

Aterramento Elétrico



International Copper
Association Brazil
Copper Alliance

PRODUÇÃO: POTÊNCIA EDUCAÇÃO
AUTOR: HILTON MORENO



APRESENTAÇÃO

Este e-book vai tratar sobre o importante tema “aterramento”, componente fundamental para o adequado e seguro funcionamento das instalações elétricas em geral e das instalações de equipamentos eletrônicos sensíveis em particular.

Este assunto é, sem dúvida, um dos mais discutidos e controversos na área elétrica e eletrônica, o que motivou o Procobre a disponibilizar esta publicação para o mercado.

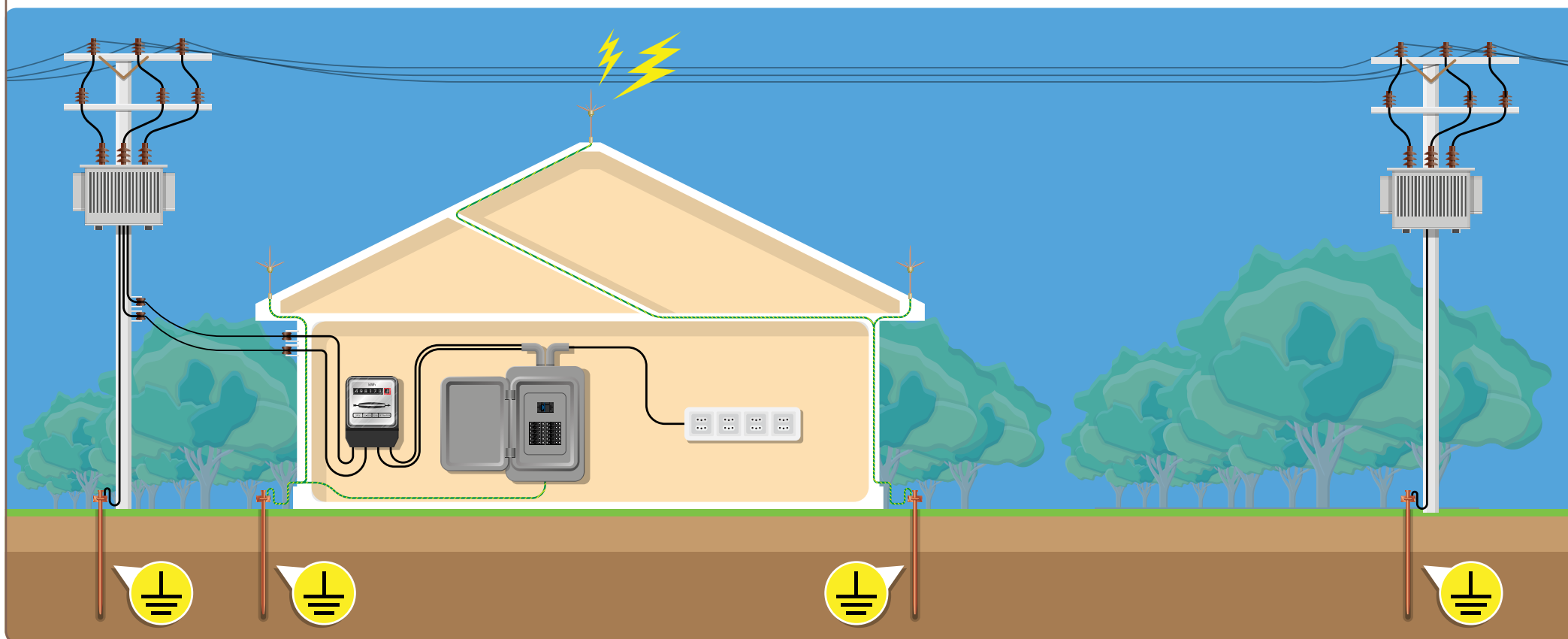
O texto é totalmente voltado para a realidade brasileira, tendo como base a normalização nacional, porém buscando acrescentar conhecimentos baseados nas boas práticas de engenharia internacionais.

Aproveite a leitura!

Instituto Brasileiro do Cobre

ÍNDICE

1. O que é um aterramento elétrico?	04	6. Ligação à terra.....	08
2. Os objetivos do aterramento do sistema	04	7. Eletrodos de aterramento	09
3. Por que se deve preferir os sistemas aterrados?.....	04	8. Aterramento e corrosão.....	11
4. Funções básicas dos sistemas de aterramento	05	9. O aterramento e os diversos sistemas de proteção	12
5. Alguns conceitos importantes sobre aterramento	06	10. O aterramento único das instalações elétricas	25
		11. Leitura complementar	27



