

5

Aterramento de Instalações em Baixa Tensão — BT

5.1 Sistemas de Aterramento em BT

Aterramento é a ligação de estruturas ou instalações com a terra, a fim de se estabelecer uma referência para a rede elétrica e permitir que fluam para a terra correntes elétricas de naturezas diversas, tais como:

- correntes de raios;
- descargas eletrostáticas;
- correntes de filtros, supressores de surtos e para-raios de linha;
- correntes de faltas (defeitos) para a terra.

Nas instalações elétricas, são considerados dois tipos básicos de aterramento:

- o aterramento funcional, que consiste na ligação à terra de um dos condutores do sistema (geralmente o neutro) e está relacionado ao funcionamento correto, seguro e confiável da instalação;
- o aterramento de proteção, que consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, visando à proteção contra choques elétricos por contato direto.

Podemos citar também o aterramento de trabalho, cujo objetivo é tornar possíveis – e sem perigo – ações de manutenção sobre partes da instalação normalmente sob tensão, colocadas fora de serviço para esse fim. Trata-se de um aterramento de caráter provisório, que é desfeito tão logo cessa o trabalho de manutenção. Falaremos aqui apenas sobre o aterramento de proteção.

Os critérios de aterramento de instalações de baixa tensão encontram-se bem estabelecidos na norma NBR 5410:2004 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão), podendo ser complementados com as recomendações constantes da norma NBR 5419:2005 (Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas). A adoção dos padrões, dos critérios e das recomendações constantes nessas duas normas proporciona proteção adequada às pessoas e edificações, bem como às instalações elétricas de baixa tensão e aos equipamentos.

A NBR 5410:2004, dentro das suas atribuições conforme seu capítulo 1, fixa as condições que devem ser satisfeitas pelas instalações elétricas, a fim de garantir seu funcionamento adequado, a segurança de pessoas e animais domésticos e a conservação de bens, abrangendo todas as redes elétricas de energia ou de sinal, internas ou externas à edificação. É a similar nacional da National Electric Code (NEC) dos Estados Unidos e está em conformidade com as normas da IEC, sendo apropriada e compatível com as condições brasileiras.

As atualizações das últimas revisões da NBR 5410:2004, relativas ao aterramento e à compatibilidade eletromagnética das instalações, podem ser assim resumidas:

- o aterramento único para toda a instalação deve ser integrado à estrutura da edificação — o eletrodo de aterramento preferencial em uma edificação é o constituído pelas armaduras de aço embutidas no concreto das fundações das edificações;
- as entradas dos serviços públicos de energia e sinais (telefonia, TV a cabo etc.) têm de estar localizadas próximas entre si e junto ao aterramento comum (os aterramentos de energia e de sinal dos equipamentos devem ser comuns na entrada da instalação);
- o aterramento do neutro deve ser feito somente na entrada da edificação — daí em diante, o neutro recebe o tratamento de um condutor vivo (energizado) – esquema TN-S;
- o condutor de aterramento tem de ser conduzido junto à cabeção de energia, desde a entrada da instalação.

O sistema de aterramento de instalações de baixa tensão inclui os seguintes elementos:

- condutores de proteção;
- condutores de ligação equipotencial e de aterramento;
- eletrodos de aterramento.

A esses elementos devem ser acrescentados os dispositivos de proteção primária contra sobretensões, a serem instalados na entrada de energia.

As definições relativas aos eletrodos de aterramento são mais amplas e completas na NBR 5419:2005, elaborada com base na norma internacional IEC-61024:1998, que contempla a utilização de ferragens estruturais para a função de eletrodos de aterramento.

5.1.1 Integração dos aterramentos

A moderna tecnologia para o dimensionamento de sistemas de aterramento de instalações industriais/comerciais, conforme estabelecido pelas normas NBR 5410:2004 e NBR 5419:2005, recomenda a integração dos seus diversos subsistemas, dentre os quais se destacam:

- o neutro e os condutores de proteção da rede de distribuição de energia;
- o aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- o aterramento das entradas de sinais e o “plano terra” para o aterramento de instalações contendo equipamentos eletrônicos (laboratórios, CPDs, estações de telecomunicações, sistemas de controle de processo etc.);
- o aterramento de estruturas metálicas diversas (ferragens estruturais, esquadrias, tubulações, tanques, cercas, *racks*, painéis etc.).

Tal integração resulta em benefícios para o funcionamento do sistema, devendo, porém, ser realizada com os devidos cuidados, de modo a evitar interferências indesejadas entre os diversos subsistemas. Dentre as vantagens da integração dos aterramentos, destacam-se:

- equipotencialização de massas metálicas;
- unificação das referências de terra;
- redução da resistência de aterramento da instalação, em função da maior área da malha.

5.2 Esquemas de Aterramento e de Proteção Associado

As redes de distribuição são classificadas segundo diversos esquemas de aterramento, que diferem entre si em função da situação da alimentação e das massas com relação à terra. Os diferentes sistemas são classificados segundo um código de letras na forma XYZ, em que:

X = identifica a situação da alimentação em relação à terra:

T = sistema diretamente aterrado;

I = sistema isolado ou aterrado por impedância.

Y = identifica a situação das massas da instalação com relação à terra:

T = massas diretamente aterradas;

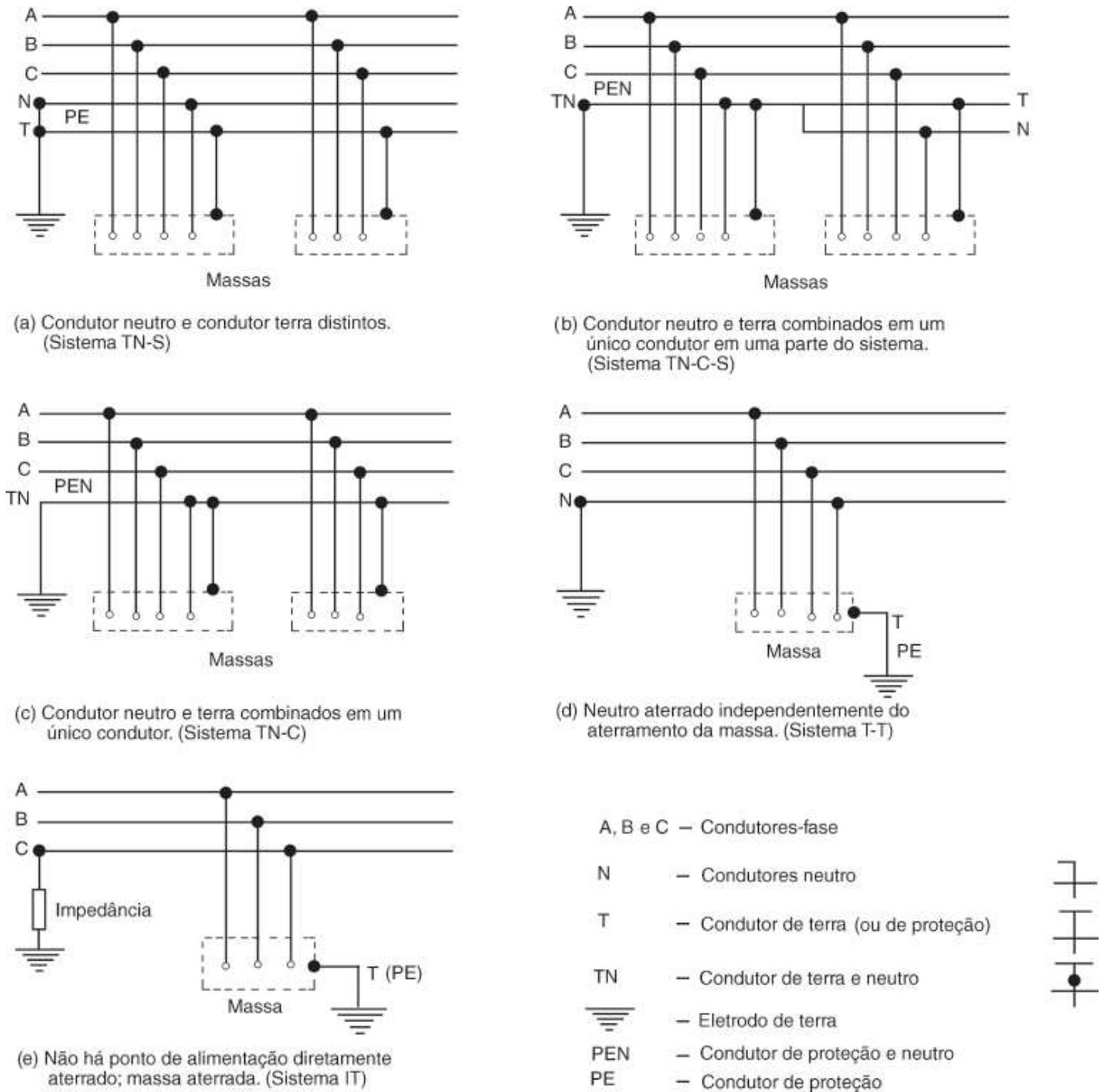
N = massas ligadas ao ponto de alimentação, onde é feito o aterramento.

Z = disposição dos condutores neutro e de proteção:

S = condutores neutro e de proteção separados;

C = neutro e de proteção combinados em um único condutor (PEN).

Os diversos esquemas de aterramento TN, TT e IT são apresentados na Figura 5.1.



Esquemas de aterramento.

Figura 5.1

A NBR 5410:2004 estabelece que as massas metálicas 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.

