrupção exigida — e obrigando, portanto, o uso de outro dispositivo só para a proteção contra curtos-circuitos.

É sintomática, a propósito, a observação da NBR 5410, de que a constante k por ela fornecida, na expressão k^2S^2 que dá o valor da I^2t suportável pelo condutor em regime adiabático (expressão que já descrevemos acima), não seria válida, ou totalmente válida, para condutores de pequena seção — embora seja usada sem essa reserva em toda literatura técnica sobre instalações elétricas alinhada com a normalização IEC. Possivelmente porque resulta em valores conservadores.

Assim, a rigor não se pode descartar a eventualidade de uma situação como a ilustrada na figura 2. Só que, na vida real, se a I^2t máxima que um dispositivo deixa passar, aquela correspondente à sua I_{cn} , é superior à I^2t suportável (em regime adiabático) pelo condutor que ele protege contra sobrecargas — circunstância, como salientado, imaginável apenas no contexto de condutores de seção reduzida —, fa-

talmente I_k será inferior a I_{cn} e a I_b .

Em tempo: se a curva $I^2t = f(I)$ do dispositivo de proteção deve ser obtida junto ao fabricante do produto, a do condutor é fornecida pelo fabricante de cabos, não? Talvez. Mas, diferentemente da informação sobre o dispositivo, que só o fabricante reúne mesmo condições de fornecer, no caso dos condutores é possível traçar suas curvas I^2t , para cada tipo e seção, utilizando um método normalizado, descrito no artigo “Integral de Joule: coordenando condutores e dispositivos de proteção.”

Dispositivos garantindo apenas proteção contra curtos-circuitos

De volta à figura 1, verifica-se que com a análise já concluída, em torno do caso considerado mais comum — um mesmo dispositivo preenchendo simultaneamente a proteção contra sobrecargas e contra curtos-circuitos —, fica varrida a seqüência principal do fluxograma.

O diagrama também deixa visualmente evidente o que significa, do ponto de vista das verificações exigidas pela norma, a opção ou necessidade de se ter um dispositivo dedicado exclusivamente à proteção contra curtos-circuitos (ficando a proteção contra sobrecargas por conta de outro dispositivo).

Pois essa opção ou injunção, como se vê, acrescenta mais uma condição a ser conferida, descrita em 6.3.4.3 da NBR 5410: a de que a corrente I_a , correspondente ao cruzamento da curva tempo-corrente do dispositivo (mais exatamente, curva do tempo máximo de atuação/interrupção) com a curva de suportabilidade térmica do condutor, seja inferior ou, no máximo, igual à corrente de curto-circuito presumida mínima (I_{kmin}) no circuito a ser protegido. É o que mostra a figura 3, simplificada, para disjuntores (a), para dispositivo fusível aM (b) e para dispositivo fusível gG (c). Portanto,

$$I_a \leq I_{kmin}$$

No caso de disjuntores, I_a corresponde ao limiar de disparo magnético I_m — mas o valor que leva seguramente o disjuntor a atuar. Assim, em disjuntores com faixa de disparo magnético definida, por exemplo entre 5 e 10 I_n , I_m corresponderia a $10 \times I_n$.

I_{kmin} , por sua vez, corresponde à corrente de curto-circuito mínima fase-fase, se o circuito não inclui neutro; ou à corrente (de curto-circuito mínima) fase-neutro, se o circuito inclui neutro.

Se I_{kmin} for inferior a I_a , é preciso então redimensionar a proteção — selecionando um dispositivo com as características apropriadas, alterando definições do circuito ou

ambos. Afinal, no plano teórico, para atingir a condição imposta pela norma, ou bem o projetista “diminui” I_a , o que significa substituir o dispositivo inicialmente cogitado por outro que resulte numa I_a inferior a I_{kmin} ; ou bem ele “aumenta” I_{kmin} , o que significa aumentar a seção do condutor (S) e/ou diminuir o comprimento do circuito (ℓ). Na verdade, ele poderá agir até mesmo nas três frentes (I_a , S e ℓ), simultaneamente. É que a literatura dos fabricantes, visando subsidiar os projetistas, oferece tabelas que, correlacionando corrente de dispositivo (geralmente a corrente nominal, mas já “embutindo” a I_a correspondente) e seção de condutor, indicam os comprimentos máximos de circuito até os quais fica garantido um I_a inferior a I_{kmin} .

A existência dessa documentação mostra, por outro lado, que na prática a seleção de um dispositivo de proteção que garanta apenas a proteção contra curtos-circuitos (ou mesmo, enfim, a seleção de qualquer dispositivo de proteção) não se dá como sugere uma leitura linear das regras da norma de instalações — definindo-se um dispositivo, tentativamente, e em seguida verificando se ele atende as condições impostas pela norma, uma após outra. O exemplo citado, das tabelas, mostra que é possível de pronto selecionar um dispositivo que satisfaça exigências da norma. *[Os detalhes da verificação referente a I_{kmin} , que na prática consiste em checar o comprimento do circuito, são dados no artigo “Corrente de curto mínima: atenção ao comprimento do circuito”.]*

Note-se, por fim, que a observação aqui feita, sobre a eventual necessidade de “selecionar um outro dispositivo” não deve ser interpretada ao pé da letra — observação que é válida, em particular, para os disjuntores. Até porque essa nova “seleção” pode se resumir a simples mudança no ajuste do disparador magnético, tornando o novo I_m compatível com I_{kmin} .

Notas

(1) Nos circuitos que incluem neutro, a proteção do condutor neutro fica automaticamente assegurada, pelo dispositivo que protege os condutores de fase, se a seção do neutro (S_N) não for inferior à dos condutores de fase (S_L). Sendo a seção inferior, o que só é possível em circuitos trifásicos nos quais $S_L > 25 \text{ mm}^2$ (em cobre) e não for prevista a circulação de correntes harmônicas, os caminhos possíveis para garantir a proteção do condutor neutro são:

- i) utilizar um dispositivo que incorpore detecção de sobrecorrentes (sobrecargas e curtos-circuitos) no neutro. Esta detecção, naturalmente adequada à seção do neutro, deve provocar o seccionamento dos condutores de fase, mas não necessariamente o do neutro (alínea b) de 5.7.4.3.2 da NBR 5410); ou então,
- ii) se apenas os pólos “fase” do dispositivo incorporam detecção/proteção de sobrecorrente, sua característica de proteção contra curtos-circuitos deve atender à condição $I_a \leq I_{kmin}$, indicada no bloco H da figura 1, observando-se as especificidades do caso. Quer dizer: a corren-

te de curto-circuito presumida mínima I_{kmin} a ser considerada na verificação é aquela determinada para circuitos com neutro e levando em conta a seção menor de neutro (ver artigo “Corrente de curto mínima: atenção ao comprimento do circuito”).

No caso ii), a NBR 5410 exige ainda que a máxima corrente suscetível de percorrer o condutor neutro em serviço normal seja “claramente inferior ao valor da capacidade de condução de corrente desse condutor” (nota de 5.7.4.3.2).

Determinação da corrente de curto-circuito presumida

Dada a corrente de curto-circuito presumida I_{ko} na origem de uma instalação de baixa tensão, é possível determinar, através de método prático, a corrente de curto-circuito presumida I_k na extremidade de qualquer circuito da instalação, conhecidos os comprimentos e as seções dos condutores até aquele ponto.

O método admite curto-circuito trifásico e direto e não considera as impedâncias de barras e dispositivos de manobra e proteção. Via de regra, é suficiente para suprir as necessidades que surgem nos cálculos de instalações de baixa tensão — escolha de dispositivos de proteção, determinação da seção dos condutores de proteção, etc.

Para as instalações alimentadas por transformador, a corrente de curto-circuito presumida na origem da instalação é tomada igual à corrente de curto-circuito no secundário do transformador, isto é

$$I_k = I_{nt} / Z\%$$

onde I_{nt} é a corrente nominal do transformador e $Z\%$ sua impedância de curto-circuito. Esse procedimento não leva em conta a impedância da rede a montante do transformador.

A tabela I dá os valores de I_k correspondentes às potências nominais usuais dos transformadores trifásicos, calculados fazendo-se

$$I_k \cong 20 I_{nt}$$

Se a instalação é alimentada por dois ou mais transfor-

madores em paralelo, a corrente de curto-circuito na origem é considerada igual à soma das correntes de curto-circuito dos transformadores.

Para as instalações alimentadas diretamente por uma rede de distribuição pública, o valor da corrente de curto-circuito no ponto de entrega deve ser fornecido pela concessionária.

No caso (raro) de ser a instalação alimentada por um alternador, o valor da corrente de curto-circuito deve ser indicado pelo fabricante da máquina.

A tabela II, dividida em três partes, (A), (B) e (C), permite determinar, a partir da corrente de curto-circuito na origem de um circuito (ou da instalação, se for o caso), o valor da corrente de curto-circuito presumida na extremidade do circuito, conhecidos seu comprimento ℓ e a seção S de seus condutores, como segue:

1) na parte superior (A) ou na inferior (C), procurar horizontalmente, a partir da seção do condutor em questão (coluna da esquerda), o comprimento correspondente do circuito (ou o valor imediatamente inferior ao real);

2) descer, caso de (A), ou subir, caso de (C), verticalmente à parte (B), até a linha que corresponda, na coluna “Corrente de curto-circuito a montante”, ao valor da corrente de cur-

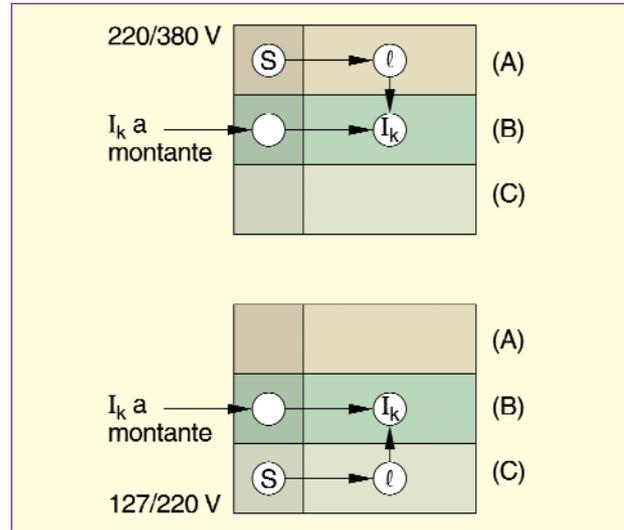


Fig. 1 – Consultando a tabela II

to-circuito na origem do circuito, ou a seu valor aproximado;

3) o cruzamento, em (B), da coluna percorrida com a linha encontrada, fornece o valor de I_k no ponto considerado.

A figura 1 ilustra o procedimento descrito.

O método descrito não considera a contribuição dos motores, que muitas vezes pode ser desprezada em sistemas de baixa tensão. No entanto, para um cálculo mais preciso e, principalmente, quando existem muitos motores num mesmo setor do sistema, sua contribuição pode ser levada em conta adicionando, ao valor de I_k para o ponto considerado, a corrente

$$I_M = 3,5 I_{\Sigma nm}$$

onde $I_{\Sigma nm}$ é a soma das correntes nominais dos motores que podem funcionar simultaneamente.

Tab. I - Valores aproximados da corrente de curto-circuito no secundário de transformadores

P _n (kVA)	I _{ko} (kA)	
	220/127 V	380/220 V
15	0,8	0,4
16	0,8	0,5
25	1,2	0,7
30	1,6	0,8
45	2,4	1,2
50	2,5	1,5
63	3,1	1,8
75	3,8	2,2
80	4	2,3
100	5	3
112,5	5,6	3,2
150	7,6	4,4
160	8	4,7
200	10	6
225	11	6,5
250	12	7
300	15	9
315	16	9
400	20	12
500	25	14
630	31	18
750	37	22
800	40	23
1000	50	28

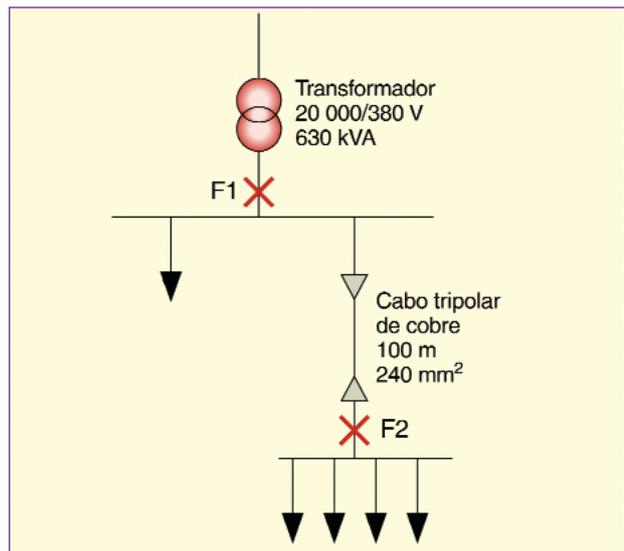


Fig. 2 – Instalação-exemplo

Integral de Joule: coordenando condutores e dispositivos de proteção

Recurso indicado, na NBR 5410, para a verificação da coordenação entre condutores e dispositivos de proteção, no quadro da proteção contra curtos-circuitos, a integral de Joule é definida como a integral do quadrado da corrente durante um dado intervalo de tempo, isto é

$$\int_0^t i^2 dt$$

Essa grandeza, cujo símbolo é “ I^2t ”, representa os esforços térmicos e magnéticos reais impostos a um componente conduzindo uma corrente de curto-circuito.

Quando as sobrecorrentes assumem valores muito elevados, como no caso de curtos-circuitos, os condutores atingem temperaturas da ordem de centenas de graus em tempos extremamente pequenos, freqüentemente da ordem de centésimos de segundo.

Seja devido à forma de onda, seja devido à indutância do circuito, nos primeiros ciclos de uma corrente de curto-

circuito seus efeitos não podem ser avaliados pelo valor eficaz. Nessas condições, para o estudo dos efeitos térmicos dessa corrente, considerando tempos extremamente pequenos, não é possível separar a grandeza *corrente* da grandeza *tempo*, sendo necessário considerá-las em conjunto no produto integral

$$\int_0^t [i(t)]^2 .dt = I^2t$$

que representa energia por unidade de resistência ($J/\Omega = A^2.s$).

A integral de Joule de um componente elétrico pode ser calculada ou medida em ensaios de curto-circuito. As curvas da integral de Joule em função da corrente, $I^2t = f(I)$, de **cabos** e **dispositivos de proteção** são uma ferramenta valiosa no estudo da proteção dos condutores contra sobrecorrentes e da coordenação seletiva entre dispositivos.

Integral de Joule de condutores

A figura 1 mostra a curva da integral de Joule (característica I^2t) típica de um cabo de baixa tensão, que fornece, para cada valor de corrente, a “energia específica” I^2t que pode “passar” pelo cabo, isto é, a integral de Joule que o cabo suporta.

O trecho assintótico vertical corresponde a um valor de corrente da ordem da capacidade de condução de corrente do cabo, I_z , que faz com que seja atingida uma temperatura da ordem da temperatura máxima para serviço contínuo do cabo (função do material da isolamento), θ_z . Essa corrente pode circular continuamente por um tempo extremamente longo, cerca de 20 anos, correspondendo a um valor de I^2t praticamente infinito.

O trecho assintótico horizontal corresponde aos valores de corrente para os quais o aquecimento do condutor é considerado adiabático, isto é, sem troca de calor entre condutor e isolamento: $I^2t = cte$. A região entre as assíntotas vertical

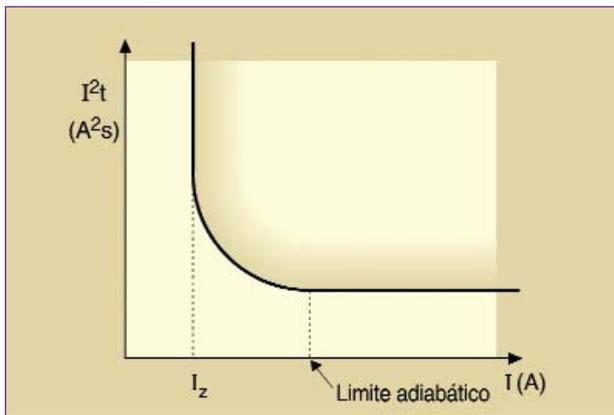


Fig. 1 – Característica I^2t típica de um cabo de BT

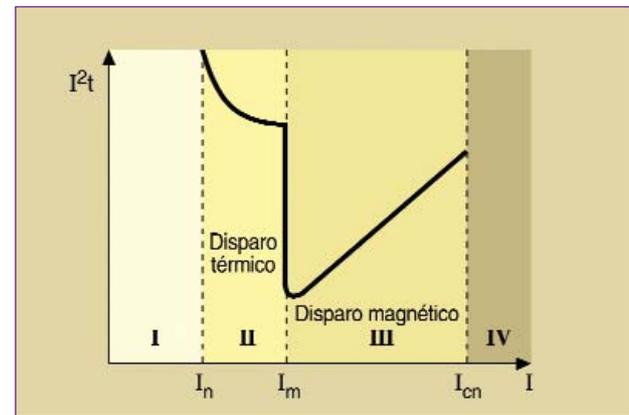
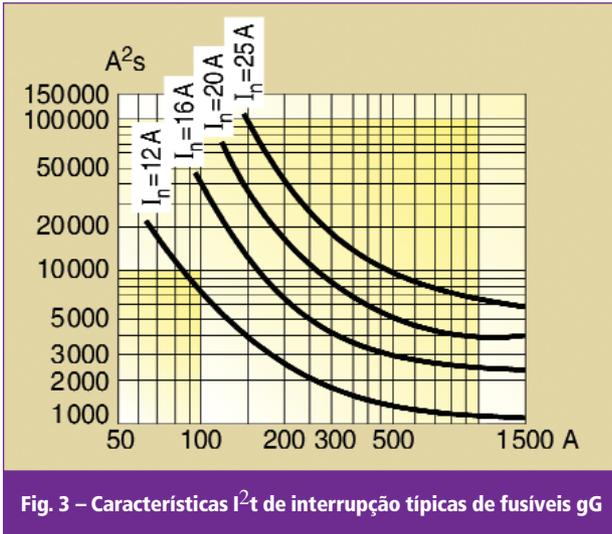


Fig. 2 – Característica I^2t típica de um disjuntor termomagnético



e horizontal pode ser obtida a partir da chamada “curva de vida útil convencional” do cabo.

A curva da integral de Joule de um condutor, na forma $I^2t = f(I)$, pode ser traçada calculando-se os valores de I^2t a partir do método proposto pela IEC 60949 (ver boxe).

Tratemos do aquecimento adiabático. A energia necessária para elevar a temperatura do condutor do cabo desde a temperatura máxima para serviço contínuo, θ_z (70°C para isolamento em PVC, ou 90°C para EPR ou XLPE), até a temperatura de curto-circuito, θ_k (160°C para PVC ou 250°C para EPR ou XLPE), num processo adiabático, pode ser expressa por:

$$\int_0^t Ri^2 dt = (\theta_k - \theta_z) c \gamma S \ell$$

onde i é o valor instantâneo da corrente, t o tempo em que ela circula, R a resistência do condutor, c o calor específico do material do condutor, γ sua massa específica, S a seção do condutor e ℓ seu comprimento.

A resistência R , como sabemos, não é independente da temperatura e, portanto, não pode ser colocada fora da integral. No entanto, sendo fixos os dois limites de variação de R , para θ_z e para θ_k , podemos escrever:

$$R_{eq} \int_0^t i^2 dt = (\theta_k - \theta_z) c \gamma S \ell$$

A existência de limites prefixados de temperatura (inicial e final) permite que a resistência seja tratada como um valor constante, R_{eq} , ou que a resistividade seja considerada constante e igual a ρ_{eq} (valores correspondentes a uma temperatura intermediária). Podemos escrever, então:

$$R_{eq} = \rho_{eq} \frac{\ell}{S}$$

e

$$\int_0^t i^2 dt = \frac{(\theta_k - \theta_z)}{\rho_{eq}} c \gamma S^2$$

Fazendo

$$\sqrt{\frac{(\theta_k - \theta_z)}{\rho_{eq}} c \gamma} = K$$

virá

$$\int_0^t i^2 dt = K^2 S^2$$

Essa expressão dá a integral de Joule, isto é, a energia por unidade de resistência (energia específica) necessária para, num processo adiabático, elevar a temperatura do condutor desde a temperatura máxima para serviço contínuo, θ_z , até a temperatura de curto-circuito, θ_k .

A NBR 5410 dá, em 5.3.4.3(b), os valores de K , aqui reproduzidos na tabela I. Assim, por exemplo, a integral de Joule que adiabaticamente leva um condutor isolado (ou cabo unipolar) de cobre, BT, com isolamento de EPR, 25 mm², de $\theta_z = 90^\circ\text{C}$ a $\theta_k = 250^\circ\text{C}$ é de

$$I^2t = K^2 S^2$$

$$I^2t = 135^2 \times 25^2$$

$$I^2t = 11390 \times 10^3 \text{ A}^2\text{s.}$$

Tab. I – Valores de K (NBR 5410)	
Condutor / isolamento	K
Cu / PVC	115
Cu / EPR ou Cu / XLPE	135
Al / PVC	74
Al / EPR ou Al / XLPE	87

Integral de Joule dos dispositivos de proteção

A característica I^2t de um **disjuntor** termomagnético

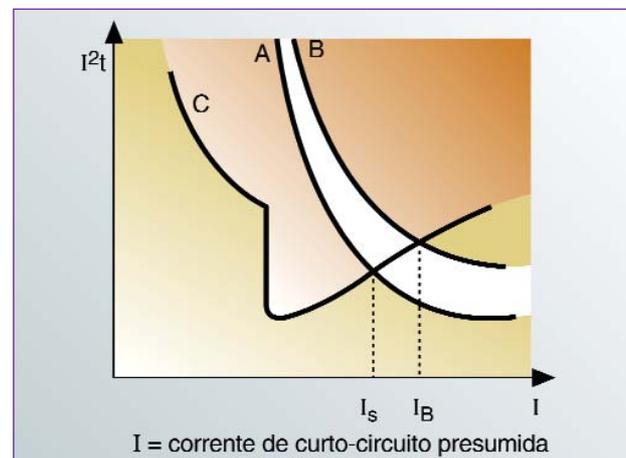


Fig. 4 – Verificação da seletividade entre disjuntor e fusível usando as curvas I^2t

dá o valor máximo da integral de Joule que o dispositivo deixa passar, em função da corrente que por ele circula. Seu aspecto típico é mostrado na figura 2, onde destacamos quatro regiões:

- a região **I**, com correntes $I \leq I_n$ (I_n é a corrente nominal do disjuntor), onde não existe limitação de corrente;
- a região **II**, com $I_n < I \leq I_m$ (I_m é o limiar de atuação magnética), onde os tempos de atuação são relativamente longos, atuando o disparador térmico. Pode ser obtida da curva tempo-corrente do dispositivo;
- a região **III**, com $I_m < I \leq I_{cn}$ (I_{cn} é a capacidade de interrupção do dispositivo), onde os tempos de atuação são curtos, atuando o disparador magnético. Pode ser obtida a partir de ensaio de curto-circuito do dispositivo; e
- a região **IV**, com $I > I_{cn}$, na qual o disjuntor não de-

ve ser utilizado.

No caso dos **fusíveis**, distinguem-se três características I^2t : a *de fusão*, isto é, a energia específica que o fusível deixa passar entre os limites do tempo de fusão; a *de arco*, correspondente à energia que o fusível deixa passar entre os limites do tempo de arco; e a *de interrupção*, que pode ser obtida pela soma das outras duas e que corresponde à integral de Joule que o fusível deixa passar entre os limites do tempo de interrupção. É essa última que interessa no que concerne à proteção dos condutores. A figura 3 apresenta exemplos da característica I^2t de interrupção.

Devido à elevada capacidade de interrupção (I_{cn}) dos fusíveis, não existem problemas para a interrupção de correntes de curto-circuito elevadas. Assim, na grande maioria das aplicações é dispensável a verificação de I_k (de acordo

Como construir as curvas I^2t dos condutores

Os valores da integral de Joule admissíveis nos condutores elétricos e, assim, as curvas respectivas [$I^2t = f(I)$], podem ser determinados usando-se o método da IEC 60949: **Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.**

A fórmula geral indicada na norma é:

$$I^2t = I^2 G^2$$

onde:

$$G = \frac{X + \Delta^{-\frac{1}{2}}}{2zS^{-\frac{1}{2}}} \quad \Delta = X^2 + 4zS$$

$$z = \frac{I^2}{\alpha} - \frac{Y}{S} \quad \alpha = K^2 S^2 \ln \left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right)$$

sendo:

I = corrente que percorre o condutor (A);

S = seção nominal do condutor (mm²);

θ_f = temperatura final (°C);

θ_i = temperatura inicial (°C);

β = recíproco do coeficiente de temperatura da resistência do condutor, em °C (K) (ver tabela I);

Tab. I - Constantes K e β

Material	K	β
Cobre	226	234,5
Alumínio	148	228

K = constante que depende do material condutor (ver tabela I);

X e Y = constantes que dependem do material, da isolamento e da tensão de isolamento do condutor (ver tabela II)

Tab. II - Constantes X e Y

Isolação	X	Y
PVC \leq 3 kV	0,29	0,06
PVC $>$ 3 kV	0,27	0,05
XLPE	0,41	0,12
EPR \leq 3 kV	0,38	0,10
EPR $>$ 3 kV	0,32	0,07

Exemplos

Vamos calcular a integral de Joule suportável por um cabo de cobre, isolamento de PVC, seção de 6 mm², percorrido por uma corrente de 100 A.

Lembremos que, no caso de isolamento de PVC (que é o do exemplo), a temperatura máxima para serviço contínuo é de 70°C e a temperatura limite de curto-circuito é de 160°C.

Portanto,

$$\theta_i = 70^\circ\text{C} \quad \theta_f = 160^\circ\text{C}$$

Temos, ainda:

$$\beta = 234,5 \text{ (tabela I);}$$

com 5.3.4.3a) da norma de instalações, $I_k \leq I_{cn}$).

Por outro lado, ao contrário do que ocorre com os disjuntores, a I^2t dos fusíveis aumenta com a redução da corrente, como se vê na figura 3. Nessas condições, o fusível apresenta um comportamento crítico para pequenas correntes de curto-circuito, isto é, ele poderá não atuar num tempo suficiente, permitindo o aquecimento excessivo do condutor. Se o fusível for dimensionado para proteger o condutor também contra correntes de sobrecarga, não existirão correntes críticas e, na prática, não haverá necessidade de se verificar a integral de Joule. Se, no entanto, o fusível for superdimensionado em relação à capacidade de condução de corrente do condutor, devem ser verificadas (pelas características I^2t) as condições de proteção no caso de corrente de curto-circuito presumida mínima.

As características I^2t também podem ser utilizadas na **verificação da seletividade** entre dispositivos, como mostra a figura 4 — caso de um disjuntor com um fusível a montante. Na figura acham-se ilustradas:

- a característica I^2t do disjuntor (curva C);
- a característica I^2t de fusão do fusível (curva A); e
- a característica I^2t de interrupção do fusível (curva B).

Verifica-se que se a corrente I for inferior a I_s (intersecção das curvas C e A) o disjuntor atuará sem que seja afetado o fusível. Se I for superior a I_B (intersecção das curvas C e B), atuará o fusível antes do disjuntor. Para I compreendido entre I_s e I_B , o disjuntor atuará, porém o fusível poderá ficar afetado, podendo atuar intempestivamente em outra ocasião.

$K = 226$ (tabela I);
 $X = 0,29$ (tabela II); e
 $Y = 0,06$ (tabela II).

Assim,

$$\alpha = K^2 S^2 \ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right) =$$

$$= 226^2 \times 6^2 \times \ln\left(\frac{160 + 234,5}{70 + 234,5}\right) = 476\,137,1$$

$$z = \frac{I^2}{\alpha} - \frac{Y}{S} = \frac{100^2}{476\,137,1} - \frac{0,06}{6} = 0,011$$

$$\Delta = X^2 + 4 z S = 0,29^2 + (4 \times 0,011 \times 6) = 0,348$$

$$G = \frac{X + \Delta^{-\frac{1}{2}}}{2 z S^{-\frac{1}{2}}} = \frac{0,29 + 0,348^{-\frac{1}{2}}}{2 \times 0,011 \times 6^{-\frac{1}{2}}} = 16,33$$

$$I^2t = I^2 G^2 = 100^2 \times (16,33)^2 = 2\,665\,816 \text{ A}^2\text{s}$$

Calculemos a integral de Joule para o mesmo condutor, mas percorrido agora por uma corrente de 1000 A:

α não muda e, portanto,
 $\alpha = 476\,137,1$

$$z = \frac{I^2}{\alpha} - \frac{Y}{S} = 2,090$$

$$\Delta = X^2 + 4 z S = 50,250$$

$$G = \frac{X + \Delta^{-\frac{1}{2}}}{2 z S^{-\frac{1}{2}}} = 0,72$$

$$I^2t = I^2 G^2 = 519\,229 \text{ A}^2\text{s}$$

A figura B1 mostra a curva $I^2t = f(I)$ de um condutor de cobre, isolamento de PVC e seção de 16 mm^2 , levantada utilizando-se o método descrito — naturalmente, com a ajuda de um programa de planilha eletrônica.

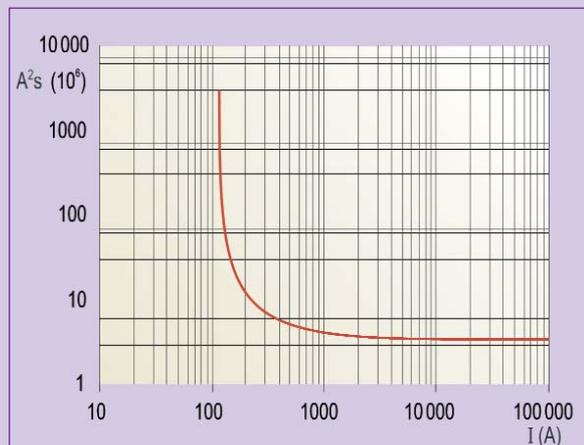


Fig. B1 – Curva I^2t de condutor de cobre/PVC, 16 mm^2

Corrente de curto mínima: atenção ao comprimento do circuito

Em que circunstâncias o uso de um dispositivo envolve apenas a proteção contra curtos-circuitos? Ou, examinada a questão do ângulo da norma de instalações, em que circunstâncias, na proteção contra sobrecorrentes, a adequação de um dispositivo é checada considerando apenas suas características de proteção contra curtos-circuitos?

Basicamente, **1)** quando o dispositivo apresenta características de funcionamento que só garantem mesmo essa proteção (caso dos disjuntores apenas com disparador magnético e dos fusíveis aM), sendo então seu uso necessariamente casado com o de um outro dispositivo responsável pela proteção contra sobrecargas.

Ou **2)** para complementar a insuficiente proteção contra curtos-circuitos (tipicamente, insuficiente capacidade de interrupção) de um outro dispositivo que, cogitado a princípio para prover ambas as proteções, contra sobrecargas e contra curtos-circuitos, não possuía então capacidade de interrupção nominal compatível com a corrente de curto-circuito presumida no ponto de sua instalação.

Ou, ainda, **3)** quando ao dispositivo cabe, “adicionalmente”, a missão de proteger contra curtos-circuitos linhas ou trechos de linhas, a jusante, nas quais houve deslocamento do dispositivo contra sobrecorrentes; isto é, quando o dispositivo assume, devido ao deslocamento de um dispositivo a jusante — do ponto onde a rigor deveria ser instalado para outro ponto mais à frente —, a proteção contra curtos-circuitos do trecho deixado a descoberto pelo deslocamento. Cabe frisar que, aqui, a verificação baseada apenas nas características de proteção contra curtos-circuitos, referida inicialmente, deve ser entendida como aquela associada especificamente a essa missão “adicional” do dispositivo, de proteger um circuito que não o “seu”. A verificação da proteção contra sobrecorrentes, no contexto do “seu” circuito, deve ser verificada na plenitude da missão que aí lhe cabe.

Esses três casos ficariam então adicionalmente sujeitos, como explicado no artigo “Equacionamento da proteção contra curtos-circuitos”, à terceira verificação da proteção contra curtos-circuitos lá referida, e descrita em 6.3.4.3 da NBR 5410: a de que a corrente I_a , correspondente ao cruzamento da curva tempo–corrente do dispositivo (mais exatamente, curva do tempo máximo de atuação/interrupção) com a curva de suportabilidade térmica do condutor, seja inferior ou, no máximo, igual à corrente de curto-circuito presumida mínima (I_{kmin}) no circuito a ser protegido (ver figura 3 do artigo mencionado). As outras duas verificações, vale lembrar, referem-se à capacidade de interrupção do dispositivo, indispensável, e à integral de Joule que ele deixa passar, necessária apenas quando houver dúvidas a respeito deste ponto.

De fato, a exigência associada a I_{kmin} é aplicável apenas quando o dispositivo só garante proteção contra curtos-circuitos (caso de disjuntor apenas com disparador magnético ou de fusíveis aM) ou quando o dispositivo, embora reunindo recursos capazes de prover proteção contra sobrecargas e contra curtos-circuitos, é usado explorando-se apenas essa sua segunda habilidade, a de proteção contra curtos-circuitos. Como o que interessa, neste último caso, é tão-somente a proteção contra curtos-circuitos, seria como assumir que um disjuntor termomagnético, por exemplo, é apenas magnético, ignorando-se deliberadamente a habilidade associada a seu disparador térmico; e, nessas condições, assumir que a *corrente nominal* do dispositivo é algo representativo apenas da corrente de regime permanente para a qual suas partes condutoras foram dimensionadas, e não algo que traduza sua ação contra sobrecargas — que, mais uma vez, deve ser ignorada —, ou qualquer idéia, daí decorrente, de coordenação com o condutor que ele protegeria. O boxe “*Um ‘mesmo’ dispositivo, por que exigências distintas?*” explica por que a exigência associada a I_{kmin} só se aplica a dispositivos, por construção ou por critério de projeto, destinados exclusivamente à proteção contra curtos-circuitos.

De qualquer forma, na prática, como antecipado no artigo referido, a verificação da exigência envolvendo I_{kmin} pode ser algo muito mais simples do que sugere, literalmente, o texto da norma.

Assim, a tradução prática da regra em questão é: verifique se o comprimento do circuito a ser protegido pelo dispositivo (apenas) contra curtos-circuitos não ultrapassa o limite até o qual fica garantida sua atuação. E isso é feito recorrendo-se a tabelas de consulta direta que dão esse comprimento máximo de circuito (L_{max}). Os dados de entrada são, de um lado, a seção do condutor a ser protegido e, de outro, dependendo do estilo de tabela e do produto envolvido, a corrente nominal do dispositivo ou então sua cor-

rente de atuação instantânea. No cruzamento da linha e coluna pertinentes, obtém-se o L_{max} .

Seja como for, o dado de entrada, no que se refere ao dispositivo, traduz em última análise a I_a definida acima. Para disjuntores, por exemplo, sejam eles termomagnéticos ou apenas magnéticos, I_a é o menor valor de corrente que efetivamente garante a atuação do disparador magnético. Enfim, a I_a da teoria, intersecção entre as curvas tempo-corrente do dispositivo e do condutor, é a mesma corrente de disparo magnético (I_m) dos disjuntores. Assim, ou bem o fabricante fornece a tabela de L_{max} em função diretamente da I_m de seus disjuntores/disparadores magnéticos; ou, indiretamente, em função da corrente nominal dos disjuntores (I_n) — caso das linhas de disjuntores mais padronizados e, em particular, quando se tem uma proporcionalidade bem definida entre I_m e I_n .

Já nas tabelas de L_{max} válidas para fusíveis, em que o I_a entra também de forma indireta, já embutido nas correntes nominais listadas, os fabricantes geralmente adotam, para os I_a respectivos, a corrente que assegura (curva do tempo máximo de interrupção) a atuação do fusível em 4 ou 5 s.

A origem das tabelas

As tabelas de L_{max} publicadas pelos fabricantes, ou que qualquer profissional de instalações elétricas pode também construir, resultam da expressão:

$$L_{max} = \frac{0,8 U S_L}{2 \rho I_a} \quad (1),$$

aplicável a circuitos **sem** neutro, sejam eles 3F ou 2F (F = fase), ou de

$$L_{max} = \frac{0,8 U S_L}{(1+m) \rho I_a} \quad (2),$$

aplicável a circuitos **com** neutro, sejam eles 3F+N, 2F+N ou F+N,

e resultam, inerentemente, das seguintes hipóteses:

- o curto-circuito (mínimo) ocorre na extremidade “carga” do circuito;
- o curto-circuito (mínimo) envolve dois condutores, podendo ser fase-fase ou fase-neutro. Portanto, o U das expressões é tensão de linha, no caso (1), e tensão de fase no caso (2);
- a tensão na origem do circuito se mantém, na ocorrência da falta, em

80% do valor nominal. Daí o termo 0,8 U;

- a resistividade do material condutor do cabo é tomada à temperatura média de curto-circuito. Para cobre, portanto, $\rho = 0,027 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;
- reatância desprezível para seções até 120 mm², inclusive. Para seções superiores, a reatância entra no cálculo através do fator r da tabela I. Note-se que, nas fórmulas, S_L representa a seção do condutor de fase, em mm²; e que na expressão (2) a parcela (1 + m) traduz a presença do condutor neutro, sendo m a relação entre a seção do condutor de fase e a do neutro, isto é, $m = S_L/S_N$. Com a inclusão do fator r , a expressão (1) ficaria:

$$L_{max} = \frac{0,8 U S_L}{r 2 \rho I_a} \quad (1')$$

Já na expressão (2), considerando genericamente a hipótese de seções diferentes para condutor de fase e condutor neutro, teríamos então um fator r_1 para o condutor de fase e um fator r_2 para o condutor neutro. Assim,

$$L_{max} = \frac{0,8 U S_L}{(r_1 + r_2 m) \rho I_a} \quad (2')$$

A tabela II traz um exemplo de tais tabelas de consulta rápida que fornecem o L_{max} até o qual fica garantida a atuação dos disjuntores listados. Ela foi construída assumindo-se I_a (ou I_m) = 14 × I_n . Tendo em vista a I_m desses disjuntores, eles poderiam ser classificados, se construídos conforme a IEC 60898, como tipo **D** – categoria em que aquela norma enquadra os disjuntores com faixa de disparo instantâneo de 10 a 20 × I_n .