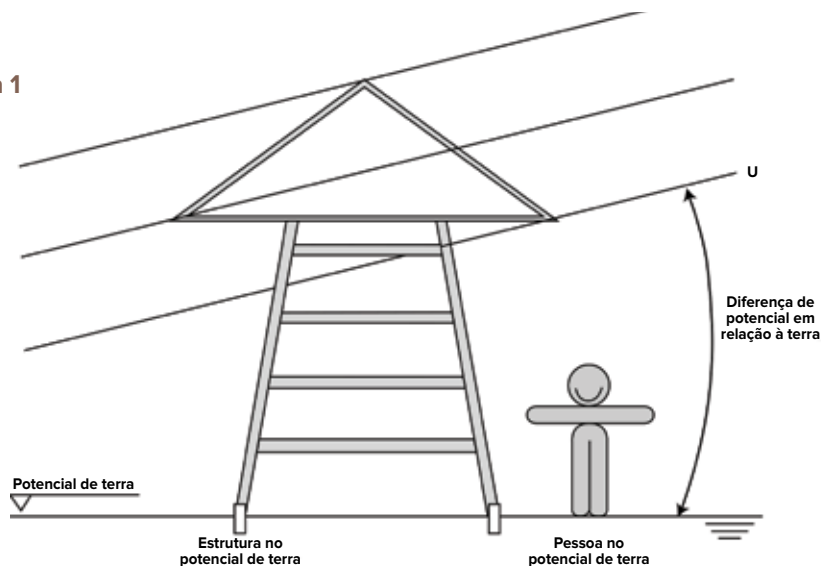
1. O QUE É UM ATERRAMENTO ELÉTRICO?

O termo aterramento se refere à terra propriamente dita ou a uma grande massa que se utiliza em seu lugar. Quando falamos que algo está “aterrado”, queremos dizer então que, pelo menos, um de seus elementos está propositalmente ligado à terra.

Em geral, os sistemas elétricos não precisam estar ligados à terra para funcionarem e, de fato, nem todos os sistemas elétricos são aterrados. Mas, nos sistemas elétricos, quando designamos as tensões, geralmente elas são referidas à terra. Dessa forma, a terra representa um ponto de referência (ou um ponto de potencial zero) ao qual todas as outras tensões são referidas. De fato, como um equipamento computadorizado se comunica com outros equipamentos, uma tensão de referência “zero” é crítica para a sua operação apropriada.

A terra, portanto, é uma boa escolha como ponto de referência zero, uma vez que ela nos circunda em todos os lugares (Figura 1). Quando alguém está de pé em contato com a terra, seu corpo está aproximadamente no potencial da terra. Se a estrutura metálica de uma edificação está aterrada, então todos os seus componentes metálicos estão aproximadamente no potencial de terra.

Figura 1



2. OS OBJETIVOS DO ATERRAMENTO DO SISTEMA

Aterrar o sistema, ou seja, ligar intencionalmente um condutor fase ou, o que é mais comum, o neutro à terra, tem por objetivo controlar a tensão em relação à terra dentro de limites previsíveis. Esse aterramento também fornece um caminho para a circulação de corrente que irá permitir a detecção de uma ligação indesejada entre os condutores vivos e a terra. Isso provocará a operação de dispositivos automáticos que removerão a tensão nesses condutores.

O controle dessas tensões em relação à terra limita o esforço elétrico na isolação dos condutores, diminui as interferências eletromagnéticas e permite a redução dos perigos de choque para as pessoas que poderiam entrar em contato com os condutores vivos.

3. POR QUE SE DEVE PREFERIR OS SISTEMAS ATERRADOS?

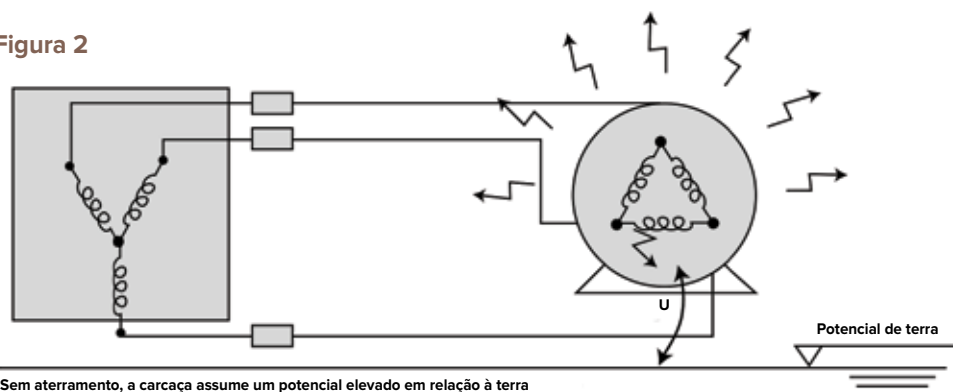
O primeiro objetivo do aterramento dos sistemas elétricos é proteger as pessoas e o patrimônio contra uma falta (curto-circuito) na instalação. Em termos simples, se uma das fases de um sistema não aterrado entrar em contato com a terra, intencionalmente ou não, nada acontece. Nenhum disjuntor desliga o circuito nenhum equipamento para de funcionar. Os sistemas não aterrados foram muito populares nas instalações industriais na primeira metade do século 20, precisamente porque as cargas acionadas por motores, que eram muito comuns na época, não parariam simplesmente por causa de um curto-circuito fase-terra.

No entanto, uma consequência desse tipo de sistema é que é possível energizar a carcaça metálica de um equipamento (massa) com um potencial mais elevado do

que o da terra, colocando as pessoas que tocarem o equipamento e um componente aterrado da estrutura simultaneamente em condições de choque (Figura 2).

O segundo objetivo de um sistema de aterramento é oferecer um caminho seguro, controlado e de baixa impedância em direção à terra para as correntes induzidas por descargas atmosféricas.