A tensão de contato limite – aquela que uma pessoa pode suportar de maneira indefinida e sem risco – é a função do modo como este contato é estabelecido (umidade local e caminho percorrido no corpo humano) e das condições ambientes (tipo de local onde ocorre o contato e de piso). A NBR 5410:2004 identifica quatro níveis de risco a que uma pessoa pode ser submetida a um choque elétrico, associados às condições do contato, apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 Resistência elétrica do corpo humano (Tabela 19 da NBR 5410:2004)

| Código | Classificação | Características | Aplicações e exemplos |
|--------|---------------|--------------------|---|
| BB1 | Alta | Condições secas | Circunstâncias nas quais a pele está seca (nenhuma umidade, nem mesmo suor) |
| BB2 | Normal | Condições úmidas | Passagem da corrente elétrica de uma mão a outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida de suor, sendo a superfície de contato significativa |
| BB3 | Baixa | Condições molhadas | Passagem da corrente elétrica entre as duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados ao ponto de se poder desprezar a resistência da pele e dos pés |
| BB4 | Muito baixa | Condições imersas | Pessoas imersas na água, por exemplo em banheiras e piscinas |

Tabela 5.2 Contato das pessoas com o potencial de terra (Tabela 20 da NBR 5410:2004)

| Código | Classificação | Características | Aplicações e exemplos |
|--------|---------------|---|--|
| BC1 | Nulo | Locais não condutivos | Locais cujo piso e paredes sejam isolantes e que não possuam nenhum elemento condutivo |
| BC2 | Raro | Em condições habituais, as pessoas não estão em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas | Locais cujo piso e paredes sejam isolantes, com elementos condutivos em pequena quantidade ou de pequenas dimensões e de tal maneira que a probabilidade de contato possa ser desprezada |
| BC3 | Frequente | Pessoas em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas | Locais cujo piso e paredes sejam condutivos ou que possuam elementos condutivos em quantidade ou de dimensões consideráveis |
| BC4 | Contínuo | Pessoas em contato permanente com paredes metálicas e com pequena possibilidade de poder interromper o contato | Locais como caldeiras ou vasos metálicos, cujas dimensões sejam tais que as pessoas que neles penetrem estejam de contínuo em contato com as paredes. A redução da liberdade de movimento das pessoas pode, por um lado, impedi-las de romper voluntariamente o contato e, por outro, aumentar os riscos de contato involuntário |

O tempo máximo de seccionamento é determinado diretamente em função da tensão nominal da instalação e do esquema de aterramento, conforme a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Tempos de seccionamento máximo (Tabelas 25 e 26 da NBR 5410:2004)

| Esquemas de aterramento | Tensão nominal (V) TN — fase-terra IT — fase-fase | Tempo de seccionamento (s) | |
|-------------------------|---|----------------------------|------------|
| | | Situação 1 | Situação 2 |
| TN | 115, 120, 127 | 0,8 | 0,35 |
| | 220, 254, 277 | 0,4 | 0,20 |
| | 400 | 0,2 | 0,05 |
| IT | 208, 220, 230 | 0,8 | 0,40 |

380, 400, 480

0,4

0,20

690

0,2

0,06

5.2.1 Esquema TN

O esquema TN (Figura 5.1(a), (b) e (c)) possui um ponto de alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto por condutores de proteção. A corrente de falta direta fase-massa é uma corrente de curto-circuito. Em função da combinação condutor de proteção/condutor neutro, o esquema TN apresenta as seguintes variações possíveis:

- esquema TN-S (Figura 5.1(a)), em que o condutor neutro (N) e o condutor de proteção (PE) são separados;
- esquema TN-C-S (Figura 5.1(b)), em que as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor (PEN) em uma parte da instalação;
- esquema TN-C (Figura 5.1(c)), em que as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor (PEN) ao longo de toda a instalação.

No esquema TN-C, a proteção apenas pode ser realizada por dispositivo a sobrecorrente (disjuntor convencional), uma vez que esse esquema é incompatível com o disjuntor DR (diferencial-residual), enquanto no esquema TN-S ambos os dispositivos podem ser utilizados.

Em instalações alimentadas por rede de alimentação pública que utilize esquema TN, quando não puder ser garantida a integridade do condutor PEN, devem ser utilizados disjuntores DR.

Nos sistemas TN, as características do dispositivo de proteção e as impedâncias dos circuitos devem atender à seguinte condição:

$$Z_s \times I_a \leq U_0,$$

Tabela 5.4 Tipos de situação (Tabela C.1 da NBR 5410:2004)

| Condição de influência externa | Situação |
|--------------------------------|------------|
| BB1, BB2 | Situação 1 |
| BC1, BC2, BC3 | Situação 1 |
| BB3 | Situação 2 |
| BC4 | Situação 2 |
| BB4 | Situação 3 |

Notas:

1) Alguns exemplos da situação 2:

- áreas externas (jardins, feiras etc.);
- canteiros de obras;
- estabelecimentos agropecuários;
- áreas de acampamento (*campings*) e de estacionamento de veículos especiais e reboques (*trailers*);
- volume 1 de banheiros e piscinas;
- compartimentos condutivos;
- dependências interiores molhadas em uso normal.

2) Um exemplo da situação 3, que corresponde aos casos de corpo imerso, é o do volume zero de banheiros e piscinas.

em que:

Z_s = impedância do percurso da corrente de falta;

I_a = corrente que assegura a atuação do dispositivo de proteção em um tempo máximo, conforme a Tabela 5.3;

U_0 = tensão nominal fase-terra.

5.2.2 Esquema TT

O esquema TT (Figura 5.1(d)) possui um ponto de alimentação diretamente aterrado, estando as massas da instalação ligadas a pontos de aterramento distintos do ponto de aterramento da instalação. A corrente de falta direta fase-massa é inferior a uma corrente de curto-circuito, podendo apresentar, porém, magnitude suficiente para produzir tensões de contato perigosas. Nos sistemas TT, a proteção por disjuntor DR é obrigatória, devendo ser atendida a seguinte condição:

$$R_A \times I_{D_n} \leq U_L,$$

em que:

R_A = resistência de aterramento das massas;

I_{D_n} = corrente diferencial-residual nominal;

U_L = tensão de contato limite.

5.2.3 Esquema IT

O esquema IT (Figura 5.1(e)) não possui nenhum ponto da alimentação diretamente aterrado (sistema isolado ou aterrado por impedância), estando, no entanto, as massas da instalação diretamente aterradas. As correntes de falta fase-massa não são elevadas o suficiente para dar origem a tensões de contato perigosas. Esses sistemas não devem possuir o neutro distribuído pela instalação, sendo obrigatória a utilização de dispositivo supervisor de isolamento (DSI) com alerta sonoro e/ou visual. As massas podem ser aterradas de dois modos:

- individual (ou por grupos) — proteção igual à de sistemas TT;
- coletivamente aterradas — valem as regras do esquema TN.

O esquema IT deve ser restrito às seguintes aplicações:

- suprimento de instalações industriais de processo contínuo, em que a continuidade da alimentação seja essencial, com tensão de alimentação igual ou superior a 380 V, com atendimento obrigatório das seguintes condições:
 - o neutro não é aterrado;
 - existe detecção permanente de falta para a terra;
 - a manutenção e a supervisão ficam a cargo de pessoal habilitado.
- suprimento de circuitos de comando, cuja continuidade seja essencial, alimentados por transformador isolador, com tensão primária inferior a 1 kV, com atendimento obrigatório das seguintes condições:
 - detecção permanente de falta para a terra;
 - manutenção e supervisão a cargo de pessoal habilitado;
 - circuitos isolados de reduzida extensão, em instalações hospitalares, onde a continuidade da alimentação e a segurança dos pacientes seja essencial;
 - alimentação exclusiva de fornos industriais;
 - alimentação de retificadores dedicados a acionamentos de velocidade controlada.

5.3 Eletrodos de Aterramento

O eletrodo de aterramento pode ser constituído por um único elemento ou por um conjunto de elementos. O termo tanto se aplica a uma simples haste enterrada quanto a várias hastes enterradas e interligadas e, ainda, a outros tipos de condutores em diversas configurações.

Um eletrodo deve oferecer para diversos tipos de corrente (faltas para a terra, descargas atmosféricas, eletrostáticas, de supressores de surto etc.) um percurso de baixa impedância para o solo. A eficiência do aterramento é caracterizada, em princípio, por uma baixa resistência. Na realidade, o fenômeno depende de muitos fatores, sobretudo a resistividade do solo, estendida a todo o volume de dispersão, que representa a maior incógnita por ser bastante variável segundo a natureza

do terreno, a umidade, a quantidade de sais dissolvidos e a temperatura (quanto maior a resistividade do terreno, maior a resistência de aterramento, mantidas as demais condições).

Devido à incerteza e à dificuldade na obtenção dos dados, é suficiente que o dimensionamento do aterramento forneça, no mínimo, as seguintes indicações:

- os materiais a serem utilizados;
- a geometria do eletrodo;
- a locação no terreno.

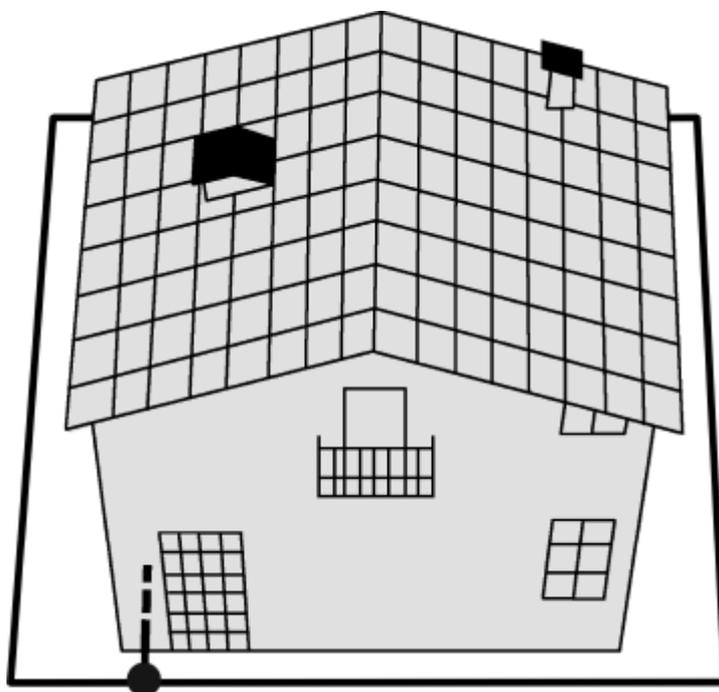
Na prática, é utilizado um eletrodo em anel (Figura 5.2) lançado no perímetro da edificação, que pode ser constituído por condutores horizontais e hastes interligadas entre si, diretamente enterrados no solo e/ou pelas próprias ferragens das fundações da edificação.

A chamada “malha de terra” (Figura 5.3) é constituída pela combinação de hastes e condutores que têm também a função de equalizar os potenciais na superfície do terreno, controlando as tensões de passo e de contato em níveis suportáveis para o corpo humano.