Mas atenção: levando em conta que disjuntores como os que seguem a IEC 60898 são produtos padronizados, de uso generalizado em instalações prediais e aplicados à proteção contra sobrecorrentes em geral (portanto, contra sobrecargas e curtos-circuitos), nunca é demais lembrar que o L_{max} indicado em qualquer tabela similar à tabela II é válido quando o disjuntor for usado apenas na proteção contra curtos-circuitos. Se o disjuntor for usado

também na proteção contra sobrecargas, e atender o que a NBR 5410 prescreve, neste particular, esqueça a história de L_{max} ! Isso para lembrar, mais particularmente, que as correntes nominais que figuram na tabela devem ser lidas desvinculadas do significado e da importância singular que a grandeza tem no contexto da proteção contra sobrecargas. Corrente nominal, aí, é estritamente sinônimo da corrente de regime per-

Tab. I – Fator r de contribuição da reatância

S (mm ²)	r
≤ 120	1,00
150	1,15
185	1,20
240	1,25

Um “mesmo” dispositivo, por que exigências distintas?

A figura (a) mostra a curva de um disjuntor D, com o qual se quer proteger um condutor, S, cuja curva tempo–corrente caracterizadora de sua suportabilidade térmica também se encontra aí ilustrada. Esse mesmo disjuntor D, acompanhado da curva do cabo, é reapresentado nas figuras abaixo, (b) e (c).

O mesmo disjuntor? Sim, com a mesma corrente nominal, a mesma faixa de disparo magnético, etc. Só que vamos imaginar o disjuntor D, no caso D2 (figura c), dotado apenas de disparador magnético; ou então que, embora dotado de disparadores térmico e magnético, D (D2) seja utilizado levando em conta apenas seu disparador magnético. Em outras palavras, imaginemos que só nos interessa, no caso D2, a característica de proteção contra curtos-circuitos do disjuntor D. Já o disjuntor D do caso D1 (figura b) será explorado em toda sua plenitude, isto é, em toda sua capacidade de proteção contra sobrecorrentes, sejam elas sobrecargas ou curtos-circuitos.

Ora, assumir que o disjuntor D do caso D1 (figura b) protege o condutor S contra quaisquer sobrecorrentes — não só porque ele dispõe de disparadores térmico e magnético, mas porque sua corrente nominal I_n , ou de ajuste do disparador térmico, é inferior à capacidade de condução de corrente (I_z) do condutor S, já que as regras da proteção contra sobrecargas impõem $I_n \leq I_z$ —, significa dizer que todas as sobrecorrentes no circuito por ele protegido, até a capacidade de interrupção do dispositivo, serão eliminadas, e em tempos inferiores aos da suportabilidade térmica do cabo. É o que mostra a linha de cor verde da figura, que é a curva correspondente ao tempo máximo (considerando inércia, temperatura, tolerâncias admitidas pelas normas, etc.) em que o disjuntor irá atuar, não importa se o nome da sobrecorrente é sobrecarga ou curto-circuito.

Agora, quando o disjuntor D é identificado ou utilizado apenas com base na sua característica de proteção contra curtos-circuitos — seja, mais uma vez, porque *só conta* com disparador magnético ou porque *só se conta* com seu disparador magnético —, a *única coisa que se pode garantir* é que ele irá seguramente atuar para correntes a partir de I_a (figura c).

Ora, se a atuação de D (D2) só é garantida para correntes iguais ou superiores a I_a (o que acontece com as sobrecorrentes inferiores a I_a “não é um problema de D2”), é preciso então que as correntes de curto-circuito suscetíveis de circular no circuito em questão sejam pelo menos iguais a I_a . Em outras palavras, para que D (D2) cumpra com a proteção contra curtos-circuitos que oferece, é preciso que a mínima corrente de curto-circuito suscetível de percorrer o circuito seja maior ou, no mínimo, igual a I_a . E, portanto,

$$I_{kmin} \geq I_a$$

ou, colocando na ordem adotada pela norma,

$$I_a \leq I_{kmin}$$

Logo, a impedância do circuito não deve ser superior à que permitiria, com segurança, a circulação de I_{kmin} . Para uma mesma seção de condutor, mesmo tipo de cabo, etc., impõe-se, portanto, um limite máximo ao comprimento do circuito.

Tudo isso explica por que temos um disjuntor, D = D1, para o qual não se exige a verificação da condição associada a I_{kmin} , e um “mesmo” disjuntor, D = D2, ao qual a exigência se aplica.

Note-se, por outro lado, que se ambos são “iguais”, mas um protege contra qualquer sobrecorrente (come-

manente suportável pelas partes condutoras do disjuntor.

Seja como for, os valores da tabela II seguem a expressão (1). E, por isso, ela pode ser considerada absolutamente típica, dentro da literatura sobre assunto. Pois é assim que os fabricantes de dispositivos montam as tabelas que publicam: para tensão de linha, circuitos sem neutro, para curto fase–fase e des-

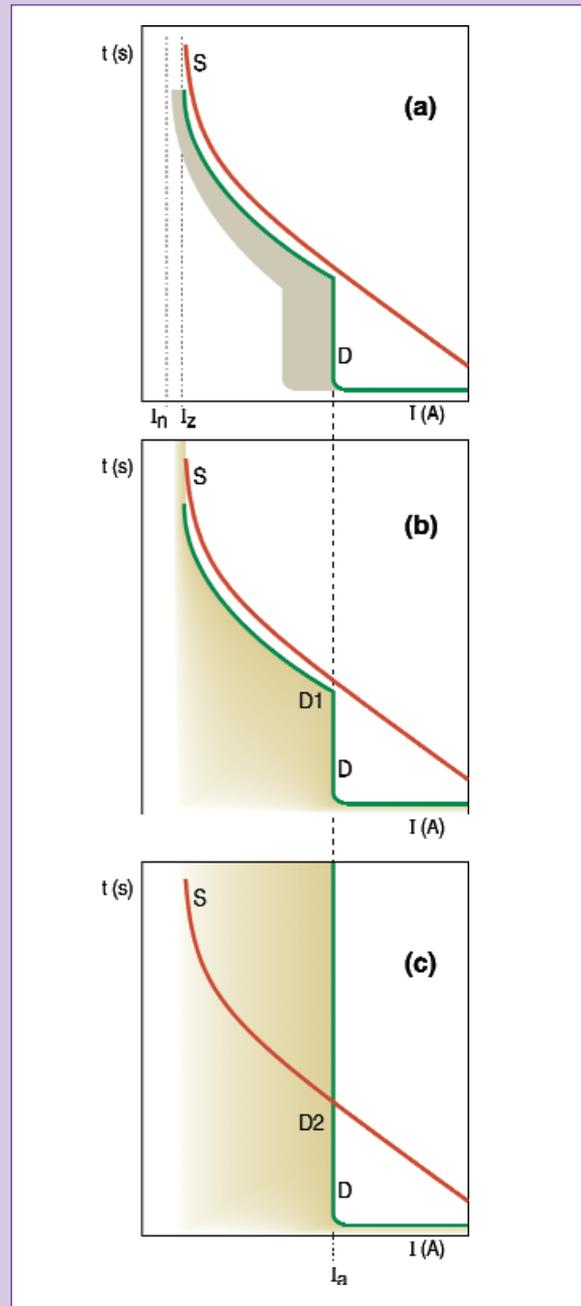
prezando a reatância; e remetendo a obtenção de L_{max} referentes a outras situações (circuitos com neutro, seção de neutro diferente da do condutor de fase, etc.) a fatores de correção — multiplicadores que, em resumo, são pura aritmética. Assim, como os valores da tabela II são válidos para circuito sem neutro, tensão de linha de 380 V, bastaria o interessado multiplicá-

çando pelas sobrecargas) e o outro “só” contra curtos-circuitos, poderemos “deslocar D2 (ou seja, sua curva) para a direita”, mas jamais D1.

Traduzindo: como D2 é assumido apenas como proteção contra curtos-circuitos, em princípio não há nada que obrigue a que sua corrente nominal I_n seja inferior à capacidade de condução de corrente I_z do condutor ao qual é aplicado. Aliás, como reconhece a NBR 5410 na nota 3 de 5.3.4.3, “a corrente nominal do dispositivo de proteção contra curtos-circuitos pode ser superior à capacidade de condução de corrente dos condutores do circuito.” E nem poderia ser diferente.

Portanto, na figura, D2 poderia perfeitamente proteger (contra curtos-circuitos!) outros cabos à esquerda de S (esse o sentido do “deslocamento para a direita” referido), vale dizer, com seções menores; e, eventualmente, também cabos à direita, desde que neles não circule uma corrente de regime permanente superior à que suportam as partes condutoras do dispositivo — aqui entendido como um conjunto capaz de todas as ações dele exigidas e não apenas o disparador. É claro que para tudo há limites práticos, ditados pela realidade, sobretudo a econômica.

Já D1, que se assumiu usado contra sobrecargas (ou, enfim, contra sobrecorrentes em geral), não poderá ter I_n superior à I_z do condutor S. Aqui, a situação é a inversa: o disjuntor poderia garantir a proteção contra sobrecorrentes (sobrecargas e curtos-circuitos) de qualquer condutor à direita de S, ou seja, com seção superior à de S — ressalvados, sempre, os limites práticos e econômicos dessa brincadeira, e outras considerações fora do propósito desses comentários, como a questão da capacidade de interrupção.



los por $1/\sqrt{3}$ (ou, o que dá no mesmo, por 220/380) para obter o L_{max} válido para qualquer circuito 3F+N, 2F+N ou F+N com tensão de fase de 220 V, correspondente à tensão de linha de 380 V. E se a tensão de fase do circuito em questão não for 220 V, mas 127 V, o multiplicador também é simples e automático: 127/380. E, ainda, se a seção do neutro for inferior à

seção do condutor de fase (que é, de qualquer forma, a seção com que se consulta a tabela), deve-se aplicar ao resultado o fator

$$\frac{2}{(1+m)}$$

Tab. II - Comprimento máximo de circuito (*) (m)

Corrente nominal do disjuntor (A)	Seção nominal do condutor (mm ²)								
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
6	100	167	268	402	670	1072			
10	60	100	160	241	402	643	1005		
13	46	77	123	185	309	494	773	1082	
16	37	62	100	150	251	402	628	879	1256
20	30	50	80	120	201	321	502	703	1005
25	24	40	64	96	160	257	402	562	804
32	18	31	50	75	125	201	314	439	628
40	15	25	40	60	100	160	251	351	502
50	12	20	32	48	80	128	201	281	402
63	9	15	25	38	63	102	159	223	319
80	7	12	20	30	50	80	125	175	251
100	6	10	16	24	40	64	100	140	201
125	4	8	12	19	32	51	80	112	160

(*) Circuito com condutores de cobre, protegido por disjuntor com disparo magnético $I_m = 14 I_n$

Verificação prática da exigência, dada em 6.3.4.3 da NBR 5410, de que o dispositivo de proteção contra curtos-circuitos deve seguramente atuar para a corrente de curto-circuito mínima presumida no circuito considerado: basta confrontar o comprimento real do circuito a ser protegido com o comprimento máximo admissível dado na tabela. Sendo o comprimento real inferior ao limite tabelado, fica atendida a exigência. Mas a verificação só se aplica aos casos em que o dispositivo é usado apenas na proteção contra curtos-circuitos. A tabela é somente um exemplo e se refere a disjuntores cujo disparo instantâneo se dá com 14 vezes a corrente nominal.

onde m , como já mencionado, é a relação entre a seção do condutor de fase e a do neutro. Logo, se a seção do condutor neutro for metade da do condutor de fase, o fator é 2/3.

Em termos genéricos, levando em conta todas as possibilidades, a composição do fator de correção total para a tabela do exemplo seria, portanto:

$$\frac{U_N}{380} \times \frac{2}{(1+m)}$$

onde U_N é a tensão nominal do circuito considerado (a tensão de fase, se o circuito inclui neutro, ou tensão de linha, caso contrário).

Na verdade, as possibilidades de aproveitamento da mesma tabela II para outras situações não param por aí. Dela podem ser extraídos também L_{max} válidos para qualquer outro disjuntor com proporcionalidade bem definida entre I_m e I_n , isto é, do tipo

$$I_m = \alpha \times I_n$$

onde α é o multiplicador que caracteriza essa relação. Como na tabela II assumiu-se $\alpha = 14$, para obter os L_{max} válidos para qualquer outro disjuntor do tipo $I_m = \alpha \times I_n$, bastaria aplicar aos L_{max} da tabela II o multiplicador

$$\frac{14}{\alpha}$$

Queda de tensão pode prevalecer

Num projeto real, é possível que a verificação aqui comentada, a do *critério do curto mínimo*, acabe se mostrando “redundante” face a outras exigências da norma — melhor dizendo, ultrapassada por outras exigências, mais restritivas.

Em particular, o critério que pode competir com o do *curto mínimo* é o da queda de tensão.

De fato, uma das clássicas condições a serem atendidas no dimensionamento de um circuito refere-se à queda de tensão. A NBR 5410 impõe aí limites. A queda de tensão num circuito terminal não pode ultrapassar 4%; e a queda de tensão total, da origem da instalação até o “último dos circuitos”, não pode ultrapassar 4% para instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública de baixa tensão ou 7% para instalações equipadas com subestação ou fonte própria.

Ora, uma queda de tensão máxima admissível, como as que a norma impõe, implica também um comprimento máximo admissível de circuito.

Proteção de cabos em paralelo

A proteção contra sobrecorrentes de condutores em paralelo suscita muitas dúvidas entre projetistas e instaladores. Quando utilizar um único dispositivo, isto é, uma única proteção (um fusível ou um pólo de disjuntor) por fase ou proteções individuais, ou seja, um dispositivo para cada conjunto de fases (ver boxe)?

A NBR 5410 trata do assunto de maneira bastante superficial em 5.3.3.3 (proteção contra correntes de sobrecarga), em 5.3.4.4 (proteção contra correntes de curto-circuito) e em 6.2.5.7.

Na IEC 60364, a norma internacional que constitui o documento de referência da NBR 5410, o assunto já é tratado com mais clareza e detalhes — graças a incorporação de textos relativamente recentes. O que se segue é uma análise do tema da proteção de cabos em paralelo tomando como base a seção pertinente da IEC 60364.

Em matéria de proteção contra sobrecargas, quando um único dispositivo protege vários condutores em paralelo não deve haver nenhuma derivação, nem dispositivos de seccionamento ou manobra ao longo dos condutores em paralelo.

Proteção única e proteção individual

Seja, por exemplo, um circuito trifásico (sem neutro) com três condutores por fase. Teremos então nove condutores — três para a fase *R*, três para a fase *S* e três para a fase *T* —, constituindo três conjuntos: $R_1S_1T_1$, $R_2S_2T_2$ e $R_3S_3T_3$. As duas possibilidades de proteção contra sobrecorrentes são:

a) **Proteção única** – Um dispositivo fusível

Trata-se de uma prescrição necessária, embora não suficiente, para garantir (o mais possível) uma igual divisão de corrente entre os condutores de cada fase. Neste caso (igual divisão de corrente), o texto IEC esclarece que o valor de I_z a ser considerado é a soma das capacidades de condução de corrente dos vários condutores em paralelo.

No caso de divisão desigual de corrente (diferença superior a 10%) entre os condutores de uma mesma fase, é dito que a corrente de projeto e as exigências de proteção contra sobrecarga devem ser consideradas individualmente, para cada condutor.

Analisemos tais prescrições.

Quando ocorre uma sobrecarga num circuito contendo condutores em paralelo, a corrente aumentará em cada condutor na mesma proporção em que se dividia a corrente normal. Se a corrente de cada fase dividir-se igualmente entre os condutores em paralelo, uma única proteção, por fase, poderá ser usada para proteger todos os respectivos condutores.

A divisão da corrente entre os condutores em paralelo de cada fase é função da impedância dos condutores. Para cabos de maior seção nominal ($S > 120 \text{ mm}^2$), a reatância indutiva é maior do que a resistência e terá um efeito significativo na divisão de corrente. É importante notar que a reatância indutiva é fortemente influenciada pela posição relativa dos cabos. Se, por exemplo, tivermos um circuito com dois cabos de seção elevada por fase, de mesma seção e mesmo comprimento, dispostos de maneira desfavorável, como seria o caso de cabos de mesma fase justapostos, a divisão de corrente pode chegar a 70%/30%, ao invés de 50%/50%.

Quando for previsível uma diferença de corrente superior a 10% entre os condutores em paralelo, as correntes de projeto e as exigências de proteção contra correntes de sobrecarga devem ser consideradas individualmente para cada condutor, conforme mencionado.

Seja um circuito com m condutores por fase. A corrente de projeto I_{Bk} do condutor k é dada, em termos fasoriais,

tripolar ou um disjuntor tripolar, com um fusível ou um pólo para o conjunto dos três condutores de cada fase ($R_1R_2R_3$, $S_1S_2S_3$ e $T_1T_2T_3$);

b) **Proteção individual** – Três dispositivos fusíveis tripolares ou três disjuntores tripolares, com um dispositivo fusível ou um disjuntor para cada conjunto das três fases ($R_1S_1T_1$, $R_2S_2T_2$ e $R_3S_3T_3$).

por:

$$I_{Bk} = \frac{I_B}{\frac{Z_k}{Z_1} + \frac{Z_k}{Z_2} + \dots + \frac{Z_k}{Z_{k-1}} + \frac{Z_k}{Z_k} + \frac{Z_k}{Z_{k+1}} + \dots + \frac{Z_k}{Z_m}}$$

onde

I_B = corrente de projeto do circuito,

I_{Bk} = corrente de projeto do condutor k ,

$Z_1, Z_2, \dots, Z_k, \dots, Z_m$ = impedância dos condutores 1, 2, ..., k , ... m .

As condições de proteção dadas em 5.3.3.2 (a) e (b) da NBR 5410 podem ser escritas

$$I_{Bk} \leq I_{nk} \leq I_{zk}$$

$$I_{2k} \leq 1,45 I_{zk}$$

se forem previstas proteções individuais, ou

$$I_B \leq I_n \leq \Sigma I_{zk}$$

$$I_2 \leq 1,45 \Sigma I_{zk}$$

se for prevista uma única proteção por fase, onde

I_{zk} = capacidade de condução de corrente do condutor k , considerando todos os fatores de correção necessários;

ΣI_{zk} = soma das capacidades de condução de corrente de todos os m condutores, considerando todos os fatores de correção necessários;

I_n = corrente nominal do dispositivo de proteção único, afetada dos fatores de correção necessários;

I_{nk} = corrente nominal do dispositivo de proteção do condutor k , afetada dos fatores de correção necessários;

I_2, I_{2k} = respectivas correntes convencionais de atuação.

As impedâncias dos condutores — fundamentais para o cálculo das correntes de projeto I_{Bk} —, função de sua posição relativa, podem ser obtidas dos fabricantes (para as posições mais usuais) ou calculadas.

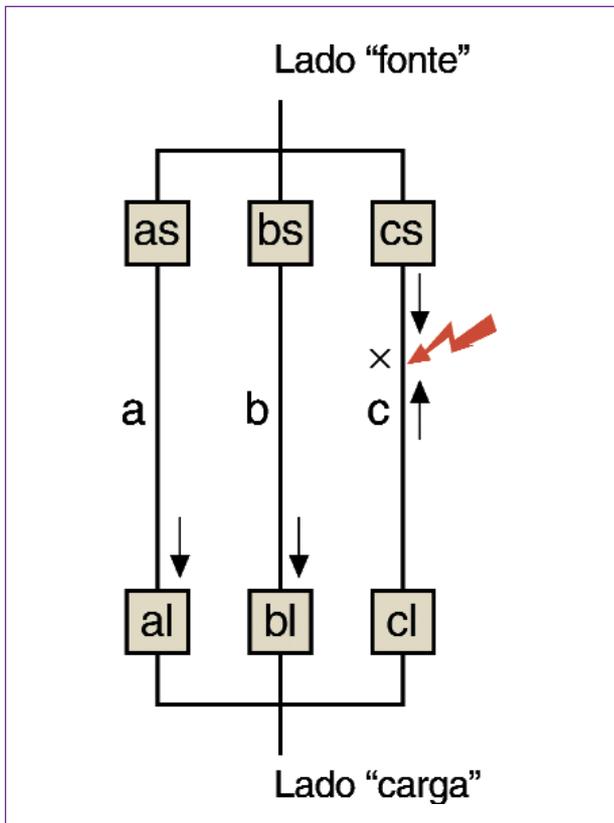


Fig. 1 – Corrente no início da falta

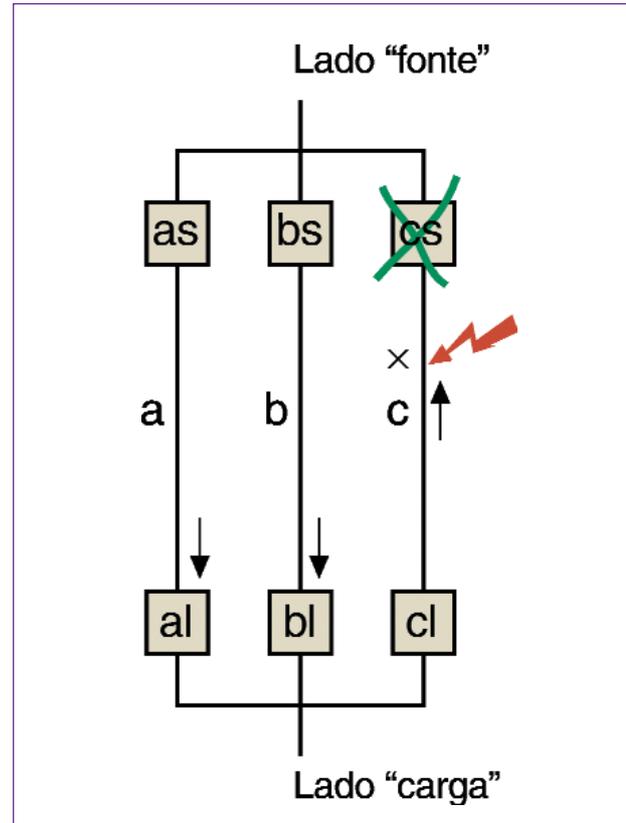


Fig. 2 – Corrente após a atuação do dispositivo cs

Quanto à proteção contra correntes de curto-circuito, a NBR 5410 diz, apenas, que um mesmo dispositivo pode proteger vários condutores em paralelo, desde que suas características de atuação e a maneira de instalar os condutores sejam adequadamente coordenadas. É mais ou menos essa a abordagem do texto IEC. Mas o documento internacional acrescenta que o dispositivo deve garantir a proteção no caso de uma falta que ocorra no ponto mais desfavorável em qualquer dos condutores e lembra que a falta pode ser alimentada pelas duas extremidades de um condutor em paralelo. Assim, se não ficar garantida a atuação efetiva do dispositivo, no caso de proteção única, o texto determina a adoção de medidas complementares; ou então que seja adotada a proteção individual.

As medidas complementares associadas ao uso de um único dispositivo são:

- reduzir, por instalação, os riscos de curto-circuito em qualquer condutor paralelo — por exemplo, com proteção mecânica;
- não instalar os condutores junto a material combustível.

Ao aplicar a proteção individual deve-se, segundo o documento:

- 1) utilizar, no caso de dois condutores em paralelo,

um dispositivo de proteção *na origem* (lado da fonte) (de cada condutor);

2) utilizar, no caso de mais de dois condutores em paralelo, um dispositivo *na origem* (lado da fonte) e outro *no final* (lado da carga) (de cada condutor).

Resumindo: se a atuação de uma proteção única contra correntes de curto-circuito não puder ser garantida, no caso de falta num dos condutores em paralelo, convém optar pela proteção individual, sendo que no caso de três ou mais condutores em paralelo pode ser necessário prever proteções individuais na entrada e na saída do circuito, como ilustram as figuras 1 e 2.

A figura 1 mostra que se ocorre uma falta no condutor paralelo c, no ponto x, a corrente de falta circulará pelos condutores a, b e c. A maior parte dessa corrente passará pela proteção cs. A figura 2 mostra que mesmo após a atuação de cs circulará corrente para a falta, em x, pelos condutores a e b. Por estarem a e b em paralelo, a corrente que passa pelas proteções as e bs pode não ser suficiente para fazê-las atuar em tempo hábil. Nessas condições a proteção cl será necessária. Note-se que a corrente através de cl será inferior à que causou a atuação de cs. A mesma situação existirá se a falta ocorrer no condutor a ou b e, portanto, serão necessárias as proteções al e bl.

DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS

Os seis critérios de dimensionamento de circuitos de BT	188
Capacidade de condução: o que diz a norma	189
Cálculos de queda de tensão (I)	195
Cálculos de queda de tensão (II)	199
Dimensionamento econômico de condutores	205

Os seis critérios de dimensionamento de circuitos de BT

Chamamos de dimensionamento técnico de um circuito a aplicação das diversas prescrições da NBR 5410 relativas à escolha da seção de um condutor e do seu respectivo dispositivo de proteção. Para que se considere um circuito completo e corretamente dimensionado, são necessários seis cálculos. Em princípio, cada um deles pode resultar numa seção diferente. E a seção a ser finalmente adotada é a maior dentre todas as seções obtidas.

Os seis critérios técnicos de dimensionamento são:

- seção mínima;
- capacidade de condução de corrente;
- queda de tensão;
- proteção contra sobrecargas;
- proteção contra curtos-circuitos;
- proteção contra contatos indiretos (aplicável apenas quando se usam dispositivos a sobrecorrente na função de seccionamento automático).

Vejamos a seguir onde encontrar, na NBR 5410, os itens relacionados a cada um dos critérios mencionados.

Seção mínima

As seções mínimas admitidas em qualquer instalação de baixa tensão estão definidas na tabela 43, item 6.2.6 da norma. Dentre os valores ali indicados, destacamos dois:

- a seção mínima de um condutor de cobre para circuitos de iluminação é de 1,5 mm²; e
- a seção mínima de um condutor de cobre para circuitos de força, que incluem tomadas de uso geral, é 2,5 mm².

Capacidade de condução de corrente

A capacidade de condução de corrente é um critério importantíssimo, pois leva em consideração os efeitos térmicos provocados nos componentes do circuito pela passagem da corrente elétrica em condições normais (corrente de projeto).

Este critério de dimensionamento é tratado na seção 6.2.5 da NBR 5410, que apresenta então tabelas para deter-

minação das seções dos condutores pela capacidade de corrente. Mas não é só. O uso correto dessas tabelas requer que seus dados sejam devidamente traduzidos para a situação concreta, real, que o projetista tem pela frente. Ou, o que dá no mesmo, que o projetista converta os dados reais do circuito que está dimensionando em equivalências harmonizadas com as condições nas quais foram baseados os números fornecidos pela norma. Na prática, aliás, é este o processo que efetivamente ocorre.

Por isso, para possibilitar esse casamento entre as situações reais dos projetos e as situações assumidas na obtenção dos valores de capacidade de condução de corrente por ela fornecidos, a norma inclui, na mesma seção 6.2.5, uma série de fatores de correção.

O artigo “Capacidade de condução: o que diz a norma” promove uma visita circunstanciada à seção 6.2.5 da NBR 5410 e, assim, uma análise objetiva de como é realizado o dimensionamento de um circuito pelo critério da capacidade de condução de corrente.

Queda de tensão

Este critério é tratado em 6.2.7 da NBR 5410. Nessa seção, mais precisamente na tabela 46, a norma fixa os limites máximos admissíveis de queda de tensão nas instalações alimentadas por ramal de baixa tensão (4%) e por transformador/gerador próprio (7%) (figura 1).

Em outro ponto, 6.5.3.4.4, é abordada a queda de tensão máxima permitida durante a partida de motores. Ela é fixada em, no máximo, 10% nos terminais do motor, desde

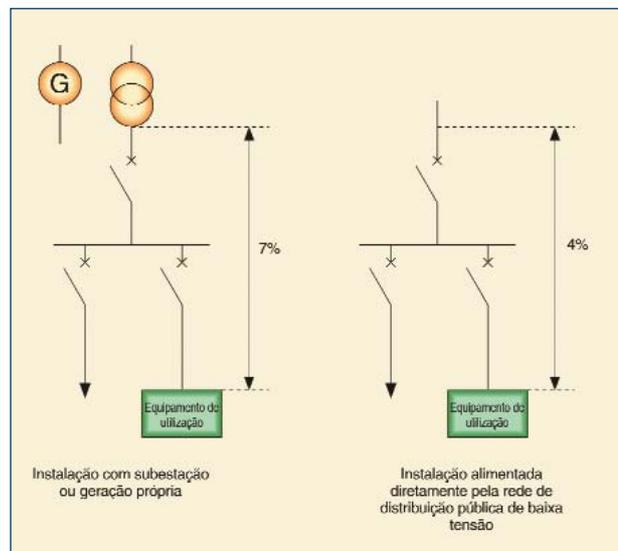


Fig. 1 – Limites de queda de tensão fixados pela NBR 5410: 4% para as instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública de baixa tensão; e 7% para as instalações que contam com subestação própria ou com geração própria. Além disso, a queda de tensão máxima admissível nos circuitos terminais é de 4%.

que não ultrapasse os valores da tabela 46 para as demais cargas no momento da partida. Isto, na prática, é uma situação muito difícil de ser calculada, a menos que se possua um bom diagrama de impedâncias da instalação e se realize um estudo de fluxo de potência.

Os artigos “Cálculos de queda de tensão”, apresentados mais adiante, trazem métodos e exemplos práticos de muita utilidade na verificação do critério da queda de tensão, quando do dimensionamento de circuitos.

Sobrecarga e curto-circuito

Na NBR 5410, a proteção contra sobrecorrentes é objeto do capítulo 5.3 e das seções 5.7.4, 6.3.4 e 6.3.7. Ela enfoca o assunto estabelecendo prescrições para a proteção contra correntes de sobrecarga, de um lado, e para a proteção contra correntes de curto-circuito, de outro.

Neste **Guia EM da NBR 5410**, o tema é exaustivamente examinado no capítulo pertinente (“Proteção contra sobrecorrentes”). Aí o projetista encontra orientação prática sobre a aplicação do critério da proteção contra sobrecorrentes no dimensionamento dos circuitos.

De qualquer forma, que tal dar uma olhada, aqui, no que diz a nota 3 de 5.3.1? É uma mensagem que costuma passar despercebida, mas indispensável para compreender o que é exatamente a *proteção contra sobrecorrentes* de que tratam as normas de instalações elétricas em geral (do Brasil e de outros países). Diz a nota: “A *proteção dos condutores realizada de acordo com esta seção não garante necessariamente a proteção dos equipamentos ligados a esses condutores*”. Ou seja, as regras estabelecidas em 5.3.3 (Proteção contra correntes de sobrecargas) e 5.3.4 (Proteção contra correntes de curto-circuito) têm em mente exclusivamente a proteção dos condutores de um circuito.

Por exemplo, não se pode esperar que um disjuntor de 20 A, situado no quadro de distribuição de uma residência, e ao qual esteja ligado um condutor de 2,5 mm², consiga proteger adequadamente contra sobrecorrentes um aparelho de videocassete de 300 VA – 127 V (menos de 3 A). Dependendo do caso, pode até ser que o disjuntor atue devido a algum problema ocorrido no aparelho, mas, de modo geral, presume-se que o aparelho tenha sua própria proteção, incorporada.

Proteção contra contatos indiretos

Via de regra, a verificação da proteção contra contatos indiretos, como etapa do dimensionamento de um circuito, só se aplica aos casos em que isso (proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação) é atribuído a dispositivos a sobrecorrente.

O objetivo da medida de proteção, enunciada no artigo 5.1.3.1 da NBR 5410, é assegurar que o circuito se-

ja automaticamente desligado caso algum dos equipamentos por ele alimentados venha a sofrer uma falta à terra ou à massa capaz de originar uma tensão de contato perigosa.

Como mencionado, há casos em que esse seccionamento automático visando a proteção contra choques pode (e deve, no caso do TN-C) ser implementado com o uso de dispositivo a sobrecorrente. A regra pertinente, explicada em detalhes no artigo “Seccionamento automático (III): uso de dispositivo a sobrecorrente” [ver capítulo sobre *proteção contra choques*], envolve aspectos conceitualmente equivalentes aos de queda de tensão. Portanto, é um critério que pode pesar seja na seção do condutor, seja no comprimento do circuito, seja, enfim, em ambos. De qualquer forma, é uma verificação obrigatória (caso de seccionamento automático com dispositivo a sobrecorrente, bem entendido), ainda que outros critérios de dimensionamento, como o da própria queda de tensão, venham a prevalecer.

Capacidade de condução: o que diz a norma

No dimensionamento de um circuito elétrico, todos os seis critérios técnicos apontados no artigo anterior têm a sua importância. Nenhum deles pode ser deixado de lado. Mas é compreensível que o critério da *capacidade de condução de corrente* projete, como ocorre na prática, uma importância que parece superior à dos demais. Pois ele constitui o ponto de partida natural do processo de dimensionamento, além de funcionar, em certa medida, como o pivô do jogo.

De fato, após o estudo prévio da carga a ser alimentada por um circuito, com o conseqüente cálculo da corrente de projeto (I_B), o passo seguinte — e efetivamente o primeiro no que se refere ao dimensionamento *dos componentes do circuito* — é determinar a capacidade de condução de corrente, vale dizer, determinar a seção de condutor que, nas condições reais do circuito, oferece capacidade de condução de corrente suficiente para a circulação de I_B , sem riscos.

Para tanto, o projetista recorre a tabelas que figuram na seção 6.2.5 da NBR 5410. Nessas tabelas, ele apura então a seção de condutor que atende às necessidades do seu circuito.

Tab. I – Fatores de correção para agrupamento de circuitos ou cabos multipolares, a aplicar aos valores de capacidade de condução de corrente (*)

Disposição dos cabos justapostos	Número de circuitos ou de cabos multipolares								
	1	2	3	4	5	6	7	8	≥9
2 Camada única sobre parede, piso ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70
3 Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61
4 Camada única em bandeja perfurada, horizontal ou vertical	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72
5 Camada única em leito ou suporte	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78

(*) Reprodução parcial da tabela 37 da NBR 5410

São quatro as tabelas diretamente encarregadas de informar a capacidade de condução de corrente dos condutores: as de número 31 a 34. Duas delas se aplicam a condutores com isolamento termoplástica (31 e 33) e as outras duas a condutores com isolamento termofixa (32 e 34).

Convém lembrar, inicialmente, que os valores fornecidos pelas tabelas 31 a 34 são para uma temperatura no condutor igual à máxima admissível pelo material da isolamento, aplicada permanentemente. Esta situação pode não corresponder a de vários casos reais, em que a carga tem um regime de operação intermitente ou temporário. Nestas circunstâncias, há métodos de cálculos específicos para se obter a seção do condutor, que resulta sempre menor que a das tabelas mencionadas.

Outro detalhe das tabelas, como lembra a nota de 6.2.5.1, é que elas não levam em conta os cabos providos de armação metálica. Embora não sejam muito comuns, estes tipos de cabos, dotados de proteção mecânica, têm lá suas aplicações. Existe um tipo de cabo armado, com fita metálica, cuja capacidade de condução de corrente pode ser considerada praticamente a mesma de um cabo não-armado, uma vez que a fita metálica atua como uma espécie de trocador de calor com o meio ambiente.

E quanto à influência da temperatura ambiente? As próprias tabelas de capacidade de condução de corrente ressaltam que a temperatura ambiente considerada é de 30°C (ou, no caso de linhas subterrâneas, temperatura no solo de 20°C). Portanto, para aplicação correta dos valores de capacidade tabelados, o projetista deve estimar a temperatura do local onde o cabo estará instalado. Qual? A rigor, a temperatura anual máxima registrada no lo-

cal, em séries históricas. Quanto mais precisa for essa estimativa, melhor. Pois, como se deduz da tabela 34, que indica os fatores de correção por temperatura, diferenças de 5°C podem resultar em diferenças de 10% ou mais no fator de correção, o que pode significar uma troca de seção de cabo.

Por fim, mas não por último — ao contrário, a questão que agora se analisa é de longe a mais rumorosa —, a aplicação correta da tabela de capa-

cidade de corrente exige que os valores fornecidos sejam interpretados como representativos de uma linha elétrica constituída de um único circuito. Enfim, é como se a linha da tabela fosse mãe de filho único. Só que, na vida real, a grande maioria das mães tem mais de um filho. Portanto, se o circuito que estamos dimensionando não for o único a desfrutar da linha elétrica — ou o único filho da mãe —, é necessário aplicar à corrente de projeto I_B do nosso circuito, antes de com ela ingressar na tabela de capacidade de corrente, o chamado *fator de correção para agrupamento*. Este fator, indicado nas tabelas 37 a 42 da NBR 5410, considera os efeitos térmicos mútuos entre os condutores contidos no mesmo conduto. Tem o sentido de uma penalidade, evidentemente. Mas, como na analogia, filhos a mais são bocas a mais para alimentar.

Fazendo um passeio pelas tabelas que tratam dos fatores de correção por/para agrupamento, vamos nos deter um pouco na tabela 37. Ela fornece, como mencionado no capítulo sobre linhas elétricas [Ver, em particular, a tabela II do

Tab. II – Multiplicadores a utilizar para a obtenção de fatores de correção aplicáveis a condutores em várias camadas horizontais, em bandejas, prateleiras e suportes (*)

	Número de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada (cabos contíguos); ou número de camadas				
	2	3	4 ou 5	6 a 8	≥9
Disposição num plano horizontal	0,85	0,78	0,75	0,72	0,70
Disposição num plano vertical	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

(*) Reprodução da tabela 42 da NBR 5410

artigo “Roteiro das linhas elétricas”], fatores de correção (por agrupamento) para uma grande variedade de tipos de linhas. Na verdade, ela só não se presta às linhas enterradas. No mais, a tabela 37 é pau para toda a obra: linhas fechadas de todos os tipos e também todo gênero de linha aberta. As linhas elétricas fechadas são atendidas pelos valores dados na linha 1 da tabela; e as linhas elétricas abertas pelos valo-

res indicados nas linhas 2 a 5 da tabela (a tabela I aqui publicada reproduz esta parte — linhas 2 a 5 — da tabela 37).

Só que tem um detalhe. E que envolve, em particular, as linhas abertas. Os fatores de correção da tabela 37, como ela própria adverte, são válidos para cabos dispostos *em uma única camada*. O que fazer, se a linha elétrica contiver mais de uma camada de cabos?

Exemplos de aplicação

1

Seja a instalação mostrada na figura 1, composta de 10 circuitos, cujas correntes de projeto estão indicadas na tabela B1.