Figura 2



4. FUNÇÕES BÁSICAS DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO

Podemos resumir as funções de um sistema de aterramento nos seguintes tópicos:

4.1 SEGURANÇA PESSOAL

A conexão dos equipamentos elétricos ao sistema de aterramento deve permitir que, caso ocorra uma falha na isolação dos equipamentos, a corrente de falta passe através do condutor de aterramento (Figura 3A) ao invés de percorrer o corpo de uma pessoa que eventualmente esteja tocando o equipamento (Figura 3B).

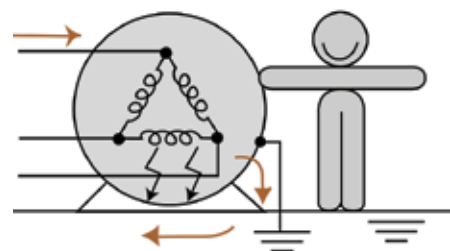


Figura 3A - Com aterramento, a corrente praticamente não circula pelo corpo

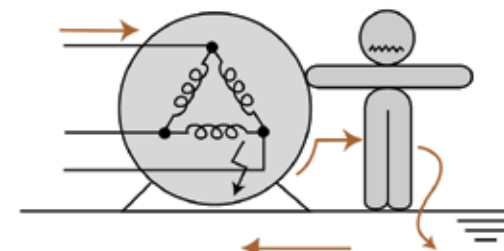
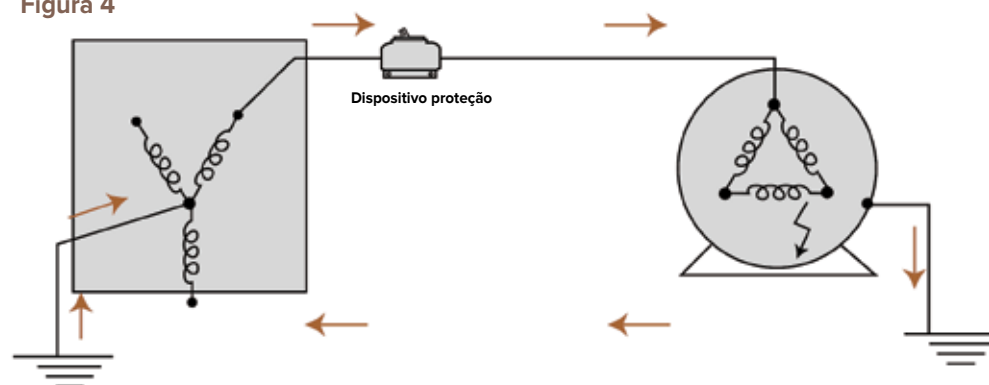


Figura 3B - Sem aterramento, o único caminho é o corpo

4.2 DESLIGAMENTO AUTOMÁTICO

O sistema de aterramento deve oferecer um percurso de baixa impedância de retorno para a terra da corrente de falta, permitindo, assim, que haja a operação automática, rápida e segura do sistema de proteção (Figura 4).

Figura 4



4.3 CONTROLE DE TENSÕES

O aterramento permite um controle das tensões desenvolvidas no solo (passo, toque e transferida) quando um curto-circuito fase-terra retorna pela terra para a fonte próxima ou quando da ocorrência de uma descarga atmosférica no local.

4.4 TRANSITÓRIOS

O sistema de aterramento estabiliza a tensão durante transitórios no sistema elétrico provocados por faltas para a terra, chaveamentos, etc., de tal forma que não apareçam sobretensões perigosas durante esses períodos que possam provocar a ruptura da isolamento dos equipamentos elétricos.

4.5 CARGAS ESTÁTICAS

O aterramento deve escoar cargas estáticas acumuladas em estruturas, suportes e carcaças dos equipamentos em geral (Figuras 5A e 5B).

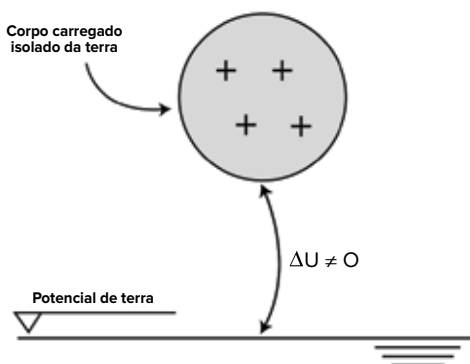


Figura 5A - Corpo (estruturas, suportes, carcaças, etc.) isolado da terra, com carga acumulada

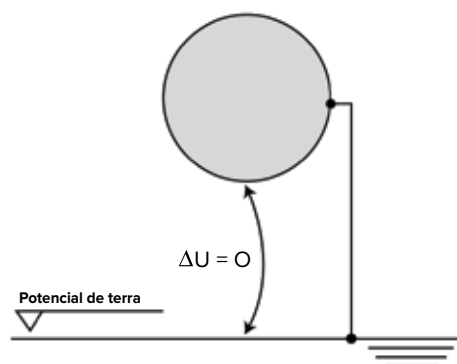


Figura 5B - Corpo ligado à terra

4.6 EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Especificamente para os sistemas eletrônicos, o aterramento deve fornecer um plano de referência “quieto”, sem perturbações, de tal modo que eles possam operar satisfatoriamente tanto em altas quanto em baixas frequências (Figura 6).