A resistência de aterramento de instalações de baixa tensão deve ser, se possível, inferior a 10Ω , o que pode ser obtido pela interligação de eletrodos radiais ou em anel, admitindo-se também configurações mistas. Esse valor de 10 é apenas referencial. A NBR 5419:2005 enfatiza esse aspecto. O valor da resistência de aterramento é importante, porém o estabelecimento de equipotencialidade é essencial. Em muitas situações, a combinação de solo de elevada resistividade e da pouca disponibilidade de área para o lançamento do aterramento torna impossível a obtenção de resistências inferiores a 10 (por exemplo, no caso de estações de telecomunicações no topo de morros).

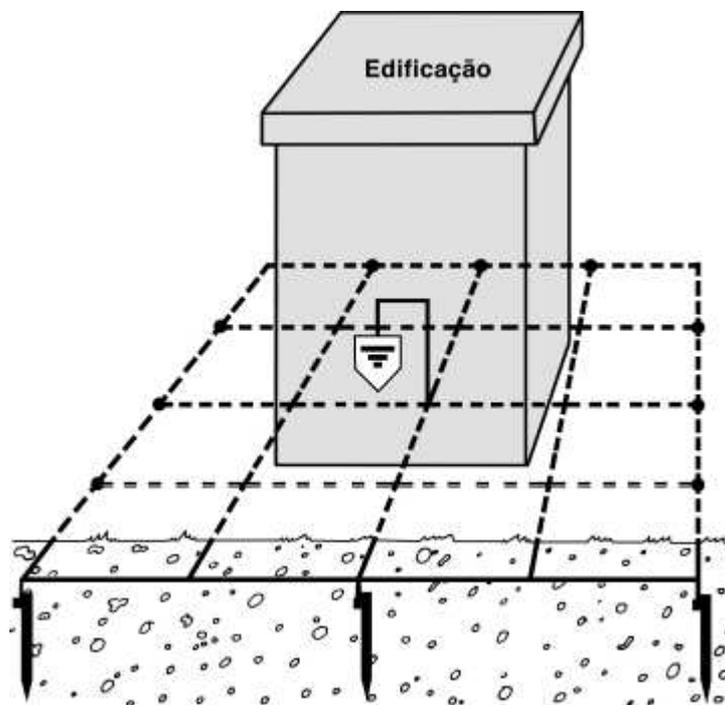
O item 6.4.1.1.1 da NBR 5410:2004 estabelece que, quando o aterramento pelas fundações não for praticável, o eletrodo de aterramento deve ser no mínimo constituído por um anel, complementado por hastes verticais, circundando o perímetro da edificação.

O item 6.4.1.1.4 da NBR 5410:2004 estabelece que não devem ser usadas como eletrodo de aterramento canalizações metálicas de fornecimento de água e outros serviços, o que não exclui a ligação equipotencial das mesmas à barra de aterramento principal (BEP).



Eletrodo em anel.

Figura 5.2



Malha de terra.

Figura 5.3

A Tabela 5.5 apresenta as dimensões mínimas de diferentes tipos de eletrodos de aterramento, bem como as recomendações quanto ao posicionamento dos mesmos, onde se destacam:

- condutores nus;
- hastes, cantoneiras ou tubos;
- fitas ou cabos de aço;
- ferragens do concreto armado.

Quanto aos aterramentos para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, a NBR 5419:2005 admite duas alternativas de configuração para os eletrodos do sistema de aterramento:

Arranjo A Composto por eletrodos radiais (verticais, horizontais ou inclinados) e indicado para pequenas estruturas (com perímetro de até 25 m) em solos de baixa resistividade (de até $100 \Omega \times m$), e cada condutor de descida deve ser conectado, no mínimo, a um eletrodo distinto, com extensão mínima de 5 m para condutores horizontais e 2,5 m para hastes verticais (enterrados a uma profundidade de 0,5 m e distantes pelo menos 1 m das fundações da edificação), de modo que resultem em resistências de aterramento inferiores a 10Ω , como explicado anteriormente.

Tabela 5.5 Dimensões mínimas de eletrodos de aterramento (Tabela 51 da NBR 5410:2004)

| Material | Superfície | Forma | Dimensões mínimas | | | |
|----------|---|---|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|
| | | | Diâmetro (mm ²) | Seção (mm ²) | Espessura do material (mm) | Espessura média do revestimento (µm) |
| Aço | Zincada a quente ⁽¹⁾ ou inoxidável ⁽¹⁾ | Fita ⁽²⁾ | | 100 | 3 | 70 |
| | | Perfil ⁽²⁾ | | 120 | 3 | 70 |
| | | Haste de seção circular ⁽³⁾ | 15 | | | 70 |
| | | Cabo de seção | | 95 | | 50 |

| | | | | | |
|-------|--|--|-----------------|----|-------|
| | | circular | | | |
| | | Tubo | 25 | 2 | 55 |
| | Capa de cobre | Haste de seção circular ⁽³⁾ | 15 | | 2 000 |
| | Revestida de cobre por eletrodeposição | Haste de seção circular ⁽³⁾ | 15 | | 254 |
| | | Fita | | 50 | |
| Cobre | Nu ⁽¹⁾ | Cabo de seção circular | | 50 | 2 |
| | | Cordoalha | 1,8 (cada veio) | 50 | |
| | | Tubo | 20 | | 2 |
| | | Fita ⁽²⁾ | | 50 | 2 |
| | Zincada | | | | |

⁽¹⁾Pode ser utilizado para embutir no concreto.

⁽²⁾Fita com cantos arredondados.

⁽³⁾Para eletrodo de profundidade.

Arranjo B Composto de eletrodos em anel ou embutidos nas fundações da estrutura, sendo obrigatório nas estruturas de perímetro superior a 25 m.

Vale lembrar que – mais do que os horizontais – os eletrodos de aterramento verticais apresentam maior eficiência na dissipação de descargas impulsivas para o solo, tais como as que caracterizam as descargas atmosféricas. Os aterramentos do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e da instalação elétrica devem ser interligados, de preferência, em um eletrodo comum, conforme apresentado na Figura 5.5.

O arranjo B, quando embutido nas fundações da edificação, apresenta diversas vantagens com relação ao arranjo A, dentre as quais se destacam:

- menor custo de instalação;
- vida útil compatível com a da edificação;
- resistência de aterramento mais estável;
- maior proteção contra seccionamentos e danos mecânicos.

5.3.1 Ligações de aterramento

O item 6.4.2.1.3 da NBR 5410:2004 estabelece que, em qualquer instalação, deve ser previsto um terminal ou uma BEP, que deve localizar-se na edificação, podendo ser a ele ligados os seguintes condutores:

- condutor de aterramento (que interliga o eletrodo de aterramento à BEP);
- condutores de proteção principais (PE);
- condutores de equipotencialização principais;
- condutores terra paralelos (PEC);
- condutor neutro, se o aterramento deste for previsto neste ponto;
- barramento de equipotencialização funcional, se necessário;
- condutores de equipotencialização ligados a eletrodos de aterramento de outros sistemas (por exemplo, SPDA);
- elementos condutivos da edificação.

A interligação do neutro da rede externa de distribuição, quando a alimentação for realizada em baixa tensão, é essencial para a obtenção do grau mínimo de efetividade de aterramento do neutro, conforme os projetos de redes de distribuição padronizados pelas concessionárias de energia elétrica.

A Figura 5.4 apresenta um esquema de ligação equipotencial para a utilização em instalações prediais. A Figura 5.5 apresenta as diferentes configurações de aterramento de mastro para-raios e de antenas, com relação ao terminal de ligação equipotencial.

As conexões para o aterramento de tubulações metálicas devem utilizar cintas/braçadeiras do mesmo material do tubo, de modo a evitar corrosão por formação de pares galvânicos. No caso da canalização de gás, deve ser instalada uma luva isolante próximo à sua entrada na edificação, de modo a promover a separação elétrica entre a rede pública de gás e a instalação do consumidor.