Pelos valores das correntes de projeto indicadas, percebemos que os circuitos são semelhantes, uma vez que as seções resultantes para os cabos provavelmente estarão contidas em um intervalo de três valores sucessivos normalizados. Pela figura, vemos que os cabos multipolares estão em camada única e, portanto, estamos tratando de um caso típico de aplicação da tabela I (tabela 37 da NBR 5410). Entrando com 10 circuitos na tabela, encontramos o fator de correção por agrupamento de 0,72.

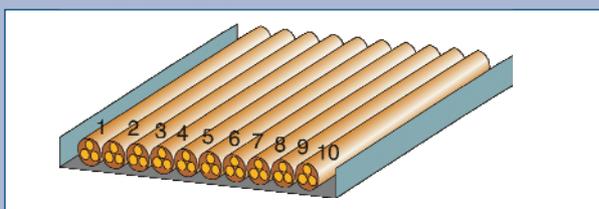


Fig. 1 – Cabos multipolares em camada única

2

Seja a instalação mostrada na figura 2, composta de 30 circuitos, cujas correntes de projeto resultariam em cabos semelhantes, ou seja, contidos em um intervalo de três seções nominais consecutivas.

Pela figura, vemos que os cabos multipolares estão em várias camadas e, portanto, estamos tratando de um caso típico de aplicação da tabela II (tabela 42 da NBR 5410). Entrando na tabela com 10 cabos multipolares num plano horizontal, encontramos o multiplicador 0,70. Para três cabos num plano vertical, temos o multiplicador 0,73. Portanto, o fator de correção por agrupamento neste exemplo é de $0,70 \times 0,73 = 0,51$.

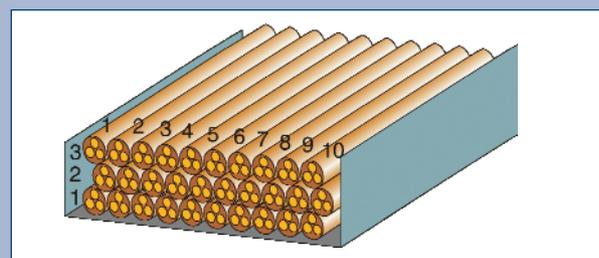


Fig. 2 – Cabos multipolares em três camadas

3

Considerem-se os dois exemplos anteriores, mas suponhamos, agora, que as correntes de projeto são diferentes a ponto de resultar em cabos não semelhantes, ou seja, com seções não contidas num intervalo de três valores normalizados sucessivos.

No primeiro exemplo (figura 1), não podemos mais, na nova situação, utilizar a tabela I e devemos então calcular o fator de correção pela fórmula $F = 1/\sqrt{n}$. Como $n = 10$ (cabos multipolares), temos:

$$F = 1/\sqrt{10} = 0,32$$

Analogamente, no segundo exemplo (figura 2), para $n = 30$, temos:

$$F = 1/\sqrt{30} = 0,18$$

Como se pode verificar, a aplicação da fórmula para cálculo do fator de correção pode levar a resultados muito severos. Isso indica que, para certas situações, deve-se rever a maneira de instalar e a disposição dos cabos escolhida, de forma a se obter fatores de correção menos penalizantes.

Tab. B1 – Circuitos do exemplo e correntes de projeto respectivas

Circuito	Corrente de projeto
1	121
2	98
3	156
4	102
5	145
6	132
7	141
8	92
9	115
10	127

Aí entra a tabela 42 da norma, aqui reproduzida como tabela II. Como se vê, a tabela fornece um par de valores, que devem ser multiplicados para a obtenção do fator de correção pertinente: o projetista identifica, de um lado, o valor correspondente ao número de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada; e, de outro, o valor correspondente ao número de camadas; e multiplica ambos, obtendo então o fator de correção para o agrupamento considerado.

Ressalte-se, como reza a nota 2 da tabela original (tabela 42 da norma), que os valores individuais dos planos horizontal e vertical não podem ser utilizados isoladamente, isto é, não podem ser aplicados a cabos instalados em camada única — retomando-se, neste caso, a orientação da tabela 37 (aqui, tabela I).

Recapitulando: se a tabela 37, que oferece fatores de correção para um número ilimitado de cabos ou circuitos dispostos em camada única, não é o bastante para o projetista, que ele se sirva então da tabela 42, que provê fatores de correção para qualquer combinação de número de circuitos/cabos e número de camadas.

Seria o fim da história não fosse, agora, um segundo detalhe.

Em todas as tabelas de fatores de correção dadas pela norma os condutores são assumidos semelhantes. Em outras palavras, assume-se que eles possuem a mesma temperatura máxima para serviço contínuo e que estão uniformemente carregados — vale dizer, associados a correntes de projeto tais que suas seções nominais estarão necessariamente contidas num intervalo de três seções normalizadas sucessivas (por exemplo, 70, 95 e 120 mm²). Novamente, uma situação que pode não corresponder àquelas encontradas na prática.

Note-se, de qualquer forma, que seria mesmo virtualmente impossível compor tabelas com fatores de correção válidos para qualquer combinação imaginável de condutores, tantas seriam as possibilidades. Uma saída seria então, como avisa a própria norma, calculá-los caso a caso — utilizando, por exemplo, a NBR 11301.

Mas a norma não se limita a ressaltar os fatores de correção tabelados e a sugerir o uso da NBR 11301. Ele acrescenta que, não sendo viável um cálculo mais específico, o fator de correção por agrupamento (F), no caso de condutores de dimensões diferentes, deve ser calculado pela seguinte expressão:

$$F = 1/\sqrt{n}$$

onde n = número de circuitos ou de cabos multipolares instalados no conduto, seja ele aberto ou fechado.

É importante mencionar que o fator de correção F calculado desse modo substitui completamente qualquer outro fator obtido

nas tabelas. Como indicado na nota de 6.2.5.5.5, “a expressão está a favor da segurança e reduz os perigos de sobrecarga sobre os cabos de menor seção nominal; pode, no entanto, resultar no superdimensionamento dos cabos de seções mais elevadas”.

O boxe “Exemplos de aplicação” ilustra os pontos aqui abordados, sobre os fatores de correção por agrupamento.

Cálculos de queda de tensão (I)

Numa instalação elétrica, a tensão aplicada aos terminais das cargas, isto é, dos equipamentos de utilização, deve manter-se dentro de determinados limites. Cada equipamento, como sabemos, possui uma tensão nominal (U_n), sendo sempre fixada, seja pela norma respectiva, seja pelo fabricante, uma pequena variação admitida (ΔU_n). Tensões abaixo do limite, ou seja, inferiores a $U_n - \Delta U_n$, prejudicam o desempenho do equipamento de utilização, podendo reduzir sua vida útil ou mesmo impedir seu funcionamento.

A queda de tensão deve ser calculada durante o projeto, sendo o dimensionamento dos circuitos feito de modo a mantê-la dentro dos valores máximos fixados pela NBR 5410. Esses limites máximos, entre a origem da instalação e qualquer ponto destinado à ligação de equipamento de utilização, são de 4% para instalações alimentadas por rede pública de baixa tensão e de 7% para as alimentadas a partir de transformadores próprios.

A figura 1 ilustra o problema das quedas de tensão numa instalação de baixa tensão — no caso, uma instalação alimentada por transformador próprio.

As expressões exatas da queda de tensão em circuitos monofásicos e trifásico equilibrado, com carga concentrada

Tab. I – Valores do coeficiente t

Tipo de circuito		t
Circuito monofásico a 2 condutores (fase-fase ou fase-neutro)		2
Circuito monofásico a 3 condutores (2 fases-neutro) equilibrado	– Queda de tensão de fase	1
	– Queda de tensão de linha	2
Circuito trifásico equilibrado	– Queda de tensão de fase	1
	– Queda de tensão de linha	$\sqrt{3}$

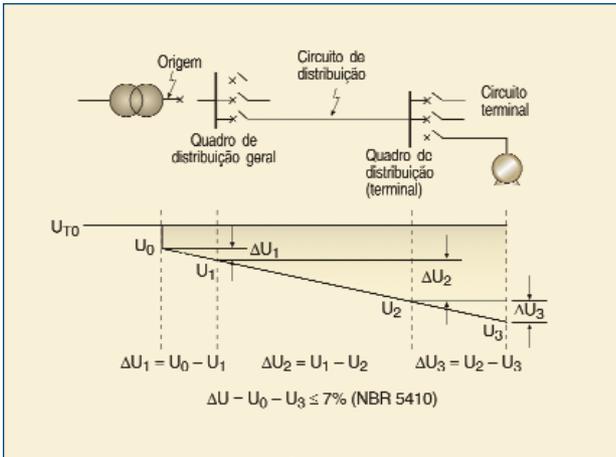


Fig. 1 – Queda de tensão em uma instalação alimentada por transformador próprio

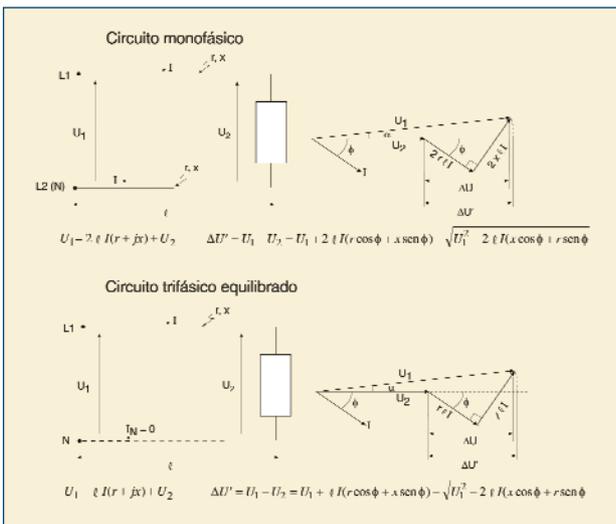


Fig. 2 – Expressões da queda de tensão em circuitos monofásico e trifásico equilibrado, com carga concentrada na extremidade

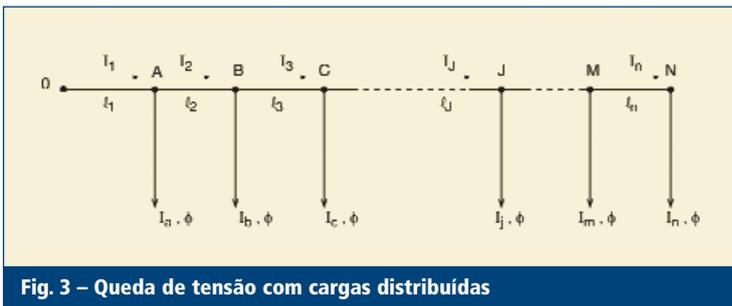


Fig. 3 – Queda de tensão com cargas distribuídas

na extremidade, são indicadas na figura 2. Nos circuitos usuais de instalações de baixa tensão, o ângulo α , mostrado nos diagramas fasoriais da figura, é muito pequeno e podemos admitir $\Delta U = \Delta U'$. Nessas condições, podemos escrever:

- circuitos monofásicos:

$$\Delta U = 2 \ell I (r \cos \phi + x \sen \phi)$$

- circuitos trifásicos equilibrados:

$$\Delta U = \ell I (r \cos \phi + x \sen \phi),$$

queda de tensão de fase (fase–neutro). Lembrando que a tensão de linha é $\sqrt{3}$ vez a de fase, a queda de tensão de linha (entre fases) será dada por

$$\Delta U = \sqrt{3} \ell I (r \cos \phi + x \sen \phi)$$

Podemos escrever uma expressão única para a queda de tensão num circuito com carga concentrada na extremidade, ou seja,

$$\Delta U = t \ell I (r \cos \phi + x \sen \phi) \quad (1),$$

onde

ΔU = queda de tensão, em V;

ℓ = comprimento do circuito, em km;

I = corrente do circuito (corrente de projeto), em A;

r = resistência de um condutor do circuito numa dada temperatura, geralmente 70°C, em Ω/km ;

x = reatância indutiva de um condutor do circuito, em Ω/km ;

$\cos \phi$ e $\sen \phi$ = fator de potência (indutivo) e o fator reativo, respectivamente, da carga.

t = coeficiente que depende do tipo de circuito e do tipo de tensão, de fase (entre fase e neutro) ou de linha (entre fases) (tabela I).

Como indica a expressão geral, a queda de tensão depende do tipo de circuito (t), do comprimento do circuito (ℓ), da corrente (I), da seção dos condutores (r, x), do tipo de linha (x) e do fator de potência da carga ($\cos \phi$).

Existem tabelas em catálogos de fabricantes e em publicações técnicas que fornecem a queda de tensão unitária,

$$\overline{\Delta U} = t (r \cos \phi + x \sen \phi),$$

em V/A.km, para os tipos mais comuns de linha e para os fatores de potência 0,8 e 0,95 (indutivos). Nesse caso, teremos

$$\Delta U = \ell I \overline{\Delta U} \quad (2)$$

Para um circuito com cargas distribuídas, admitidas de mesmo fator de potência, com condutores de mesma seção (figura 3), que constitui o caso mais freqüente, as quedas de tensão serão calculadas por trecho de circuito, sendo a queda total obtida da soma das quedas dos trechos, isto é:

$$\begin{aligned}
 OA &\rightarrow \Delta U_{OA} = \ell_1 t (r \cos \phi + x \operatorname{sen} \phi) I_1 \\
 AB &\rightarrow \Delta U_{AB} = \ell_2 t (r \cos \phi + x \operatorname{sen} \phi) I_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 MN &\rightarrow \Delta U_{MN} = \ell_n t (r \cos \phi + x \operatorname{sen} \phi) I_n \\
 \text{Total} &\rightarrow \Delta U = t (r \cos \phi + x \operatorname{sen} \phi) \sum_{i=1}^n I_i \ell_i \quad (3)
 \end{aligned}$$

sendo

$$I_1 = I_a + I_b + I_c + \dots + I_n$$

$$I_2 = I_b + I_c + \dots + I_n = I_1 - I_a$$

.....

$$I_n = I_n$$

Em função da queda de tensão unitária, teremos:

$$\Delta U = \overline{\Delta U} \sum_{i=1}^n I_i \ell_i$$

Nos projetos, no caso de circuitos monofásicos ou trifásicos — admitindo-se, para os circuitos monofásicos a 3 condutores e os circuitos trifásicos, as cargas razoavelmente equilibradas entre as fases —, podem ser utilizadas as expressões (1), carga concentrada, ou (3), carga distribuída; ou, a partir da queda de tensão unitária tabelada, a expressão (2) ou (4).

Cálculos de queda de tensão (II)

A partir de um mesmo exemplo, simples, ilustrado na figura 1, são apresentados a seguir dois métodos práticos para o cálculo da queda de tensão. Em ambos é utilizada a expressão

$$\Delta U = t I \ell (r \cos \phi + x \operatorname{sen} \phi) \quad (1)$$

descrita no artigo “Cálculos de queda de tensão (I)”.

No primeiro método, as correntes das cargas e respectivos fatores de potência são considerados constantes; é o método mais freqüentemente usado. No segundo, as potências e os fatores de potência das cargas são supostos constantes, havendo, conseqüentemente, variação das correntes; é um método mais preciso.

Por fim, aproveitando ainda o mesmo exemplo da figu-

ra 1, é apresentado um terceiro cálculo, de queda de tensão durante a partida de motor. Neste caso, seguiu-se, para efeito de simplificação, o primeiro método.

Na instalação-exemplo da figura 1, todos os circuitos são, por hipótese, trifásicos, constituídos por condutores isolados, sem cobertura, Cu/PVC, instalados em eletrodutos isolantes individuais. A temperatura ambiente é de 30°C.

Determinação da seção dos condutores

a) Potências e correntes de projeto

- No quadro de distribuição QD2, teremos:

$$P_2 = \frac{10 \times 5 \times 0,736}{0,76} = 48,4 \text{ kW}$$

$$\cos \phi_2 = 0,88 \rightarrow \operatorname{tg} \phi_2 = 0,54;$$

$$\operatorname{sen} \phi_2 = 0,475$$

$$Q_2 = 48,4 \times 0,54 = 26,1 \text{ kvar};$$

$$I_{B2} = \frac{48,4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,88} = 144 \text{ A}$$

$$\text{Motor } I_{B3} = \frac{144}{10} = 14,4 \text{ A}$$

- No quadro de distribuição QD4:

$$P_4 = 32 \text{ kW}$$

$$\cos \phi_4 = 0,9 \rightarrow \operatorname{tg} \phi_4 = 0,48;$$

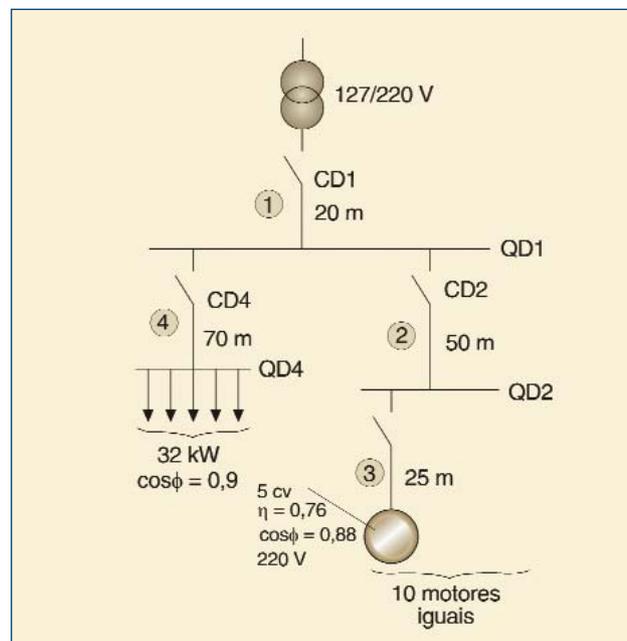


Fig. 1 – Instalação-exemplo

$$\text{sen}\phi_4 = 0,436$$

$$Q_4 = 32 \times 0,48 = 15,4 \text{ kvar}$$

$$I_{B4} = \frac{32 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,9} = 93,3 \text{ A}$$

- No quadro de distribuição QD1:

$$P_1 = P_2 + P_4 = 80,4 \text{ kW}$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_4 = 41,5 \text{ kvar}$$

$$\text{tg}\phi_1 = \frac{41,5}{80,4} = 0,516 \rightarrow$$

$$\text{cos}\phi_1 = 0,89; \quad \text{sen}\phi_1 = 0,456$$

$$I_{B1} = \frac{80,4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,89} = 237 \text{ A}$$

b) Seções dos condutores

Os cálculos anteriores, das correntes de projeto I_{B2} , I_{B3} , I_{B4} e I_{B1} , conduzem, consultada a NBR 5410, às seções de condutores indicadas na tabela I. Isso, bem entendido, exclusivamente pelo critério da capacidade de condução de corrente. A tabela traz ainda, fruto de consulta a catálogo de fabricante, a resistência (a 70°C) e reatância dos condutores em questão.

1º Método – Quedas de tensão com correntes e f.p. constantes

Admitindo-se constantes as correntes e também a tensão de 220 V no secundário do transformador, e lembrando que o coeficiente t da expressão (1), como indica o artigo já mencionado, vale $\sqrt{3}$ para o cálculo da queda de tensão de linha em circuito trifásico equilibrado, esse cálculo (primeiro método) seria então como segue:

- CD1:

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} \times 237 \times 0,02 \times (0,184 \times 0,89 + 0,0933 \times 0,456) = 1,69 \text{ V}$$

- CD2:

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} \times 144 \times 0,05 \times (0,322 \times 0,88 + 0,0963 \times 0,475) = 4,10 \text{ V}$$

- CD4:

$$\Delta U_4 = \sqrt{3} \times 93,3 \times 0,07 \times (0,629 \times 0,9 + 0,0980 \times 0,436) = 6,89 \text{ V}$$

- Motor:

$$\Delta U_3 = \sqrt{3} \times 14,4 \times 0,025 \times 8,89 \times 0,88 = 4,88 \text{ V}$$

- Como resultado, as tensões ficam:

$$U_1 = 220 - 1,69 = 218,3 \text{ V}$$

$$U_2 = 218,3 - 4,10 = 214,2 \text{ V}$$

$$U_3 = 214,2 - 4,88 = 209,3 \text{ V}$$

$$U_4 = 218,3 - 6,89 = 211,4 \text{ V}$$

- A queda de tensão total nos trechos 1–2–3 será:

$$\Delta U = 220 - 209,3 = 10,7 \text{ V},$$

correspondendo a 4,87% (e, portanto, menor que os 7% máximos fixados pela NBR 5410, para instalações com subestação própria).

2º Método – Quedas de tensão com potências e f.p. constantes

O método estipula a correção da corrente de projeto, uma vez que não teremos tensão nominal nas barras, mas um valor menor, devido à própria queda de tensão nos circuitos. Um novo valor de corrente, por sua vez, implica calcular a nova queda de tensão e, conseqüentemente, a nova tensão que teremos nos diferentes pontos da instalação. Assim,

- no circuito CD1, considerando os valores apurados anteriormente,

$$\Delta U_1 = 1,69 \text{ V} \quad e \quad U_1 = 218,3 \text{ V},$$

a correção da corrente fica

$$\frac{220}{218,3} \times 237 = 239 \text{ A}$$

Recalculando a queda:

$$\Delta U'_1 = \sqrt{3} \times 239 \times 0,02 \times (0,184 \times 0,89 + 0,0933 \times 0,456) = 1,71 \text{ V}$$

Tensão no QD1:

$$U'_1 = 220 - 1,71 = 218,3 \text{ V}.$$

Portanto, não houve alteração.

- no circuito CD2, considerando os valores apurados anteriormente,

$$\Delta U_2 = 4,10 \text{ V} \quad e \quad U_2 = 214,2 \text{ V},$$

a correção da corrente fica

$$\frac{220}{214,2} \times 144 = 148 \text{ A}$$

Recalculando a queda:

$$\Delta U'_2 = \sqrt{3} \times 148 \times 0,05 \times (0,322 \times 0,88 + 0,0963 \times 0,475) = 4,22 \text{ V}$$

Tensão no QD2:

$$U'_2 = 218,3 - 4,22 = 214,1 \text{ V.}$$

- no motor, considerando os valores apurados anteriormente,

$$\Delta U_3 = 4,88 \text{ V e } U_3 = 209,3 \text{ V,}$$

a correção da corrente fica

$$\frac{220}{209,3} \times 14,4 = 15,1 \text{ A}$$

Recalculando a queda:

$$\Delta U'_3 = \sqrt{3} \times 15,1 \times 0,025 \times 8,89 \times 0,88 = 5,12 \text{ V}$$

- no circuito CD4, considerando os valores apurados anteriormente,

$$\Delta U_4 = 6,89 \text{ V e } U_4 = 211,4 \text{ V,}$$

a correção da corrente fica

$$\frac{220}{211,4} \times 93,3 = 97,1 \text{ A}$$

Recalculando a queda:

$$\Delta U'_4 = \sqrt{3} \times 97,1 \times 0,07 \times (0,629 \times 0,9 + 0,0980 \times 0,436) = 7,17 \text{ V}$$

- A queda de tensão total nos trechos 1-2-3 será:

$$\Delta U' = 1,71 + 4,22 + 5,12 = 11,05 \text{ V,}$$

correspondendo a 5,02% (e, portanto, menor que os 7% máximos fixados pela NBR 5410).

Quedas de tensão durante a partida de motor

Admitindo, como mencionado inicialmente, as correntes constantes e assim também a tensão de 220 V no secundário do transformador, calculemos agora as quedas de tensão com partida direta de um dos motores.

- Motor sob partida:

$$I_{p3} = 6 \times 14,4 = 86,4 \text{ , com}$$

$$\cos \phi_3 = 0,3 \text{ e } \sin \phi_3 = 0,95.$$

$$P_3 = \sqrt{3} \times 86,4 \times 220 \times 0,3 \times 10^{-3} = 9,88 \text{ kW}$$

$$Q_3 = \sqrt{3} \times 86,4 \times 220 \times 0,95 \times 10^{-3} = 31,3 \text{ kvar}$$

- Quadro QD2:

$$P_2 = 9,88 + \frac{9 \times 48,4}{10} = 53,4 \text{ kW}$$

$$Q_2 = 31,3 + \frac{9 \times 26,1}{10} = 54,8 \text{ kvar}$$

$$\operatorname{tg} \phi_2 = 54,8 \div 53,4 = 1,03$$

$$\cos \phi_2 = 0,70; \sin \phi_2 = 0,71$$

$$I_{B2} = \frac{53,4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,7} = 200 \text{ A}$$

- Quadro QD1:

$$P_1 = P_2 + P_4 = 85,4 \text{ kW}$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_4 = 70,2 \text{ kvar}$$

$$\operatorname{tg} \phi_1 = 70,2 \div 85,4 = 0,82$$

$$\cos \phi_1 = 0,77; \sin \phi_1 = 0,64$$

$$I_{B1} = \frac{85,4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,77} = 291 \text{ A}$$

- Quedas de tensão

Em CD1:

$$\Delta U_1 = \sqrt{3} \times 291 \times 0,02 \times (0,184 \times 0,77 + 0,0933 \times 0,64) = 1,78 \text{ V}$$

Em CD2:

$$\Delta U_2 = \sqrt{3} \times 200 \times 0,05 \times (0,322 \times 0,70 + 0,0963 \times 0,71) = 5,08 \text{ V}$$

Em CD4:

$$\Delta U_4 = 6,89 \text{ V (sem alteração)}$$

Motor:

$$\Delta U_3 = \sqrt{3} \times 86,4 \times 0,025 \times 8,89 \times 0,3 = 9,98 \text{ V}$$

Tab. I – Seções dos condutores

Circuito	$S^{(1)}$ (mm ²)	$r^{(2)}$ (Ω/km)	$x^{(2)}$ (Ω/km)
Motor	2,5 ⁽³⁾	8,89	–
CD2	70	0,322	0,0963
CD4	35	0,629	0,0980
CD1	120	0,184	0,0933

(1) Da tabela 31 da NBR 5410

(2) De catálogo de fabricante

(3) Seção mínima (tabela 43 da NBR 5410)

A queda de tensão nos trechos 1–2–3 será:

$$\Delta U = 1,78 + 5,08 + 9,98 = 16,84 \text{ V} = 7,65\% (< 10\%)$$

Portanto, uma queda inferior ao limite máximo que a NBR 5410 estabelece para o caso. De fato, em 6.5.3.4.4 a norma diz que “o dimensionamento dos condutores que alimentam motores deve ser tal que, durante a partida do motor, a queda de tensão nos terminais do dispositivo de partida não ultrapasse 10% da tensão nominal do mesmo”.

Dimensionamento econômico de condutores

Por menor que seja sua resistência elétrica, os cabos de potência dissipam, na forma de calor, uma parte da energia que transportam da fonte à carga. Essa dissipação de energia ocorre ao longo de toda a vida do cabo, representando um ônus financeiro apreciável, dependendo das características da instalação.

É possível reduzir a perda de energia aumentando-se a seção do condutor. Mas como um cabo de maior seção tem, naturalmente, um custo maior de aquisição, esse custo não pode ser alto o suficiente para anular a economia conseguida com a redução de perdas, ao longo do tempo. Assim, é necessário encontrar uma solução de compromisso entre custo inicial e custo de perdas no tempo.

Para determinar a seção de um condutor, o procedimento usual é recorrer aos seis critérios técnicos de dimensionamento previstos na NBR 5410 [ver artigo “Os seis critérios de dimensionamento de circuitos de BT”]. São eles, resumidamente: seção mínima, capacidade de condução de

corrente, queda de tensão, sobrecarga, curto-circuito e contatos indiretos.

Nesse jogo, o do dimensionamento *técnico*, o objetivo é encontrar a menor seção possível de condutor que satisfaça os seis critérios — vale dizer, sem risco para a segurança, a qualidade e a durabilidade da instalação elétrica. No entanto, quanto menor a seção do condutor, maior a sua resistência elétrica e, conseqüentemente, maior a perda de energia ao longo do circuito. É nesse contexto que surge o critério de dimensionamento econômico, que examinaremos a seguir.

Seção econômica

Os métodos de referência para se determinar a seção econômica de um condutor, para um dado circuito, seja ele de baixa ou de média tensão, constam da publicação IEC 60287-3-2 – *Electric cables – Calculation of the current rating - Part 3: Sections on operating conditions – Section 2: Economic optimization of power cable size*.

A IEC 60287-3-2 apresenta duas alternativas de dimensionamento econômico: o método completo e o método simplificado. Trataremos apenas do método simplificado, por entendermos que ele se aplica, com aproximação suficiente, na maioria dos casos, com a vantagem de requerer uma menor quantidade de cálculos.

As fórmulas envolvidas no método simplificado são as seguintes:

$$SE = \frac{I_B}{C_h C_n} \sqrt{\frac{e}{G'}} \quad (1)$$

onde

$$C_h = \frac{2,66}{\sqrt{H}} \quad (2)$$

$$C_n = \frac{0,69}{\sqrt{1 - 0,937^N}} \quad (3)$$

$$G' = \frac{P_2 - P_1}{S_2 - S_1} \quad (4)$$

sendo:

SE = seção econômica, em mm²;

I_B = corrente de projeto do circuito, em ampères;

e = custo da energia elétrica (ativa), em R\$/kWh;

G' = custo do cabo, em R\$/mm².km;

H = número de horas/ano de funcionamento do circuito;

N = número de anos considerado no cálculo;

P_1, P_2 = preços dos cabos;

S_1, S_2 = seções dos cabos.

Naturalmente, para calcular G' é preciso consultar um fornecedor de cabos e obter seus preços. A tabela I traz, co-

mo exemplo, preços de cabos unipolares, classe de tensão 0,6/1 kV, com isolamento termofixa e cobertura de PVC. [Nota - Os preços não são atuais. Mas o importante não são os valores, em si, e sim o método].

A tabela I também indica os valores de G' , calculados usando-se fórmula (4). A IEC 60287-3-2 recomenda que seja tirada a média dos valores de G' calculados para todas as combinações de seções. No exemplo da tabela I, o valor médio de G' é igual a R\$ 117/mm².km.

Exemplo de aplicação da fórmula para dimensionamento econômico

Suponhamos um circuito, alimentando um quadro de distribuição, constituído por três cabos unipolares com condutor de cobre, isolamento termofixa e cobertura de PVC, dispostos em trifólio, em um leito para cabos. O circuito tem 100 m de comprimento, a temperatura ambiente é de 30°C e a corrente de projeto é de 320 A. Estima-se que esse circuito deverá operar 4000 horas por ano. Decidiu-se que a análise seria feita para um período de 10 anos. O valor da tarifa de energia elétrica considerado é de R\$ 0,036/kWh.

Qual seria, então, a seção econômica de cabo para esse circuito? As características do cabo (cobre, unipolar, isolamento termofixa, cobertura de PVC) correspondem exatamente àquelas do exemplo dado na tabela I. Por isso, o valor médio de G' é o mesmo já citado, isto é,

$$G' = \text{R\$ } 117/\text{mm}^2.\text{km.}$$

Assim, temos:

de (2):

$$C_h = \frac{2,66}{\sqrt{4000}} = 0,0421$$

de (3):

$$C_n = \frac{0,69}{\sqrt{1 - 0,937^{10}}} = 0,998$$

e, finalmente, de (1):

$$SE = \frac{320}{0,0421 \times 0,998} \sqrt{\frac{0,036}{117}} = 134 \text{ mm}^2$$

Neste caso, adota-se a seção padronizada mais próxima — 150 mm², como mostra a tabela I.

E qual seria a seção de cabo, para o circuito-exemplo, seguindo-se apenas os critérios técnicos, de acordo com a NBR 5410?

Vamos considerar aqui, por razões práticas, apenas o critério da capacidade de condução de corrente, supondo os demais automaticamente atendidos (algo perfeitamente plausível, dado o próprio exemplo).

Ora, para se determinar a seção de um cabo pelo crité-

rio da capacidade de condução de corrente (I_z), a NBR 5410 oferece quatro tabelas (31 a 34). O exemplo dado — três cabos unipolares com isolamento termofixa, disposição em trifólio, instalados em leito, temperatura ambiente de 30°C — nos conduz diretamente à coluna 5 da tabela 34. Como a corrente de projeto I_B do nosso exemplo é dada e igual a 320 A, a menor seção de condutor que, no endereço indicado (tabela 34, coluna 5), proporciona uma I_z igual ou superior a I_B é a de 95 mm². O valor de I_z aí indicado é, exatamente, de 328 A.

Portanto, e recapitulando, o dimensionamento técnico resulta em uma seção de 95 mm², com uma I_z de 328 A.

Temos, agora, as duas seções: a o dimensionamento “apenas” técnico (95 mm²) e a do dimensionamento econômico, que nos apontou uma seção de 150 mm². Uma análise econômica que revele qual delas representa realmente o melhor investimento (e não apenas o menor custo inicial, de aquisição, que seria obviamente favorável ao cabo de 95 mm²) deve levar em conta o custo total dessas opções, ao longo da vida do cabo. Isso significa lembrar, mais uma vez, que além do custo inicial, de compra e de instalação, um cabo acarreta custos “operacionais” inevitáveis, que são as perdas de energia inerentes às suas características e à sua missão. Afinal, todo cabo dissipa energia, por efeito Joule. E alguém paga essa energia.

Portanto, estamos falando de

$$Ce = I^2 \cdot R \cdot n \cdot H \cdot e \quad (5)$$

onde:

Ce = custo da energia perdida (dissipada) no cabo, em R\$/ano;

I = corrente que percorre o condutor, em ampères;

R = resistência elétrica do condutor, em ohms;

n = número de condutores do circuito;

H = número de horas de funcionamento do circuito por ano;

e = o mesmo e já visto anteriormente, isto é, tarifa de energia elétrica ativa (R\$/kWh).

O nosso exemplo já inclui todos os ingredientes da expressão, com uma única exceção: a resistência elétrica do condutor. Vamos a ela, pois.

Tab. I – Determinação de G'

Seção (mm ²)	Preço (R\$/km)	G' (R\$/mm ² .km)
25	3169	xx
35	4308	$(4308 - 3169)/(35 - 25) = 114$
50	5969	$(5969 - 4308)/(50 - 35) = 111$
70	8256	114
95	11209	118
120	13976	111
150	17470	116
185	21546	116
240	28964	135

Tab. II – Resistência elétrica de condutores de cobre com classe de encordoamento 2

Seção (mm ²)	Resistência elétrica a 20°C (Ω/km)
25	0,727
35	0,524
50	0,387
70	0,268
95	0,193
120	0,153
150	0,124
185	0,0991
240	0,08

A resistência elétrica oferecida por um material condutor à passagem da corrente elétrica varia com a temperatura, como se sabe. Assim, em que temperatura irão operar os dois cabos?

O gráfico da figura 1 nos dá essa informação. O gráfico indica a temperatura de trabalho do condutor em função da corrente a ele aplicada. A corrente, no caso, é na verdade a relação:

$$n = I_B / I_z$$

Tab. III – Fatores de correção de temperatura para resistência elétrica

Temperatura (°C)	Fator de correção
20	1
30	1,039
40	1,079
50	1,118
60	1,157
70	1,197
80	1,236
90	1,275

Temos I_B . Temos a I_z do cabo de 95 mm². Falta a I_z do cabo de 150 mm². A mesma coluna 5 da tabela 34 da NBR 5410 nos dá, para a seção de 150 mm²,

$$I_z = 444 \text{ A.}$$

[En passant, *note-se que há um equívoco na ilustração da norma referente à coluna em questão. Ao invés de cabos unipolares, o desenho indica cabos bipolares. O mesmo acontece na tabela 33].*

Esses valores de I_z resultam, conseqüentemente, em

$$n = 320/328 = 0,98 \text{ para o cabo de } 95 \text{ mm}^2; \text{ e}$$

$$n = 320/444 = 0,72 \text{ para o cabo de } 150 \text{ mm}^2.$$

Voltando à figura 1, agora com n às mãos, verifica-se que o condutor de 95 mm² irá operar a uma temperatura de aproximadamente 90°C. Enquanto a temperatura do condutor de 150 mm² será de 70°C.

Nessa altura, é hora de introduzirmos as tabelas II e III, que permitem determinar a resistência dos condutores sabendo-se a temperatura em que irão trabalhar. Uma é indissociável da outra. A primeira (tabela II) fornece os

Tab. IV – Custos típicos de aquisição e instalação de cabo unipolar (0,6/1 kV, isolamento termofixa, cobertura de PVC)

Seção (mm ²)	R\$/km
25	3169
35	4308
50	5969
70	8256
95	11 209
120	13 976
150	17 470
185	21 546
240	28 964

valores de resistência para diferentes seções de condutores, mas todos referidos a 20°C. Cabe então à tabela III completar a tarefa, informando os fatores de correção que devem ser aplicados aos valores de resistência fornecidos pela tabela II, em função da temperatura real de funcionamento do condutor.

Assim, temos:

- cabo de 95 mm²:
 - resistência elétrica a 20°C (tabela II): 0,193 Ω/km;
 - fator de correção (tabela III) para 90°C: 1,275

Lembrando que o comprimento do circuito é de 0,1 km, vem

$$R_{95} = 0,193 \times 1,275 \times 0,1 = 0,0246 \Omega;$$

- cabo de 150 mm²:
 - resistência elétrica a 20°C (tabela II): 0,124 Ω/km;
 - fator de correção (tabela III) para 70°C: 1,197

Logo,

$$R_{150} = 0,124 \times 1,197 \times 0,1 = 0,0148 \Omega.$$

Agora, completados os ingredientes da expressão (5), podemos determinar o custo da energia perdida anualmente em cada cabo:

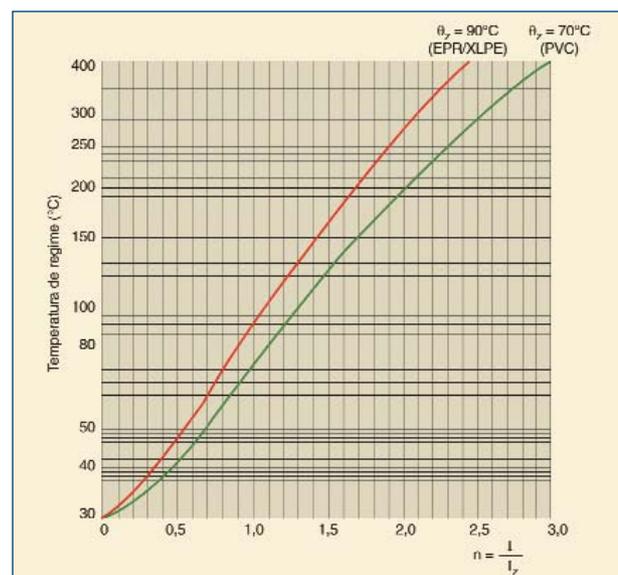


Fig. 1 – Temperatura de trabalho em função da corrente aplicada a um condutor

$$C_e = I^2 \cdot R \cdot n \cdot H \cdot e$$

$$C_{e_{95}} = 320^2 \times 0,0246 \times 3 \times 4000 \times 0,036 \times 10^{-3} = \text{R\$ } 1088,00$$

$$C_{e_{150}} = 320^2 \times 0,0148 \times 3 \times 4000 \times 0,036 \times 10^{-3} = \text{R\$ } 655,00$$

Calculado o montante gasto com as perdas anuais de energia, qual o passo seguinte? Evidentemente, não podemos confrontar de forma direta esse custo, que distribui-se ao longo da vida da instalação, com o custo de aquisição e instalação, que acontece no início da obra

Para um confronto correto, é necessário incluir nessa operação o custo do dinheiro. Para tanto, devemos recorrer ao conceito de valor presente (*VP*), que mostra como os pagamentos futuros da energia, efetuados durante a vida da instalação, podem ser expressos em valores equivalentes no início do projeto. Convertendo os valores futuros em valores presentes, é possível então somá-los aos custos iniciais de aquisição e instalação, isto é, fazer

$$C_t = C_{ci} + VP$$

onde *C_t* representa os custos totais e *C_{ci}* os custos iniciais de aquisição e instalação do cabo.