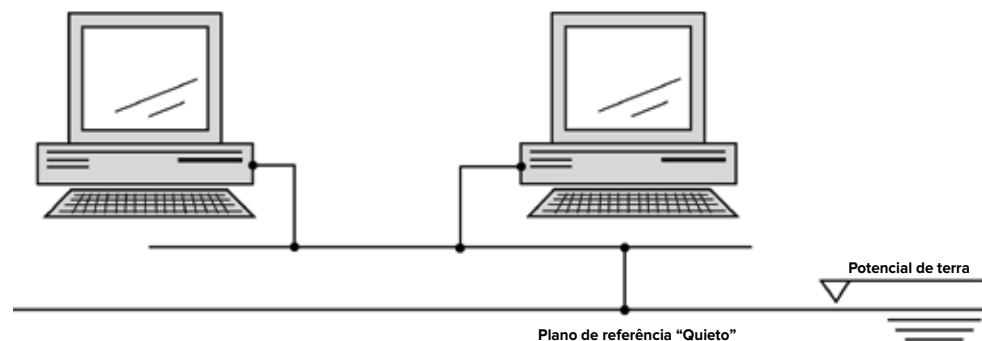


Figura 6

5. ALGUNS CONCEITOS IMPORTANTES SOBRE ATERRAMENTO

5.1 TENSÃO DE CONTATO

É a tensão que pode aparecer acidentalmente, quando da falha de isolamento, entre duas partes simultaneamente acessíveis.

5.2 - TENSÃO DE TOQUE

Se uma pessoa toca um equipamento sujeito a uma tensão de contato, pode ser estabelecida uma tensão entre mãos e pés, chamada de tensão de toque. Em consequência, poderemos ter a passagem de uma corrente elétrica pelo braço, tronco e pernas, cuja duração e intensidade poderão provocar fibrilação cardíaca, queimaduras ou outras lesões graves ao organismo (Figura 7).

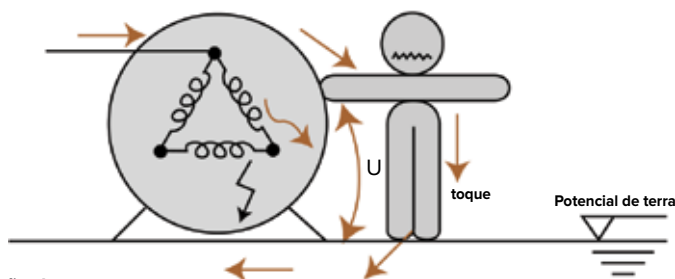


Figura 7 - Tensão de toque

5.3 TENSÃO DE PASSO

Quando uma corrente elétrica é descarregada para o solo, ocorre uma elevação do potencial em torno do eletrodo de aterramento, formando-se um gradiente (distribuição) de queda de tensão, cujo ponto máximo está junto ao eletrodo e o ponto mínimo muito afastado dele. Se uma pessoa estiver em pé em qualquer ponto dentro da região onde há essa distribuição de potencial, entre seus pés haverá uma diferença de potencial, chamada de tensão de passo, a qual é geralmente definida para uma distância entre pés de 1 metro (Figura 8).

Consequentemente, poderá haver a circulação de uma corrente através das duas pernas, geralmente de menor valor do que aquele no caso da tensão de toque, porém, ainda assim desagradável e perigosa, que deve ser evitada.

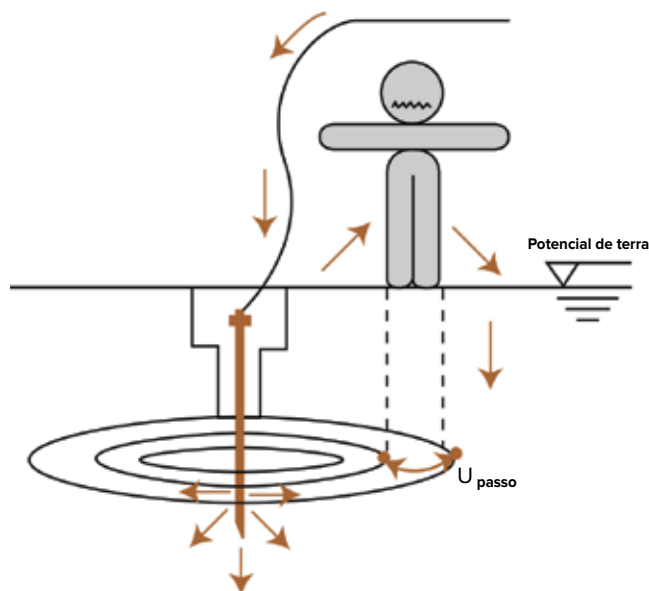


Figura 8 - Tensão de passo

5.4 RUÍDO DE MODO COMUM

Quando todos os condutores de um sistema de sinal ou de força possuem uma diferença de potencial idêntica em relação a uma referência, essa tensão é chamada de tensão ou sinal de **modo comum**. Quando essa tensão não é desejada, é geralmente chamada de ruído. Essa referência normalmente é a terra ou a carcaça do equipamento, que podem também estar no mesmo potencial.