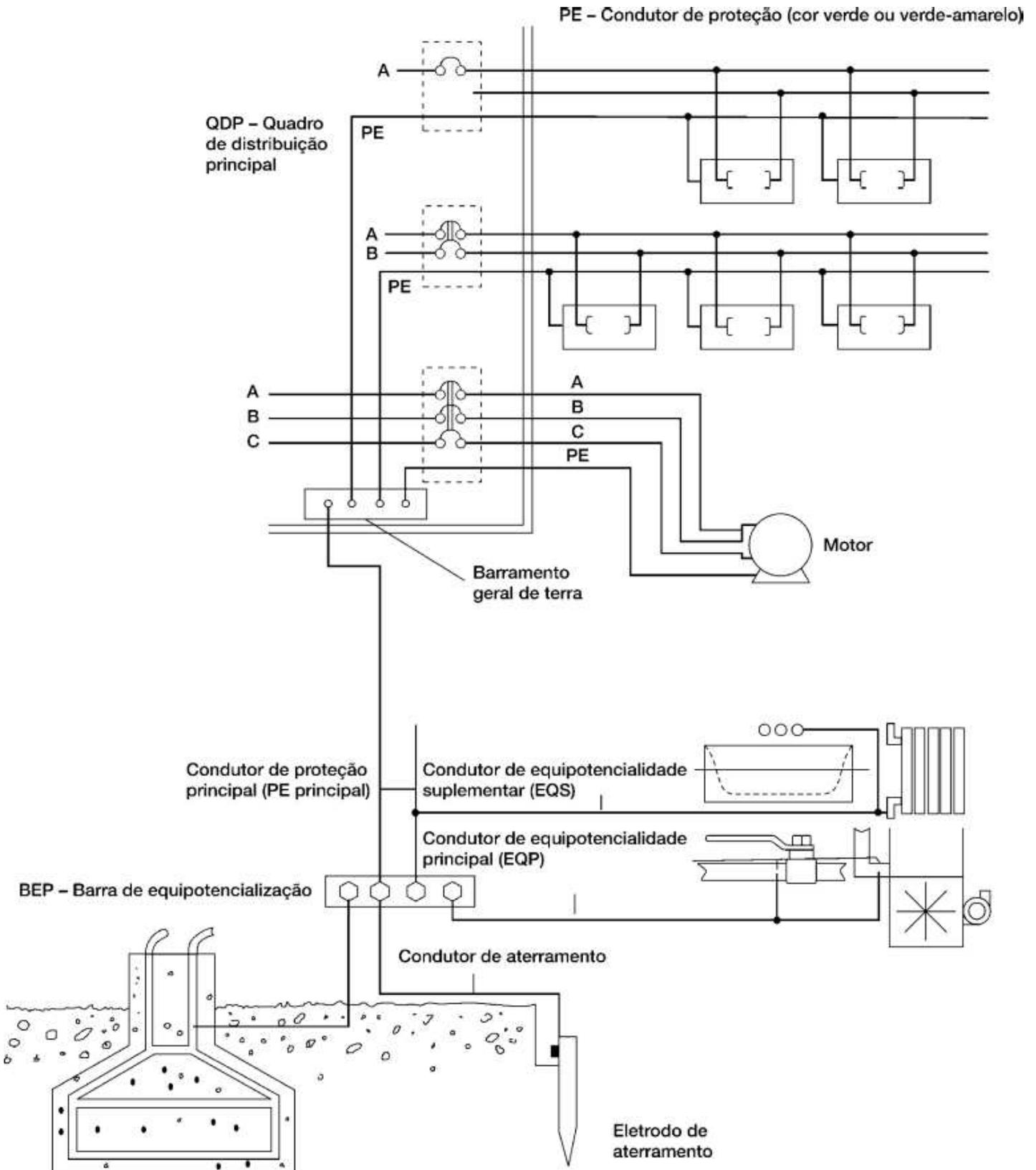
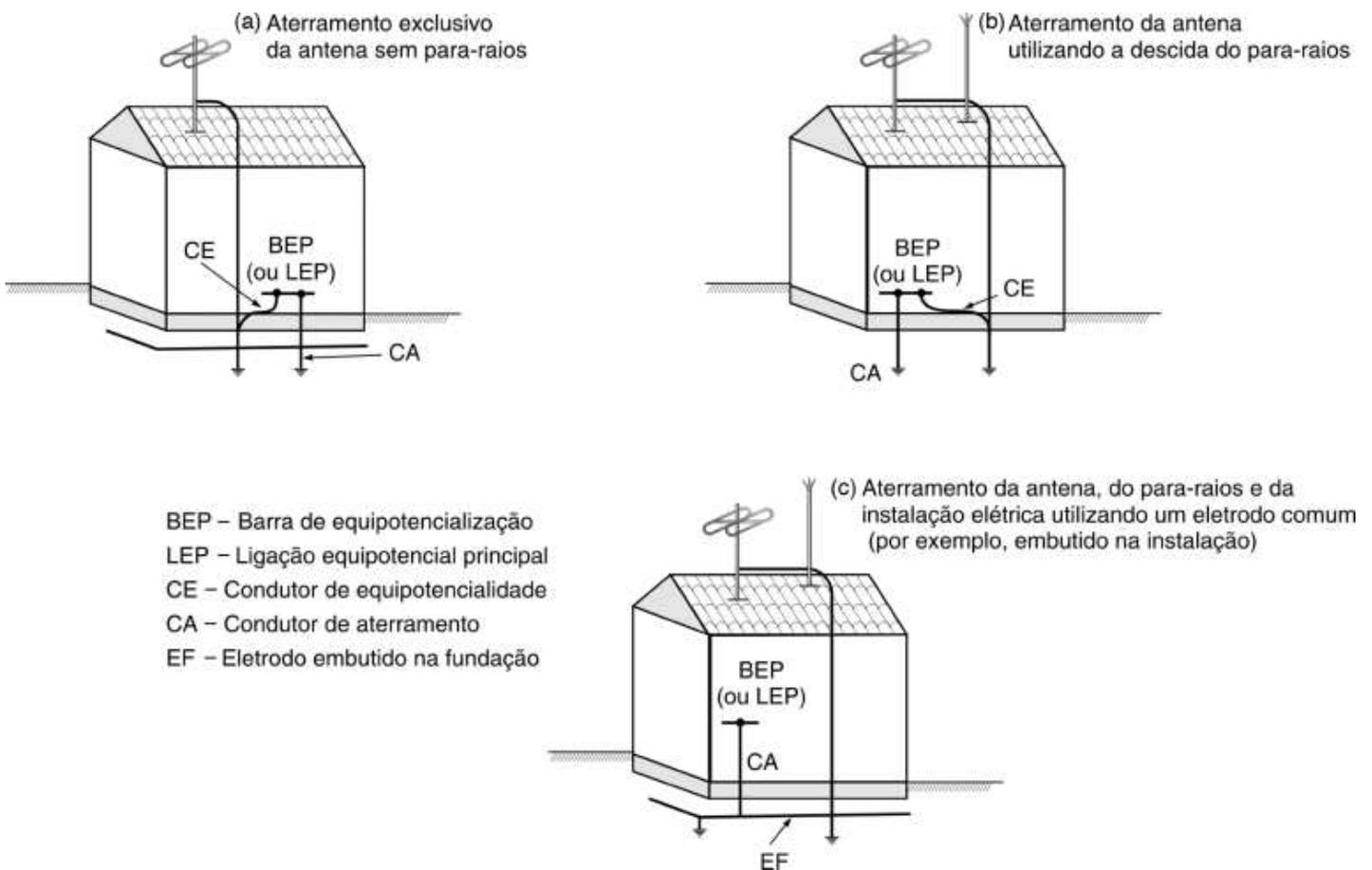


Figura 5.4

Os condutores utilizados para as ligações equipotenciais ao terminal principal devem possuir seção mínima igual à metade do condutor de proteção de maior bitola da instalação, com um mínimo de 6 mm². Admite-se um máximo de 25 mm² para condutores de cobre ou seção equivalente para outros metais. Os condutores destinados à conexão de massas metálicas aos eletrodos enterrados deverão possuir as bitolas mínimas constantes da Tabela 5.6.

Em redes industriais, as ligações equipotenciais podem ser realizadas pela conexão dos condutores de proteção dos equipamentos elétricos ao barramento PEN dos quadros/painéis de distribuição e/ou pela conexão direta de estruturas metálicas, em geral, à malha de aterramento.

A utilização dos condutores de proteção dos equipamentos elétricos para o aterramento do maquinário por eles acionado é adequada, usualmente, para instalações abrigadas no interior de prédios, galpões etc. No caso de instalações abertas ou ao tempo, é importante – além do uso de condutores de proteção dos motores elétricos – que sejam realizadas conexões das estruturas metálicas diretamente à malha de aterramento, procedimento este que se justifica por diversas razões, entre as quais:



Ligação equipotencial e aterramento de para-raios e de antenas.

Figura 5.5

- as distâncias entre os motores e os CCMs (centros de controle de motores) são, em geral, maiores do que no interior de edificações;
- em condição de chuva, as tensões de toque e passo são agravadas em função de as superfícies das estruturas e do piso estarem molhadas;
- há riscos associados à exposição direta a descargas atmosféricas.

Tabela 5.6 Seções mínimas de condutores de aterramento enterrados no solo (Tabela 52 da NBR 5410:2004)

| | Protegidas contra danos mecânicos | Não protegidas contra danos mecânicos |
|--------------------------|---|--|
| Protegidos contra erosão | Cobre: 2,5 mm ² Aço: 10 mm ² | Cobre: 16 mm ² Aço: 16 mm ² |

Não protegidos contra erosão

Cobre: 50 mm² (solos ácidos ou alcalinos)

Aço: 80 mm²

As descidas de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas constituem-se em casos particulares de condutores de aterramento. O condutor de descida não deve ser encaminhado no interior de um duto metálico ou, quando embutido em colunas de concreto, não deve ser lançado no centro das ferragens, de modo a evitar o aumento da sua impedância. A Tabela 5.7 apresenta as seções mínimas para esses condutores, em função dos materiais utilizados e da fração da corrente de descarga prevista para circular nos mesmos.

Tabela 5.7 Seções mínimas dos condutores de descida e eletrodo de aterramento (Tabela 3 da NBR 5419:2005)

| Material | Seção do condutor (mm ²) | |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| | Descida | Eletrodo de aterramento |
| Cobre | 16 | 50 |
| Alumínio | 25 | — |
| Aço galvanizado a quente | 20 | 80 |

5.4 Condutores de Proteção

O condutor de proteção tem por função o aterramento das massas metálicas de equipamentos elétricos. O seu dimensionamento visa à proteção de pessoas contra choques elétricos devido a contatos indiretos – ou seja, o toque na carcaça de um equipamento (ou estrutura metálica anexa) que ficou sob tensão em consequência de uma falha de isolamento interna –, bem como ao desempenho adequado dos dispositivos protetores, sejam por sobrecorrente (fusíveis e disjuntores) ou a corrente diferencial-residual (interruptor ou disjuntor DR).

Em função do esquema de aterramento da instalação, o condutor de proteção proverá o aterramento das massas metálicas a ele conectadas, diretamente no ponto de aterramento da alimentação (esquema TN, predominante em redes industriais) ou em ponto distinto do de aterramento da alimentação (esquemas TT e IT).

A NBR 5410:2004 considera que a continuidade do condutor de proteção vem a ser um dos cinco ensaios básicos a que uma instalação deve ser submetida quando do seu comissionamento.

A seção mínima do condutor pode ser determinada pela expressão (aplicável apenas para tempos de atuação dos dispositivos de proteção inferiores a 5 segundos):

$$S \geq \frac{\sqrt{I^2 \times t}}{K},$$

em que:

S = seção mínima do condutor de proteção (mm²);

I = valor (eficaz) da corrente de falta que pode circular pelo dispositivo de proteção, para uma falta direta (A);

t = tempo de atuação do dispositivo de proteção (s);

K = constante definida na Tabela 5.8 (fator que depende do material do condutor de proteção, de sua isolação e outras partes, bem como das temperaturas inicial e final).

Esta expressão leva em consideração apenas as condições de aquecimento do condutor à passagem da corrente de falta, podendo resultar em seções muito pequenas, que podem não atender aos requisitos de resistência mecânica e, principalmente, de impedância mínima.

A seção mínima do condutor de proteção pode ser determinada em função da seção dos condutores-fase do respectivo circuito, contanto que os condutores em questão sejam constituídos do mesmo material, conforme indicado na Tabela 5.9. Para isso, deve-se escolher o condutor de maior área das duas alternativas de dimensionamento.