O valor presente (*VP*) é dado por:

$$VP = C_e \times Q \quad (6),$$

com

$$Q = r \frac{(1 - r^N)}{(1 - r)} \quad (7)$$

e sendo *r*, por sua vez,

$$r = \frac{1}{1 + \frac{i}{100}} \quad (8)$$

e onde

C_e é o mesmo já apresentado, ou seja, o desembolso anual devido às perdas de energia (R\$);

N é o número de anos de funcionamento do circuito (período de análise considerado); e

i é a taxa de juros ao ano (%).

Portanto, vejamos a que custos totais conduz cada uma das opções do nosso exemplo:

1) Cabo dimensionado pelo critério técnico (95 mm²):

- custo inicial de aquisição e instalação:

$$C_{ci} = 3 \times 100 \text{ m} \times \text{R\$ } 11,21/\text{m} \text{ (conforme tabela IV)}$$

$$C_{ci} = \text{R\$ } 3363,00;$$

- custo anual de perda de energia: *C_e* = R\$ 1088,00,

- período de análise considerado:

$$N = 10 \text{ anos,}$$

- taxa de juros ao ano:

$$i = 6\%;$$

- cálculo do valor presente do custo da perda de energia:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{6}{100}} = 0,943$$

$$Q = 0,943 \frac{(1 - 0,943^{10})}{(1 - 0,943)} = 7,36$$

$$VP = 1088,00 \times 7,36 = \text{R\$ } 8008,00.$$

- custo total da opção 95 mm²:

$$C_t = \text{R\$ } 3363,00 + \text{R\$ } 8008,00$$

$$C_t = \text{R\$ } 11.371,00.$$

2) Cabo dimensionado pelo critério econômico (150 mm²):

- custo inicial de aquisição e instalação:

$$C_{ci} = 3 \times 100 \text{ m} \times \text{R\$ } 17,47/\text{m} \text{ (tabela IV)}$$

$$C_{ci} = \text{R\$ } 5241,00,$$

- custo anual de perda de energia: *C_e* = R\$ 655,00,

- com o mesmo período de análise e mesma taxa de juros, o valor presente do custo da perda de energia será:

$$VP = 655,00 \times 7,36 = \text{R\$ } 4821,00$$

- custo total da opção 150 mm²:

$$C_t = \text{R\$ } 5241,00 + \text{R\$ } 4821,00$$

$$C_t = \text{R\$ } 10.062,00.$$

Portanto, verifica-se que a seção do cabo determinada pelo critério econômico traz maiores benefícios — se a análise considerar, como demonstrado, não apenas os custos iniciais, imediatos, mas os custos totais incorridos, num prazo mais compatível com a vida útil da instalação. E a vida útil estimada de uma instalação elétrica “normal” é da ordem de 25 a 30 anos.

O período de retorno do investimento, no caso do exemplo, pode ser determinado como segue:

- diferença entre os custos iniciais pelos critérios técnico e econômico:

$$\text{R\$ } 5241 - \text{R\$ } 3363 = \text{R\$ } 1878;$$

- diferença entre os custos de perda de energia dos dois critérios (valor presente):

$$\text{R\$ } 8008 - \text{R\$ } 4821 = \text{R\$ } 3187 \text{ em 10 anos, ou seja, } \text{R\$ } 318,7 \text{ por ano.}$$

- período de retorno do investimento:

$$\text{R\$ } 1878 / \text{R\$ } 318,7 = 5,9 \text{ anos.}$$

CIRCUITOS DE MOTORES

Equipamentos a motor	212
Circuitos de motores	215
Proteção em circuito de motor	219

Equipamentos a motor

Os motores elétricos — melhor dizendo, os “equipamentos a motor” — constituem cargas que apresentam características peculiares:

- a corrente absorvida pelo motor, durante a partida, é bastante superior à de funcionamento normal em carga;
- a potência absorvida em funcionamento é determinada pela potência mecânica no eixo do motor, solicitada pela carga acionada, o que pode resultar em sobrecarga no circuito de alimentação, se não houver proteção adequada.

A corrente de partida I_p dos motores trifásicos de indução tipo gaiola, os utilizados em mais de 90% das aplicações, apresenta os seguintes valores típicos:

- motores de dois pólos:

$$I_p = 4,2 \text{ a } 9 I_n$$

- motores com mais de dois pólos:

$$I_p = 4,2 \text{ a } 7 I_n$$

sendo I_n a corrente nominal do motor. Seu aspecto é mostrado na figura 1.

A corrente nominal I_n de um motor elétrico é dada pelas expressões a seguir:

- monofásico

$$I_n = \frac{P_n \times 10^3}{U_n \times \eta \times \cos \phi} \quad (1)$$

- trifásico

$$I_n = \frac{P_n \times 10^3}{\sqrt{3} \times U_n \times \eta \times \cos \phi} \quad (2)$$

onde:

P_n = potência nominal (no eixo) do motor, em kW. A potência é muitas vezes dada também em HP (0,746 kW) ou CV (0,736 kW).

U_n = tensão nominal do motor, em V. Nos motores monofásicos é a tensão entre fases ou entre fase e neutro e nos trifásicos a tensão entre fases;

η = rendimento, definido pela razão entre a potência nominal, isto é, no eixo do motor, e a potência efetivamente fornecida pelo circuito ao motor P_n' ;

$\cos \phi$ = fator de potência do motor.

Assim, por exemplo, para um motor trifásico de gaiola de 7,5 kW, com $\eta = 0,85$ e $\cos \phi = 0,83$, e com $U_n = 220$ V, virá, de (2):

$$I_n = \frac{7,5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85 \times 0,83} = 27,8 \text{ A}$$

Procurando demarcar bem os casos aos quais é endereçada esta ou aquela prescrição, a NBR 5410, na seção dedicada especificamente a motores (6.5.3), distingue os equipamentos a motor em:

- *aplicações normais* — que a norma divide, por sua vez, em “cargas industriais e similares” e “cargas residenciais e comerciais”. Estima-se que as *aplicações normais* — que o documento define com clareza, como descrito mais adiante — cubram cerca de 95% dos casos de utilização de motores em instalações de baixa tensão; e
- *aplicações especiais*, nas quais são automaticamente catalogadas, por exclusão, todas as que não se enquadram na classificação de “normais”.

As *cargas industriais e similares* são constituídas, segundo a norma, por motores de indução de gaiola, trifásicos, de potência igual ou inferior a 200 CV (147 kW), aplicados em regime S1 (contínuo). A norma pressupõe, figurando como parte integrante dessa definição, que os motores sejam conforme a NBR 7094, onde se encontra definido, também, o que é regime S1.

Já as *cargas residenciais e comerciais*, segundo a norma, são motores de potência nominal não superior a 2 CV (1,5 kW) constituindo parte integrante de aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais.

Pode-se acrescentar, tendo em vista a fixação de um limite superior de potência na definição do que sejam *cargas industriais e similares normais*, mas não um limite inferior, que excluem-se da categoria, naturalmente, as cargas definidas como *residenciais e comerciais*.

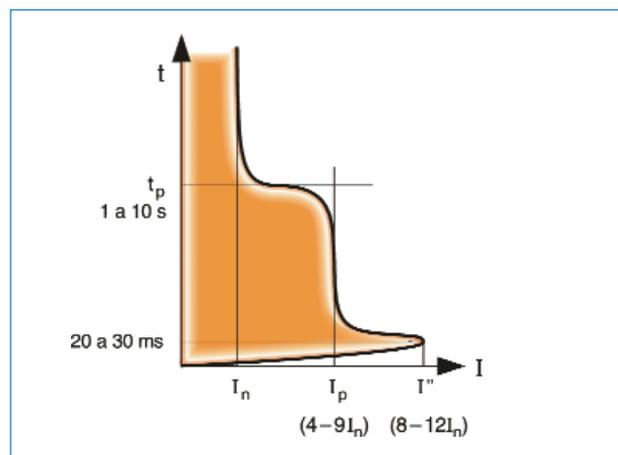


Fig. 1 – Corrente de partida de motor trifásico de gaiola

De um modo geral, os circuitos que alimentam equipamentos a motor apresentam certas características não encontradas nos circuitos que alimentam outros tipos de cargas. São elas:

Tab. I – Funções e dispositivos num circuito terminal de motor (*)

Função	Dispositivos			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Seccionamento	Seccionador	Seccionador-fusível ou disjuntor apenas magnético		
Proteção contra correntes de curto-circuito	Dispositivo fusível		Disjuntor-motor	Disjuntor-contator
Proteção contra correntes de sobrecarga	Relé térmico	Contator com relé térmico		
Comando funcional	Contator		Contator	

(*) Cargas industriais e similares

- queda de tensão significativa durante a partida do motor;
- número e frequência de partidas geralmente elevados;
- o dispositivo de proteção contra correntes de sobrecarga deve suportar, sem atuar, a corrente de partida do motor.

Por essas razões, tais circuitos podem exigir, como reconhece a norma, um tratamento diferenciado – seja no tocante aos componentes utilizados (alguns dos quais são mesmo exclusiva ou majoritariamente utilizados em circuitos de motores), seja no que se refere ao dimensionamento. Na prática, as prescrições específicas de circuitos de motores apresentadas pela norma são endereçadas às *cargas industriais e similares*, admitindo-se então que os circuitos de motores (ou, mais uma vez, de “equipamentos a motor”) de *cargas residenciais e comerciais* sejam tratados como circuitos “normais”, cobertos pelas regras gerais da norma.

A figura 2 indica os elementos a considerar num circuito terminal de motor, destacando as diversas funções a serem exercidas pelos dispositivos. A tabela I indica os dispositivos utilizados para as diversas funções, no caso de *cargas industriais e similares*.

Nesses casos (cargas industriais e similares), o usual é ter-se um circuito terminal por motor, admitindo-se, no entanto, em casos excepcionais (na prática), circuitos terminais alimentando mais de um motor, em geral com potências inferiores a 1 CV, e eventualmente outras cargas.

Os circuitos terminais de motores são alimentados, em geral, a partir de quadros de distribuição (por exemplo, CCMs) exclusivos — alimentados, por sua vez, por circuitos de distribuição exclusivos. Mas, principalmente em instalações não-industriais, não são raros quadros de distribuição alimentando circuitos terminais de motores e outros tipos de circuitos terminais (iluminação, tomadas, etc.).

Os aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais a motor (*cargas residenciais e comerciais*) são, via de regra, ligados a tomadas de corrente, de uso específico ou

de uso geral. No primeiro caso temos, tipicamente, equipamentos fixos (por exemplo, condicionador de ar tipo janela) e estacionários de maior porte (por exemplo, geladeira doméstica e fotocopiadora); no segundo, equipamentos portáteis (por exemplo, máquina de costura doméstica, liquidificador) e manuais (por exemplo, furadeira, batedeira).

Os circuitos terminais que alimentam tais aparelhos só são exclusivos no caso de aparelhos de maior potência. Vale lembrar que, em locais de habitação, a norma exige circuito individual para equipamento (de qualquer tipo, não necessariamente a motor) com corrente nominal superior a 10 A.

De qualquer forma, como já salientado, a interpretação correta da seção da norma dedicada a motores (a seção 6.5.3 mencionada) é de que ela visa especificamente os casos classificados como *cargas industriais e similares*. Assim, como aos circuitos que alimentam as *cargas a motor residenciais e comerciais* aplicam-se as regras gerais da norma, as funções de seccionamento e de proteção contra correntes de curto-circuito e de sobrecarga são exercidas pelo próprio disjuntor do circuito terminal, localizado no quadro de distribuição; o comando funcional, na maioria dos casos é feito por dispositivo integrante do próprio aparelho.

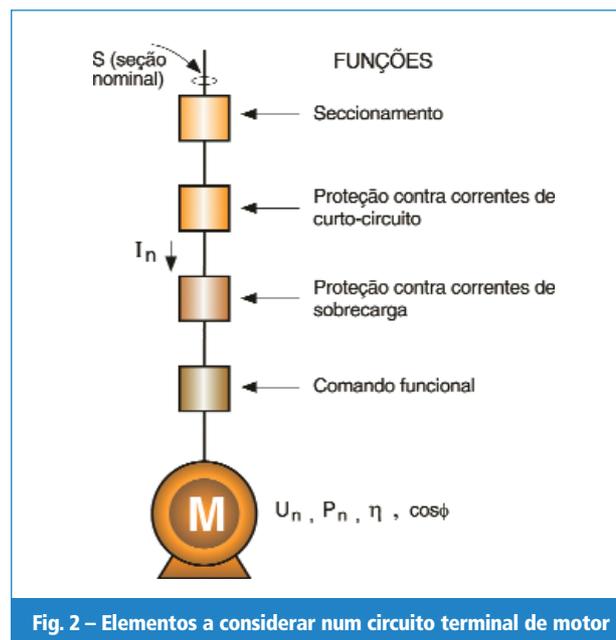


Fig. 2 – Elementos a considerar num circuito terminal de motor

Circuitos de motores

No artigo anterior foram apresentados os equipamentos a motor, com suas características específicas, sua classificação segundo a NBR 5410, bem como as funções e componentes envolvidos nos circuitos terminais que alimentam aqueles equipamentos. Trataremos agora dos circuitos de motores e de seu dimensionamento, também de acordo com a NBR 5410.

Para a alimentação dos equipamentos a motor, consideradas as *aplicações normais* a que se refere a norma e, em particular, as *cargas industriais e similares* (já que às cargas a motor *residenciais e comerciais* não se aplica qualquer enfoque específico, sendo cobertas pelas regras gerais da norma), existem três configurações básicas, mostradas na figura 1.

Na primeira (figura 1-a), temos circuitos terminais individuais, isto é, um para cada equipamento a motor, partindo de um quadro de distribuição (QD) que pode alimentar também circuitos terminais para outros tipos de equipamentos. É o caso típico de instalações industriais e mesmo instalações comerciais de porte. Por sinal, é o esquema aplicado também à alimentação de equipamentos eletrodomésticos e eletroprofissionais de porte (ver boxe), ligados a tomadas de uso específico, em instalações residenciais e comerciais.

Na segunda configuração (figura 1-b), temos um circuito de distribuição contendo derivações em pontos determinados, com circuitos terminais individuais (um por equipamento a motor), podendo, eventualmente, existir derivações para outras cargas. Como exemplo característico temos a alimentação a partir de barramentos blindados ou de cabos unipolares fixados a paredes.

A terceira configuração (figura 1-c) consiste num circuito terminal único, servindo a vários equipamentos a motor e, eventualmente, a outras cargas. É a solução adotada, por exemplo, na alimentação de cargas a motor industriais e similares de pequeno porte (potências

Cargas residenciais e comerciais de porte

Na seção em que apresenta regras específicas para circuitos que alimentam motores elétricos (seção 6.5.3), a NBR 5410 define as *cargas a motor residenciais e comerciais* como sendo os aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais equipados com motores de até 1,5 kW. Mas essa definição presta-se, no contexto, apenas ao objetivo de esclarecer que tais cargas ficam de fora das regras específicas ali apresentadas. Enfim, que tais cargas devem ser consideradas "comuns", que o detalhe de serem equipadas com um (eventualmente, até mais) motor elétrico não justifica qualquer atenção com o que vai exposto na seção. Alguém se imagina, no projeto de uma instalação elétrica, estudando a corrente de partida de um liquidificador ou de um aspirador de pó doméstico?

Bem, via de regra os aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais não possuem mesmo motores com potência nominal superior a 1,5 kW. No entanto há equipamentos desse tipo com correntes nominais de 10 A ou mais (potências iguais ou maiores que 2,2 kVA). Ocorre que, além dos motores, estão presentes nesses equipamentos outros componentes de consumo, como resistores de aquecimento (caso de lavadoras de louça, de roupas, etc.).

E, como exige a NBR 5410, equipamentos com corrente nominal superior a 10 A, em locais de habitação e acomodações de hotéis, motéis e similares, devem ser alimentados por circuito terminal independente, exclusivo. Mas isso — que fique claro — independentemente do equipamento conter ou não motor elétrico.

nominais até 0,75 kW, em geral). Evidentemente, é também o caso de um circuito terminal de tomadas de uso geral, onde são ligados equipamentos eletrodomésticos ou eletroprofissionais com e sem motor.

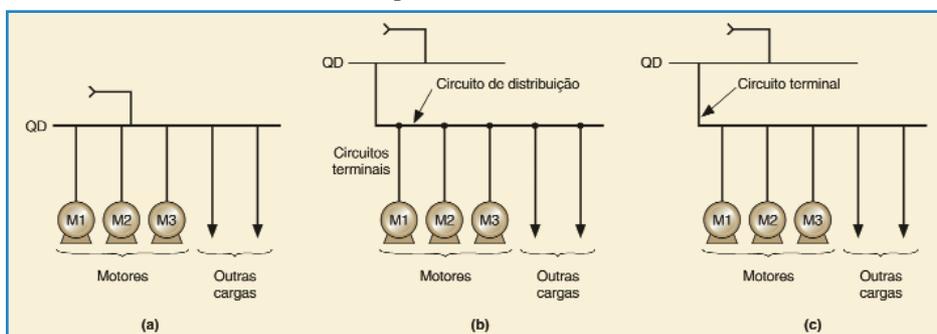


Fig. 1 – Configurações de circuitos de motores: (a) circuitos terminais individuais; (b) circuito de distribuição com derivações; (c) circuito terminal com várias cargas

Dimensionamento dos circuitos de motores

No dimensionamento dos condutores de um circuito que alimente carga(s) a motor, e sempre lembrando que estamos tratando de *cargas a motor industriais e similares, normais*, pode-se distinguir três casos: 1) circuito terminal alimentando um único motor; 2) circuito terminal alimentando dois ou mais motores; e 3) circuito de distribuição.

Assim, os condutores de um *circuito terminal que alimenta um único motor* devem ter uma capacidade de condução de corrente (I_Z) não inferior à corrente nominal do motor (I_M) multiplicada pelo fator de serviço (f_S), se existir, ou seja:

$$I_Z \geq f_S \cdot I_M$$

O *fator de serviço* é o multiplicador ($f_S \geq 1$) que, aplicado à potência nominal de um motor, indica a carga que pode ser acionada continuamente, sob tensão e frequência nominais e com um determinado limite de elevação de temperatura do enrolamento. Embora ainda citado na norma de motores de indução (NBR 7094: *Máquinas elétricas girantes - Motores de indução - Especificação*), o fator de serviço não tem sido mais utilizado pelos fabricantes nacionais de motores elétricos.

Quando as características nominais do motor incluírem mais de uma potência e/ou velocidade, o condutor a ser escolhido deve ser o que resulte em maior seção, quando considerada individualmente cada potência e velocidade.

No caso de um *circuito terminal que alimente dois ou mais motores*, os condutores devem possuir uma capacidade de condução de corrente não inferior à soma das capacidades de condução mínimas, determinadas separadamente para cada motor. Assim, para um circuito terminal alimentando n motores, teremos:

$$I_Z \geq \sum_{i=1}^n f_{Si} \cdot I_{Mi}$$

com f_{Si} e de I_{Mi} sendo, respectivamente, o fator de serviço e a corrente nominal de um motor genérico.

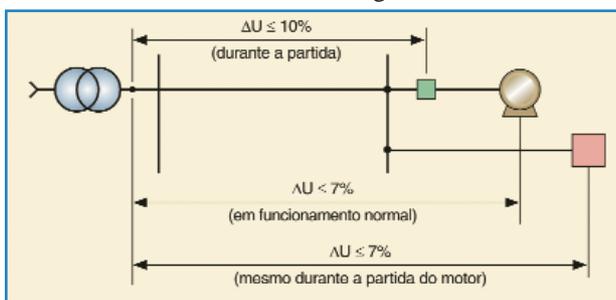


Fig. 2 – Limites de queda de tensão em instalação com motores alimentada por transformador próprio

No caso de um *circuito de distribuição* que alimenta, através de um quadro de distribuição ou através de derivações, n motores e m outras cargas, e chamando de I_{Nj} a corrente nominal de uma carga genérica pertencente a m , podemos escrever, para a capacidade de condução de corrente dos condutores do circuito:

$$I_Z \geq \left[\sum_{i=1}^n f_{Si} I_{Mi} + \sum_{j=1}^m I_{Nj} \right]$$

No caso dos circuitos de distribuição, ainda, é possível aplicar fatores de demanda, desde que seja feita uma análise criteriosa do funcionamento previsto, levando em consideração não apenas o número de motores e, se houver, de outras cargas, que podem funcionar simultaneamente, mas também as possíveis partidas simultâneas de motores. Podemos, então, escrever:

$$I_Z \geq \left[g_M \sum_{i=1}^n f_{Si} I_{Mi} + g_C \sum_{j=1}^m I_{Nj} \right]$$

onde g_M e g_C são os fatores de demanda, respectivamente, dos motores e das outras cargas.

No dimensionamento dos circuitos (terminais e de distribuição) que alimentam motores, deve-se levar em conta que as quedas de tensão entre a origem e os terminais dos motores e demais pontos de utilização, em serviço normal, não devem ultrapassar 4% em instalações alimentadas por rede pública de baixa tensão, e 7% em instalações alimentadas por transformador próprio. Por outro lado, durante a partida, a queda de tensão nos terminais do dispositivo de partida do motor não

Corrente de partida e de rotor bloqueado

Corrente de rotor bloqueado é a máxima corrente absorvida pelo motor com o rotor travado (velocidade zero) sob tensão e frequência nominais. (O termo "máxima" decorre do fato de que a corrente absorvida pode variar com a posição angular do rotor.)

Corrente de partida é a corrente absorvida pelo motor durante a partida, sob tensão e frequência nominais. O termo "partida" refere-se ao funcionamento do motor acelerando no intervalo de velocidades desde zero até aquela determinada pela condição de carga do motor. Portanto, a rigor, a corrente de partida tem, durante este intervalo, valor variável decrescente desde o valor inicial, correspondente ao rotor bloqueado, até o valor determinado pela condição de carga do motor.

Na prática, o termo "corrente de partida" é empregado como sinônimo de "corrente de rotor bloqueado".

deve ultrapassar 10% da tensão nominal deste, observados os limites relativos a serviço normal para os demais pontos de utilização.

A figura 2 ilustra essas prescrições da NBR 5410, para o caso de instalação com transformador próprio.

O cálculo da queda de tensão durante a partida do motor deve ser efetuado considerando a *corrente de rotor bloqueado* do motor (veja caixa) e um fator de potência igual a 0,3. [Ver exemplo de cálculo de queda de tensão durante a partida de motor no artigo “Cálculos de queda de tensão (II)”].

Proteção em circuito de motor

Para reconhecer as peculiaridades dos motores como cargas elétricas, traduzindo esse reconhecimento numa seção específica a eles dedicada (a 6.5.3), a NBR 5410 reconhece também, implicitamente, a existência de dispositivos de proteção que surgiram primordialmente para atender a essas peculiaridades. A ponto de, na prática, serem associados, pelo mercado, quase que exclusivamente ao uso em circuitos de motores.

Incluem-se, nessa condição, os sobejamente conhecidos relés térmicos de sobrecarga, par constante e indissociável dos contatores, e os dispositivos de proteção especificamente (ou apenas) contra curtos-circuitos, como os disjuntores dotados apenas de disparador magnético e os fusíveis aM. Isso sem contar componentes que não pertencem propriamente ao domínio das instalações, embora a norma a eles faça referência, como os protetores térmicos que são alojados nos próprios enrolamentos do motor.

Proteção contra sobrecargas

Com efeito, no artigo em que aborda a proteção contra sobrecargas em circuitos de motores (6.5.3.5), a NBR 5410 menciona a utilização de “dispositivos de proteção integrantes do motor, sensíveis à temperatura dos enrolamentos”, mas remete tal possibilidade, na prática, para o que ela chama de “aplicações especiais”.

Com isso, no campo das “aplicações normais” ficam os “dispositivos de proteção independentes” (quer dizer, não integrantes do motor) e, portanto, os relés térmicos tradi-

cionais e os disparadores térmicos de disjuntor-motor e de contator-disjuntor.

Examinemos as características principais dos relés térmicos de sobrecarga.

Um relé térmico de sobrecarga é constituído, em sua essência, por um conjunto de lâminas bimetálicas (um por fase) e por um mecanismo de disparo, contidos num invólucro isolante de alta resistência térmica.

A atuação do relé é indicada por sua curva de disparo. Essa curva de disparo mostra o tempo de disparo (T_p) em função da corrente de ajuste (I_r) do relé e é referida a uma dada temperatura ambiente (temperatura de calibração). Geralmente, a curva de disparo fornecida pelos fabricantes é a chamada “curva a frio”, isto é, correspondente a uma situação de inexistência inicial de carga – vale dizer, partindo de um estado inicial frio; por vezes é também fornecida a curva de disparo considerando as lâminas já aquecidas com a corrente de ajuste (curva a quente). As duas curvas de um determinado relé térmico são mostrada na figura 1.

Para eliminar (ou, pelo menos, atenuar fortemente) os efeitos de temperaturas ambientes superiores à de referência sobre a curva de disparo, como no caso de relés instalados em quadros de distribuição, recorre-se à *compensação* do relé, obtida através de alteração na conformação das lâminas bimetálicas ou pela utilização de uma lâmina bimetálica auxiliar.

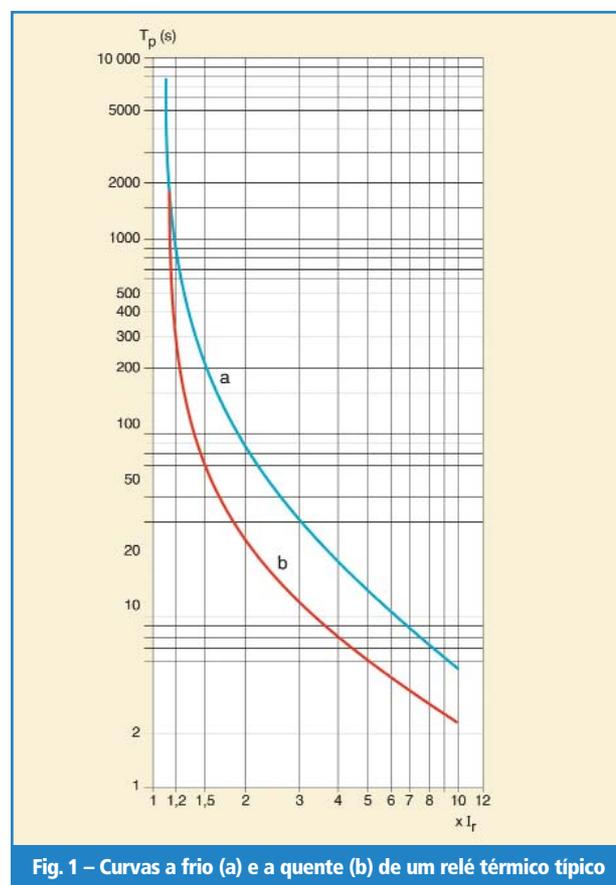


Fig. 1 – Curvas a frio (a) e a quente (b) de um relé térmico típico

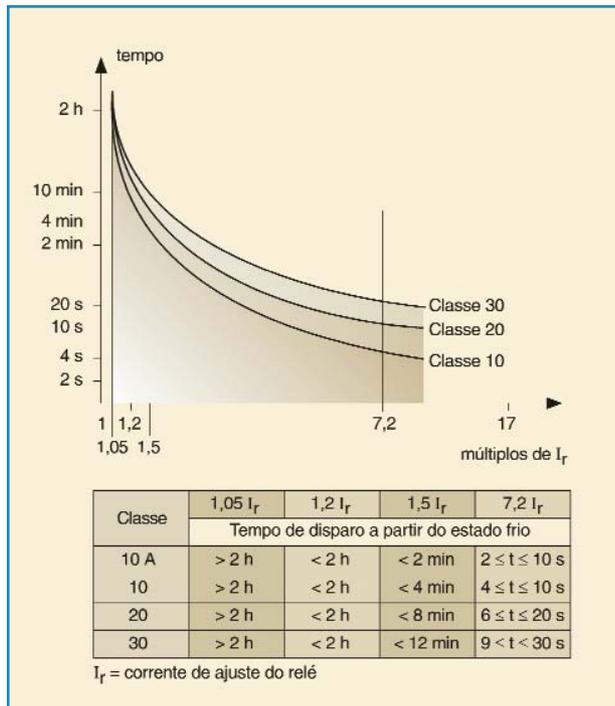


Fig. 2 – Classes/curvas de disparo dos relés térmicos conforme normalização IEC

Os relés térmicos de sobrecarga são divididos em *classes de disparo*, que permitem adaptá-los às características dos motores, em especial às suas condições de partida. A figura 2 ilustra as classes de disparo previstas na IEC 60947.

A *faixa de corrente de ajuste* é uma característica fundamental para o dimensionamento da proteção ou, o que dá no mesmo, para a especificação do dispositivo. Para uma dada aplicação, a faixa de corrente de ajuste do relé deve abranger a corrente nominal (ou esse valor multiplicado pelo fator de serviço, quando existir) do motor a proteger.

As faixas de corrente de ajuste não são normalizadas, podendo variar de fabricante para fabricante. Embora possa, a princípio, parecer vantajoso para o projetista a es-

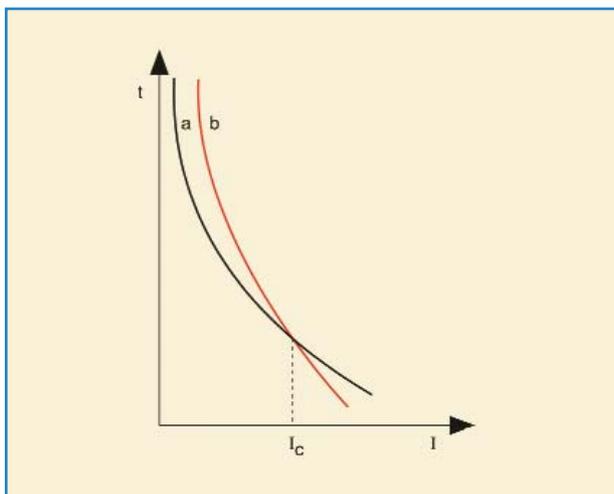


Fig. 3 – Superposição das curvas médias de fusível “g” (curva b) e relé térmico (curva a)

colha de relés com ampla faixa de ajuste, recomendações práticas e de projeto limitam em 2:1 a relação entre fim e início de escala; relações maiores podem comprometer a precisão e a repetibilidade do disparo, o que se torna mais crítico em se tratando de motores de pequena potência (abaixo de 10 CV), que são mais vulneráveis aos danos decorrentes de sobrecargas.

Proteção contra curtos-circuitos

A proteção contra correntes de curto-circuito deve ficar a cargo de um dispositivo específico (fusíveis tipo “g”, fusíveis tipo “a” ou disjuntor somente magnético), independente, ou do disparador de um dispositivo multifunção (disjuntor-motor ou contator-disjuntor). No primeiro caso, o dispositivo deve ser instalado a montante do contator e do relé térmico e, em ambos os casos, a capacidade de interrupção do próprio dispositivo ou do dispositivo de potência associado deve ser superior ou, pelo menos, igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto de aplicação considerado.

Deve existir uma perfeita coordenação entre a proteção contra correntes de curto-circuito e a proteção contra correntes de sobrecarga — vale dizer, entre os fusíveis ou disjuntor e o relé térmico, no caso mais comum. Assim, a corrente que provoca a atuação dos fusíveis ou do disjuntor deve ser suficientemente elevada de modo a não ocasionar uma intervenção em condições de sobrecarga (a carga do relé térmico) e suficientemente baixa a fim de evitar danos ao contator e ao relé quando de um curto-circuito.

A figura 3 mostra a superposição das curvas (médias) de disparo de um relé térmico e de um fusível “g” e a figura 4 a superposição entre as curvas de um relé térmico e de um disjuntor somente magnético; I_c é a corrente correspondente à intersecção das curvas. Na prática, para que seja válida a coordenação, é necessário que o fusível ou o disjuntor suporte repetidamente, sem atuar, $0,75 I_c$.

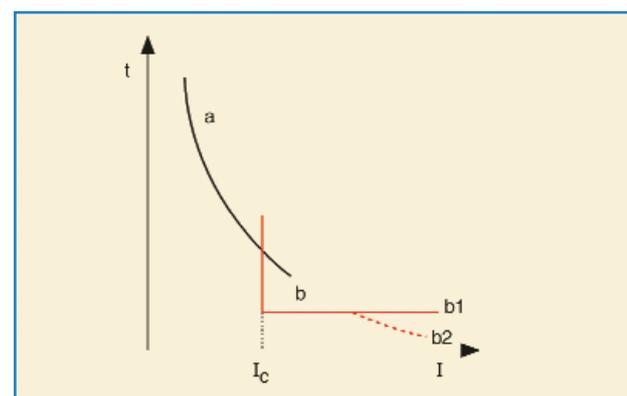


Fig. 4 – Superposição das curvas médias de disjuntor (curva b) e relé térmico (curva a). b1 = disjuntor rápido; b2 = disjuntor limitador

PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES

Proteção contra sobretensões	224
---	------------

Proteção contra sobretensões

Na NBR 5410, a primeira menção ao tema das sobretensões aparece no item 1.3.4 – *Proteção contra sobretensões*:

“As pessoas, os animais domésticos e os bens devem ser protegidos contra as conseqüências prejudiciais devidas a uma falta elétrica entre partes vivas de circuitos com tensões nominais diferentes e a outras causas que possam resultar em sobretensões (fenômenos atmosféricos, sobretensões de manobra, etc.)”

Mais adiante, na seção 5.4.3, mais exatamente no parágrafo 5.4.3.2, a norma faz a primeira alusão à eventual necessidade de utilizar dispositivos de proteção contra sobretensões:

“Em instalações alimentadas por rede de distribuição em baixa tensão situadas em zonas expostas a raios (AQ2 e AQ3 conforme 4.3.1.11), se necessário, devem ser instalados, na origem da instalação, dispositivos adequados de proteção contra sobretensões, do tipo não curto-circuitante, tais como pára-raios de resistência não-linear de baixa tensão (pára-raios secundários).”

Em 5.7.5, são descritas genericamente as medidas de proteção contra sobretensões, destacando-se o parágrafo 5.7.5.2:

“Os dispositivos de proteção contra sobretensões podem ser necessários na origem da instalação, nos pontos de entrada ou saída dos condutores referidos em 5.4.3.1-e),

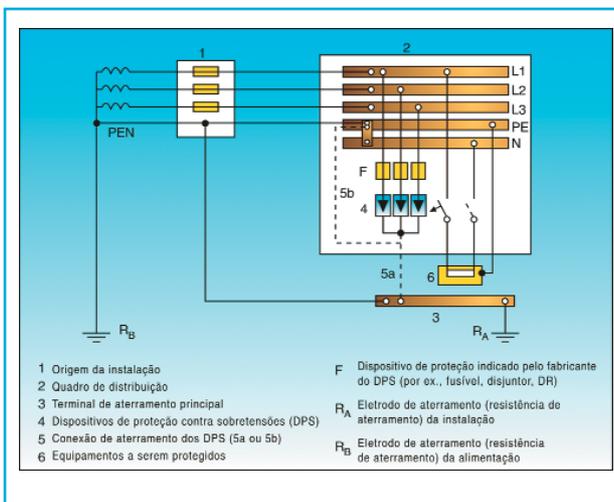


Fig. 1 – Instalação dos dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS) em esquemas TN

junto aos equipamentos e, eventualmente, também ao longo da linha.”

A leitura dos itens da NBR 5410 até aqui apresentados deixa claro que a norma não obriga – ou *ainda* não obriga – a utilização de dispositivos de proteção contra sobretensões. Mas fica também evidente que o profissional responsável por uma instalação, sabendo-a sujeita à ação dessas sobretensões, não pode se omitir, ignorando o assunto.