Os equipamentos eletrônicos frequentemente apresentam uma sensibilidade aguçada em relação aos ruídos de modo comum entre os condutores de alimentação (força) e a terra, que podem afetar tanto os sinais analógicos como os digitais.

O ruído de modo comum ocorre quando existe uma diferença de potencial entre o terra ao qual a fonte de energia se refere e o terra ao qual o equipamento se refere (Figura 9). Há sempre um acoplamento resistivo ou capacitivo entre os circuitos internos do equipamento e sua carcaça. A diferença de potencial pode ser criada quando circula uma corrente pelo condutor de proteção ou pela terra, entre a carcaça do equipamento e o aterramento da fonte de alimentação.

Pela terra circulam muitas correntes parasitas, causando pequenas diferenças de potencial entre pontos. Essas correntes podem ser de frequências diferentes da industrial (60 Hz) ou, mesmo se forem de frequência industrial, podem conter harmônicas ou transitórios devidos a chaveamentos, manobras e outros fenômenos. Portanto, se a carcaça do equipamento estiver ligada à terra, qualquer potencial que se estabeleça entre essa ligação e o ponto de aterramento do sistema pode ser acoplado no interior do circuito eletrônico.

A carcaça do equipamento pode ser mantida no mesmo potencial do terra do sistema se o condutor de proteção do equipamento for de baixa impedância e não estiver ligado à terra em nenhum ponto, exceto no ponto de aterramento da alimentação, assim chamado de “aterramento de ponto único”. A diferença de potencial entre os pontos de aterramento da fonte e do equipamento não deve ser suficiente para causar choques nas pessoas e não deve possibilitar o acoplamento resistivo ou capacitivo em uma intensidade tal que possa criar um ruído indesejado.

A ligação do aterramento do equipamento a um eletrodo que seja física e eletricamente separado dos eletrodos de aterramento do sistema elétrico e da

estrutura da edificação provocará, inevitavelmente, um ruído de modo comum. A intensidade desse ruído pode ser destrutiva para o equipamento e perigosa para as pessoas, uma vez que uma falta no sistema elétrico pode elevar o potencial do sistema ou da estrutura centenas ou milhares de volts acima da referência de terra.

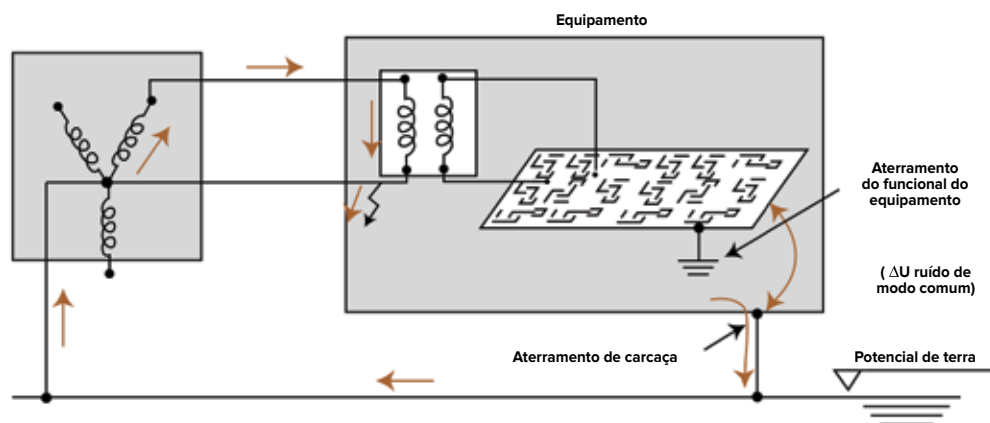


Figura 9 - Tensão de passo

5.5 POTENCIAL TRANSFERIDO

O termo potencial de terra transferido refere-se à tensão em relação à terra que surgirá nos condutores em consequência do eletrodo de aterramento do sistema de alimentação estar acima do potencial normal de terra. As maiores tensões transferidas ocorrem geralmente pelas correntes de falta retornando à fonte via terra.

Os potenciais de transferência podem ser diminuídos se a resistência (ou impedância) de terra for reduzida ao menor valor possível. A isolamento dos equipamentos de baixa tensão em locais onde há potenciais diferentes em relação à terra pode ser obtida pelo emprego de dispositivos que rejeitam tensões de modo comum, como transformadores de separação ou links em fibras ópticas.

6. LIGAÇÃO À TERRA

O sistema elétrico de uma aeronave em voo possui um terminal de aterramento, condutores de aterramento, etc., sem, no entanto, haver "terra" no local. Para uma pessoa trabalhando no décimo andar de um edifício que possua a sua estrutura metálica aterrada, o valor do potencial da terra (no nível do solo) não tem o menor significado. Se ela for transportada para o térreo, onde o piso tem contato direto com o solo, então a terra se torna a sua referência mais apropriada para a qual uma tensão de toque ou de passo deve ser referenciada.

Dessa forma, o terra de referência a ser utilizado para expressar as intensidades da tensão pode ser, às vezes, a terra. Porém, em outros casos, pode ser um condutor metálico de aterramento. Em certas ocasiões, o potencial de terra pode ser muito diferente daquele do condutor de aterramento. Sendo assim, é muito importante que as tensões de toque e passo sejam expressas em relação ao terra de referência mais apropriado.