Tabela 5.8 Valores de K — Dimensionamento de condutores de proteção, temperatura ambiente de 30 °C (Tabelas 53 a 57 da NBR 5410:2004)

| Cabos isolados | | Material da cobertura | |
|---|----------------------|-----------------------|----------------|
| Tipo de condutor | Material do condutor | PVC 70 °C | EPR/XLPE 90 °C |
| Independentes (condutor isolado, cabo unipolar ou cabo nu em contato com a cobertura do cabo) | Cobre Alumínio Aço | 143 | 176 |
| | | 95 | 116 |
| | | 52 | 64 |
| Veias de cabos unipolares | Cobre Alumínio | 115 | 143 |
| | | 76 | 94 |

| Cabos nus condições de aplicação | Material | | |
|-------------------------------------|----------|--------------|-----|
| | Cobre | Alumínio | Aço |
| Visível e em área restrita (500 °C) | 228 | 125 (300 °C) | 82 |
| Condições normais (200 °C) | 159 | 105 | 58 |
| Risco de incêndio (150 °C) | 138 | 91 | 50 |

Temperaturas máximas entre parênteses.

Nas instalações fixas, com esquemas de aterramento TN, as funções de condutor de proteção e neutro podem ser combinadas (condutor PEN), desde que essa parte da instalação não seja protegida por um dispositivo DR, sendo admitidas as seguintes seções mínimas:

- 10 mm² em cobre;
- 16 mm² em alumínio;
- 4 mm² se o condutor fizer parte de um condutor concêntrico.

Tabela 5.9 Seção mínima do condutor de proteção (mm²) em função da seção do condutor-fase (Tabela 58 da NBR 5410:2004)

| Condutores-fase | Condutor de proteção |
|-----------------|----------------------|
| $S < 16$ | S |
| $16 < S < 35$ | 16 |
| $S > 35$ | S/2 |

Tal esquema de aterramento exige continuidade do condutor PEN desde o transformador e recomenda o multiterramento do condutor de proteção, sobretudo nas entradas de edificações. Se, a partir de um ponto qualquer da instalação, o neutro e o condutor de proteção forem separados, não é permitido religá-los após esse ponto. No ponto de separação, devem ser previstos terminais ou barras separadas para o condutor de proteção PE e o neutro. O condutor PEN deve ser ligado ao terminal ou à barra previstos para o condutor de proteção PE e aterrado na BEP da edificação (esquema TN-C-S).

A seção mínima de qualquer condutor de proteção que não faça parte do mesmo invólucro que os condutores vivos deverá ser de 2,5 ou 4,0 mm², respectivamente, se possuir ou não proteção mecânica. Podem ser utilizados como condutores de proteção:

- veias de cabos multipolares;

- condutores isolados ou cabos unipolares em um conduto comum aos condutores vivos;
- condutores isolados, cabos unipolares ou condutores nus independentes, com trajeto idêntico aos circuitos protegidos;
- proteções metálicas ou blindagens de cabos;
- eletrodutos e outros condutos metálicos.

Elementos metálicos – tais como proteções e blindagens de cabos de energia, invólucros de barramentos blindados e eletrodutos – poderão ser interligados como condutores de proteção se a sua continuidade elétrica for garantida e se a sua condutância atender aos critérios de dimensionamento aqui apresentados. Cabem, ainda, as seguintes observações:

- os invólucros de barramentos blindados devem permitir a conexão de condutores de proteção em todos os cofres de derivação;
- as canalizações de água e gás não devem ser utilizadas como condutores de proteção;
- somente cabos ou condutores podem ser utilizados como condutores PEN;
- um condutor de proteção pode ser comum a vários circuitos de distribuição ou terminais, quando estes estiverem contidos em um mesmo conduto (devendo, nesse caso, ser dimensionado com base no condutor-fase do circuito mais carregado).

É fundamental ressaltar a importância do agrupamento do elemento de proteção (condutor, blindagem ou eletroduto) próximo aos condutores vivos do circuito correspondente, de modo a minimizar a impedância do circuito, garantindo um caminho de retorno natural para as correntes de falta fase-terra, tendo em vista a melhor atuação das proteções por sobrecorrente.

Outros caminhos de retorno – tais como malha de aterramento ou estruturas metálicas – apresentam elevada impedância, em função dos afastamentos para com os condutores vivos, e permitem o surgimento de tensões ou correntes induzidas em outros circuitos ou estruturas condutoras existentes nas imediações.

Há riscos associados ao campo eletromagnético resultante do retorno inadequado de altas correntes de curto-circuito. Entre eles, além dos potenciais de toque perigosos, podem ser citados o surgimento de centelhamentos em conexões metálicas eletricamente imperfeitas (crítico em ambientes de atmosferas explosivas) e induções de tensões e correntes em circuitos de sinal, com consequências que vão do simples ruído à queima de placas e componentes.

5.5 Aterramento de Equipamentos Eletrônicos Sensíveis

Também chamados Equipamentos de Tecnologia da Informação (ETI), incluem:

- equipamentos de telecomunicação e de transmissão de dados, equipamentos de processamentos de dados ou instalações que utilizam transmissão de sinais com retorno à terra, interna ou externamente ligada a uma edificação;
- fontes de corrente contínua que alimentam ETIs no interior de uma edificação;
- equipamentos e instalações de CPCT — Central Privativa de Comutação Telefônica (PABX);
- redes locais;
- sistemas de alarme contra incêndio e contra roubo;
- sistemas de automação;
- sistemas CAM (*Computer Aided Manufacturing*) e outros que utilizam sistema microprocessados.

De modo a reduzir os problemas de interferências, a alimentação desses equipamentos nunca deve ser em esquema TN-C, o que significa que devem ser lançados condutores neutro e de proteção separados desde a origem da instalação (Quadro de Distribuição Principal da edificação e aterrado na BEP da mesma – esquema TN-C-S). Se a instalação elétrica possuir um transformador, grupo gerador, sistemas UPS (*Uninterruptible Power Systems*) ou fonte análoga responsável pela alimentação de ETIs, e se essa fonte for, ela própria, alimentada em esquema TN-C, deve-se adotar o esquema TN-C-S em sua saída.

A BEP pode ser prolongada por um Barramento de Equipotencialidade Funcional (BEF) para aterrar os ETIs em qualquer ponto da edificação onde os mesmos se encontrem instalados. Ao BEF podem ser ligados:

- quaisquer dos elementos normalmente ligados à barra BEP da edificação;
- blindagens e proteções metálicas dos cabos e equipamentos de sinais;
- condutores de equipotencialização dos sistemas de trilhos;

- condutores de aterramento dos DPSs;
- condutores de aterramento de antenas de radiocomunicação;
- condutor de aterramento do polo “terra” de alimentações em corrente contínua ETIs;
- condutores de aterramento funcional;
- condutores equipotencialização que interligam o eletrodo de aterramento dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas;
- condutores de ligações equipotenciais suplementares.

Para o atendimento dos ETIs, o BEF deve ser, de preferência, em barra chata (que apresenta indutância inferior à de um condutor cilíndrico), podendo constituir um anel fechado em ambientes restritos, desde que acessível em toda a sua extensão. A confiabilidade da ligação equipotencial entre dois pontos do barramento de equipotencialização funcional depende da impedância do condutor utilizado, a qual é determinada pela seção e pelo percurso. Para frequências de 50 Hz ou de 60 Hz, caso mais comum, um condutor de cobre de 50 mm² de seção nominal constitui uma boa relação entre custo e impedância. A ligação equipotencial pode incluir condutores, capas metálicas de cabos e partes metálicas da edificação, tais como tubulações de água e eletrodutos, ou uma malha instalada em cada pavimento ou em parte de um pavimento. É conveniente incluir as armaduras de concreto da edificação na ligação equipotencial.

Quando a instalação de um eletrodo ou um sistema adicional de eletrodos de aterramento local (aterramento funcional) for requerida para o funcionamento de ETIs, deve ser providenciada uma conexão do mesmo à BEP da instalação, por um condutor de aterramento funcional, que deve ter a seção mínima de 10 mm² e ser de cobre ou de material com condutância equivalente. Dispositivos eletromagnéticos (grampos de núcleo de ferrite, por exemplo) podem ser incorporados a esse condutor de aterramento funcional para que se reduzam as interferências eletromagnéticas de alta frequência.

5.6 Aterramento em Armaduras de Estruturas de Concreto

A utilização das ferragens de fundação de edificações como elementos naturais para o aterramento de instalações de baixa tensão e de sistemas de proteção de estruturas e edificações contra descargas atmosféricas diretas é uma técnica recomendada pelas normas brasileiras (NBR 5410:2004 e NBR 5419:2005) e de outros países.

A NBR 5410:2004, no item 6.3.5.2.1 (Subsistema de Aterramento), estabelece:

“Do ponto de vista da proteção contra o raio, um subsistema de aterramento único integrado à estrutura é preferível e adequado para todas as finalidades (ou seja, proteção contra o raio, sistemas de potência de baixa tensão e sistemas de sinal).”