Voltando ao parágrafo 5.7.5.2, verifica-se que a idéia central nele contida é que a proteção contra sobretensões deve ser feita em “cascata”, ou seja, deve-se atenuar uma parte considerável do sinal na entrada da instalação, reduzi-lo mais um pouco ao longo da linha e “matá-lo” definitivamente junto ao equipamento. [Para poupar o trabalho de consultar a norma: “os condutores referidos em 5.4.3.1-e)” são “condutores metálicos que entram ou saem da edificação, em especial de torres de sinalização e/ou antenas”]

Já na parte 6 da norma, que é aquela dedicada à seleção e instalação dos componentes (da instalação), o tema é retomado sob o enfoque aí dominante, ou seja, com considerações pertinentes à seleção dos dispositivos de proteção contra sobretensões. É do que se ocupa, efetivamente, a seção 6.3.5 da norma:

- em 6.3.5.1, basicamente são indicados os tipos de dispositivos aceitos pela norma;
- em 6.3.5.2, descreve-se como devem ser ligados os

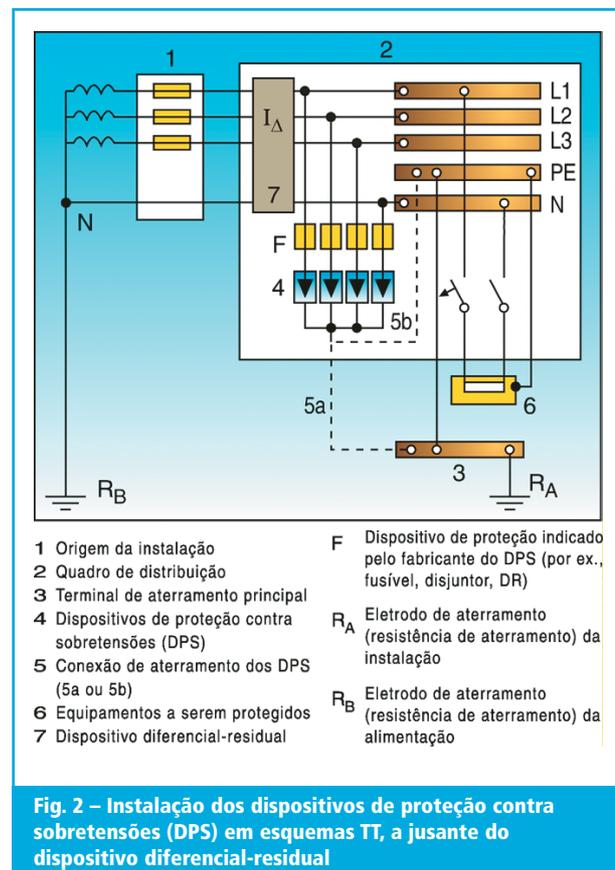
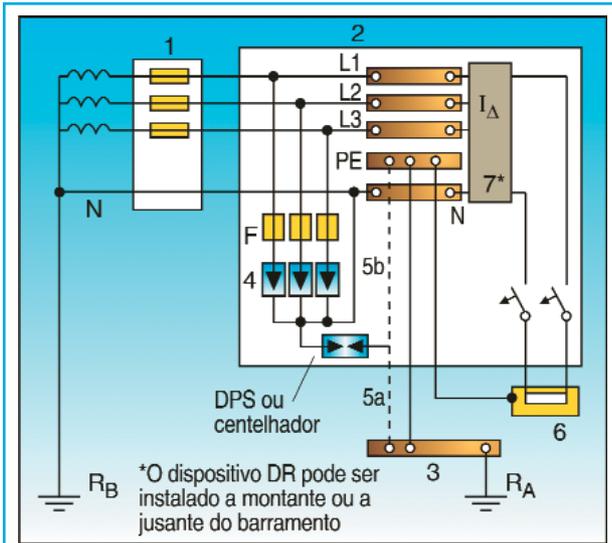
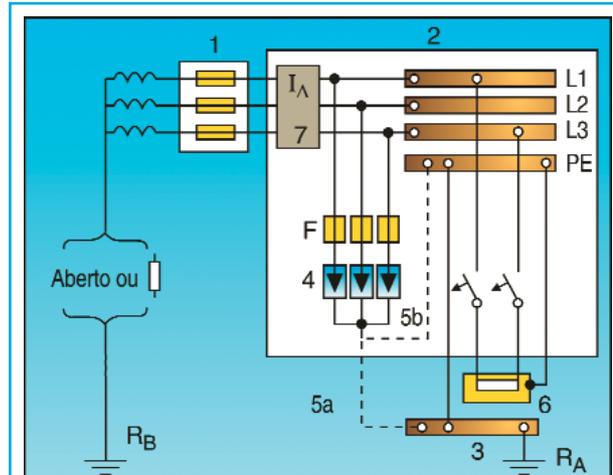


Fig. 2 – Instalação dos dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS) em esquemas TT, a jusante do dispositivo diferencial-residual



- | | |
|--|---|
| 1 Origem da instalação | F Dispositivo de proteção indicado pelo fabricante do DPS (por ex., fusível, disjuntor, DR) |
| 2 Quadro de distribuição | RA Eletrodo de aterramento (resistência de aterramento) da instalação |
| 3 Terminal de aterramento principal | RB Eletrodo de aterramento (resistência de aterramento) da alimentação |
| 4 Dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS) | |
| 5 Conexão de aterramento dos DPS (5a ou 5b) | |
| 6 Equipamentos a serem protegidos | |
| 7 Dispositivo diferencial-residual | |

Fig. 3 – Instalação dos dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS) em esquemas TT, a montante do dispositivo diferencial-residual



- | | |
|--|---|
| 1 Origem da instalação | F Dispositivo de proteção indicado pelo fabricante do DPS (por ex., fusível, disjuntor, dispositivo DR) |
| 2 Quadro de distribuição | RA Eletrodo de aterramento (resistência de aterramento) da instalação |
| 3 Terminal de aterramento principal | RB Eletrodo de aterramento (resistência de aterramento) da alimentação |
| 4 Dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS) | |
| 5 Conexão de aterramento dos DPS (5a ou 5b) | |
| 6 Equipamentos a serem protegidos | |
| 7 Dispositivo a corrente diferencial-residual | |

Fig. 4 – Instalação dos dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS) em esquemas IT, a jusante do dispositivo diferencial-residual

dispositivos, em cada um dos esquemas de aterramento (TN, TT e IT). Destaque-se a recomendação feita na nota 2, que informa não ser aconselhável, em princípio, conceber a instalação ou circuitos destinados a equipamentos de tecnologia da informação como TT ou IT. Lembrete: *equipamentos de tecnologia da informação* é a denominação genérica aplicada a equipamentos eletrônicos sensíveis, como computadores, centrais telefônicas, aparelhos de fax, etc. As figuras 1 a 4 ilustram as formas de ligação dos protetores, nos diferentes esquemas de aterramento — válidas, em particular, para a instalação do dispositivo na origem ou entrada da instalação;

- em 6.3.5.3 é reforçada a recomendação de que sejam usados dispositivos de proteção ao longo das linhas e junto aos equipamentos sensíveis;
- em 6.3.5.4, admite-se o emprego de um único protetor, instalado na origem da instalação, cabendo então às notas 1 a 3 do parágrafo definir as características nominais mínimas do dispositivo. Uma característica particularmente relevante é a capacidade mínima de corrente do dispositivo. A NBR 5410 fixa essa capacidade mínima em 10 kA, como regra geral, e em 20 kA para áreas críticas. Alguns protetores existentes no mercado apresentam valores inferiores (5 kA, 8 kA, etc.) e não devem, em princípio, ser utilizados como protetores gerais (únicos) da instalação;
- em 6.3.5.5 é dito que os “condutores de energia e de si-

nal que entram na edificação devem convergir, sempre que possível, para um mesmo ponto” e, a partir desse ponto, também devem seguir caminhos próximos, paralelos, porém, em condutos separados (figura 5).

A recomendação de que os condutores trilhem caminhos próximos visa à diminuição da indutância mútua entre os circuitos, reduzindo-se, dessa forma, as eventuais tensões e correntes induzidas nos condutores (interferências nos circuitos de sinal). Já as razões para o emprego de condutos separados são a facilidade de manuseio, a identificação de condutores, a segurança das pessoas que lidam com os circuitos, etc.

Ainda dentro do parágrafo 6.3.5.5, a norma prescreve que caso os circuitos destinados a alimentar equipamentos de tec-

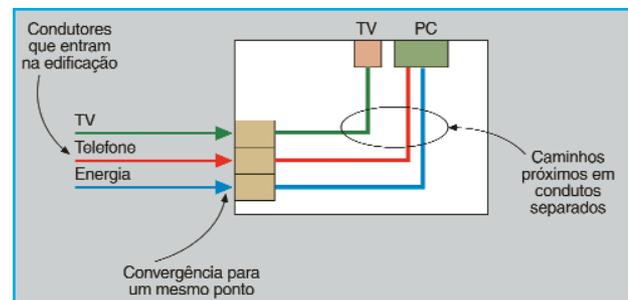


Fig. 5 – Em 6.3.5.5, a NBR 5410 recomenda que condutores de potência e de sinal trilhem caminhos próximos, em condutos separados

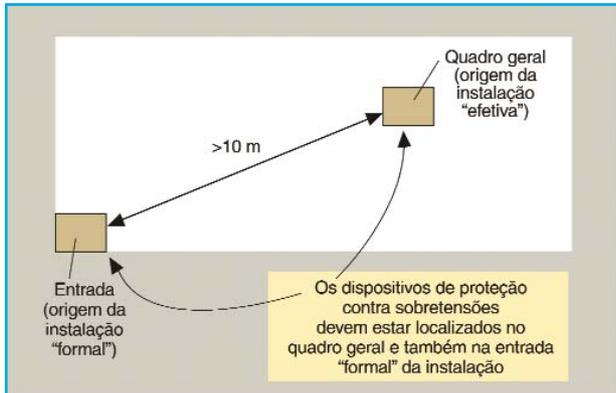


Fig. 6 – Quando a origem e o quadro geral estão distantes, ambos devem ser objeto de proteção contra sobretensões (6.3.5.6 da NBR 5410)

nologia de informação façam uso de condutos fechados (eletrodutos, eletrocalhas e perfilados com tampa, dutos de piso, etc.), estes devem ser de material ferromagnético (aço, por exemplo) e ter sua continuidade elétrica assegurada;

- em 6.3.5.6, aborda-se o caso em que o quadro de entrada, ou quadro geral da edificação (em termos mais práticos, a própria edificação), está distante da origem “formal” da instalação elétrica. Recorde-se que a *origem da instalação*, como definida na parte inicial da norma, corresponde ao ponto logo após o medidor, quando a instalação é atendida pela concessionária em BT, ou aos terminais secundários do transformador MT/BT, quando atendida em MT. Assim, quando o quadro geral distar mais de 10 m dessa origem, e a planta do local indicar a impossibilidade de equipotencialização entre quadro e origem, os *dois* pontos devem ser objeto de proteção contra sobretensões, como se fossem entradas ou instalações distintas. Isso sem esquecer as regras gerais relativas ao aterramento, que prevêm interliga-

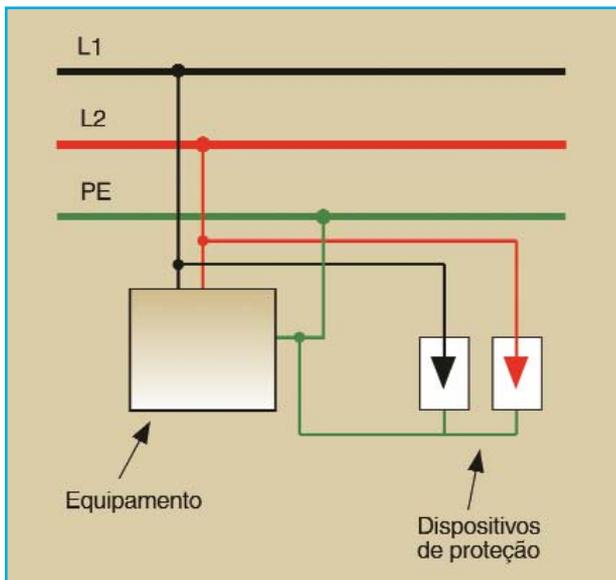


Fig. 7 – Ligação de dispositivo contra sobretensões na proteção de equipamento de tecnologia da informação alimentado entre fases (6.3.5.9 da NBR 5410)

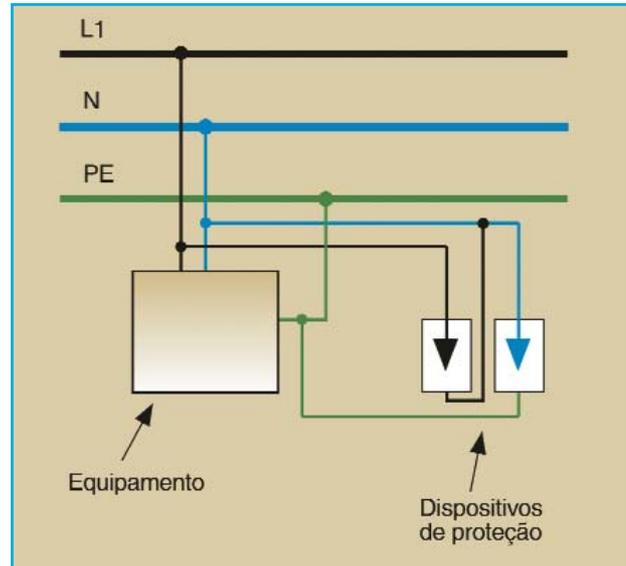


Fig. 8 - Ligação de dispositivo contra sobretensões na proteção de equipamento de tecnologia da informação alimentado entre fase e neutro (6.3.5.10 da NBR 5410)

ção entre os eletrodos de aterramento presumivelmente existentes num e noutro ponto. A figura 6 ilustra essa situação abordada em 6.3.5.6;

- em 6.3.5.9 e 6.3.5.10 explica-se como devem ser ligados os dispositivos contra sobretensões destinados a proteger diretamente equipamentos de tecnologia da informação. Caso os equipamentos sejam alimentados entre fases (o que é recomendado pela norma), sem o uso do neutro, os dispositivos de proteção devem ser ligados entre cada uma das fases e o condutor PE do circuito (figura 7). Caso os equipamentos sejam alimentados entre fase e neutro, os dispositivos devem ser ligados entre fase e neutro e entre o neutro e o PE (figura 8).

EQÜIPOTENCIALIZAÇÃO E COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA

Eqüipotencialização e compatibilidade eletromagnética231

Eqüipotencialização e compatibilidade eletromagnética

A difusão maciça da tecnologia da informação, em todas as suas formas, coloca hoje o profissional de instalações diante de novos problemas, de uma nova realidade. O bom funcionamento dos equipamentos e sistemas de informação, que assumiu um aspecto crucial na vida das empresas, exige conhecimento e cuidados extras. O profissional de instalações elétricas, habituado a enfrentar velhos e razoavelmente conhecidos problemas do domínio da frequência industrial, agora se vê na obrigação de oferecer soluções que exigem boa compreensão dos fenômenos da alta frequência. E mais: ele deve encontrar fórmulas que resultem na convivência harmoniosa das várias instalações que a edificação abriga — a instalação de potência, os circuitos de sinal, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Uma não deve interferir no bom funcionamento e nem comprometer a segurança da outra.

A equação não é simples. Tanto que gerou uma nova e ampla área de conhecimento, chamada “compatibilidade eletromagnética” (CEM). Com intrincados encargos, que vão do estudo das perturbações eletromagnéticas geradas por eventuais explosões nucleares (e foi no setor de defesa, com efeito, que a nova disciplina nasceu), até a preparação de normas fixando os níveis de interferência e de imunidade aceitáveis de bens de consumo eletroeletrônicos. A CEM representa, por assim dizer, um resgate da universalidade da teoria de Maxwell, a nos lembrar que ninguém é uma ilha no mundo eletromagnético. Dentro dessa visão, aspectos como proteção contra raios, aterramento, blindagens, etc., etc., passam a constituir subdomínios da CEM.

No mundo menos etéreo do dia-a-dia dos profissionais de instalações, o que eles desejam é que os investigadores traduzam seus estudos em orientação concreta aplicável a problemas concretos com os quais se defrontam. Eles esperam que normas como a NBR 5410 tragam pelo menos referências orientativas que lhes permitam executar seu trabalho sem ferir conceitos básicos de compatibilidade entre as diferentes instalações.

E a norma tem cumprido seu papel. Um bom exemplo disso é seção 6.4.8, “Aterramento e eqüipotencialização de equipamentos de tecnologia da informação”, que foi introduzida na edição de 1997. Essencialmente, a proposta aí conti-

da é que seja realizada uma eqüipotencialização capaz de garantir compatibilidade eletromagnética — enfim, capaz de proporcionar à instalação de tecnologia da informação um funcionamento livre de perturbações. Em resumo, a seção:

1) conceitua e especifica o chamado *barramento de eqüipotencialização*, fixando regras para o seu dimensionamento e indicando o que pode ou deveria ser a ele ligado;

2) sugere formas de se realizar a eqüipotencialização (ainda que de forma vaga), acrescentando algumas recomendações práticas e estabelecendo requisitos precisos para os condutores de eqüipotencialização; e

3) apresenta regras para *os condutores de aterramento funcional*, incluindo tipos admitidos, dimensionamento e detalhes de instalação.

Antes de examinarmos cada um desses pontos, vejamos alguns aspectos conceituais.

Definições

Para melhor compreensão das prescrições da seção 6.4.8 da NBR 5410 e de seus objetivos, é importante lembrar algumas definições.

● *Equipamento de tecnologia da informação* — Denominação aplicada a um amplo universo de equipamentos e instalações, podendo ser citados, como exemplos: computadores; equipamentos de telecomunicações; centrais PABX e instalações associadas; redes locais (LANs); sistemas de alarme de incêndio e de intrusão; instalações de supervisão e automação predial; sistemas CAM e outros serviços auxiliados por computador.

● *Aterramento funcional* — Aterramento de um ponto (do sistema, da instalação ou de um equipamento) destinado a outros fins que não a proteção contra choques elétricos. Em particular, no contexto da seção, o termo “funcional” está associado ao uso do aterramento e da eqüipotencialização para fins de transmissão de sinais e de compatibilidade eletromagnética.

Conseqüentemente, como há distinção entre “aterramento de proteção” e “aterramento funcional”, podemos ter:

● *Condutor de aterramento funcional* — Condutor de aterramento utilizado para a realização de um aterramento funcional. Abreviadamente, condutor FE⁽¹⁾ (de “functional earthing”).

● *Condutor de proteção e de aterramento funcional* — Condutor que combina ambas as funções, a de aterramento de proteção e a de aterramento funcional. Abreviadamente, condutor PFE⁽¹⁾ (de “protective and functional earthing”).

Barramento de eqüipotencialização

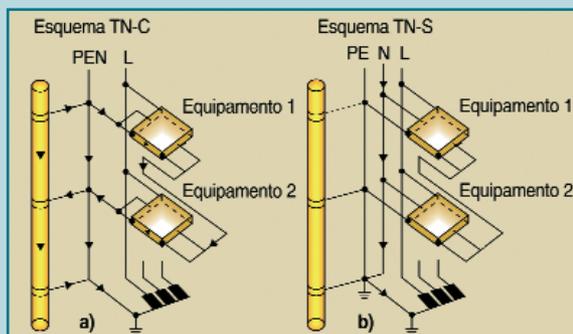
Com a seção 6.4.8 foi introduzido um termo e, com ele, um novo ingrediente na estrutura das instalações elétricas:

O TN-C e a (in)compatibilidade

O uso de condutor PEN, vale dizer, do esquema TN-C, é ou corre grande risco de ser incompatível com a compatibilidade eletromagnética — a arte de garantir (ou tentar, pelo menos) um funcionamento harmonioso para os sistemas e instalações eletroeletrônicas.

De forma polida, o artigo 6.4.8.3 da NBR 5410 adverte que **em edificações que abriguem ou possam vir a abrigar instalações de tecnologia da informação de porte significativo, “deve-se considerar o uso de condutor de proteção (PE) e condutor neutro (N) separados, desde o ponto de entrada da alimentação”**. Isso com vista a minimizar a eventualidade de problemas de CEM (e, em casos extremos, de sobrecorrentes) devidos à passagem de correntes de neutro nos cabos de transmissão de sinais (ver figura). E acrescenta: “se a instalação elétrica da edificação possuir um transformador, grupo gerador, UPS ou fonte análoga responsável pela alimentação dos

equipamentos de tecnologia da informação e se essa fonte for, ela própria, alimentada em esquema TN-C, deve-se adotar o esquema TN-S em sua saída.”



No esquema TN-C (a) a corrente de neutro (devida aos desequilíbrios de carga num sistema trifásico) se divide entre o condutor PEN, as blindagens e/ou os condutores de referência (dos cabos de transmissão de sinais) e os elementos condutores. No esquema TN-S (b) a corrente de neutro circula apenas pelo condutor neutro

● *Barramento de equipotencialização* — Condutor, mas não só na forma de barra, ligado ao terminal de aterramento principal⁽²⁾.

Na verdade, o *barramento de equipotencialização* pode ser encarado, física e conceitualmente, como um “mero” prolongamento do terminal de aterramento principal. Como é dito em 6.4.8.5, o “terminal de aterramento principal da instalação pode ser prolongado, emendando-se-lhe um *barramento de equipotencialização*, de forma que os equipamentos de tecnologia da informação possam ser ligados e/ou aterrados pelo caminho mais curto possível, de qualquer ponto da edificação”.

Isso significa, por outro lado, que qualquer das ligações ao terminal de aterramento principal exigidas pela norma (itens 5.1.3.1.2-a e 6.4.2.4 da NBR 5410) não precisaria necessariamente sê-la no terminal de aterramento principal, propriamente dito, podendo a conexão ser feita em qualquer ponto do barramento de equipotencialização.

O barramento de equipotencialização, de preferência em cobre, pode ser nu ou isolado e deve ser acessível em toda sua extensão, para facilitar as conexões de equipotencialização — por exemplo, instalado sobre a superfície das paredes, diretamente ou em canaletas. Mas se o barramento for em condutor nu, ele deve ser garantido com isolamento nos pontos de fixação e nas travessias de paredes, para evitar corrosão (6.4.8.5.3).

O arranjo físico recomendado para o barramento de equipotencialização é o de um anel em toda a periferia in-

terna da edificação — impondo-se mesmo a forma de anel fechado no caso de edificações com presença extensiva de equipamentos de tecnologia da informação (6.4.8.5.4).

No dimensionamento do barramento de equipotencialização deve ser observada, em termos de seção mínima, a mesma regra que a NBR 5410 estabelece para os condutores da ligação equipotencial principal [ver *boxe “Condutores de equipotencialização”*]. Convém notar que funções próprias dos equipamentos de tecnologia da informação podem conduzir a seções maiores que aquelas ditadas pelo aterramento de proteção. A propósito, a nota de 6.4.8.5.5 lembra que a efetiva equipotencialidade entre dois pontos do barramento de equipotencialização depende da impedância do condutor utilizado — por sua vez, função de seu dimensionamento e percurso; e sugere que se a frequência for de 50 ou 60 Hz, como é frequentemente o caso, um condutor de cobre com seção de 50 mm² “constitui um bom compromisso entre custo e impedância”.

Como mencionado, podem ser conectados ao barramento de equipotencialização quaisquer dos elementos que normalmente integram a *ligação equipotencial principal* (ver 5.1.3.1.2-a) e 6.4.2.4 da NBR 5410) e, além disso, quaisquer ligações de aterramento e/ou equipotencialização necessárias a um funcionamento correto e livre de perturbações dos equipamentos de tecnologia da informação. Incluem-se neste caso (6.4.8.5.2):

– as blindagens, armações e coberturas metálicas dos cabos e equipamentos de telecomunicação, em to-

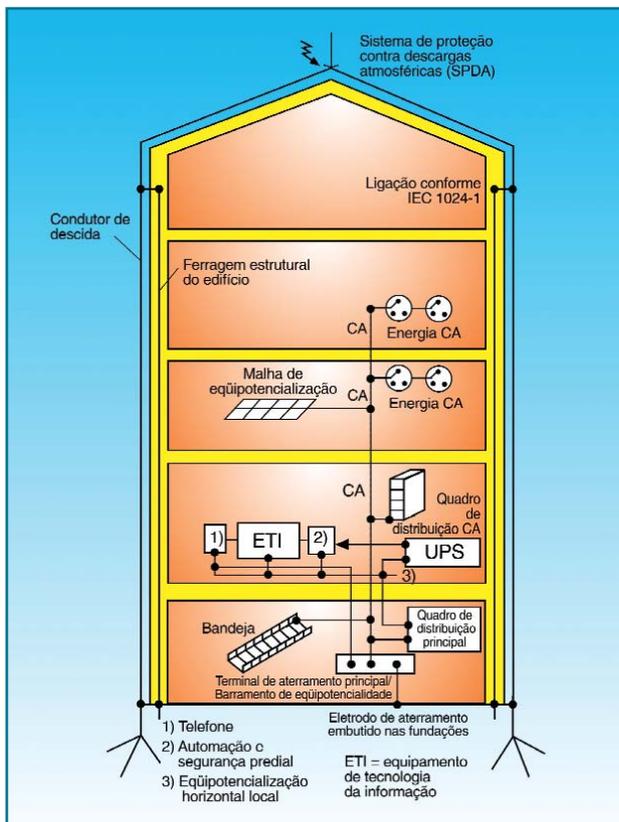


Fig. 1 – Visão geral da equipotencialização e aterramento propostos pela seção 6.4.8 da NBR 5410

das as suas formas;

- os condutores de equipotencialização dos sistemas de trilho;
- os condutores de aterramento dos dispositivos de proteção contra sobretensões;
- os condutores de aterramento das antenas de radiocomunicação;
- o condutor de aterramento do pólo “terra” de alimentações CC para equipamentos de tecnologia da informação;

- os condutores de aterramento funcional;
- os condutores de ligações eqüipotenciais suplementares.

Recorde-se que a norma relaciona, entre os elementos integrantes da ligação eqüipotencial principal: os condutores de proteção, em particular o(s) condutor(es) de proteção principal(ais); as tubulações metálicas de água, gás e outras utilidades; as colunas ascendentes de sistemas de ar condicionado (e/ou calefação) centrais; os elementos metálicos da construção e outras estruturas metálicas; e as interligações com o(s) eletrodo(s) de aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), quando eventualmente o SPDA tiver eletrodo(s) de aterramento próprio(s).

Eqüipotencialização funcional

No artigo 6.4.8.6, a NBR 5410 sugere, vagamente, formas de realizar a eqüipotencialização (por razões funcionais), dizendo que ela pode compreender condutores, capas metálicas de cabos e elementos metálicos da edificação, como tubulações de água e dutos de cabos; ou uma malha instalada em cada piso da edificação, seja ocupando toda a área do piso ou parte dela (quando o piso possui grande área, por exemplo). Acrescenta, ainda, que a eqüipotencialização pode incluir também (aliás, é recomendado) a ferragem estrutural da edificação. Neste caso, é aconselhável que as ferragens sejam todas soldadas e conectadas ao barramento de eqüipotencialização. Se a soldagem não for possível ou não for permitida, por razões estruturais, sobram duas opções: uso de fixações, ao invés de solda; ou o emprego de ferragens adicionais, que seriam então soldadas entre si e amarradas à ferragem estrutural com arame de aço torcido.

A figura 1 fornece uma visão geral da eqüipotencialização proposta pela seção 6.4.8 da norma; e o boxe “Métodos de eqüipotencialização para ETIs” ilustra três métodos de

Condutores de eqüipotencialização

A NBR 5410 trata, em 6.4.7.1, das seções mínimas para os condutores das ligações eqüipotenciais principal e suplementar.

A norma diz, em 6.4.7.1.1, que os condutores de eqüipotencialização da ligação eqüipotencial principal “devem possuir seções que não sejam inferiores à metade da seção do condutor de proteção de maior seção da instalação, com um mínimo de 6 mm².”

No que concerne aos condutores de eqüipotencialização da ligação eqüipotencial suplementar, como consta de 6.4.7.1.2, o documento distingue dois casos:

- se usado para ligar duas massas, o condutor de eqüipotencialização deve possuir uma seção equivalente igual ou

superior à seção do condutor de proteção de menor seção ligado a essas massas;

- se usado para ligar uma massa a um elemento condutivo estranho à instalação, o condutor de eqüipotencialização deve possuir uma seção equivalente igual ou superior à metade da seção do condutor de proteção ligado a essa massa e deve satisfazer a 6.4.3.1.3.

Ainda sobre a ligação eqüipotencial suplementar, a norma esclarece que ela “pode ser assegurada por elementos condutivos estranhos à instalação não-desmontáveis, tais como estruturas metálicas, ou por condutores suplementares ou por uma combinação dos dois tipos.”

Métodos de eqüipotencialização para ETIs

Existem vários métodos de aterramento e eqüipotencialização que podem proporcionar um funcionamento mais livre de perturbações aos equipamentos de tecnologia da informação (ETIs). Os principais ou mais conhecidos são os três descritos a seguir:

1) O primeiro método, indicado na figura 1, consiste na utilização dos condutores de proteção dos próprios circuitos terminais que alimentam os ETIs — e que funcionam, portanto, como condutores de proteção e aterramento funcional (PFE). O condutor PFE de cada equipamento oferece um percurso de impedância relativamente alta para as perturbações eletromagnéticas que não os transitórios via rede, de modo que os cabos de sinal que interligam os equipamentos ficam sujeitos a uma proporção elevada de ruídos incidentes. Nessas condições, os ETIs deverão possuir um alto nível de imunidade para funcionar de modo satisfatório.

As perturbações incidentes poderão ser bastante reduzidas se a alimentação e o terra dos ETIs, no quadro de distribuição, forem exclusivos, e também separados (caso

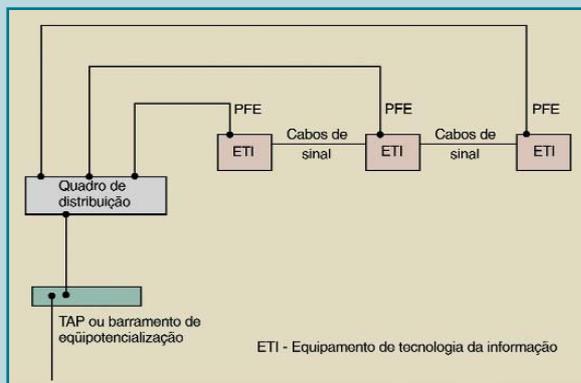


Fig. 1 – Condutores de proteção e aterramento funcionais (PFEs) ligados radialmente

do terra) de elementos condutivos da edificação.

A barra PE do quadro funciona como o centro-estrela de onde partem os PFEs. Algumas vezes esse centro-estrela é ligado, ao terminal de aterramento principal ou ao barramento de eqüipotencialização da instalação, por um condutor isolado, dedicado e separado.

2) No segundo método, mostrado na figura 2, o aterramento funcional dos equipamentos de tecnologia da informação é realizado por condutores de aterramento funcional, FEs, mediante conexão a uma malha de eqüipotencialização local. Dependendo da frequência e do espaçamento dos condutores, essa solução pode proporcionar um plano de referência de baixa impedância para equipamentos interligados por cabos de sinal nas proximidades imediatas da malha.

Como no método anterior, uma imunidade adicional pode ser conseguida com alimentação e aterramento separados. No caso, a própria malha de eqüipotencialização deve ser aterrada na barra de terra do quadro, separada de outros elementos condutivos estranhos e da armadura do concreto.

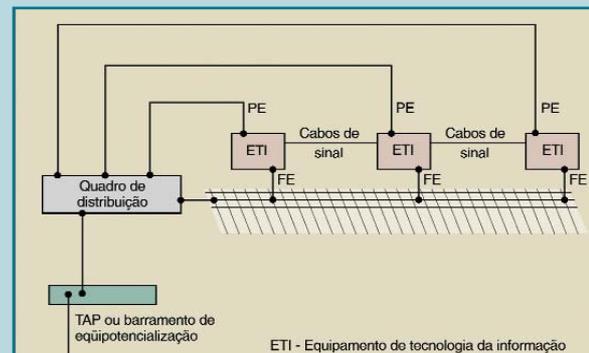


Fig. 2 – Eqüipotencialização com malha local

eqüipotencialização passíveis de utilização.

Como comentado, a norma se exige de fixar especificações detalhadas para a eqüipotencialização funcional, mesmo porque, conforme destaca, características como, por exemplo, seção, forma e posição, dependem da faixa de frequências dos equipamentos sensíveis, do ambiente eletromagnético reinante e das características de imunidade/frequência dos equipamentos (nota 2 de 6.4.8.6).

Mas, pelo menos para os condutores de eqüipotencialização, são estabelecidas regras claras, que devem ser observadas em qualquer caso:

- a seção de qualquer condutor de eqüipotencialização entre partes, unidades ou equipamentos deve respeitar o que diz o item 6.4.7.1.2 da NBR 5410 [ver *boxe “Condutores de eqüipotencialização”*];
- da mesma forma, qualquer malha de eqüipotencialização funcional que se queira realizar também deve atender o disposto em 6.4.7.1.2 da NBR 5410 [ver *boxe “Condutores de eqüipotencialização”*]; e
- os condutores de eqüipotencialização que preencham os requisitos aplicáveis a condutores de proteção devem ser identificados como condutores de proteção, valendo, por-

3) No terceiro método, representado esquematicamente na figura 3, a eqüipotencialização proporcionada por uma malha é complementada por ligações às armaduras do concreto e a outros elementos condutivos da edificação, podendo também ser realizada uma ligação eqüipotencial entre os diversos pavimentos da edificação.

Dependendo do espectro de freqüências e do espaçamento da malha, esse método pode proporcionar uma impedância suficientemente baixa para fazer frente à maior parte dos problemas de ruído em equipamentos de imunidade moderada.

O primeiro dos três métodos descritos tem sido o mais utilizado, principalmente em edifícios existentes. Os outros dois métodos são de implementação mais difícil e custosa, embora sejam os mais favoráveis sob o ponto de vista da compatibilidade eletromagnética dos equipamentos e instalações de tecnologia da informação.

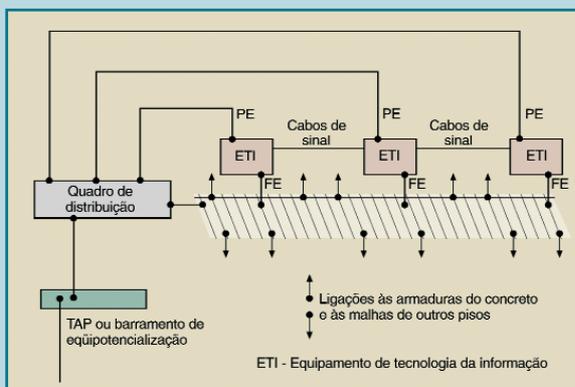


Fig. 3 – Eqüipotencialização com malha, interligada a elementos condutivos da edificação e a malhas de outros pisos

tanto, o disposto em 6.1.5.3.2 da NBR 5410 (item que consagra a dupla coloração verde-amarelo ou a cor verde para identificação do condutor de proteção).

Condutores de aterramento

Os condutores de aterramento são tratados de acordo com a função por eles preenchida — já que, como mencionado anteriormente, distinguem-se dois condutores de aterramento, o condutor FE e o condutor PFE (além do nosso conhecido PE, condutor de proteção).

Assim, o condutor PFE deve satisfazer, em toda sua extensão, os requisitos aplicáveis aos condutores de proteção (seção 6.4.3 da NBR 5410). Aliás, pode ser utilizado como condutor PFE qualquer dos tipos de condutor de proteção admitidos pela norma (na mesma seção 6.4.3).

Já as exigências aplicáveis ao condutor FE, de aterramento funcional (e a serem cumpridas, cumulativamente, pelos condutores PFE, claro), são:

- a seção dos condutores FE deve ser determinada levando-se em conta as possíveis correntes de falta que por ele possam circular e, quando o condutor FE for utilizado também como condutor de retorno, a corrente de funcionamento normal e a queda de tensão. Quando os dados pertinentes não forem disponíveis, deve-se obter orientação sobre os valores junto ao fabricante do equipamento (6.4.8.7.1);
- os condutores de aterramento destinados a ligar os dispositivos de proteção contra sobretensões ao barramento de eqüipotencialização devem seguir o caminho mais reto e curto possível, a fim de minimizar sua impedância (6.4.8.7.2).

Em 6.4.8.8.2 a norma admite ainda o uso do condutor de retorno de uma alimentação CC (para os equipamentos de tecnologia da informação) como condutor PFE, desde que, na eventualidade da abertura de um circuito, a tensão entre massas simultaneamente acessíveis não exceda a tensão de contato limite.

Visando reduzir ou minimizar os problemas de corrosão, o item 6.4.8.8.3 determina que caso correntes CC de alimentação e de sinal produzam, num condutor PFE, queda de tensão que resulte em diferença de potencial permanente no edifício, a seção do condutor deve ser de maneira a limitar essa queda de tensão a um máximo de 1V. Deve-se ignorar, no cálculo da queda de tensão, o efeito de caminhos paralelos.

Notas

- (1) Esta abreviação não é normalizada. A única abreviação do gênero oficialmente consagrada pela norma de instalações é a referente ao condutor de proteção, que se abrevia PE (*protective earth*).
- (2) A denominação completa adotada pela NBR 5410 é "barramento de eqüipotencialidade funcional". A preferência, aqui, por *eqüipotencialização* é que, na língua portuguesa, esta terminação está tradicionalmente associada à idéia de ação, de providência. Portanto, eqüipotencialização é a medida. Eqüipotencialidade é o resultado, que pode ser ou não efetivamente obtido. Quanto à dispensa do "funcional", é só para efeito do artigo, já que o contexto é, todo ele, de aterramento e eqüipotencialização por razões funcionais. No vocabulário IEC, os termos equivalentes são *ceinturage d'équipotentialité*, em francês, e *earthing bus conductor*, em inglês. Como se vê, trata-se de um "bus", termo tradicionalmente traduzido por "barramento" (no sentido de meio de condução ou elemento de ligação coletivo), mas sem que isso implique necessariamente uma forma física determinada. Portanto, o barramento de eqüipotencialização pode ser um condutor de seção retangular ou circular, sólido ou encordoado, flexível ou rígido, etc.

HARMÔNICAS

Dimensionamento dos condutores na presença de harmônicas240

Dimensionamento dos condutores na presença de harmônicas

Em relação ao modo tradicional de se determinar a seção dos condutores, o que muda no cálculo quando os fios e cabos são percorridos por correntes harmônicas? É preciso aumentar a seção dos condutores devido à presença das harmônicas?

De fato, o dimensionamento de condutores tem sido feito, tradicionalmente, sem considerar a presença de harmônicas.

Nada errado com os critérios básicos de dimensionamento, em si — aqueles seis critérios implícitos na NBR 5410, isto é, seção mínima, capacidade de corrente, queda de tensão, sobrecarga, curto-circuito e contato indireto (apenas quando se usa dispositivo a sobrecorrente). Não, eles não mudam, existam ou não harmônicas. O que muda é o cálculo do valor da corrente com o qual serão equacionados esses critérios.

Resumamos. O passo prévio à aplicação desses critérios é o cálculo da corrente de projeto (I_B), com base na previsão de carga do circuito. Presume-se, assim, que I_B será a maior corrente (valor eficaz) a circular no circuito — incluindo, portanto, considerações seja sobre a não-simultaneidade no funcionamento das cargas (*fator de demanda*), seja sobre a possibilidade de aumento futuro da carga (*“fator de reserva”*).

É a partir da corrente de projeto I_B que se dimensiona o condutor pelo critério da capacidade de condução de corrente — o que é feito entrando-se com o valor de I_B , corrigido ou não com fatores que levam em conta temperatura

ambiente, agrupamento de circuitos, etc., nas tabelas da NBR 5410 que fornecem a capacidade de corrente de cada seção de condutor. É também a partir da corrente de projeto que se calcula a queda de tensão no circuito e que se escolhe o dispositivo de proteção contra sobrecarga.