A terra em si é um condutor elétrico muito ruim, cuja resistividade é da ordem de um bilhão de vezes maior do que a de um condutor de cobre. A resistência de aterramento pode ser imaginada como sendo a soma de várias resistências em série, cada uma relativa a uma camada cilíndrica de terra. Na prática, metade da resistência total de aterramento concentra-se na vizinhança imediata (cerca de 15 cm) do eletrodo de aterramento.

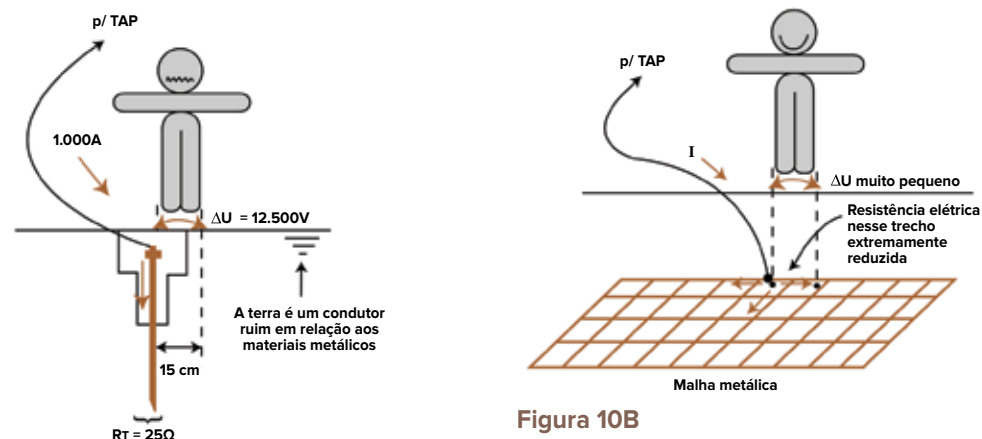


Figura 10B

Figura 10A - Tensão desenvolvida na vizinhança de um eletrodo de aterramento

Imagine uma resistência de aterramento de 25Ω e uma corrente de 1.000 A fluindo por ela. Temos então, entre o ponto de injeção da corrente no solo e 15 cm dela, uma diferença de potencial de 12.500 V ($25 \Omega / 2 \times 1.000 \text{ A}$). Uma pessoa em pé nessa região, estará submetida a essa tensão de passo (Figura 10A). A colocação de uma malha metálica aterrada nessa região, à qual estejam ligadas todas as carcaças metálicas, assegurará uma equipotencialidade e afastará a possibilidade da ocorrência de uma tensão de passo (ou de toque) perigosa (Figura 10B).

O objetivo mais amplo de um sistema de aterramento é o de se obter, o mais possível, uma condição de diferença de potencial zero (chamada de equipotencialidade) entre os condutores de proteção dos equipamentos, as carcaças dos equipamentos, os condutos metálicos e todas as demais massas condutoras da edificação, incluindo as suas ferragens estruturais e tubulações metálicas. Para qualquer pessoa dentro da edificação, mesmo se houver um aumento do potencial dos elementos mencionados em relação ao potencial de terra, não haverá o risco de choque elétrico, uma vez que todos os elementos estarão referidos ao mesmo potencial.

Os condutores de proteção devem ser instalados próximos aos condutores vivos dos circuitos e não devem ser percorridos por correntes de carga normais da instalação. Com isso, eles irão manter a diferença de potencial zero desejada entre os diversos equipamentos. Apenas quando da ocorrência de uma falta é que irá circular uma corrente pelos condutores de proteção, ocasião em que serão observadas diferenças de potencial no sistema.

7. ELETRODOS DE ATERRAMENTO

7.1 TIPOS DE ELETRODOS

Basicamente, os eletrodos de aterramento podem ser divididos em alguns tipos, a saber:

a) Armaduras do concreto da fundação

Este é o eletrodo de aterramento preferencial mencionado nas normas ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão e ABNT NBR 5419 - Proteção contra descargas atmosféricas.

O concreto em contato com o solo é um meio semiconductor com resistividade da ordem de $3.000 \Omega \cdot \text{cm}$ a 20°C , muito melhor do que o solo propriamente dito.

Dessa forma, a utilização dos próprios ferros da armadura da edificação, colocados no interior do concreto das fundações, representa uma solução pronta e de ótimos resultados (Figura 11).

Qualquer que seja o tipo de fundação, deve-se assegurar a interligação entre os ferros das diversas sapatas, formando assim um anel. Esse interligação pode ser feita com o próprio ferro da estrutura, embutido em concreto, ou por meio do uso de cabo cobre.

A resistência de aterramento total obtida com o uso da ferragem da estrutura ligada em anel é muito baixa, geralmente menor do que 1Ω e, frequentemente, ao redor de $0,25 \Omega$.

Observe-se que apenas os ferros da periferia da edificação são efetivos, sendo muito pequena a contribuição da estrutura interna.