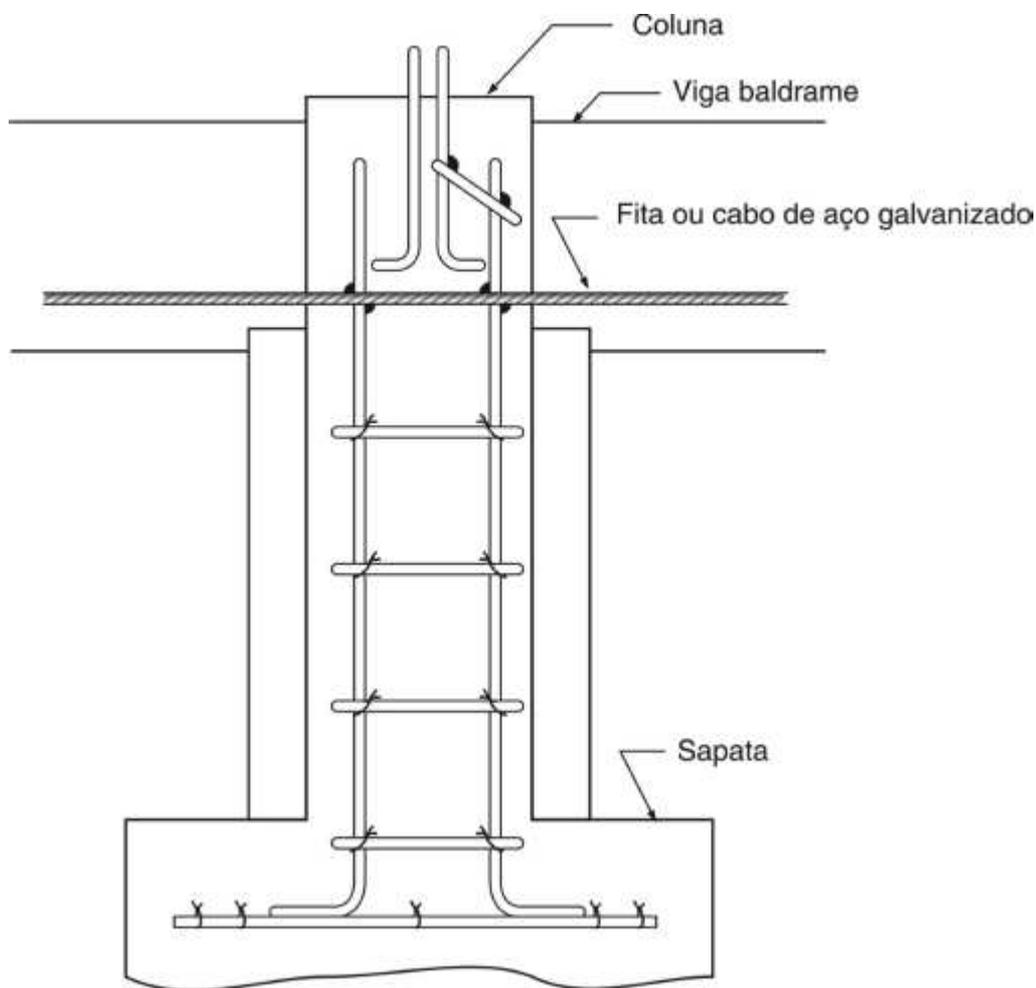
A experiência tem demonstrado que as armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e das vigas baldrame, interligadas nas condições correntes de execução, constituem um eletrodo de aterramento de excelentes características elétricas. As armaduras de aço das fundações, juntamente com as demais armaduras do concreto da edificação, podem constituir, nas condições prescritas pela NBR 5419:2005, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (aterramento e gaiola de Faraday, complementado por um sistema captor).

O uso das armaduras do concreto armado da edificação como elementos naturais do sistema de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas permite uma melhor distribuição da corrente do raio entre as colunas, com a consequente redução dos campos magnéticos no interior da estrutura, beneficiando, também, a equalização dos potenciais.

Os elementos das fundações, do ponto de vista de contribuição para o sistema de aterramento, podem ser classificados de duas maneiras:

Componentes unitários – Blocos e sapatas — que apresentam, individualmente, resistências da ordem de 50 V, e cuja contribuição deve ser medida pelo número de elementos em paralelo.

Componentes contínuos – Estacas, tubulações e vigas baldrame — cuja contribuição é função da extensão da superfície de contato com o solo.



Aterramento em fundação de edificação.

Figura 5.6

O item 6.4.1.1.10 da NBR 5410:2004 estabelece que, no caso de fundações em alvenaria, o eletrodo de aterramento pode ser constituído por uma fita de aço ou barra de aço de construção, imersa no concreto das fundações, formando um anel em todo o perímetro da edificação. A fita deve ter, no mínimo, 100 mm^2 de seção e 3 mm de espessura; além disso, deve ser disposta na posição vertical. A barra precisa ter, no mínimo, 95 mm^2 de seção. A fita ou a barra tem de ser envolvida por uma camada de concreto com espessura mínima de 5 cm.

A NBR 5419:2005 admite a alternativa anterior para esse tipo de aterramento, assim como a utilização das armações de aço das estacas, de blocos de fundações e de vigas baldrame, que devem ser firmemente amarradas com arame torcido em cerca de 50% dos cruzamentos, sendo que as barras de aço precisam ser sobrepostas em uma extensão mínima de 20 vezes o seu diâmetro com pelo menos dois estribos (Figura 5.6).

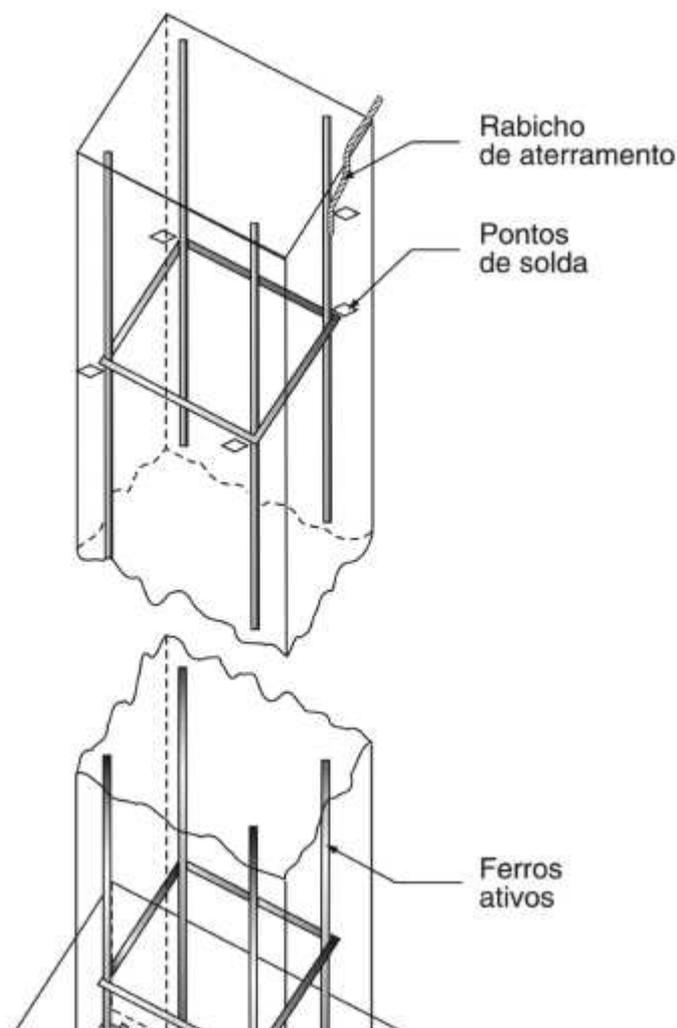
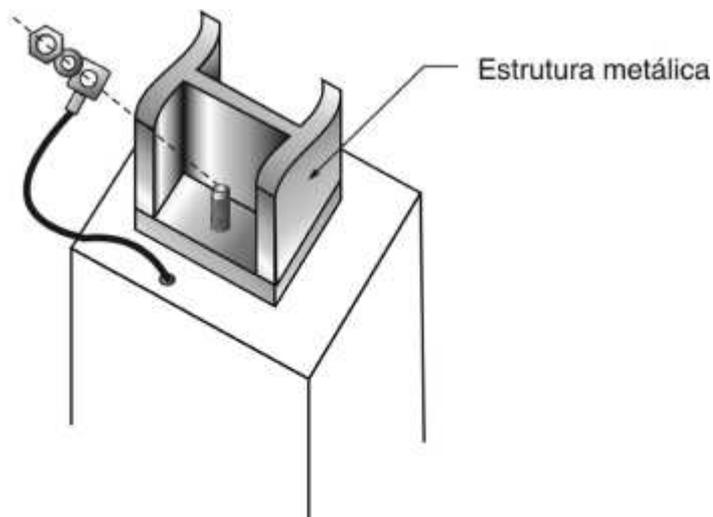
Quando da utilização da primeira alternativa em fundações de concreto armado, a barra ou a fita deve ser lançada logo acima da ferragem mais profunda e a ela amarrada, a intervalos regulares, por meio de arame torcido, conforme ilustrado na Figura 5.7. Se não houver ferragem na fundação, deverão ser utilizados suportes no fundo da forma, espaçados de 2 m, de modo que se posicione o eletrodo de fundação a uma distância mínima de 5 cm do solo.

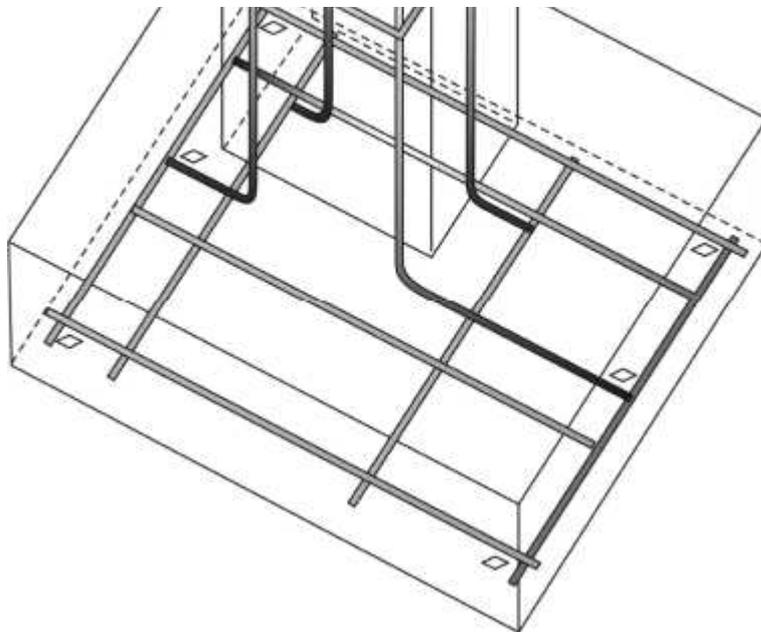
No caso de opção pela segunda alternativa, podem ser incluídas algumas ferragens adicionais nas fundações, para que se exerça também a função de eletrodos de aterramento. Essas ferragens devem ser interligadas entre si, por meios mecânicos ou eletricamente soldadas, e amarradas às demais ferragens da construção, de modo que se garanta a continuidade elétrica dos diversos elementos componentes das fundações. A utilização de solda elétrica nas ferragens estruturais não é aconselhável, pois alguns tipos de ferro podem tornar-se quebradiços e, assim, comprometer a sua função estrutural.