Quando as harmônicas não constituíam a dor-de-cabeça que hoje representam, tudo era mais simples, claro. No projeto de circuitos trifásicos, em especial, havia uma certa tranquilidade em assumi-los equilibrados ou, de qualquer forma, supor que o neutro não seria percorrido por correntes de desequilíbrio altas o suficiente para nos impedir a especificação — explorando uma abertura tradicionalmente concedida pelas normas de instalações — de uma seção de neutro igual à metade da dos condutores de fase.

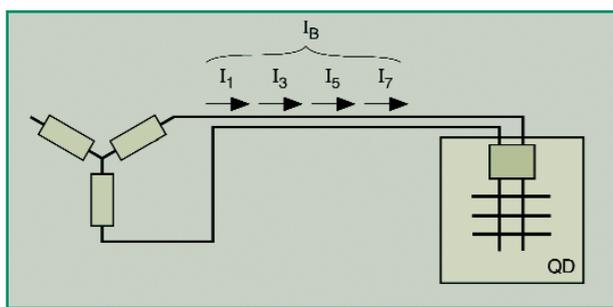


Fig. 1 – Exemplo de circuito 2F com presença de harmônicas

Porém, com o uso cada vez mais generalizado de equipamentos eletrônicos e, com eles, a presença de elementos retificadores (como a simples fonte chaveada de um microcomputador, por exemplo), o cenário já não é o mesmo. Tudo muda. As correntes e tensões já não são como mostram os “álbuns de fotografia”, os nossos compêndios de eletrotécnica. Aquela forma senoidal perfeita, ortodoxa, quase sisuda, agora ficou imprevisível! Nas ondas da modernidade, ela ganhou contornos psicodélicos.

Na verdade, não é a corrente ou tensão que mudou de cara e está irreconhecível. É que a corrente ou tensão se tornou plural. Já não temos mais uma só corrente, mas a corrente e suas harmônicas. Temos a tradicional corrente de 60 Hz, nossa velha conhecida, e o seu séquito de harmônicas.

Não é isso o que a análise de Fourier nos diz? Que todo sinal deformado pode ser decomposto em senóides perfeitas, cada uma com sua frequência característica?

Assim, o retrato já não é o mesmo porque, na verdade, o que estamos vendo é uma série de retratos superpostos — idênticos na forma de onda, mas de amplitude e frequências diferentes: estão lá a corrente de 60 Hz, sua prima indesejável de 180 Hz, a discreta prima de 120 Hz e toda a grande família que a eletrônica, antes mesmo de clonagem virar moda, vem produzindo.

Tab. 1 – Diferença de resultados no dimensionamento do circuito considerando ou não a presença de correntes harmônicas		
	Seção do condutor de fase (mm ²)	Seção do condutor neutro (mm ²)
Considerando as harmônicas	70	95
Não considerando as harmônicas	35	25

É essa então a novidade desagradável que a difusão da eletrônica reserva para o profissional de instalações: a *sua* corrente, a corrente de projeto, ganhou companhia. A corrente virou família, a família das harmônicas (*ver boxe*).

O mais antigo e conhecido membro dessa agora família é o sinal de 60 Hz, dito *fundamental* — a corrente ou tensão de *freqüência fundamental*. Os demais são *múltiplos* do sinal de 60 Hz, caracterizados cada um por uma freqüência múltipla da fundamental. Há, assim, as *harmônicas pares*, como é o caso dos sinais superpostos de 120 Hz (2×60), de 240 Hz (4×60), etc. E há as *harmônicas ímpares*, como é o caso dos sinais superpostos de 180 Hz (3×60), de 300 Hz (5×60), etc. Uma forma de as identificar individualmente é designá-las pela sua *ordem*. Assim, a harmônica de 180 Hz (3×60) é a *harmônica de 3ª ordem* ou, simplesmente, *3ª harmônica*. E assim por diante.

Isso tudo para destacar que cada corrente harmônica, de uma dada ordem, possui valor eficaz próprio, que aquece o condutor individualmente e também provoca nele uma queda de tensão. E há, portanto, um efeito cumulativo, resultante da ação conjunta de todas, que deve ser levado em conta. Desse modo, quando for prevista a existência de harmônicas em um circuito — o que hoje é quase uma regra —, o correto dimensionamento desse circuito exige que elas sejam consideradas, ao lado da *fundamental* (aquela com o qual estamos acostumados), na obtenção do valor de I_B .

Além disso, em circuitos trifásicos com neutro, e dependendo da ordem das harmônicas presentes, a corrente no neutro, contrariamente ao senso habitual, que a presume de intensidade reduzida ou quase nula, poderá ser até três vezes o valor da fundamental da corrente de fase (*ver boxe*). Isso significa que, ao invés de especificar um neutro de seção reduzida — por exemplo, metade da do condutor de fase —, é possível que o projetista tenha, isso sim, de atribuir-lhe uma seção nominal superior à dos condutores de fase.

Enfim, a corrente de projeto passa a ser o valor eficaz

da corrente total resultante. Assim, em um circuito percorrido por correntes harmônicas de ordem 1, 2, 3, 4, ..., n temos:

$$I_B = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}$$

Exemplos de dimensionamento

Circuito 2F

Seja um circuito de duas fases que alimenta um quadro de distribuição, conforme figura 1. As correntes presentes nesse circuito são: a de 1ª ordem (fundamental), a 3ª, a 5ª e a 7ª harmônicas, com intensidades (valores eficazes) de, respectivamente, 110, 57, 25 e 17 A. Logo, o valor da corrente de projeto I_B a considerar no dimensionamento dos condutores desse circuito é:

$$\begin{aligned} I_B &= \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2} = \\ &= \sqrt{(110)^2 + (57)^2 + (25)^2 + (17)^2} = 127A \end{aligned}$$

Como se vê, um valor 15,5% superior ao da corrente fundamental (110 A) — a I_B que seria adotada caso não houvesse as harmônicas.

Mas isso é só o começo.

I_B , convém repetir, é o valor com o qual se procede ao dimensionamento dos condutores. Mais exatamente, I_B é utilizada no equacionamento dos critérios da capacidade de corrente, queda de tensão e sobrecarga.

Ora, desses três critérios, os dois últimos apenas confirmam ou gravam o primeiro. Em suma, a seção de condutor que se busca definir deve, no mínimo, proporcionar uma capacidade de corrente suficiente para a circulação de I_B , sem problemas. Fiquemos, pois, apenas com o critério da capacidade de condução de corrente, que já nos fornece, como se verá, uma boa idéia do impacto das correntes harmônicas no dimensionamento de um circuito. Os outros dois, como mencionado, apenas confirmariam ou majorariam a seção de condutor aí encontrada (a menos que o projetista mudasse de idéia e resolvesse dividir carga e circuito, substituindo o original por dois ou mais, o que já é uma outra história, pois não teríamos mais a mesma I_B e o mesmo circuito).

Assim, para o equacionamento da capacidade de corrente, ou seja, para determinarmos a seção de condutor capaz de atender $I_B = 127$ A, vamos acrescentar ao nosso exemplo alguns dados necessários. Suponhamos que o cir-

Tab. II – Fatores de correção aplicáveis a circuitos trifásicos a 4 condutores nos quais é prevista a presença de correntes harmônicas de 3ª ordem (*)

Porcentagem de 3ª harmônica na corrente de fase (%)	Fator de correção	
	Escolha da seção com base na corrente de fase	Escolha da seção com base na corrente de neutro
0–15	1,0	–
15–33	0,86	–
33–45	–	0,86
> 45	–	1,0

(*) Tabela 45 da NBR 5410

cuito do exemplo seja o único no interior de um eletroduto aparente, que a temperatura ambiente seja de 30°C e que sejam utilizados condutores Cu/PVC.

A tabela da NBR que nos fornece a informação pretendida é a 31 — mais exatamente, a coluna 6 da tabela 31, referente ao método de instalação B1, no qual se enquadra a linha elétrica do exemplo, e a dois condutores carregados (os fatores de correção por agrupamento e temperatura são iguais a 1, pelas hipóteses assumidas). Portanto, na tabela 31, coluna 6, a menor seção de condutor com capacidade de corrente maior ou igual a $I_B = 127 \text{ A}$ é:

$$S = 50 \text{ mm}^2$$

Note-se que se o dimensionamento fosse realizado sem considerar a presença das harmônicas, mas tão-somente o valor da corrente fundamental (110 A), a seção dos condutores resultaria em

$$S = 35 \text{ mm}^2$$

Se isso viesse a acontecer — 35 mm² ao invés de 50 mm² —, nas condições imaginadas para o circuito, os condutores iriam operar em regime de sobrecarga, com a conseqüente redução de sua vida útil e com o eventual risco desse sobreaquecimento provocar um futuro dano à integridade da instalação.

Circuito 3F+N

Sejam agora as mesmas correntes do exemplo anterior, porém percorrendo um circuito com três fases e neutro (figura 2). Vamos supor, também, que as correntes nas fases sejam exatamente iguais, tanto a fundamental quanto as harmônicas.

Quanto à corrente de projeto I_B que percorre as fases, não há nenhuma diferença no cálculo em relação ao exemplo anterior e seu valor eficaz é 127 A.

A grande diferença refere-se à corrente que irá circular pelo condutor neutro (I_N). Como mencionado e como demonstrado no boxe, as correntes de ordem 3 e seus múltiplos que circulam pelas fases somam-se algebricamente no neutro. No exemplo, não temos múltiplos, apenas a corrente de terceira ordem, que vale 57 A. Desse modo, a corrente eficaz que percorrerá o neutro será:

$$I_N = 57 + 57 + 57 = 171 \text{ A}$$

Note-se que esse valor é 35% (171/127) maior que a corrente de fase e 55% (171/110) maior que a corrente fundamental.

Vejamos como fica o dimensionamento dos condutores nesse caso, mantendo as mesmas condições de instalação já

descritas para o circuito 2F.

Um circuito 3F + N com corrente circulando no neutro corresponde, portanto, a quatro condutores carregados. Como a tabela 31 da NBR 5410 só nós fornece (diretamente) valores de capacidade de corrente para dois ou três condutores carregados, o expediente para usá-la, como indica a norma, é supor que os condutores a serem dimensionados compõem dois circuitos de dois condutores carregados cada. Assim, temos um fator de correção por agrupamento igual a 0,8 (tabela 35) e, conseqüentemente, uma corrente fictícia de projeto

$$I_B' = 127/0,8 = 159 \text{ A}$$

Entrando com esse valor na tabela 31, coluna 6, vemos que a seção dos condutores de fase será

$$S_F = 70 \text{ mm}^2$$

No caso do condutor neutro, a corrente de projeto a considerar será $I_N = 171 \text{ A}$, o que resulta em uma corrente fictícia de projeto de

$$171/0,8 = 214 \text{ A,}$$

a qual nos leva a uma seção do condutor neutro de

$$S_N = 95 \text{ mm}^2$$

Se o dimensionamento fosse realizado sem considerar a presença das harmônicas, mas tão-somente o valor da corrente fundamental (110 A), a seção dos condutores de fase seria também aquela apurada no caso do circuito 2F, isto é, $S = 35 \text{ mm}^2$. Só que, como se trata de circuito 2F + N, a tendência — seguindo-se o procedimento antigo — seria adotar uma seção reduzida de neutro. Mais exatamente, uma seção de 25 mm² (que é a seção de neutro admitida, na tabela 44 da NBR 5410, quando se tem condutor de fase de 35 mm²). No entanto, o procedimento correto nos aponta uma seção de

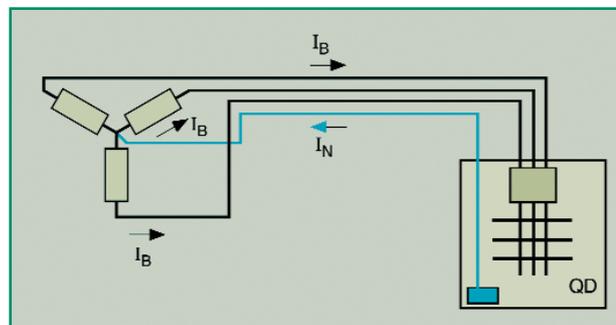


Fig. 2 – Exemplo de circuito 3F + N com presença de harmônicas

A ameaça das harmônicas

Hoje, muitas instalações têm sido vítimas de “fenômenos” aparentemente inexplicáveis, como o aquecimento excessivo de transformadores que alimentam cargas até mesmo inferiores à sua potência nominal, o disparo de disjuntores com correntes bem menores que a corrente nominal, assim como o excessivo aquecimento de condutores neutros de circuitos razoavelmente equilibrados.

O problema se deve às harmônicas, cuja existência, até alguns anos atrás, praticamente não afetava o funcionamento normal das instalações. Elas constituem um subproduto da eletrônica moderna e manifestam-se especialmente onde existe uma quantidade considerável de computadores, acionamentos de velocidade regulável e outras cargas “não-lineares”, cuja utilização vem se expandindo rapidamente nos últimos anos.

As cargas, digamos, “tradicional” das instalações, isto é, motores, iluminação incandescente e equipamentos de aquecimento resistivo são *lineares*. A corrente nessas cargas é sempre um reflexo da tensão: para tensão senoidal, teremos corrente senoidal. Nas chamadas cargas *não-lineares*, ao contrário, as correntes não são senoidais e, mesmo que a tensão (em vazio) da fonte tenha a forma de uma senóide pura, ela será distorcida e perderá a forma senoidal.

Enquanto as cargas tradicionais (praticamente lineares) dão origem a tensões e correntes com pouquíssima ou nenhuma distorção, isto é, praticamente sem harmônicas, as cargas não-lineares podem introduzir um nível bastante significativo de harmônicas nos circuitos que as alimentam.

Via de regra, as ondas de forma não-senoidal que aparecem nos sistemas de potência podem ser decompostas em uma onda (senóide) fundamental e em um número finito de harmônicas de ordem par e ímpar.

Tomemos um circuito trifásico a quatro condutores que alimenta diversas cargas monofásicas ligadas entre cada fase e o neutro. As correntes circulam em cada condutor fase e retornam pelo neutro comum. As três correntes de linha de 60 Hz estão defasadas de 120° e, para cargas lineares equilibradas

nas três fases, são iguais. Quando retornam pelo neutro se cancelam e temos, então, uma corrente nula no condutor neutro.

Tomemos agora um circuito trifásico a quatro condutores alimentando cargas não-lineares, ligadas entre cada fase e neutro, equilibradas nas três fases. As correntes fundamentais se anulam no neutro. As correntes de 2ª harmônica, iguais e defasadas de 120°, também se cancelam no neutro, como mostra a figura 1A. O mesmo ocorre com todas as harmônicas de ordem par. As correntes de 3ª harmônica, no entanto, são iguais e estão em fase, aparecendo superpostas na figura 1B. A corrente de 3ª harmônica no neutro é, portanto, a soma das correntes de 3ª harmônica nas linhas, ou seja, é o triplo da corrente em cada linha. O mesmo ocorre com todas as harmônicas de ordem ímpar múltiplas de 3 (9ª, 15ª, 21ª, etc.). As demais harmônicas de ordem ímpar (5ª, 7ª, 11ª, etc.) têm seus respectivos valores iguais nas linhas, porém não estão em fase, o que faz com que as respectivas correntes no neutro sejam maiores do que a corrente numa linha e inferiores ao triplo da corrente em cada linha.

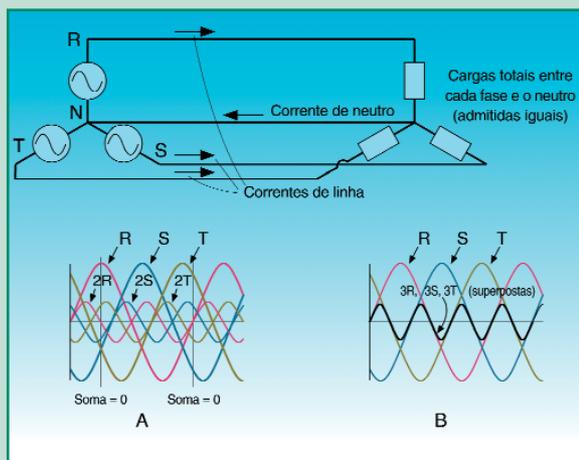


Fig. 1 – Circuito trifásico a quatro condutores com cargas não-lineares equilibradas nas três fases: (A) correntes fundamentais e de 2ª harmônica; (B) correntes fundamentais e de 3ª harmônica

neutro superior à dos condutores de fase. Embora possa parecer estranho, na era das harmônicas a especificação dos condutores do circuito-exemplo seria essa mesma:

$$3 \times 70 \text{ mm}^2 + 1 \times 95 \text{ mm}^2.$$

À guisa de resumo, a tabela I destaca a grande diferença entre os dimensionamentos considerando ou não a presença de harmônicas.

Método da NBR 5410

Ainda considerando o circuito-exemplo 3F + N, vejamos como ele seria dimensionado seguindo-se o exposto no artigo 6.2.6.4 da NBR 5410.

Esse artigo, intitulado *Determinação das seções nominais de circuitos trifásicos considerando a presença de harmônicas*, apresenta um método para esse fim — que, o texto esclarece, aplica-se a circuitos trifásicos a quatro condutores nos quais “o desequilíbrio entre fases é inferior a

50% e onde é prevista a presença de correntes harmônicas de 3ª ordem nos condutores de fase, admitindo-se que os quatro condutores sejam de mesmo material e tenham a mesma seção nominal”.

Uma tabela incluída no artigo (tabela 45 na norma, aqui reproduzida como tabela II) indica “os fatores de correção que, aplicados às capacidades de correção relativas a três condutores carregados (tabelas 31, 32, 33 e 34), fornecem os valores correspondentes a quatro condutores carregados, quando a corrente no condutor neutro é devida a harmônicas.”

Traduzindo para a prática o uso dos fatores dados na tabela, o próprio artigo da NBR 5410 mencionado estipula que o valor de corrente adotado na determinação da seção dos quatro condutores do circuito, utilizando a tabela 31, 32, 33 ou 34 (colunas de três condutores carregados), deve ser:

$$I = \frac{I_B}{f}$$

se a escolha da seção for conduzida com base na corrente de fase (vale dizer, se usados os fatores de correção apresentados à esquerda, na tabela II); ou então

$$I = \frac{1}{f} \times I_B \times \frac{p}{100} \times 3$$

se a escolha da seção for conduzida com base na corrente de neutro (na tabela II, fatores de correção à direita), sendo I_B a corrente de projeto do circuito, p a porcentagem de harmônica de 3ª ordem prevista (primeira coluna da tabela II) e f o fator de correção (segunda ou terceira coluna da tabela II, dependendo do caso).

Assim, para aplicar ao circuito 3F + N do nosso exemplo o procedimento apresentado na norma, precisamos primeiramente determinar p , isto é, a porcentagem de terceira harmônica presente na corrente de fase.

No nosso exemplo, a corrente total de fase (valor eficaz) é igual a 127 A e a corrente de terceira harmônica vale 57 A, o que resulta em

$$p = (57/127) \times 100\% = 45\%$$

Para esse valor de p , a tabela II (tabela 45 da norma) nos fornece um fator de correção

$$f = 0,86$$

sendo a escolha da seção, conseqüentemente, com base na corrente de neutro. Assim, o cálculo de I fica:

$$I = \frac{1}{0,86} \times 127 \times \frac{45}{100} \times 3 = 199 \text{ A}$$

Entrando com 199 A na tabela 31, método B1, coluna de três condutores carregados (coluna 7), verifica-se que a menor seção de condutor compatível é a de 95 mm² — mesmo valor obtido pelo outro modo de calcular indicado.

Observe-se, porém, que o texto do artigo 6.2.6.4, como transcrito acima, associa claramente o uso do procedimento à condição de que os quatro condutores do circuito (3F + N) sejam de mesmo material e tenham a mesma seção nominal. Na prática, isso significa que esse circuito seria especificado, de acordo com a NBR 5410, como

$$3 \times 95 \text{ mm}^2 + 1 \times 95 \text{ mm}^2.$$

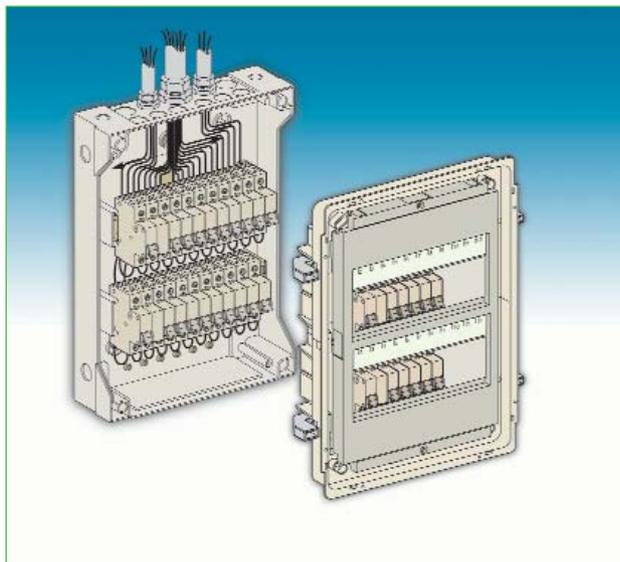
QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO – TOMADAS

Dimensionamento do quadro de distribuição	250
Os quadros de distribuição segundo a NBR 6808	257
Localização dos quadros de distribuição	261
A padronização brasileira de tomadas prediais	265
Plugues e tomadas industriais	269

Dimensionamento do quadro de distribuição

De acordo com a NBR IEC 60050 (826), *quadro de distribuição* é o “equipamento elétrico destinado a receber energia elétrica através de uma ou mais alimentações, e distribuí-la a um ou mais circuitos, podendo também desempenhar funções de proteção, seccionamento, controle e/ou medição.”

Um quadro de distribuição pode ser entendido como o “coração” de uma instalação elétrica, já que distribui energia elétrica por toda a edificação e acomoda os dispositivos de proteção dos diversos circuitos elétricos.



Quantidade de circuitos

Antes da especificação técnica, propriamente dita, de um quadro de distribuição, é preciso dimensioná-lo, começando pela quantidade de circuitos que ele deverá acomodar — e obtendo-se, com essa informação, uma primeira idéia das dimensões e do tipo de quadro.

A quantidade de circuitos de uma instalação elétrica depende, entre outros fatores, de sua potência instalada, da potência unitária das cargas a serem alimentadas, dos critérios adotados na distribuição dos pontos, do maior ou

menor “conforto elétrico” previsto, do grau de flexibilidade que se pretende e da reserva assumida visando futuras necessidades.

A NBR 5410 oferece um bom ponto de partida para essa definição. É verdade que o posicionamento da norma, sobre quantidade de circuitos, se afigura bem mais explícito no campo das instalações elétricas residenciais. Aliás, ela oferece aí várias regras que podem ser encaradas como o receituário mínimo da instalação. Mas a utilidade desses critérios, sobretudo pela lição conceitual que encerram, se estende muito além do domínio residencial.

E é assim que deve ser apreendido o exemplo em cima do qual discorreremos acerca do dimensionamento de um quadro de distribuição. O exemplo é aquele mostrado na figura 1: um apartamento de dois dormitórios, com cerca de 50 m² de área útil.

Divisão da instalação

Começemos pelas regras da NBR 5410 que tratam da divisão da instalação em circuitos.

Na seção 4.2.4 (“Divisão das instalações”), mais exatamente, em 4.2.4.5, a norma diz que “devem ser previstos circuitos terminais distintos para iluminação e tomadas de corrente.” Ou seja, não se deve misturar em um mesmo circuito pontos de iluminação com pontos de tomada. Portanto, já teríamos aqui, para começo de história, no mínimo dois circuitos: um para iluminação e o outro para tomadas.

No artigo seguinte, 4.2.4.6, a norma acrescenta outra regra balizadora da definição do número de circuitos: a de que em unidades residenciais e acomodações (quartos ou apartamentos) de hotéis, motéis e similares, devem ser previstos circuitos independentes para cada equipamento com corrente nominal superior a 10 A. Logo, não se pode “pendurar”, em um mesmo circuito, mais de um equipa-

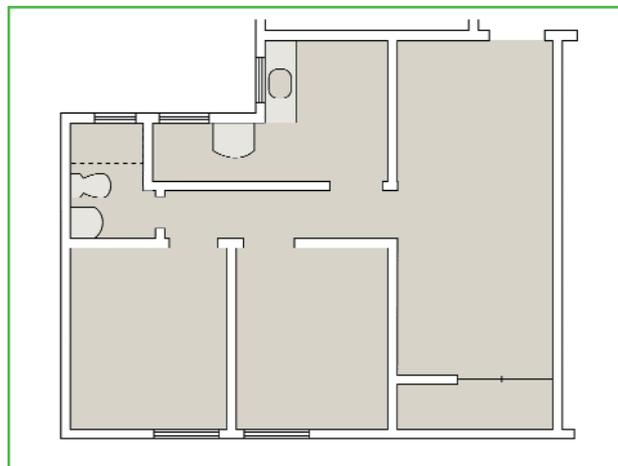


Fig. 1 – O apartamento-exemplo

mento com corrente nominal superior a 10 A — como é o caso, por exemplo, de chuveiros, torneiras elétricas, aparelhos de microondas, máquinas de lavar louça e máquinas de secar roupa. Cada equipamento deverá ter o seu próprio circuito.

No nosso apartamento-exemplo (figura 1) entendemos que o mínimo a ser previsto, de cargas com essa característica, que exigiriam circuito individual, são: um chuveiro elétrico, no banheiro; uma torneira elétrica, na cozinha; e uma máquina de lavar louça, também na cozinha. Todos esses equipamentos domésticos têm potências que resultam em corrente superior a 10 A (no caso da máquina de lavar louça, em particular, assumiu-se alimentação em 127 V). Logo, somado isso ao nosso ponto de partida de pelo menos dois circuitos, um de iluminação e outro de tomada, já passamos para cinco circuitos:

- o do chuveiro,
- o da torneira elétrica,
- o da máquina de lavar louça,
- o de iluminação e
- o de tomadas (ou de *outras* tomadas, já que a conexão da máquina de lavar louça à instalação também se dá via tomada, diferentemente do chuveiro e da torneira elétrica, que são ligados diretamente à caixa de derivação).

Mas será que um só circuito para todas as tomadas do apartamento (exceto a da máquina de lavar louça, claro) é algo razoável?

Evidentemente, não. Como se verá, teremos não apenas um, mas quatro circuitos de tomadas. E por razões muito sólidas. Entre elas, a necessidade de atender à previsão de carga — mínima! — ditada pela NBR 5410; a necessidade prática ou conveniência de evitar o uso de condutores de “grande” seção nominal em circuitos de tomadas de uso geral; e a obrigação de proporcionar um mínimo de conforto ao usuário, garantindo uma certa flexibili-

dade para a instalação. E tudo isso constitui, na verdade, o mínimo que se pode esperar de uma instalação elétrica.

Pois bem, o que nos diz a NBR 5410 sobre previsão de carga, particularmente no que se refere a circuitos de tomadas?

O assunto é tratado em 4.2.1.2.3 (“Tomadas de uso geral”). Aí a norma diz, por exemplo, que em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias, e locais análogos, deve-se instalar, no mínimo, uma tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro. E que devem ser atribuídas a essas tomadas potência de 600 VA por tomada, até três tomadas, e de 100 VA por tomada para as excedentes, *considerando cada um desses ambientes separadamente*.

Ora, aplicado o critério do número *mínimo* de tomadas à cozinha e à área de serviço do apartamento-exemplo, resultam três tomadas para a cozinha (além da destinada especificamente à máquina de lavar louça) e duas para a área de serviço. Com que potências? Seguindo-se os critérios dados pela norma, vem:

- na cozinha, como são três tomadas, teremos, necessariamente, 3×600 VA;
- na área de serviço, com suas duas tomadas, o mesmo raciocínio: 2×600 VA.

Se as tomadas desses dois ambientes (o que dá cinco tomadas) fossem atendidas por um único circuito, considerando tensão nominal de 127 V e as potências a elas atribuídas, o dimensionamento do circuito certamente nos conduziria a um condutor de 4 mm². No entanto, razões de ordem prática aconselham evitar o uso de condutores de seção superior a 2,5 mm² em circuitos de tomadas de uso geral. Pelo menos, esse é um critério adotado “nas boas casas do ramo” de projetos. Adotado esse critério, como faremos aqui, cozinha e área de serviço constituirão então

Capacidade de reserva dos quadros

Em seu artigo 6.5.9.2, a NBR 5410 estipula que todo quadro de distribuição, não importa se geral ou de um setor da instalação, deve ser especificado com capacidade de reserva (espaço), que permita ampliações futuras, compatível com a quantidade e tipo de circuitos efetivamente previstos inicialmente.

Esta previsão de reserva deve obedecer os seguintes critérios:

a) quadros com até 6 circuitos: prever espaço reserva para no mínimo 2 circuitos;

b) quadros de 7 a 12 circuitos: prever espaço reserva para no mínimo 3 circuitos;

c) quadros de 13 a 30 circuitos: prever espaço reserva para no mínimo 4 circuitos;

d) quadros acima de 30 circuitos: prever espaço reserva para no mínimo 15% dos circuitos.

A norma frisa que a capacidade de reserva por ela indicada deverá ser considerada no cálculo do circuito de distribuição que alimenta o quadro em questão.

dois circuitos de tomadas (ou tomadas *de uso geral*, como qualifica a norma).

Com isso, a quantidade de circuitos passa agora de cinco para sete. Recapitulando:

- o do chuveiro,
- o da torneira elétrica,
- o da máquina de lavar louça,
- o de iluminação,
- o das tomadas da cozinha,
- o das tomadas da área de serviço e
- o das demais tomadas.

Mas o que a norma fala a respeito de tomadas nos ambientes ainda não analisados no nosso exemplo — o banheiro, o corredor, os dormitórios e a sala?

No mesmo item 4.2.1.2.3, já citado, a NBR 5410 dispõe que

- em banheiros deve-se instalar, no mínimo, uma tomada junto ao lavatório (observadas as restrições do capítulo 9 da norma, que fixa os requisitos para instalações ou locais especiais), com potência mínima de 600 VA; e que
- no caso de dormitórios e salas (incluindo o corredor do nosso exemplo) deve-se instalar no mínimo uma tomada, se a área for igual ou inferior a 6 m²; e no mínimo uma tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro se a área for superior a 6 m², espaçadas o mais uniformemente possível. A potência a ser atribuída é de 100 VA por tomada.

Isso posto, e seguindo basicamente os critérios *mínimos* fornecidos pela norma, teríamos

- uma tomada no banheiro, com 600 VA;
- uma tomada no corredor, com 100 VA;
- três tomadas em cada dormitório, com 100 VA cada; e

- quatro tomadas na sala, com 100 VA cada.

No entanto, destinar quatro tomadas para a sala, ainda que atendendo o mínimo exigido pela norma, seria “lavar as mãos” de forma censurável. Por quê? Imaginemos o seguinte enredo, que reproduz situações comuns na vida real. Na nossa historieta o projetista recebe, junto com a documentação passada pelo arquiteto ou construtora, material promocional do imóvel, onde consta o *layout* sugerido para a mobília. E há lá, na sala, a sugestão de uma “estante” com TV, aparelho de som, vídeo... Como o nosso personagem não é praticante do me-engana-que-eu-gosto, nem mais realista do que o rei (daqueles que fazem da atividade de projeto sabujice), ele não tem dúvidas em passar do *mínimo exigido pela norma* ao *mínimo necessário*. E acrescenta duas outras tomadas às quatro da conta inicial, posicionando essas duas ao lado daquela locada no ponto onde se sugere a estante. Assim, raciocina ele, atenderemos uma necessidade real do futuro morador, evitando o uso de benjamins.

Com isso, a conta das nossas tomadas passa então das 12 pré-historieta para 14, isto é,
 $(1 \times 600) + (13 \times 100)$,
 totalizando 1900 VA.

De qualquer forma, sendo esses os números, pouco importando duas tomadas a mais ou a menos, nenhum dos critérios até aqui mencionados — seja os da norma, seja o de evitar condutores de seção superior a 2,5 mm² em circuitos de tomadas de uso geral — impede a inclusão de todas elas num só circuito.

Mas aí entra o bom senso e um mínimo de preocupação com a comodidade do usuário, o que pede uma insta-

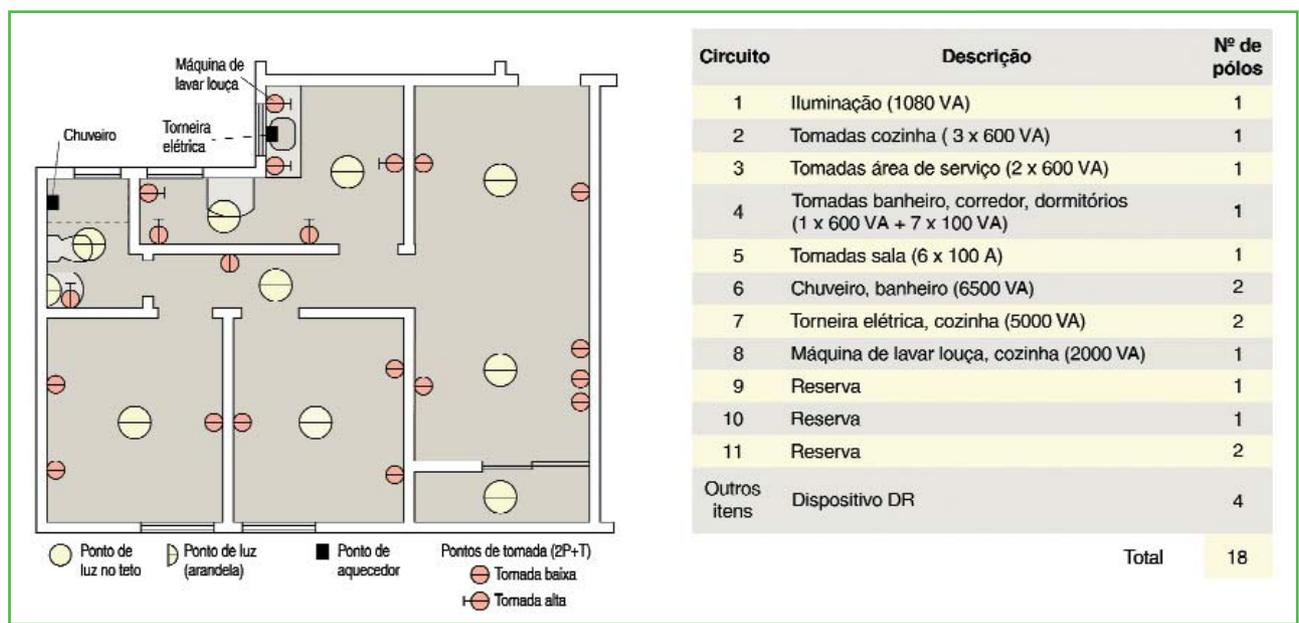


Fig. 2 – Os circuitos definidos para o apartamento-exemplo

lação com certa flexibilidade. Assim, entre outros exemplos, supondo que o morador venha a usar, embora não de forma permanente, aquecedores de ambiente — o que é algo absolutamente comum em algumas regiões do país — é aconselhável então dividir as 14 tomadas relacionadas para o conjunto (banheiro, corredor, dormitórios e salas), em dois circuitos: um reunindo as tomadas do banheiro, do corredor e dos dormitórios; e outro ficando só com as tomadas da sala.

Assim, e finalmente, chegamos ao número de circuitos que o nosso apartamento-exemplo, sem luxo algum (seja do apartamento, seja da instalação elétrica), deveria ter. Ou seja, oito circuitos, assim discriminados:

- o do chuveiro,
- o da torneira elétrica,
- o da máquina de lavar louça,
- o de iluminação,
- o das tomadas da cozinha,
- o das tomadas da área de serviço,
- o das tomadas do banheiro, corredor e dormitórios e
- o das tomadas da sala.

O resultado final está ilustrado e computado na figura 2.

No caso do circuito de iluminação, as potências consideradas seguiram as recomendações mínimas da norma, dadas em 4.2.1.2.2:

1) em cada cômodo ou dependência com área igual ou inferior a 6 m² deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA; e

2) em cada cômodo ou dependência com área superior a 6 m² deve ser prevista uma carga de iluminação mínima de 100 VA para os primeiros 6 m², acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m² inteiros.

Por outro lado, a única exigência da norma *diretamente* associada ao número de pontos de luz é que “em cada cômodo ou dependência deve ser previsto no mínimo um ponto de luz fixo no teto, com potência mínima de 100 VA, comandado por interruptor de parede.”

Como há os que preferem interpretar o mínimo como sendo o máximo, é importante ressaltar que não basta colocar apenas um “bico de luz” em cada local. Mesmo porque a NBR 5410 faz referência a normas de iluminação a serem atendidas. E frisa que as potências por ela indicadas, para iluminação, são para efeito de dimensionamento dos circuitos, não havendo assim, necessariamente, vinculação entre potência e ponto.

De qualquer forma, voltando ao nosso exemplo, o circuito de iluminação nele incluído prevê então:

- um ponto de luz, com 100 VA, na cozinha, na área de serviço, no corredor, na varanda e em cada dormitório;
- um ponto de luz com 100 VA e uma arandela com 60 VA no banheiro; e

- dois pontos de luz com 160 VA cada (atendendo a exigência 2 acima) na sala.

Logo, são ao todo 10 pontos de luz, totalizando 1080 VA.

O quadro de distribuição

Na figura 2, com os resultados do exemplo, a tabela inclusa funciona também como um levantamento das necessidades mínimas que o quadro de distribuição deverá prover. Até porque os circuitos estão aí indicados em termos de número de pólos, que é a unidade básica para dimensionamento do quadro.

Foram previstos ainda nesse quadro, seguindo o que a norma dispõe:

- um dispositivo de proteção a corrente diferencial-residual (dispositivo DR), tetrapolar, funcionando como chave geral (presume-se aqui que na origem do circuito de distribuição que alimenta o quadro deverá haver um dispositivo de proteção contra sobrecorrentes, devidamente coordenado. Poder-se-ia, alternativamente, prever um disjuntor imediatamente a montante do dispositivo DR. Tudo isso são opções de projeto);

- espaço reserva (ver boxe) para três disjuntores, sendo dois monopolares e um bipolar.

Ao dimensionamento do quadro de distribuição, como aqui feito, segue-se sua especificação técnica.

A especificação técnica de um quadro de distribuição é a identificação minuciosa das diversas características que ele deve apresentar, em função das características do projeto e do local de instalação. É nesse momento que se “qualifica” o tipo de quadro de distribuição mais adequado para a instalação sendo projetada.