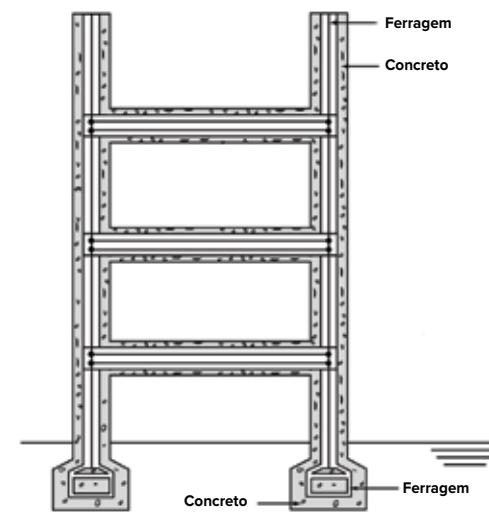


Figura 11 - Eletrodo encapsulado em concreto

Há ainda o caso de prédios com estruturas metálicas que são normalmente fixadas por meio de longos parafusos a seus pés nas fundações de concreto (Figura 12). Esses parafusos engastados no concreto servem como eletrodos de aterramento, enquanto que a estrutura metálica da edificação funciona como condutor de aterramento.

Na utilização desse sistema, deve-se assegurar que haja uma perfeita continuidade entre todas as partes metálicas. Também deve ser realizada a ligação equipotencial entre as partes metálicas que, eventualmente, possam estar desconectadas da estrutura principal.

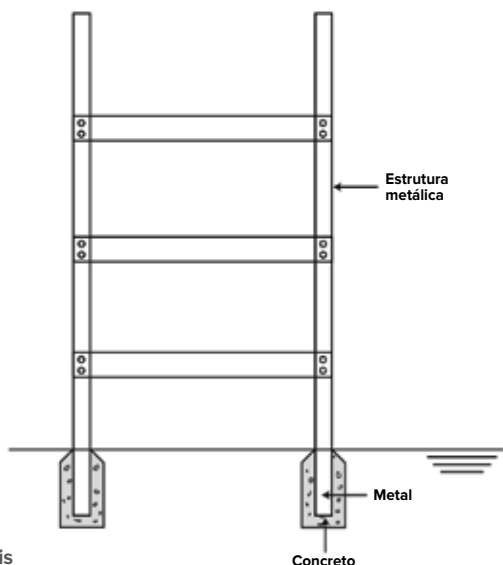


Figura 12. Eletrodo naturais

b) Fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações

Caso não seja viável o uso das armaduras do concreto da fundação como eletrodo de aterramento, como, por exemplo, nas fundações em alvenaria, a infraestrutura de aterramento pode ser constituída por fita, barra ou cabo de aço galvanizado imerso no concreto das fundações, formando um anel em todo o perímetro da edificação. A fita, barra ou cabo deve ser envolvido por uma camada de concreto de, no mínimo, 5 cm de espessura, a uma profundidade mínima de 0,50 m.

c) Malhas metálicas enterradas no nível das fundações

Caso não seja viável o uso das alternativas a) ou b) anteriores, pode-se empregar uma malha metálica (preferencialmente de cobre) abrangendo toda a área da edificação (Figura 13) e complementadas, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente.

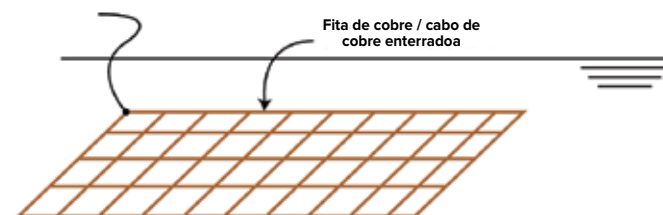


Figura 13 - Outros eletrodos

d) Anel metálico enterrado

Caso não seja viável o uso das alternativas a) ou b) ou c) anteriores, pode-se empregar um anel metálico (preferencialmente de cobre), circundando o perímetro da edificação e complementado, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente.

Conforme a norma ABNT NBR 5410, quando a adoção de qualquer das opções indicadas anteriormente for impraticável, outras soluções de eletrodos de aterramento são admitidas em instalações temporárias; em instalações em áreas descobertas, como em pátios e jardins; em locais de acampamento, marinas e instalações análogas; e na reforma de instalações de edificações existentes. O principal exemplo dessas “outras soluções” é a haste de aterramento (Figura 14).

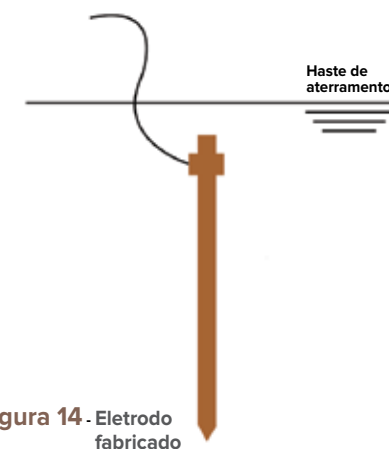


Figura 14. Eletrodo fabricado

7.2 CONEXÕES AOS ELETRODOS

As conexões dos condutores de aterramento aos eletrodos são realizadas genericamente por três sistemas:

a) Conexões por aperto

São facilmente encontradas, simples de instalar e podem ser desconectados para efeitos de medição de resistência de aterramento. Apresentam um desempenho histórico satisfatório. Apesar de apresentarem, às vezes, problemas de corrosão, se devidamente protegidas, essas conexões podem desempenhar um bom papel. Recomenda-se que tais conexões estejam sempre acessíveis para inspeção e manutenção.

b) Solda exotérmica

Esse método realiza uma conexão permanente, livre de manutenção e praticamente elimina a resistência de contato e os problemas de corrosão, sendo ideal para as ligações diretamente no solo. Requer o emprego de mão-de-obra especializada e não pode ser utilizada em locais onde haja a presença de misturas explosivas.

c) Conexões por compressão

São fáceis de instalar, apresentam uma baixa resistência de contato, porém não podem ser desconectados para as medições de resistência de aterramento.