Para ambas as opções, devem ser previstas conexões de interligação externas sempre que a continuidade elétrica de ferragens de elementos construtivos distintos não puder ser garantida antes da concretagem (por exemplo, em juntas de dilatação). É mais importante assegurar a continuidade dos elementos periféricos da fundação da edificação do que daqueles localizados no seu interior, pois é maior a contribuição destes últimos para a redução da resistência de aterramento do conjunto (devido à maior área de malha obtida e ao menor efeito de acoplamento mútuo entre os elementos periféricos).

Em construções com concreto protendido, os cabos tensionados não podem ser considerados como integrantes do sistema de escoamento de descarga de raios (telhas de concreto protendido, por exemplo). Porém as armaduras dos pilares (que nunca são protendidas) e as armaduras passivas, que sempre existem nas lajes com elementos protendidos, podem ser utilizadas, sem restrição, como parte da gaiola de Faraday.

O item 6.4.1.2.3 da NBR 5410:2004 estabelece que, quando o eletrodo de aterramento estiver embutido nas fundações, a ligação ao eletrodo deve ser realizada diretamente, por solda elétrica, à armadura do concreto mais próxima, com seção não inferior a 50 mm^2 , de preferência com diâmetro não inferior a 8 mm ou ao ponto mais próximo do anel (fita ou barra) embutido nas fundações. Em ambos os casos, deve ser utilizado um condutor de aço com diâmetro mínimo de 10,6 mm ou uma fita de aço de $25 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$. Com o condutor de aço citado, acessível fora do concreto, a ligação à barra ou ao condutor de cobre para utilização deve ser feita por solda exotérmica ou por processo equivalente do ponto de vista elétrico e da corrosão. Em alternativa, podem ser usados acessórios específicos de aperto mecânico para derivar o condutor de terra diretamente da armadura do concreto, ou da barra de aço embutida nas fundações, ou, ainda, do condutor de aço derivado para o exterior do concreto.





Ferragens de diversos tipos de elementos de fundações.

Figura 5.7

Nos projetos de novas edificações, o uso da ferragem pode ser implementado pela inserção de barras específicas de aço em adição às barras estruturais.

Nas fundações, devem ser instaladas barras de aço adicionais, com área de 150 mm^2 (retangular de $50 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ ou redonda de 10 mm de diâmetro), soldadas entre si ou presas firmemente com conectores aparafusados, formando um anel no perímetro externo do prédio. Nos prédios de grandes dimensões, poderão ser lançados ferros adicionais, transversais, formando malhas de $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$, aproximadamente. De uma dessas transversais deverá sair (por conexão ou solda) um cabo ou barra de cobre isolado de 35 mm , para interligação à BEP – ou à LEP. Essas barras adicionais deverão ser amarradas à ferragem estrutural por arame de aço recozido.

No caso de fundações construídas com uma proteção externa para impermeabilização, os ferros que desempenharão a função de aterramento deverão ser imersos na camada de concreto que é lançada na valeta (de $0,1$ a $0,15 \text{ m}$ de espessura) antes da colocação da manta de impermeabilização (dentro da qual é lançada a fundação).

Nas colunas, pelo menos a cada 20 m no perímetro externo do prédio, deverão ser instaladas barras de aço (desde a fundação até a cobertura), preferencialmente de superfície lisa, dedicadas ao SPDA. Tais barras deverão ser soldadas (ou firmemente presas com conectores) entre si e às barras de aço da fundação dedicadas ao SPDA. Nos prédios grandes, elas deverão ser instaladas também nas colunas internas correspondentes às barras transversais de aterramento.

Em prédios altos (com mais de 20 m), deverão ser instaladas barras horizontais a cada 20 m , formando anéis fixados por solda (ou conectores) às barras verticais específicas do SPDA e amarradas por arame de aço recozido à ferragem do concreto armado.

Na coluna correspondente ao *shaft* das prumadas, deve ser instalada uma barra vertical ligada à barra das fundações, mas que não deverá chegar à cobertura. A essa barra serão ligados elementos de interligação (rabichos, derivação em vergalhão ou placa de aterramento) em cada andar ou a cada 3 andares, dependendo do projeto de instalação elétrica, para ser o ponto de aterramento de todas as unidades de cada andar ou cada grupo de 3 andares. A esses elementos serão interligados os condutores PE ou PEN dos quadros de distribuição do edifício, desde a BEP.

Em prédios comerciais, nos locais onde seja prevista a instalação de grupos de ETIs, é possível que se melhorem as condições de aterramento e blindagem por meio de medidas adicionais, como, por exemplo, instalando:

- no piso, uma tela de fios de aço soldados ($\phi = 3$ a 5 mm) com reticulado de $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ aproximadamente;
- nas paredes externas, também telas de mesmo reticulado, podendo ser de fios mais finos ($\phi = 3 \text{ mm}$);
- quadros com as molduras metálicas ligadas à ferragem estrutural;
- vidros das janelas do tipo aramado (com uma tela de fios de aço entre duas lâminas de vidro).

As telas de piso e paredes deverão ser interligadas entre si e à ferragem estrutural.

Os ferros no topo dos pilares deverão ser interligados à armação da laje e ser eletricamente acessíveis na superfície externa da cobertura, para interligação com a estrutura metálica de cobertura ou com um sistema próprio de elementos captadores de descargas (mastros para-raios, terminais aéreos, cabos captadores, gaiola de Faraday etc.).

Em construções pré-moldadas, deve-se solicitar ao fabricante que deixe os ferros acessíveis nas bordas ou extremidades de cada peça, para interligação quando da montagem na obra.

Devem ser previstos pontos internos e externos de conexão às ferragens estruturais, que servirão para o aterramento de elementos da construção e das instalações prediais, assim como para a realização de testes de continuidade.

Esses pontos deverão ser acessíveis na superfície acabada de paredes, vigas, colunas e pisos, por meio de placas de aterramento, rabichos em fita ou cabo nu, vergalhão de ferro etc. A seleção dos materiais deverá levar em consideração os riscos de corrosão no local de instalação. As interligações com o ferro estrutural devem ser feitas com conectores mecânicos, de modo que não se comprometa a sua resistência com esforços térmicos resultantes do uso de solda, seja elétrica ou exotérmica. A solda poderá ser utilizada em ferro adicional nas colunas e fundações, com a função específica de aterramento e de proteção elétrica.

Os pontos de aterramento externos estarão usualmente localizados no topo ou na base da edificação. No primeiro caso, disponibilizam pontos de interligação das ferragens das colunas com a rede captora de raios. No segundo caso, visam à interligação dos elementos de fundação a estruturas externas, tais como torres, postes de iluminação, fundações de edificações próximas etc. Essa interligação deverá ser feita em placas de aterramento localizadas nas paredes externas da edificação, 0,3 m acima do nível do solo.

Os pontos internos disponibilizam conexões de aterramento nas ferragens estruturais, para elementos da infraestrutura da edificação, tais como:

- *shafts* de energia e comunicações, nos diversos pavimentos da edificação;
- nas entradas de energia e de telefonia (DG);
- em salas técnicas — subestações, casas de máquinas de elevadores e de ar condicionado, porões de bombas, CPDs, salas de telecomunicações etc.

5.7 Tensões Associadas ao Aterramento

A intensidade da corrente elétrica que atravessa uma impedância depende diretamente, como demonstra a lei de Ohm, da tensão aplicada. Daí a necessidade de que se classifiquem as diversas situações de perigo em função do valor da tensão que possa ser aplicada ao corpo humano, considerado do ponto de vista elétrico como uma impedância (resistência).

A NBR 5410:2004 classifica as tensões de uma instalação em duas faixas: I e II. A faixa I corresponde a tensões nominais menores ou iguais a 50 V (CA) ou a 120 V (CC), e nela podemos considerar:

- *a extrabaixa tensão de segurança* — fonte isolada da terra, circuitos e equipamentos de utilização também isolados da terra, bem como de outros circuitos, e obedecendo a critérios particulares;
- *a extrabaixa tensão funcional* — quando tensões inferiores a 50 V (ou a 120 V) são necessárias para o funcionamento de equipamentos, não sendo tomadas medidas específicas de separação em relação a circuitos de tensão superior.

A faixa II corresponde a tensões nominais superiores a 50 V e até 600 V (entre fase e neutro) e 1 000 V (entre fases), em CA, e a tensões nominais superiores a 120 V e até 900 V (entre polo e terra) e 1 500 V (entre polos), em CC. Para essas tensões, o contato é considerado perigoso, e devem ser tomadas medidas de proteção. As instalações podem utilizar os esquemas TT, TN ou IT, ou ser isoladas da terra por separação elétrica.

5.7.1 Tensão nominal de um sistema elétrico em relação à terra (V_0)

Trata-se do valor da tensão entre um condutor-fase e a terra em condições de funcionamento nominal. Nos esquemas TT e TN, coincide com a tensão entre fase e neutro (127 V nos sistemas 127/220 V, e 220 V nos sistemas 220/380 V).

5.7.2 Tensão de falta (tensão total em relação à terra) (V_F)

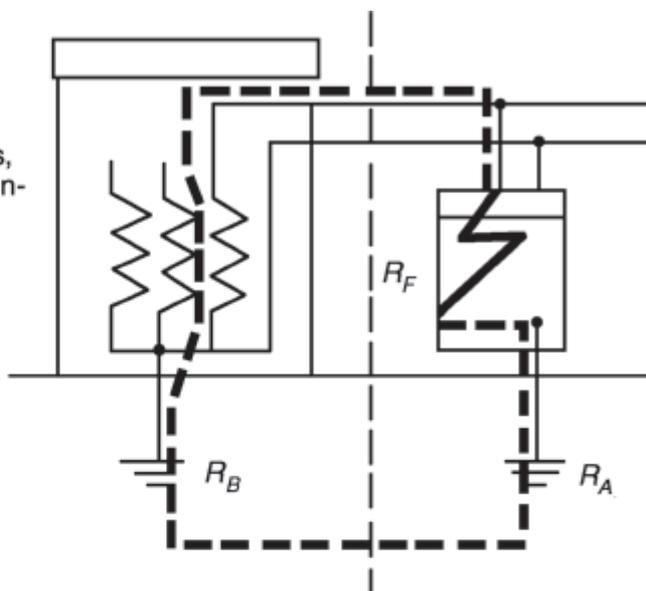
É a tensão que aparece, quando de uma falha de isolamento, entre uma massa e a terra. Só ocorre se a alimentação possuir um ponto aterrado, neutro. (Figuras 5.8 e 5.9). Pode ser menor ou, no limite, igual à tensão nominal em relação à terra (V_F

$\leq V_0$.