Nada a ver, portanto, com as “especificações” equivocadas que comumente se vêem — preguiçosas, incompletas e denotando ausência total de profissionalismo,

A correta especificação técnica de um quadro exige, além do atendimento ao mínimo que se espera de uma instalação elétrica — como aqui exposto, no exemplo de dimensionamento —, o exame de todos os demais parâmetros pertinentes à sua seleção e instalação. Aí, é função da norma de instalações (a NBR 5410) ditar as condições a serem preenchidas no exame desses parâmetros — por sua vez, fixados e disciplinados pela norma do produto.

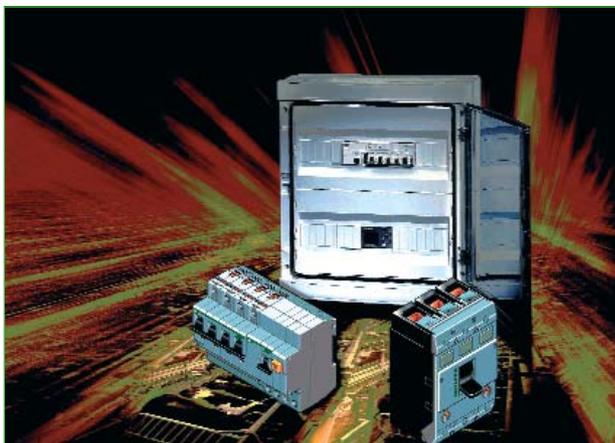
O conhecimento desses parâmetros, ou características, é assim fundamental para que a seleção seja bem-sucedida. É do que trata o artigo seguinte.

Os quadros de distribuição segundo a NBR 6808

A norma NBR 6808: *Conjuntos de Manobra e Controle de Baixa Tensão Montados em Fábrica - Especificação*, apresenta as requisitos técnicos mínimos que um quadro elétrico deve satisfazer, bem como os ensaios correspondentes.

Como sugere a própria denominação utilizada (“conjuntos de manobra e controle”), a norma cobre um amplo universo de conjuntos BT, desde os menores quadros de distribuição até painéis de grande porte.

O que se segue é uma exposição dos requisitos da NBR 6808 — mas centrada, em particular, nos aspectos mais relacionados com os quadros de distribuição prediais.



Tensão nominal

É o valor máximo de tensão que pode ser aplicado entre as barras (fases) do quadro, sem que ocorra arco ou fuga de corrente.

Essa característica é verificada através do *ensaio de tensão suportável a frequência industrial*. Para um quadro com tensão nominal de 300 V a 660 V, por exemplo, a tensão aplicada é de 2500 V, durante um minuto. Durante este tempo não deve ocorrer arco ou fuga de corrente excessiva. Além disso, são verificadas as distâncias de isolamento e de escoamento.

Em quadros de distribuição que não tenham sido submetidos a esse tipo de ensaio ou, pior, que falhem nesse requisito, poderá ocorrer fuga de corrente entre as barras, gerando perdas de energia, ou mesmo arco elétrico entre elas — com sérios riscos, devido ao elevado calor gerado, de danificação dos componentes conectados às barras e de outras partes no interior do quadro.

Corrente nominal

É o valor máximo de corrente que pode circular pelas barras (principais e secundárias) do quadro sem provocar aquecimento excessivo — nelas, nos componentes a elas conectados e no ar interno.

Mais frequentemente, associa-se a corrente nominal de um quadro de distribuição ao valor máximo admissível nas barras principais. Portanto, ao especificar um quadro, o projetista deve indicar uma corrente nominal superior ou, no mínimo, igual à corrente de projeto (valor calculado) do circuito de distribuição que irá alimentar o quadro.

Caso as barras principais e secundárias do quadro possuam seções transversais diferentes, deve ser mencionada a corrente nominal de cada uma delas.

A corrente nominal de um quadro é verificada através do *ensaio de elevação de temperatura*. O ensaio consiste em verificar a temperatura máxima atingida no interior do quadro e, em particular, nas barras, tendo a temperatura ambiente como referência. A norma estabelece os valores de elevação de temperatura máximos admissíveis.

Dois detalhes construtivos importantes, associados à característica *corrente nominal*, são o tipo de cobre utilizado na fabricação das barras e o seu dimensionamento (seção transversal). Reside aí, aliás, uma das maiores causas de acidentes envolvendo quadros de distribuição — devido ao uso de cobre reprocessado, contendo impurezas, e/ou ao subdimensionamento das barras. O material exigido na fabricação das barras é o cobre eletrolítico com elevado grau de pureza (99,9% de cobre).

Em quadros de distribuição que utilizam barras de material inadequado ou subdimensionadas, elas fatalmente sofrerão aquecimento excessivo, alterando o funcionamento dos componentes a elas conectados (via de regra dispositivos de proteção) — isso sem falar no risco de incêndios.

Capacidade de curto-circuito

É o valor máximo de corrente de curto-circuito suportável pelas barras e suas conexões, até a atuação do dispositivo de proteção. Representa, enfim, a suportabilidade do barramento aos esforços eletrodinâmicos a que será submetido quando de um curto-circuito. Tais esforços devem ser

suportados pelo barramento, sem danos, até a atuação do dispositivo de proteção — dependendo do caso, o próprio disjuntor geral do quadro ou então o dispositivo de proteção associado ao circuito de distribuição que alimenta o quadro. Os procedimentos e critérios de ensaio são especificados na norma, devendo o fabricante de quadros informar então, com base nos relatórios de ensaio, a suportabilidade do barramento fornecido.

Identificada, na terminologia mais formal, como *corrente suportável nominal de curta duração* — dada em valor eficaz, referida a uma tensão e acompanhada do tempo de suportabilidade —, a capacidade de curto-circuito de um quadro deve, naturalmente, ser superior à corrente de curto-circuito presumida no ponto onde será instalado. Ou, em outras palavras, o projetista deve indicar, na especificação do quadro, uma *corrente suportável nominal de curta duração* maior que a corrente de curto-circuito presumida.

A não-observância dessa regra tem sido outra causa de grandes estragos envolvendo quadros de distribuição. Não sendo a suportabilidade do quadro a curtos-circuitos compatível com a intensidade das faltas a que estará sujeito, nas condições reais da instalação, as consequências poderão ir desde uma “simples” deformação do barramento até a perda total do quadro, com o “estouro” do barramento e de outros componentes.

Grau de proteção

Todo invólucro utilizado para abrigar equipamentos, componentes, montagens ou ligações elétricas — e o quadro de distribuição aí se inclui, claro — é classificado segundo o grau de proteção que oferece ao ingresso de corpos sólidos estranhos e água, e contra o risco de contato com partes vivas em seu interior. Portanto, a proteção proporcionada pelo invólucro pode ser vista de dois ângulos: proteção dos componentes no seu interior, contra os efeitos nocivos da penetração de pós e líquidos; e proteção das pessoas contra choques elétricos, impedindo o contato acidental com partes vivas.

O grau de proteção de um invólucro é identificado por um código composto das letras IP seguidas de dois algarismos — que indicam o nível de proteção por ele assegurado contra penetração de corpos sólidos e contato direto (primeiro algarismo), e contra penetração de água (segundo algarismo).

Há ainda uma classificação similar à IP, também normalizada, que retrata a suportabilidade do invólucro a impactos — os graus IK. [ver seção “Influências externas”, que traz detalhes sobre os graus de proteção IP e IK]

A informação sobre o grau de proteção característico de um determinado quadro de distribuição é fundamental no

processo de especificação e seleção do componente porque só assim o projetista tem condições de saber se o modelo cogitado é compatível com as condições de influências externas a que estará sujeito. Isso significa que também é necessário, antes, identificar as próprias condições de influências externas presentes na instalação.

Nesse particular, a NBR 5410 oferece tabelas que, além de sua função normalizadora, funcionam como uma *check-list* de grande utilidade. Elas relacionam as diferentes influências externas, classificando e caracterizando-as, fornecem exemplos orientativos e indicam as características que se deve exigir dos componentes a elas sujeitos. Na verdade, essas tabelas aparecem em duas partes distintas da norma, cobrindo assim o papel descrito em duas etapas. Consideradas conjuntamente, o resultado é efetivamente aquele apontado.

Proteção contra choques elétricos

No tocante à proteção contra contatos diretos (choques elétricos), a NBR 6808 menciona que todas as superfícies externas do quadro de distribuição devem ter grau de proteção no mínimo IP2X. Assim, são inconcebíveis quadros em que o usuário, ao simplesmente abrir a porta, dê de cara, por exemplo, com uma chave-faca. Decididamente, nenhum quadro de distribuição pode ter partes vivas acessíveis. Toda e qualquer parte viva deve ser tornada inacessível — confinada no interior de invólucros ou atrás de barreira que garanta, conforme mencionado, grau de proteção no mínimo IP2X.

Se por qualquer motivo for necessária a remoção de barreiras, a abertura do invólucro ou a retirada de parte do invólucro (portas, tampas, etc.), isso só poderá ser feito com o uso de ferramenta ou chave; ou então o quadro deve incluir uma barreira (uma segunda barreira, dependendo do caso) que impeça o contato acidental com todas as partes energizadas quando a porta estiver aberta e que seja impossível retirar sem o uso de ferramenta ou chave.

Identificação

De acordo com a NBR 6808, todo quadro de distribuição deve ser fornecido com *placa de identificação* marcada de maneira legível e durável, localizada de forma facilmente visível e contendo, no mínimo, as seguintes informações (são relacionadas, em particular, aquelas pertinentes a quadros de distribuição para minidisjuntores em caixa moldada destinados a instalações prediais):

- nome do fabricante ou marca;
- tipo ou número de identificação;
- ano de fabricação;

- tensão nominal ;
- corrente nominal;
- frequência nominal;
- capacidade de curto-circuito;
- grau de proteção; e
- massa.

Ensaio

Os ensaios de tipo previstos na NBR 6808 incluem (mais uma vez considerando, em particular, os quadros de distribuição prediais):

- ensaio de elevação de temperatura;
- ensaio de tensão suportável;
- ensaio de curto-circuito;
- verificação da eficácia do circuito de proteção (aterramento);
- verificação das distâncias de isolamento e escoamento;
- verificação da operação mecânica (das partes móveis); e
- verificação do grau de proteção.

Localização dos quadros de distribuição

A definição do ponto em que um quadro de distribuição deve ser instalado não é tratada diretamente em nenhuma norma técnica, mas tem impacto no projeto e, sobretudo, nos custos e na qualidade de energia da instalação. Quando se coloca o quadro em um lugar “eletricamente” errado, das duas uma: ou valores elevados de quedas de tensão, quicá violando os limites máximos admitidos pela NBR 5410 (ver artigos sobre quedas de tensão na seção “Dimensionamento de circuitos”), o que prejudica o funcionamento das cargas; ou a necessidade de aumentar a seção dos condutores, para adequar a queda de tensão aos limites estabelecidos, com isso onerando os custos da obra.

Uma tarefa incontornável, no início de qualquer projeto, é a *previsão de carga da instalação*, conforme prescrito no artigo 4.2.1.2 da NBR 5410. O artigo em questão expõe os critérios para a atribuição das cargas de iluminação, toma-

das de uso geral e específico e equipamentos em geral. O resultado concreto da aplicação desses critérios é visualizado em uma planta de arquitetura, com a marcação dos pontos correspondentes às cargas assim atribuídas (figura 1).

Para definir a localização ideal, partindo da planta indicada na figura 1, o próximo passo é definir aleatoriamente dois eixos (x, y), perpendiculares entre si, que servirão pa-

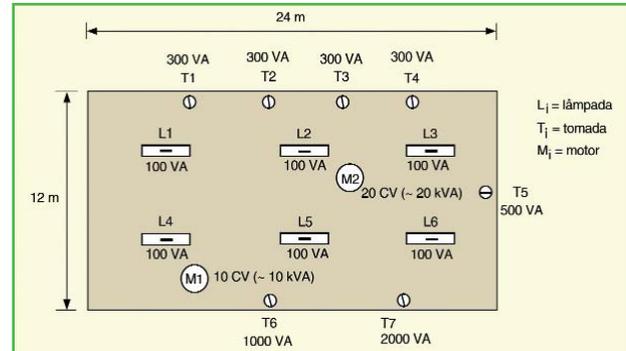


Fig. 1 – Planta com distribuição de cargas

ra obter as coordenadas das diversas cargas da instalação (figura 2). Assim, por exemplo, o motor M1 possui as coordenadas (x = 7 m, y = 5 m).

Quando um determinado setor da instalação possui muitas cargas de pequena monta espalhadas por uma certa área, o que é bastante comum, é razoável, sem incorrer em grandes erros, considerar todas essas cargas somadas e concentradas em um único ponto (figura 3). Essa medida diminui a quantidade de cálculos e dinamiza o trabalho.

Uma vez obtidas todas as coordenadas (x, y) das cargas

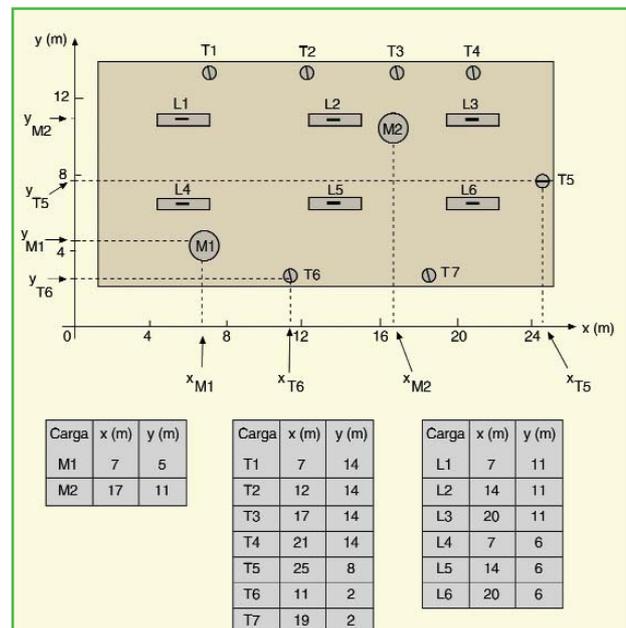


Fig. 2 – Coordenadas de cada carga

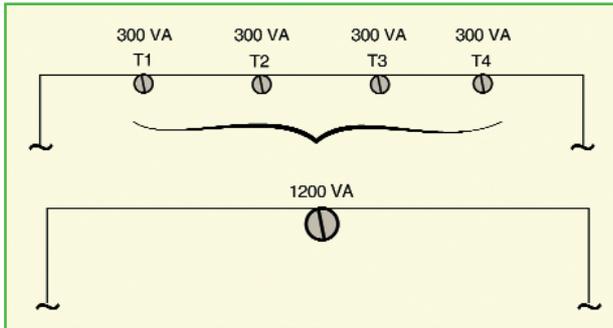


Fig. 3 – Concentração de cargas de pequeno valor em único ponto, para efeito de cálculo

individuais ou de grupos de cargas concentradas, é necessário calcular o centro de carga (CC) — de toda a instalação ou apenas de um setor.

Assim, temos:

Centro de carga na direção do eixo *x* (*CCx*):

$$CCx = \frac{S1 \cdot x1 + S2 \cdot x2 + \dots + Sn \cdot xn}{S1 + S2 + \dots + Sn}$$

onde *S1, S2 ... e Sn* são as potências aparentes (em kVA ou VA) de cada carga ou grupo de cargas e *x1, x2 ... e xn* as suas respectivas coordenadas em relação ao eixo *x*.

Analogamente, temos:

Centro de carga na direção do eixo *y* (*CCy*):

$$CCy = \frac{S1 \cdot y1 + S2 \cdot y2 + \dots + Sn \cdot yn}{S1 + S2 + \dots + Sn}$$

onde *S1, S2 ... e Sn* são as potências aparentes (em kVA ou VA) de cada carga ou grupo de cargas e *y1, y2 ... e yn* as suas respectivas coordenadas em relação ao eixo *y*.

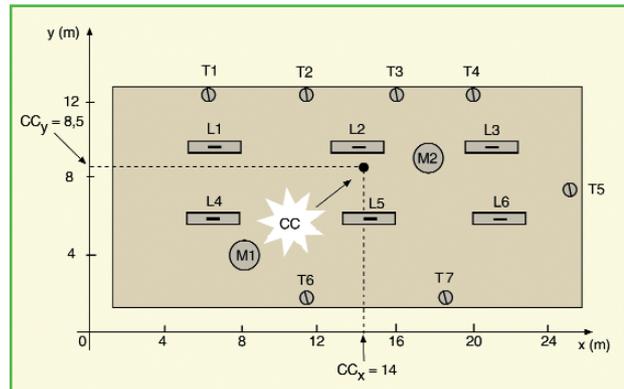


Fig. 4 – Localização ótima do quadro no caso-exemplo

No caso do nosso exemplo (figuras 1 e 2), temos:

$$CCx = (10 \times 7 + 20 \times 17 + 0,3 \times 7 + 0,3 \times 12 + \dots + 0,1 \times 20) \div (10 + 20 + 0,3 + 0,3 + \dots + 0,1) = 14 \text{ m}$$

$$CCy = (10 \times 5 + 20 \times 11 + 0,3 \times 14 + 0,3 \times 14 + \dots + 0,1 \times 6) \div (10 + 20 + 0,3 + 0,3 + \dots + 0,1) = 8,5 \text{ m}$$

Os resultados das equações revelam que a posição ideal do quadro está na coordenada (14; 8,5) m, conforme indicado na figura 4.

No caso particular de instalações elétricas de edificações com pé-direito elevado e cargas elétricas situadas muito acima do piso acabado — situação típica de galpões industriais — pode ser necessário considerar um terceiro eixo *z*, que fornece a coordenada da carga em relação à altura do local.

Uma vez localizado tecnicamente o ponto ideal de instalação do quadro, e reconhecendo que essa instalação, no ponto exato, pode ser impraticável, ele deve ser então instalado o mais próximo possível desse ponto.

De qualquer forma, um quadro muito fora do lugar ideal fatalmente representará acréscimo no custo da obra. É o que mostra a figura 5. Na figura 5a, temos o quadro loca-

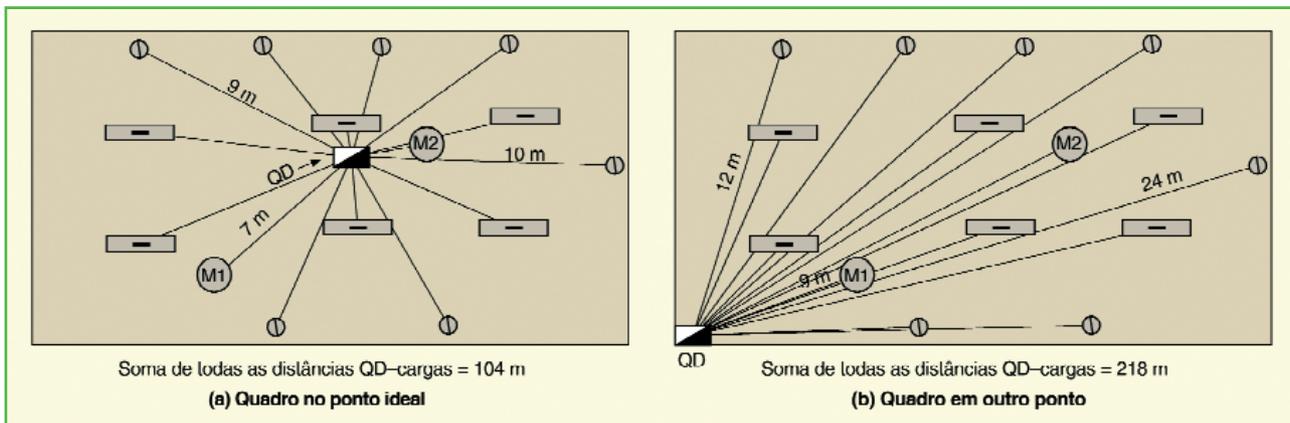


Fig. 5 – Distâncias das cargas ao quadro de distribuição

lizado no ponto ideal, conforme calculado; e, na 5b, o quadro em um ponto qualquer. Um simples dado é revelador, aí: somando-se as distâncias (diretas, radiais) entre o quadro e cada uma das cargas, essa somatória é 110% maior no caso do quadro fora do centro de carga. Isso significa maiores gastos com a linha elétrica (condutos + condutores), sendo praticamente certo que as seções dos cabos, no caso do quadro fora do CC, serão maiores do que com o quadro no CC, tendo em vista o atendimento ao critério de dimensionamento por queda de tensão.

Como mencionado, o conceito de centro de carga pode ser aplicado a toda a instalação ou a setores. No primeiro caso, ele é útil, por exemplo, para definir a localização ideal do quadro geral de BT de uma instalação alimentada diretamente por rede pública em BT; ou da subestação, nos casos de alimentação em MT e AT; ou, ainda, de um grupo gerador, seja qual for a tensão de atendimento da unidade consumidora. O segundo caso refere-se a instalações extensas, verticais ou horizontais, em que o melhor critério de alimentação elétrica é a divisão de cargas por setores, sub-setores e assim por diante, criando vários quadros.

Hoje, com os recursos computacionais disponíveis, é relativamente simples calcular o centro de carga — seja usando uma planilha eletrônica, seja diretamente nos programas de CAD. Mesmo sem computador, e usando discernimento para não tornar a tarefa penosa (como o agrupamento de cargas próximas sugerido), pode-se determinar o centro de carga rapidamente e com boa precisão.

A padronização brasileira de tomadas prediais

Em julho de 2001, com a aprovação da versão revisada da NBR 14136: *Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo até 20 A, 250 VCA — Padronização*, foi dado grande passo para que o Brasil tenha, finalmente, uma padronização de tomadas prediais.

Por muitos anos convivendo com padrões de plugues e tomadas de diversas origens — alemão, norte-americano, italiano e variações Frankensteinianas para todos os gostos —, o Brasil se ressentia mesmo de uma referên-

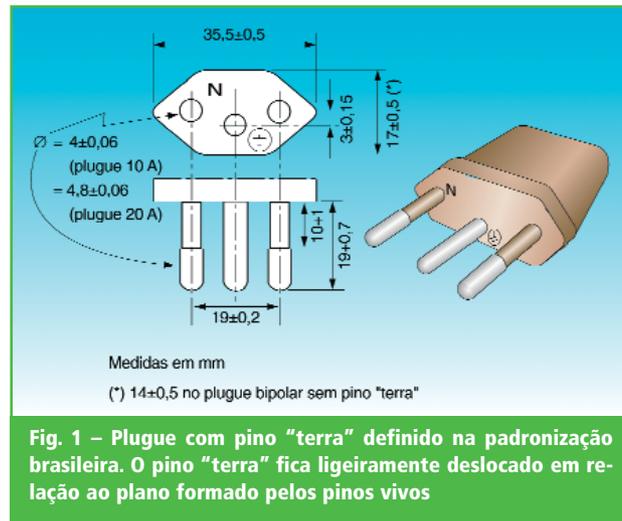


Fig. 1 – Plugue com pino "terra" definido na padronização brasileira. O pino "terra" fica ligeiramente deslocado em relação ao plano formado pelos pinos vivos

cia para a qual a salada de produtos aqui fabricados (e usados!) pudesse migrar.

Essa transição já tem prazos definidos, constando inclusive da Portaria Inmetro nº 136, de 4 de outubro de 2001, que trata da certificação compulsória de “plugues e tomadas para uso doméstico e análogo, para tensões de até 250 V e corrente até 20 A.”

A certificação compulsória dos plugues e tomadas “domésticos” aplica-se a diversas versões desses produtos, inclusive montagens com eles confeccionadas, como cordões conectores, cordões prolongadores e tomadas múltiplas móveis (barras de tomadas). Ela abrange plugues e tomadas não desmontáveis (por *não desmontáveis* entendam-se, tipicamente, os produtos injetados); as tomadas desmontáveis, em que se enquadram as tomadas prediais típicas (as de embutir, mais conhecidas e usadas, mas também as de sobrepor e as semi-embutidas); e os plugues desmontáveis, companheiro das tomadas prediais nas prateleiras de encarrelados do comércio.

A portaria do Inmetro estipula que a partir de 1º de janeiro de 2002 não mais poderão ser comercializados, por fabricantes e importadores, plugues e tomadas desmontáveis (as tomadas prediais) que não tenham sido certificados — certificação esta baseada na NBR 6147: *Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo até 20 A, 250 VCA — Especificação*. Para o comércio, o prazo se estende até 1º de janeiro de 2003.

Para os demais produtos abrangidos pela medida, o prazo é 1º de julho de 2002, para os fabricantes e importadores, e 1º de janeiro de 2004 para o comércio.

Todos os prazos até aqui citados, convém destacar, referem-se à conformidade do produto à norma de *especificação*.

Já o prazo para que não mais existam tomadas e plugues em desacordo com a *padronização aprovada* (NBR

A regra: tomada 2P + T

Onde preciso usar realmente a tomada 2P + T? Ou: onde preciso usar realmente o condutor de proteção (condutor PE, ou fio terra)?

Essas são perguntas freqüentes em cursos, seminários ou painéis envolvendo a NBR 5410. Têm a ver com as regras de proteção contra choques da NBR 5410. E demonstram a resistência particular que essas regras sempre enfrentaram na sua adoção — seja por incompreensão, vista grossa ou simples recusa.

Se a pergunta é freqüente, a resposta também. Assim, provavelmente o professor ou conferencista diria: “Pela enésima vez, vamos repetir: o uso da tomada com contato de aterramento (tomada 2P + T, 3P + T ou, ainda, 4P + T) e do condutor de proteção é *regra*, e não exceção. Exceção é o uso da tomada apenas 2P.”

Tomada, sim. Sobretudo a fixa, a que vai na parede, embutida ou sobreposta. Pois o fato de que ela deve ser, como regra, 2P + T, não significa que o plugue do aparelho a ser a ela conectado deva necessariamente ser 2P + T. O plugue de um equipamento classe II (dupla isolamento) não tem e nem deve ter contato PE. E todos os padrões de plugues e tomadas prediais que se prezam, em muitos

países, são concebidos de forma que a tomada fixa — que é, pela enésima primeira vez, com contato de aterramento — aceite a inserção do plugue 2P de um equipamento classe II sem problemas.

Em termos práticos, pode-se dizer que, das regras de proteção contra choques previstas na NBR 5410, a de caráter mais geral, aplicável a toda instalação, é a chamada proteção *por seccionamento automático da alimentação*. Isso está muito bem explicado na seção “Proteção contra choques” deste **Guia EM da NBR 5410**. Essa medida exige que todo circuito — repita-se, todo *circuito* — inclua condutor de proteção. Em *circuitos de distribuição*, ele pode até não ser um condutor independente, porque incorporado ao neutro, compondo o condutor PEN. De qualquer forma, o PEN é um condutor PE. E nos circuitos terminais, particularmente nos circuitos terminais de tomadas — e são as tomadas o tema desta seção —, o indispensável condutor PE é independente.

Isso significa, por outro lado, que como regra geral só devem ser utilizados, numa instalação elétrica, equipamentos ou aparelhos que sejam classe I ou classe II [ver seção “Proteção contra choques”].

14136) é 1º de janeiro de 2005, para fabricantes e importadores, e um ano após para o comércio.

A padronização brasileira de tomadas e plugues

Como toda norma de padronização, a NBR 14136 é composta essencialmente de folhas de desenho, com a indicação de dimensões. São ao todo 14 desenhos.

Fazendo as contas: dois modelos de plugues e cinco de tomadas, totalizando sete; mas como eles serão disponíveis em duas versões de corrente nominal, 10 e 20 A, o número dobra, resultando então nos 14 desenhos.

Os dois modelos de plugues (ou quatro, consideradas as variantes 10 e 20 A) são: 1) 2P + T, para aparelhos classe I; e 2) 2P, para aparelhos classe II.

Sempre lembrando a existência das duas versões de corrente nominal, a padro-

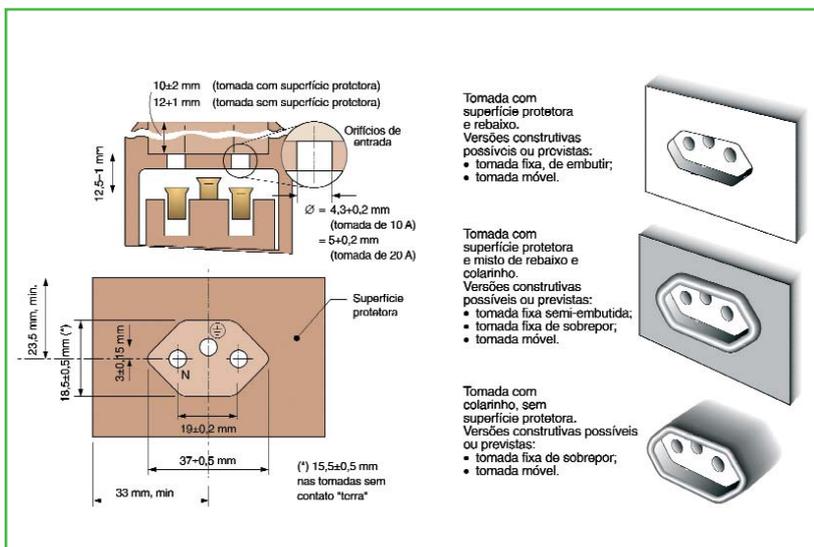


Fig. 2 – Visando proteção contra contatos acidentais e contra o risco de inserção monopolar, a NBR 14136 prevê: 1) Para as tomadas de embutir: face rebaixada e superfície protetora; 2) Para as tomadas semi-embutidas e de sobrepor: colarinho (dispensa superfície protetora) ou combinação de rebaixo e colarinho (com superfície protetora); 3) Para as tomadas móveis: colarinho (dispensa superfície protetora), rebaixo (com superfície protetora) ou combinação de rebaixo e colarinho (com superfície protetora). Todas devem apresentar contatos recuados em relação à face de contato com o corpo do plugue

nização prevê dois modelos de tomadas fixas e três modelos de tomadas móveis. As *tomadas fixas*: 1) de embutir e 2) de semi-embutir ou de sobrepor, ambas 2P + T. As *móveis*: 1) 2P + T; 2) 2P, para equipamentos classe II; e 3) 2P, com superfície protetora, para equipamentos classe II.

A NBR 14136 esclarece que “as tomadas de 20 A devem permitir a inserção de plugues de 10 A e de 20 A”, mas que “as tomadas de 10 A não devem permitir a inserção de plugues de 20 A.”

Plugues e tomadas industriais

As tomadas de corrente industriais se distinguem das tomadas de uso doméstico em vários aspectos. Mas as diferenças mais marcantes residem nas correntes veiculadas, geralmente bem superiores, com todas as implicações que isso acarreta, e na necessidade de preencher requisitos mais amplos e rigorosos em matéria de influências externas, já que os ambientes industriais podem ser muito agressivos, chegando mesmo ao caso de atmosferas potencialmente explosivas.

Freqüentemente se recorre à noção de “macho” e “fêmea” na descrição dos componentes de uma linha de tomadas industriais. De uma maneira geral, as tomadas, propriamente ditas, são sinônimo de contatos fêmeas; e os plugues, de contatos machos. A noção é útil, sobretudo, para memorizar as funções: os produtos fêmeas, dotados de alvéolos, *fornecem* corrente; e os componentes machos, dotados de pinos, *recebem* a corrente⁽¹⁾.

Assim, têm-se, basicamente:

- tomadas fixas, geralmente para montagem de sobrepor ou semi-embutida, em paredes, canaletas, caixas ou painéis;
- plugues;
- tomadas móveis;
- e, finalmente, o que alguns chamam de *plugues fixos*, outros de *tomadas machos* ou, ainda, de *tomadas negativas*. Trata-se da peça que se monta ou se fixa no equipamento a ser alimentado — e à qual é acoplada, naturalmente, a tomada móvel de alimentação.

As tomadas de corrente industriais são objeto de três normas internacionais, que compõem a série IEC 60309: a publicação IEC 60309-1, que fixa as regras gerais; a IEC 60309-2, que padroniza as dimensões, visan-

do intercambiabilidade; e a IEC 60309-3, que trata de tomadas para atmosferas explosivas. Como existem versões de tomadas que incorporam interruptor ou acumulam a função de interruptor (graças ao próprio princípio de funcionamento), a elas se aplica também a norma IEC 60947-3 *Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse combination units* (“Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores e suas combinações com fusíveis”).

As regras gerais apresentadas na Parte 1 da IEC

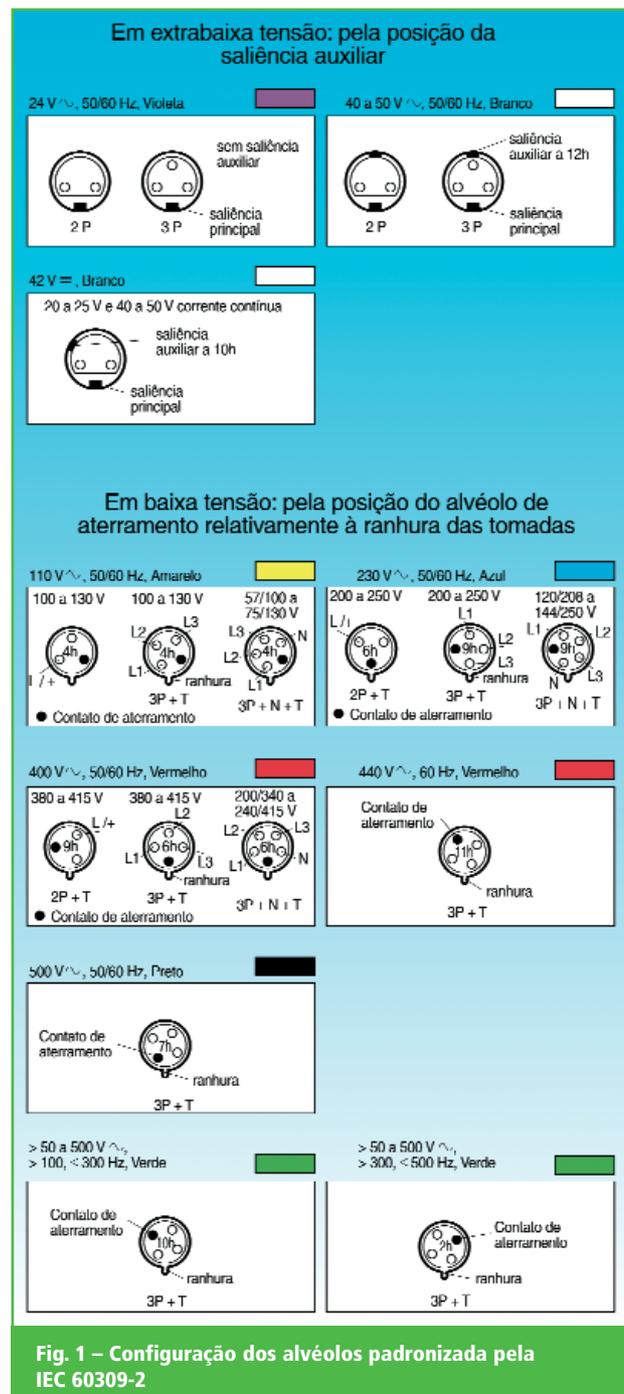


Fig. 1 – Configuração dos alvéolos padronizada pela IEC 60309-2

60309 referem-se essencialmente à segurança. Ou, como diz a própria norma, “destinam-se a garantir um funcionamento seguro em uso normal e a ausência de perigo para o usuário e o ambiente”. Elas cobrem tomadas de corrente para uso industrial, com correntes nominais até 250 A, inclusive, e com tensões nominais de até 690 V.

As especificações e os respectivos ensaios contidos na IEC 60309-1 tratam desde proteção contra choques até capacidade de interrupção, passando por aspectos como segurança da conexão condutores-tomada, elevação de temperatura admissível, durabilidade elétrica e mecânica, etc.

Assim, por exemplo, no campo da proteção contra choques, ela estabelece que não deve ser possível o contato acidental com partes vivas das tomadas. Isso nas três situações imagináveis: plugue e tomada separados, acoplados e no decorrer do acoplamento. O ensaio respectivo é feito com o conhecido dedo de prova (diâmetro de 12 mm, correspondente ao índice de proteção IP 2X).

Para evitar que os condutores venham a se soltar, em consequência do afrouxamento das conexões com os contatos da tomada — risco sempre presente devido ao vício dos usuários de desacoplar plugue e tomada puxando um dos dois, ou ambos, pelo cabo de ligação —, a IEC 60309-1 impõe a existência de prensa-cabos em todas as tomadas móveis e plugues.

A suportabilidade dos plugues e tomadas às sobrecargas e ao aquecimento é verificada, segundo a

IEC 60309-1, em ensaio que admite uma elevação de temperatura máxima, nos terminais da tomada, de 50K.

Quanto à adequação das tomadas ao ambiente em que deverão ser utilizadas, em particular o seu grau de proteção contra o ingresso de corpos sólidos (desde corpos com dimensão de até 12 mm, como é o caso do dedo de prova, até proteção total contra a entrada de poeira) e de água, o documento remete aos conhecidos *índices de proteção IP* consagrados pela norma IEC 60529 (ver seção *Influências externas* deste **Guia EM da NBR 5410**). Aqui, vale mencionar, como um dado prático, que no mercado de tomadas industriais os graus de proteção mais comuns são, nessa ordem, o IP 44, o IP 55 e o IP 67.

Por fim, a IEC 60309-2, que fixa requisitos de intercambiabilidade dimensional para tomadas, plugues e acessórios com sistema de contatos baseado em pinos e alvéolos, propõe uma configuração padronizada dos alvéolos, como ilustra a figura 1.

Notas

(1) A consideração é válida, mais precisamente, para tomadas cujo sistema de contatos é baseado em pinos e alvéolos, já que existem outras tecnologias de contato, como a de contatos sob pressão: em ambos, “plugue” e “tomada”, os contatos são na forma de pinos, sendo os de um deles dotado de mola sob pressão. O contato é estabelecido entre as extremidades dos pinos, providas de pastilhas de contato em metal nobre. O mecanismo é similar ao empregado em dispositivos de manobra sob carga e isso significa, portanto, que tais tomadas são, ao mesmo tempo, interruptores.

ILUMINAÇÃO

Requisitos de segurança e marcação de luminárias	274
Iluminação em extrabaixa tensão	279

Requisitos de segurança e marcação de luminárias

As luminárias, além de visualmente agradáveis e fornecer boa iluminação, têm de ser seguras. O que se segue é um resumo dos requisitos específicos de segurança estabelecidos pela norma NBR IEC 60598 com relação à proteção contra choque elétrico, proteção contra penetração de corpos estranhos e proteção contra ignição/fogo. São descritos também os critérios para marcação das luminárias, que indicam o atendimento dos requisitos estabelecidos pela norma.