Esquema TT

A tensão de falta depende do valor da resistência de aterramento das massas, da resistência de aterramento da alimentação e da resistência de falta.

$$V_F = V_0 \frac{R_A}{R_F + R_A + R_B}$$

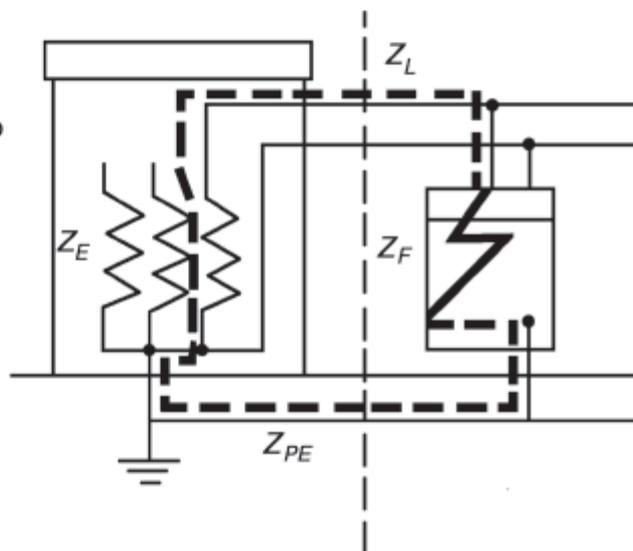


Esquema TN

A tensão de falta depende da relação entre a impedância do condutor de proteção e a impedância total do percurso da corrente de falta.

$$V_F = V_0 \frac{Z_{PE}}{Z_{PE} + Z_L + Z_E + Z_F}$$

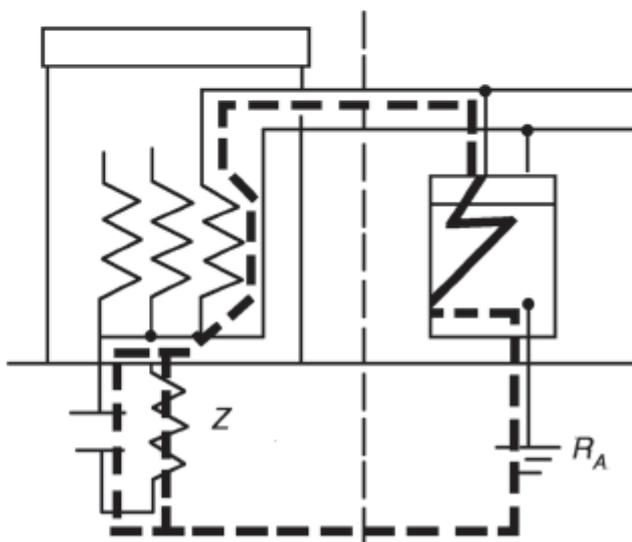
Se o condutor de proteção tiver a mesma seção do de fase, para transformadores grandes teremos, no máximo, $V_F = 0,05 V_0$.



Esquema IT

Para resistências de aterramento das massas da ordem de dezenas de ohms e impedância de isolamento da ordem de milhares de ohms, as tensões de falta para instalações de 220/380 V são perigosas.

$$V_F = V_0 \frac{R_A}{Z}$$



Tensão de falta V_F , em função da tensão nominal para terra V_0 .

Figura 5.8

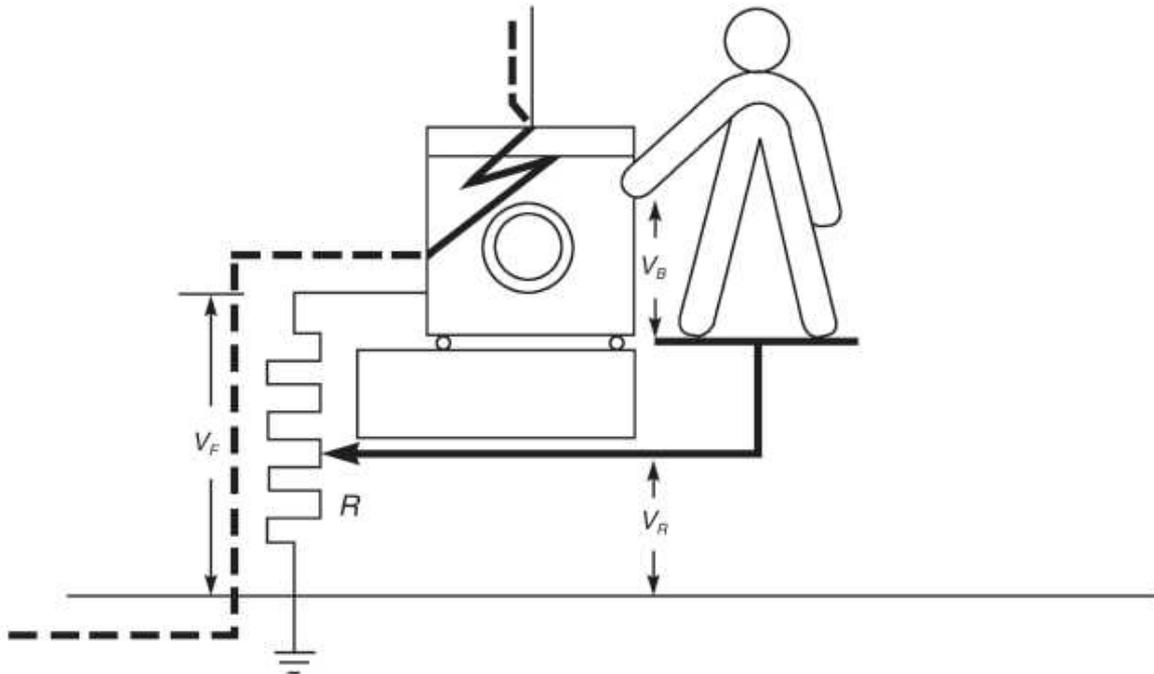
5.7.3 Tensão de toque (V_B)

É a tensão entre o pé e a mão que toca uma massa metálica energizada em relação à terra, ocasionada, por exemplo, por uma falha de isolamento, como mostrado na Figura 5.9.

A tensão de contato V_B entre mão e pé depende do valor da tensão V_R que assume o solo (elemento condutor) sob os pés durante a passagem da corrente.

$$V_B = V_F - V_R$$

- R é a resistência entre o elemento condutor e a terra;
- V_R é a tensão entre o elemento condutor e a terra;
- Se houver uma ligação equipotencial entre a massa e o elemento condutor $V_F = V_R$ e $V_B = 0$.



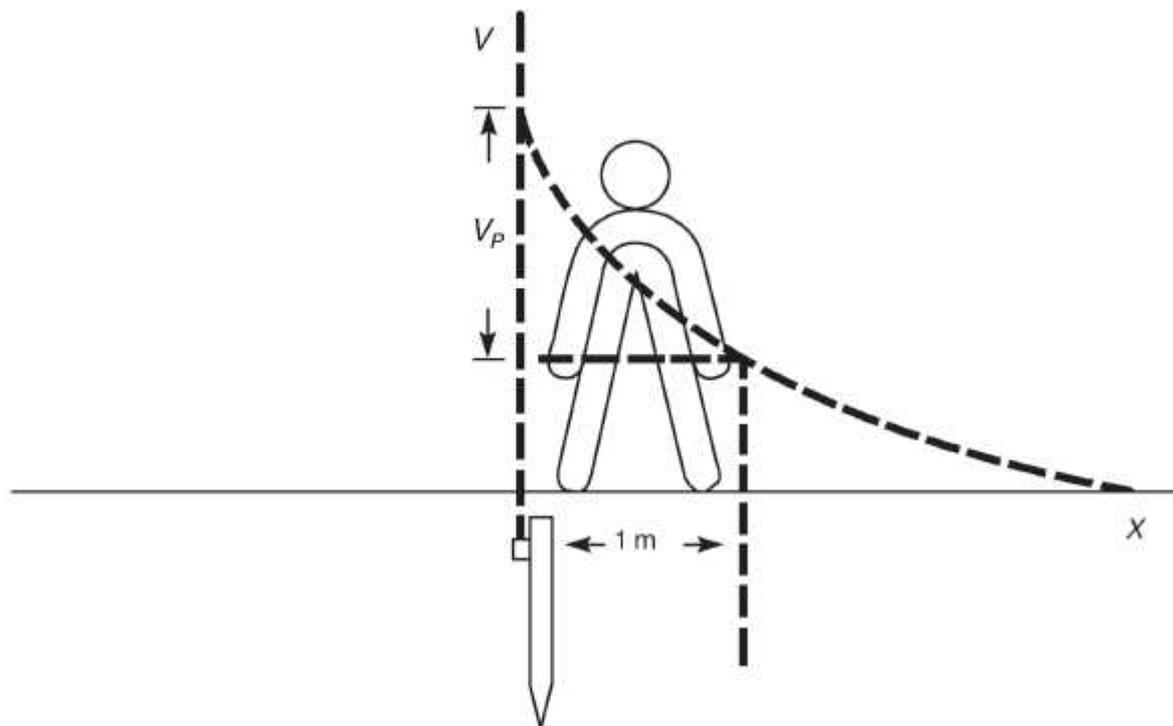
Tensão de contato V_B .

Figura 5.9

5.7.4 Tensão de passo (V_p)

É a tensão que surge no solo entre os pés de uma pessoa, como mostrado na Figura 5.10, que está próxima de um eletrodo (ou malha) de aterramento no instante em que passa pelo solo uma corrente elétrica proveniente, por exemplo, de uma descarga atmosférica ou de um defeito para a terra.

A tensão de passo V_p máxima situa-se na vizinhança imediata da haste.



Tensão de passo.

Figura 5.10

Resumo

- Sistema de aterramento; Integração de aterramentos; Segurança humana em baixa tensão.
- Esquemas de aterramento: TN, TT e IT.
- Dispositivos diferencial-residual (DR); Aplicações; Condições da Instalação.
- Eletrodos de aterramento; Malha de terra; Ligações de aterramento.
- Condutores de proteção.
- Aterramento de equipamentos eletrônicos sensíveis.
- Aterramento em armaduras de estruturas de concreto.
- Tensões (Definições); Nominal de um sistema em relação à terra; de falta; de contato; de passo.