A norma brasileira NBR IEC 60598, baseada integral-

Previsão de cargas de iluminação

Como regra geral, a NBR 5410 estabelece, em 4.2.1.2.2, que as cargas de iluminação devem ser determinadas como resultado da aplicação da NBR 5413: *Iluminância de interiores – Procedimento*.

Como alternativa ao uso da NBR 5413, e especificamente em unidades residenciais, a NBR 5410 apresenta os seguintes critérios:

- em cômodos ou dependências com área igual ou inferior a 6 m² deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA;
- em cômodos ou dependências com área superior a 6 m², deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m², acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m² inteiros.

A norma adverte que os valores indicados são para efeito de dimensionamento dos circuitos, não havendo qualquer vínculo, portanto, com potência nominal de lâmpadas.

O texto também precisa que deve ser considerada, como potência nominal dos aparelhos fixos de iluminação a descarga, o valor total, isto é, incluindo potência das lâmpadas, perdas e fator de potência dos equipamentos auxiliares.

mente na IEC 60598, abrange todos os aspectos relativos à segurança (elétrica, térmica e mecânica) de luminárias. É constituída por duas partes: a *Parte 1 – Requisitos gerais e ensaios*, que especifica os requisitos gerais para a classificação e marcação de luminárias, bem como para sua construção mecânica e elétrica, juntamente com os ensaios correspondentes; e a *Parte 2 – Requisitos particulares*, que detalha os requisitos para um tipo particular de luminária ou grupo de luminárias com tensão de alimentação não superior a 1000 V.

Em matéria de segurança, as luminárias são classificadas segundo três critérios:

- de acordo com o tipo de proteção contra choque elétrico;
- de acordo com o grau de proteção contra penetração de pó, objetos sólidos e umidade; e
- de acordo com o material da superfície de apoio para o qual a luminária é projetada.

Marcação nas luminárias

Com o objetivo de definir as características das luminárias, a norma especifica as informações que devem ser marcadas nas luminárias, de forma clara e permanente.

Além de dados sobre potência, tensão, tipo de lâmpadas e outros, devem ter marcação específica referente às classificações quanto à segurança, conforme indicado adiante.

Proteção contra choque elétrico

Com relação ao tipo de proteção contra choque elétrico, as luminárias são classificadas em quatro classes: 0, I, II, e III. A tabela I indica os símbolos utilizados para identificação de cada tipo, e suas principais características.

As luminárias classe 0 possuem somente isolamento básica, sem provisão para aterramento, e não são admitidas pelas normas nacionais de muitos países. Ou, quando admitidas, o são para uso restrito, limitado a determinadas aplicações, não devendo ser sequer concebidas como classe 0 as luminárias para condições severas de serviço, as luminárias montadas sobre trilhos, nem as luminárias portáteis.

As luminárias classe I, além da isolamento básica, possuem um ponto de aterramento que interliga todas as suas partes metálicas sujeitas a se tornarem vivas na ocorrência de uma falta. Esse terminal de aterramento deve ser obrigatoriamente

Tab. I – Proteção contra choques elétricos

Classe	Símbolo	Proteção
0		Isolação básica somente (não recomendado)
I		Isolação básica mais conexão para aterramento
II		Isolação dupla ou reforçada, sem provisão de ponto para aterramento
III		Alimentação SELV

No mínimo, um ponto de luz no teto. Obrigatório

Em cada cômodo ou dependência de unidades residenciais deve ser previsto pelo menos um ponto de luz fixo no teto, com potência mínima de 100 VA, comandado por interruptor de parede. A regra também é válida para acomodações de hotéis, motéis e similares, mas neste caso admite-se que o ponto de luz fixo, no teto, seja substituído por ponto de tomada, com potência mínima de 100 VA, comandado por interruptor de parede (item 4.2.1.2.2 da NBR 5410).

te conectado ao condutor PE da instalação, e a luminária deve possuir um condutor específico para aterramento incorporado ao rabicho de alimentação elétrica. Quando a ligação é feita por meio de bornes de ligação, deve existir um borne de aterramento específico. A não-obeidência a estas condições transforma a luminária em classe 0.

As luminárias classe II são projetadas e construídas de forma que suas partes metálicas expostas não possam se tornar vivas, seja em condições normais, seja no caso de falta. Isto é conseguido mediante a utilização de isolamento dupla ou isolamento reforçada.

As luminárias classe III são aquelas alimentadas por uma fonte de extra-baixa tensão de segurança (SELV), isto é, que não gera tensões de saída superiores a 50 VCA. Estas luminárias não devem possuir provisão para aterramento.

A norma estabelece que a classe de uma luminária é única. Ou seja: é inconcebível uma luminária que seja, ao mesmo tempo, classe 0 e classe I; ou classe I e classe II; ou clas-

Circuitos distintos para iluminação e tomadas

Na seção 4.2.4, em que fixa as regras gerais a serem observadas na divisão da instalação em circuitos, a NBR 5410 diz, com clareza, que *devem ser previstos circuitos terminais distintos para iluminação e tomadas de corrente.*

Isso na seqüência de prescrições mais genéricas, com a mesma preocupação. A própria regra citada acima é a continuação de um artigo, o 4.2.4.5, onde se lê que "os circuitos terminais devem ser individualizados pela função dos equipamentos de utilização que alimentam."

Antes, em 4.2.4.2., o texto já anuncia os propósitos e as razões da seção: "a instalação deve ser dividida em tantos circuitos quantos forem necessários, de forma a proporcionar facilidade de inspeção, ensaios e manutenção, bem como evitar que, por ocasião de um defeito em um circuito, toda uma área fique desprovida de alimentação (por exemplo, circuitos de iluminação)."

se 0 e classe II, etc. Assim, por exemplo, uma luminária incorporando um transformador de extra-baixa tensão, com provisão para aterramento, deve ser classificada como classe I e nenhuma parte da luminária pode ser classificada como classe III, mesmo que o compartimento da lâmpada seja separado por uma barreira do compartimento do transformador.

Proteção contra penetração de pó, objetos sólidos e umidade

O sistema de identificação IP é utilizado para classificar as luminárias de acordo com o grau de proteção contra a penetração de corpos estranhos, pós ou umidade. O termo "corpos estranhos" inclui elementos tais como partes do corpo humano, objetos, ferramentas, que possam entrar em contato com as partes vivas da luminária.

A IEC 60529 apresenta os detalhes completos, e dela foi extraído o resumo a seguir, que faz parte da norma brasileira de luminárias [ver, neste **Guia EM da NBR 5410**, a seção "Influências externas", que traz explicações sobre os graus de proteção IP]:

"O tipo de proteção coberto por este sistema de classificação é como segue:

"a) proteção de pessoas contra contato ou proximidade de partes vivas e contra contato com partes móveis (exceto eixos lisos rotativos ou similares), no interior do compartimento, e proteção do equipamento contra o ingresso de corpos sólidos externos; e

"b) proteção de equipamento no interior do compartimento contra ingresso prejudicial de água.

"A designação para indicar os graus de proteção consiste das letras características IP seguidas por dois numerais (os "numerais característicos"). O primeiro numeral indica o grau de proteção descrito no item a) acima e o segundo numeral o grau de proteção descrito no item b) acima."



Luminária fluorescente com grau de proteção IP 66 (protegida contra penetração de pós e contra fortes jatos d'água)

Divulgação

Tab. II – Proteção proporcionada pela luminária relativamente ao material da superfície de apoio

Classe de luminária	Marcação	Condições
Luminárias adequadas para montagem direta sobre superfícies de inflamabilidade normal		Temperatura máxima de 180°C na superfície de montagem.
Luminárias adequadas para montagem direta em/sobre superfícies de inflamabilidade normal, quando um material isolante térmico pode cobrir a luminária		Temperatura máxima de 130°C na superfície de montagem.
Luminárias não adequadas para montagem direta sobre superfícies inflamáveis (adequadas somente para montagem sobre superfícies não inflamáveis)		

Proteção com relação ao material da superfície de apoio

As luminárias, e os componentes elétricos da instalação, em geral, devem ser selecionados e instalados de modo a evitar que possam provocar incêndio, tanto sob condições operacionais normais como no caso de uma falta.

Assim, ao planejar sistemas de iluminação e selecionar as luminárias, devem ser consideradas as propriedades de proteção contra incêndio — do material que as constitui, das superfícies em que serão montadas e de outras superfícies que possam ser termicamente influenciadas. Além disso, deve ser levada em conta a distância mínima exigida com relação a materiais inflamáveis, bem como os tipos de local em que se admite o uso da luminária, ou para os quais ela foi concebida.

Entende-se como superfície de montagem qualquer parte de uma construção, de uma mobília ou de outra estrutura em que uma luminária possa, de um modo ou de

outro, ser fixada, suspensa, repousada ou colocada em uso normal, e que é destinada a suportar a luminária.

Os materiais da superfície de montagem são classificados em:

- materiais facilmente inflamáveis,
- materiais de inflamabilidade normal e
- materiais não-inflamáveis.

Os materiais *facilmente inflamáveis* são aqueles que não podem ser classificados como de inflamabilidade normal ou baixa, nem como incombustíveis. Exemplos: fibra de madeira e materiais à base de madeira com espessura de até 2 mm.

Os materiais de *inflamabilidade normal* são aqueles cuja temperatura de ignição é de, pelo menos, 200°C e que não se deformam ou enfraquecem nesta temperatura. Exemplos: madeira e materiais à base de madeira com mais de 2 mm de espessura.

Por fim, os *materiais não-inflamáveis* (incombustíveis) são aqueles incapazes de manter a combustão. Materiais tais como metal, gesso e concreto são considerados incombustíveis.

A tabela II indica as marcações obrigatórias para as luminárias apropriadas para uso em cada tipo de superfície de montagem. São utilizados os símbolos:



Quando a luminária contém o símbolo



isto significa que ela é adequada para montagem diretamente sobre superfícies de inflamabilidade normal⁽¹⁾.

Quando a luminária incorporar reator ou transformador para lâmpadas de descarga, a norma indica três opções equivalentes para proteger a superfície de montagem contra aquecimento excessivo:

- mediante espaçamento adequado entre o reator ou transformador e a superfície de montagem, observando-se uma distância mínima e condições indicadas na norma;
- mediante medições de temperatura para verificar se a superfície de montagem da luminária não alcançará temperaturas muito elevadas, sob condições anormais de operação ou sob condições de defeito do reator; ou
- mediante a aplicação de proteção térmica, que pode ser uma proteção com material isolante térmico adicional, ou dispositivos protetores térmicos integrantes do reator. Os reatores termicamente protegidos são marcados com o símbolo



ou

Porta-lâmpadas, só com proteção contra choques

Porta-lâmpadas (isoladamente ou incorporados a aparelhos) que não ofereçam proteção contra risco de contatos acidentais com partes vivas não são admitidos



em instalações prediais. É o que diz a NBR 5410 em 6.5.8.2.2: "em instalações residenciais e assemelhadas só podem ser usados porta-lâmpadas devidamente protegidos contra riscos de contatos diretos ou equipamentos de iluminação que confirmam ao porta-lâmpada, quando não protegido por construção, uma proteção equivalente. Esta mesma prescrição se aplica a qualquer outro tipo de instalação em que as lâmpadas dos equipamentos de iluminação forem suscetíveis de serem manipuladas ou substituídas por pessoas que não sejam advertidas (BA4) nem qualificadas (BA5)."

Os pontos são substituídos pela temperatura máxima da caixa, em °C, na qual o protetor abre o circuito.

Notas

(1) A explicação referente à marcação  baseia-se no Anexo N da norma NBR IEC 60598-1.

Iluminação em extrabaixa tensão

As qualidades das lâmpadas halógenas alimentadas em extrabaixa tensão — isto é, sob tensões inferiores a 50 V —, contribuiram para a difusão deste sistema de iluminação, notadamente em lojas e vitrines e, de forma geral, quando os atrativos e o valor dos objetos expostos necessitam um realce particular.

O emprego da extrabaixa tensão, embora ofereça por si só um certo nível de segurança no que se refere à proteção contra choques elétricos, não dispensa o respeito às medidas de segurança prescritas para todas as instalações elétricas, notadamente no que se refere à proteção contra as sobrecorrentes e contra os efeitos térmicos, incluindo os riscos de incêndio.

Esses problemas estão essencialmente associados ao fato de que em EBT de 12 V, que é o caso típico das lâmpadas halógenas dicróicas, as intensidades de corrente são virtualmente iguais a 12 vezes aquelas de BT em 127 V ou 18 vezes as de BT em 220 V. Como os efeitos térmicos resultantes da passagem da corrente são proporcionais ao quadrado desta, é fácil perceber a necessidade de cuidados e de uma realização efetivamente segura das instalações.

Na prática, as seções dos condutores das instalações em extrabaixa tensão, alimentadas a partir de uma instalação

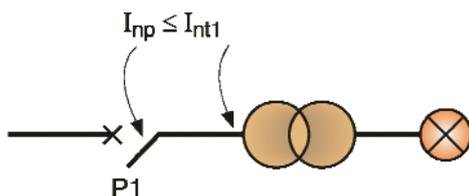


Fig. 1 – A proteção do bloco transformador-lâmpada é garantida pelo dispositivo de proteção P1, no primário do transformador

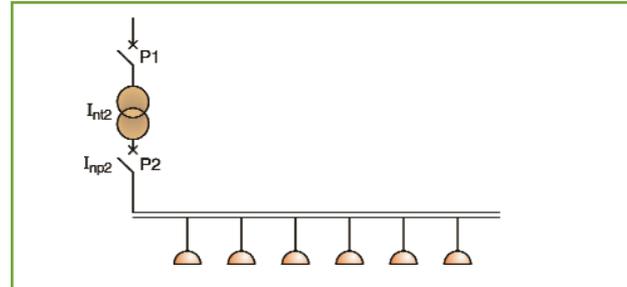


Fig. 2 – A proteção do trilho de alimentação das lâmpadas requer um dispositivo no secundário (P2)

de baixa tensão por meio de um transformador, devem satisfazer às duas condições seguintes:

- a) a queda de tensão no ponto mais distante não deve ser superior a 4% da tensão nominal de alimentação;
- b) a corrente nominal do dispositivo de proteção deve ser tal que o dispositivo atue em menos de 5 s na ocorrência de um curto-circuito no ponto mais distante da instalação.

Queda de tensão

A condição **a)** é verificada se a distância entre os terminais de saída do transformador e o ponto mais distante não for superior a:

$$L = u \cdot \frac{S}{2 \rho_l I_t}$$

onde

u é a queda de tensão admissível em volts. No caso, para uma instalação a 12 V,

$$u = 0,04 \times 12 = 0,5 \text{ V};$$

S é a seção dos condutores, em mm²;

ρ_l é a resistividade dos condutores, considerada igual a 1,25 vez a resistividade a 20°C ($\rho_{20} = 0,0225 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ para condutores de cobre);

I_t é a corrente secundária nominal do transformador de alimentação.

Proteção contra as sobrecorrentes

A proteção contra as sobrecorrentes é realizada da seguinte maneira:

Proteção do circuito primário

O dispositivo de proteção deve ser adequado à seção dos condutores e insensível à corrente transitória de energização do transformador, cuja intensidade pode atingir 25 vezes sua corrente nominal, durante 10 ms. Assim, por exemplo, para transformadores 220/12 V com potência de até 630 VA, a proteção pode ser então garantida:

- por fusíveis gI ou gG com corrente nominal de 10 A, cuja corrente de fusão em 10 ms é de 100 A e, portanto, compatível com a corrente de energização de um transfor-

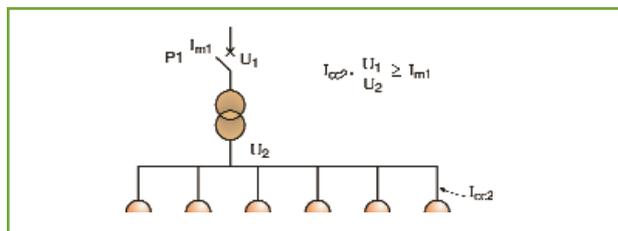


Fig. 3 – A proteção do circuito secundário pode ser garantida pelo dispositivo do circuito primário (P1) se a corrente de curto-circuito mínima I_{sc2} , referida à tensão do circuito primário, for pelo menos igual à corrente que assegura a atuação do dispositivo P1

mador de 630 VA ($25 \times 2,86 = 71,5$ A);

– por minidisjuntores tipo C⁽¹⁾ com corrente nominal de 16 A, cujo limiar inferior da faixa de atuação instantânea é $5 \times I_n$ e, portanto, $5 \times 16 = 80$ A.

O exemplo, ressalte-se, embute uma outra hipótese, relativa à seção dos condutores do circuito de alimentação. Assim, o fusível gI de 10 A e o disjuntor de 16 A asseguram a proteção de condutores com seção de $1,5 \text{ mm}^2$.

Proteção do circuito secundário em extrabaixa tensão

Aqui, distinguem-se três casos:

1º caso: o transformador alimenta uma única lâmpada, com a qual forma um bloco (figura 1). Este bloco é então considerado como qualquer equipamento de utilização e a proteção é garantida por um dispositivo cuja corrente nominal (I_{np}) seja no máximo igual à corrente primária nominal (I_{m1}) do transformador de alimentação.

2º caso: o transformador alimenta um trilho para luminárias (figura 2). Como este tipo de arranjo não impede, em princípio, um número ilimitado de luminárias no secundário, deve-se prever um dispositivo de proteção na saída do transformador, de forma a protegê-lo contra sobrecargas.

A corrente nominal do dispositivo de proteção (I_{np2}) deve ser no máximo igual à corrente secundária nominal do transformador (I_{m2}):

$$I_{np2} \leq I_{m2}$$

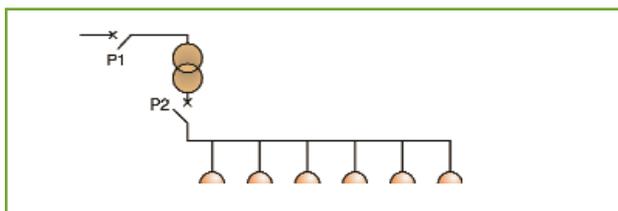


Fig. 4 – Transformador alimentando diversas luminárias. Além da proteção do circuito primário (P1), é necessário um dispositivo de proteção no secundário (P2)

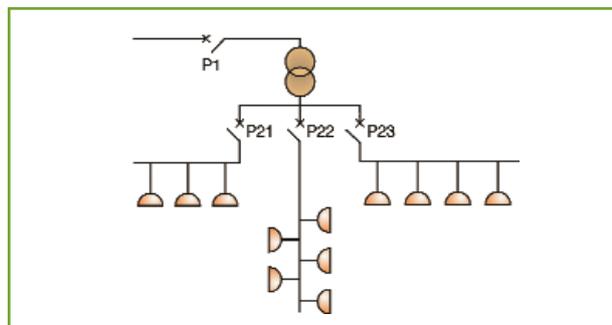


Fig. 5 – Transformador alimentando diversos circuitos secundários. Cada circuito deve dispor de seu próprio dispositivo de proteção (P21, P22, P23)

Além disso, o transformador deve ser protegido no primário, como descrito no primeiro caso.

3º caso: o transformador alimenta diversas lâmpadas. Em princípio, seria possível, neste caso, dispensar o dispositivo de proteção no secundário do transformador, desde que o dispositivo de proteção instalado no primário, no circuito de alimentação do transformador (e selecionado como no primeiro caso) garanta a proteção contra curtos-circuitos nas linhas do circuito secundário.

Esta condição é satisfeita se a corrente de um curto-circuito que ocorra no ponto mais distante do circuito secundário for o suficiente para provocar a atuação do dispositivo de proteção do circuito primário num tempo compatível com a sollicitação térmica dos condutores nos quais se produz o curto-circuito (figura 3).

Mas esta solução conduz, na prática, a um comprimento muito curto da(s) linha(s) secundária(s) e a correntes nominais, dos dispositivos de proteção, muito baixas, o que limita a potência disponível.

Assim, é sumamente recomendável instalar um dispositivo de proteção contra correntes de sobrecarga na origem do circuito em extrabaixa tensão, isto é, nos terminais secundários do transformador (figura 4). Quando o transformador alimenta vários circuitos, cada circuito deve dispor então do seu respectivo dispositivo de proteção (figura 5).

Os dispositivos de proteção são determinados em função da seção dos condutores, seguindo-se as regras gerais da NBR 5410 e levando-se em conta o fato de que no final de sua vida útil as lâmpadas halógenas podem consumir, durante horas, uma corrente cuja intensidade pode chegar ao dobro daquela absorvida quando novas.

Notas

(1) De acordo com a IEC 60898 (*Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations*), um disjuntor tipo C é aquele com faixa de disparo magnético compreendida entre 5 e 10 vezes o valor da corrente nominal.

VERIFICAÇÃO FINAL – DOCUMENTAÇÃO

Inspeção visual e documentação	284
Ensaio de campo em instalações	285
Ensaio de continuidade dos condutores de proteção	287
Resistência de isolamento da instalação	288

Inspeção visual e documentação

As instalações elétricas de baixa tensão, de qualquer tipo, sejam elas novas ou reformas em instalações existentes (entendidas como alterações ou extensões), devem ser submetidas a uma “verificação final” antes de entregues ao uso. É o que exige a NBR 5410, que também prescreve as “manutenções periódicas” nessas instalações ao longo de sua vida útil.

A verificação final consiste em um conjunto de procedimentos, realizados durante e/ou quando concluída a instalação, com o objetivo de verificar sua conformidade com as prescrições da NBR 5410. Deve ser realizada por pessoas qualificadas (BA5), incluindo trabalhos de escritório e “de campo”, isto é, no local da instalação.

Os trabalhos de campo são divididos em duas partes: *inspeção visual* e *ensaios*. Por inspeção visual se entende o exame dos documentos da instalação e da instalação propriamente dita, com o objetivo de verificar, sem a realiza-

ção de ensaios, se são corretas suas condições de execução. Por sua vez, os ensaios consistem em medições e outras operações efetuadas na instalação, com aparelhagem adequada, a fim de verificar sua eficiência.



Durante a execução de procedimentos “de campo”, devem ser tomadas precauções que garantam a segurança dos encarregados do serviço e evitem danos à propriedade e aos equipamentos instalados.

É fundamental que as pessoas responsáveis pelos serviços estejam de posse da documentação completa e atuali-

Os documentos da instalação

A NBR 5410 exige que o projeto de instalações elétricas de baixa tensão seja constituído, no mínimo, por:

- plantas;
- esquemas;
- detalhes de montagem, quando necessários;
- memorial descritivo; e
- especificação dos componentes.

As **plantas**, em escalas convenientes, devem indicar:

- localização da(s) subestação(ões) e dos quadros de distribuição;
- percurso e características das linhas elétricas correspondentes aos circuitos de distribuição (principais e divisionários) e aos circuitos terminais; e
- localização dos pontos de luz, das tomadas de corrente e dos equipamentos fixos diretamente alimentados.

Os **esquemas** unifilares e, eventualmente, trifilares, correspondentes às subestações e aos quadros de distribuição, devem indicar:

- quantidade, destino, formação e seções dos condutores de entrada e saída das subestações e dos quadros; e
- correntes nominais dos dispositivos, indicando, se for o caso, sua função nos circuitos.

No caso de instalações mais complexas, podem ser necessários esquemas funcionais (caso típico de telecomandos, comutação automática, etc.).

Dependendo da complexidade da edificação ou mesmo da instalação, podem ser necessários alguns **detalhes de montagem**, para orientar a execução.

O **memorial descritivo** deverá apresentar uma descrição sucinta da instalação e, se for o caso, das soluções adotadas, utilizando, sempre que necessário, tabelas e desenhos complementares.

Por fim, a **especificação dos componentes** deve indicar, para cada componente, uma descrição sucinta, suas características nominais e a norma ou as normas a que devem atender.

zada da instalação, o chamado projeto *as built* (como construído), como exige a norma.

Inspeção visual

Aspectos gerais

A inspeção visual tem por objetivo confirmar se os componentes elétricos ligados permanentemente à instalação estão:

- em conformidade com as respectivas normas;
- dimensionados e instalados de acordo com a NBR 5410; e
- sem danos visíveis, capazes de comprometer seu funcionamento e a segurança.

Esse trabalho deve preceder os ensaios, iniciando-se com uma análise da documentação *as built* da instalação. Devem ser verificados, no mínimo, os seguintes pontos:

- medidas de proteção contra choques elétricos;
- medidas de proteção contra efeitos térmicos;
- seleção dos condutores quanto à sua capacidade de condução e queda de tensão;
- escolha, ajuste e localização dos dispositivos de proteção;
- escolha e localização dos dispositivos de seccionamento e comando;
- escolha dos componentes e das medidas de proteção à luz das influências externas pertinentes;
- identificação dos componentes;
- execução das conexões; e
- acessibilidade.

Execução

Para que possam ser verificados os pontos anteriormente indicados, devem, em princípio, ser adotados os procedimentos descritos a seguir:

1) Análise, em escritório, de todos os documentos do projeto *as built*, objetivando verificar:

- se a documentação fornecida está completa (quanto à quantidade de documentos); e
- se os dados fornecidos são suficientes para a realização da verificação final.

2) Verificação, em escritório, a partir dos dados do projeto *as built*, do dimensionamento dos circuitos de distribuição e terminais, seguindo, no caso mais geral, os critérios:

- da capacidade de condução de corrente;
- da queda de tensão;
- da coordenação entre condutores e dispositivos de proteção contra correntes de sobrecarga;
- da coordenação entre condutores e dispositivos de proteção contra correntes de curto-circuito; e
- da proteção contra contatos indiretos, se usados dispositivos a sobrecorrente na função de seccionamento automático.

A verificação pode ser feita a partir de memória de

cálculo fornecida pelo projetista ou utilizando softwares adequados.

3) Verificação, no local, da consistência, da funcionalidade e da acessibilidade da instalação, constando, em princípio, de:

- conformidade dos diversos componentes com os dados e indicações do projeto *as built*;
- compatibilidade dos diversos componentes com as influências externas;
- condições de acesso aos componentes, tendo em vista as condições de segurança e de manutenção.

4) Verificação, no local, das medidas de proteção contra contatos diretos (total ou parcial) aplicáveis.

5) Verificação preliminar, no local, dos componentes do sistema de aterramento.

6) Verificação, no local, dos procedimentos de segurança em locais contendo banheira e/ou chuveiro, em piscinas e em saunas.

Ensaio de campo em instalações

A NBR 5410 prescreve, para as instalações de baixa tensão, diversos ensaios de campo, que devem, em princípio, ser realizados após inspeção visual. De acordo com a seqüência preferencial apresentada pela norma, são eles:

a) continuidade dos condutores de proteção e das ligações equipotenciais existentes na instalação [*ver artigo seguinte*];

b) resistência de isolamento da instalação [*ver artigo específico*];

c) verificação das medidas de proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação [*ver boxe*];

d) ensaio de tensão aplicada, para componentes construídos ou montados no local da instalação;

e) ensaios de funcionamento, para montagens como quadros, acionamentos, controles, intertravamentos, comandos, etc.;

f) verificação da separação elétrica dos circuitos, para os casos de SELV, PELV e proteção por separação elétrica; e

g) resistência elétrica de pisos e paredes, aplicável a locais não-condutivos.

Verificação do seccionamento automático

Os ensaios destinados a verificar a proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação estão subdivididos de acordo com o esquema de aterramento empregado:

Instalação em esquema TT

- c1: medição da resistência do(s) eletrodo(s) de aterramento;
- c2: verificação das características dos dispositivos DR; e
- c3: verificação da continuidade dos condutores de proteção.

Instalação em esquema TN

- c4: medição da impedância do percurso da corrente de falta ou, como alternativa,
- c5: medição da resistência dos condutores de proteção;
- c6: verificação da continuidade dos condutores de proteção, como alternativa aos ensaios descritos em c4 e c5; e
- c7: verificação das características dos dispositivos de proteção (dispositivo a sobrecorrente ou dispositivo DR).

Instalação com esquema IT

- c8: determinação da corrente de primeira falta;
- c9: quando as massas da instalação forem aterradas individualmente ou por grupo, ou seja, quando as condições do esquema TT forem aplicáveis, realizar a verificação conforme descrito anteriormente em c1, c2 e c3;
- c10: quando todas as massas da instalação forem interligadas, ou seja, quando forem aplicáveis as condições do esquema TN, realizar a verificação conforme c4 ou c5 ou, ainda, c6 e c7.

Quando qualquer dos ensaios indicar uma não-conformidade, deve-se efetuar a correção necessária na instalação e em seguida proceder à repetição do ensaio. Também se devem repetir todos os ensaios precedentes que possam ter sido influenciados pela correção efetuada.

Ensaio de continuidade dos condutores de proteção

Este ensaio destina-se a verificar a continuidade:

- dos condutores de proteção principais;
- dos condutores de proteção relativos aos circuitos terminais;
- dos condutores PEN (caso dos esquemas TN-C e TN-C-S);
- das ligações equipotenciais principais; e
- das ligações equipotenciais suplementares.

A figura 1 indica os componentes a considerar.

Também devem ser realizadas as seguintes verificações de continuidade:

- entre o contato de aterramento de cada tomada de corrente e o terminal de aterramento principal;
- entre o terminal de aterramento de cada equipamento de utilização classe 1 não ligado através de tomada (ou

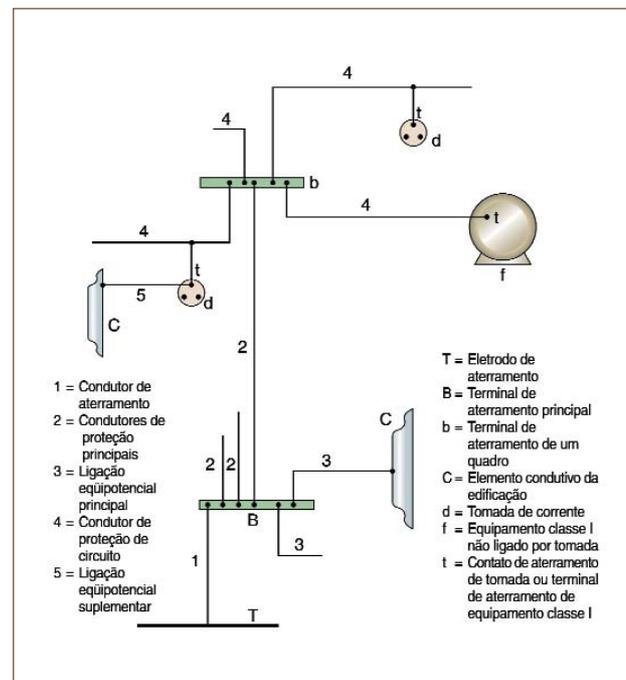


Fig. 1 – Elementos a considerar no ensaio de continuidade

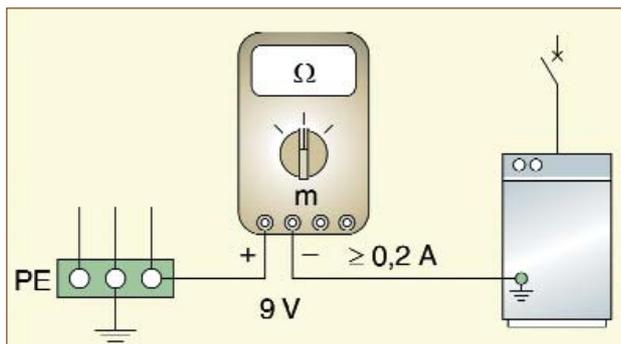


Fig.2 – Ensaio de continuidade com multímetro, corrente ≥ 0,2 A, resistência medida na escala mínima (valores válidos se da ordem de décimos de ohm)

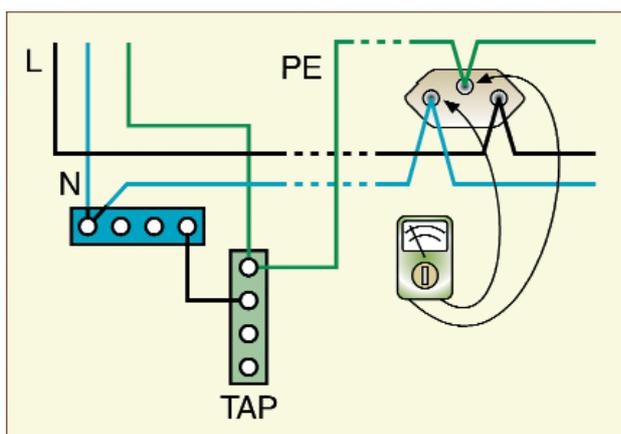


Fig. 3 – Exemplo de ensaio de continuidade

seja, ligado diretamente aos condutores do circuito respectivo) e o terminal de aterramento principal;

- nos locais contendo banheira e/ou chuveiro, entre cada elemento condutivo estranho dos volumes 0, 1, 2 e 3 (ver item 9.1.2.1 da NBR 5410) e o contato de aterramento mais próximo (via de regra, de uma tomada de corrente); e
- em piscinas, entre cada elemento condutivo estranho dos volumes 0, 1 e 2 (ver item 9.2.2.1 da NBR 5410) e o contato de aterramento mais próximo (em geral, de uma tomada de corrente).

O ensaio deve ser realizado com a instalação desenergizada, utilizando-se fonte CA ou CC, com tensão na faixa de 4 a 24 V em vazio, sendo que a corrente de ensaio não deve ser inferior a 0,2 A (figura 2).

Quando necessário, a continuidade pode ser verificada por trechos sucessivos — por exemplo, terminal de aterramento principal-terminal de aterramento do quadro terminal; terminal de aterramento do quadro terminal-contato de aterramento da tomada de corrente, etc.

A continuidade dos condutores de proteção pode também ser verificada conectando-se, no quadro, uma das fases ou o neutro ao terminal de aterramento e fazendo a verificação entre o terminal terra e o terminal fase ou neutro em cada tomada de corrente e em cada equipamento de utilização fixo, como mostra a figura 3.

Resistência de isolamento da instalação

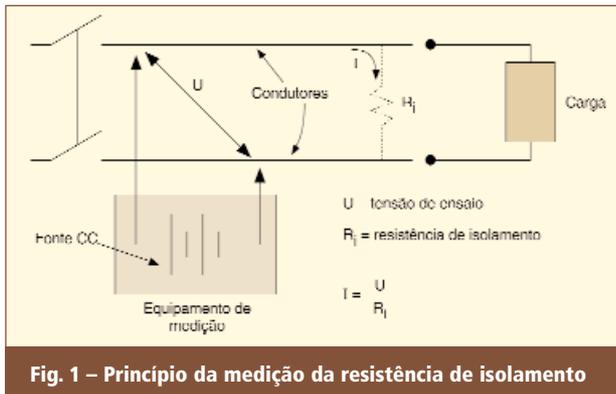
O objetivo do ensaio de resistência de isolamento é verificar se essa resistência, em cada circuito da instalação, atende a valores mínimos prefixados pela norma, reproduzidos aqui na tabela I.

Com a instalação desenergizada, as medições (em corrente contínua) devem ser efetuadas:

- entre os condutores vivos (fases e neutro), tomados aos pares, o que, na prática, só pode ser feito com os equipamentos de utilização desligados;
- entre cada condutor vivo e a terra, representada pelos terminais de aterramento, principal ou dos quadros, ou pelos condutores de proteção, incluindo o condutor PEN (nos esquemas TN-C ou TN-C-S). Durante essa medição, os condutores de fase e neutro podem ser interligados;
- entre todos os condutores de fase e neutro, interligados, e a terra quando o circuito contiver algum dispositivo eletrônico, tendo em vista a proteção do dispositivo.

O equipamento utilizado — mais exatamente, sua fonte CC —, deve ser capaz de fornecer corrente de 1 mA ao circuito de carga, apresentando, entre seus terminais, determinados valores de tensão contínua de ensaio, tam-

Tab. I – Valores mínimos de resistência de isolamento, segundo a NBR5410		
Tensão nominal do circuito	Tensão contínua de ensaio (V)	Resistência de isolamento mínima (M/Ω)
Extrabaixa tensão, para circuitos alimentados por fonte de segurança (ver item 5.1.1.1.2 da norma) e que atendam às condições de instalação prescritas para circuitos SELV e PELV (item 5.1.1.1.3)	250	0,25
Até 500 V, exceto os casos acima	500	0,5
Acima de 500 V	1000	1,0

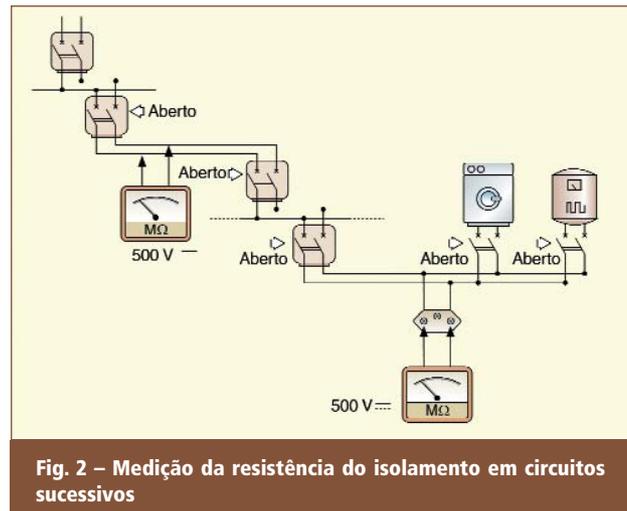


bém indicados na tabela I (ver figura 1).

A resistência de isolamento, medida com os valores indicados de tensão de ensaio, é considerada satisfatória se nenhum valor obtido for inferior aos valores mínimos indicados na tabela I.

Para a realização deste ensaio, devem ser observados os seguintes pontos:

- a medição é feita, em princípio, na origem da instalação;
- se o valor medido for inferior ao valor mínimo fixado na tabela I, a instalação pode ser dividida em diversos grupos de circuitos, medindo-se a resistência de isolamento de cada grupo;
- se, para um grupo de circuitos, o valor medido for inferior ao mínimo, deve ser medida a resistência de isolamento de cada um dos circuitos do grupo (figura 2);



- no caso de circuitos ou partes de circuitos que sejam desligados por dispositivos a subtensão (por exemplo, contactores) que interrompam todos os condutores vivos, a resistência de isolamento desses circuitos ou partes de circuitos deve ser medida separadamente — é, tipicamente, o caso de circuitos de motores;
- se alguns equipamentos de utilização estiverem ligados, admite-se efetuar a medição entre condutores vivos e terra; se, no entanto, o valor medido for inferior ao mínimo especificado, tais equipamentos devem ser desligados e a medição repetida.