8. ATERRAMENTO E CORROSÃO

O cobre, usualmente utilizado nos aterramentos, pode apresentar sérios efeitos de corrosão na presença das estruturas de ferro ou aço que são eletricamente conectadas a ele, conforme indicado na Figura 15.

O problema é a corrosão galvânica, que acontece quando dois metais diferentes, imersos em um meio apropriado (eletrólito), formam uma pilha. A posição relativa

de cada metal na série eletromotiva (Tabela 1) determina a diferença de potencial presente entre os dois metais, que é a responsável pela circulação de uma corrente que sai do aço (ânodo), vai para o solo e entra no cobre (cátodo).

No caso em questão, o potencial do ferro é + 0,04 V e do cobre - 0,34 V, o que resulta em uma tensão entre ambos de 0,38 V.

Como ordem de grandeza, uma corrente contínua de 1 A, circulando durante um ano, irá corroer 10 kg de aço, 11 kg de cobre, 35 kg de chumbo ou 13 kg de zinco!

A diferença de potencial entre dois metais irá influir na intensidade de corrente elétrica que circulará entre ambos. A resistência da terra (que funciona como o eletrólito da pilha) é que limita o fluxo de corrente. Portanto, solos com baixa resistividade podem resultar em altas correntes, propiciando elevada corrosão galvânica.

Os metais com valores positivos na Tabela 1 irão ser corroídos (ânodos), enquanto que aqueles com valores negativos estarão protegidos e não apresentarão corrosão (cátodos). Assim, quando ferro e cobre estão próximos, o primeiro sofrerá corrosão.

Deve-se notar que barras de ferro embutidas em concreto (como no caso das fundações das edificações) têm aproximadamente o mesmo potencial que o do cobre, significando que, praticamente, não sofrerão os efeitos de corrosão. O uso da solda exotérmica nas conexões enterradas cobre-ferro (ou aço) também garante a proteção contra corrosão entre os dois metais.

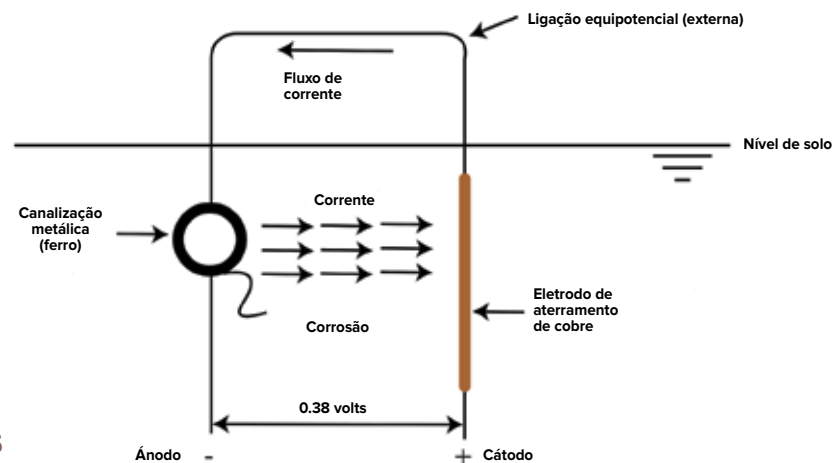


Figura 15

TABELA 1 – SÉRIE ELETROMOTIVA DOS METAIS

Metal	Potencial (V)	
Bário	2,90	Extremidade Anódica (Básica)
Cálcio	2,87	
Sódio	2,71	
Magnésio	2,40	
Alumínio	1,70	
Zinco	0,76	
Níquel	0,23	
Chumbo	0,12	
Ferro	0,04	
Hidrogênio	0,00	
Bismuto	-0,23	
Cobre	-0,34	
Prata	-0,80	
Mercúrio	-0,80	
Ouro	-1,50	Extremidade Catódica (Nobre)

Vale lembrar que os problemas de corrosão são de considerável importância apenas nos sistemas em corrente contínua, como no caso de transportes (trens, metrô), onde há retornos de correntes pelos trilhos, o que acentua o fenômeno de corrosão.

9. O ATERRAMENTO E OS DIVERSOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO

Conforme mencionado no item 4, o aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro de uma instalação elétrica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobretensões, proteção de linhas de sinais e de equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

Normalmente, estuda-se cada proteção mencionada separadamente, o que leva, em alguns casos, a imaginar que se tratam de sistemas completamente separados de proteção, mas isso não é verdade. Para efeito de estudo e compreensão, é conveniente separar os casos, porém, na execução dos sistemas, o que existe é um único aterramento.

Dessa forma, são apresentados a seguir os principais aspectos de cada item e, no final, eles serão reunidos em um só aterramento (Figura 16).

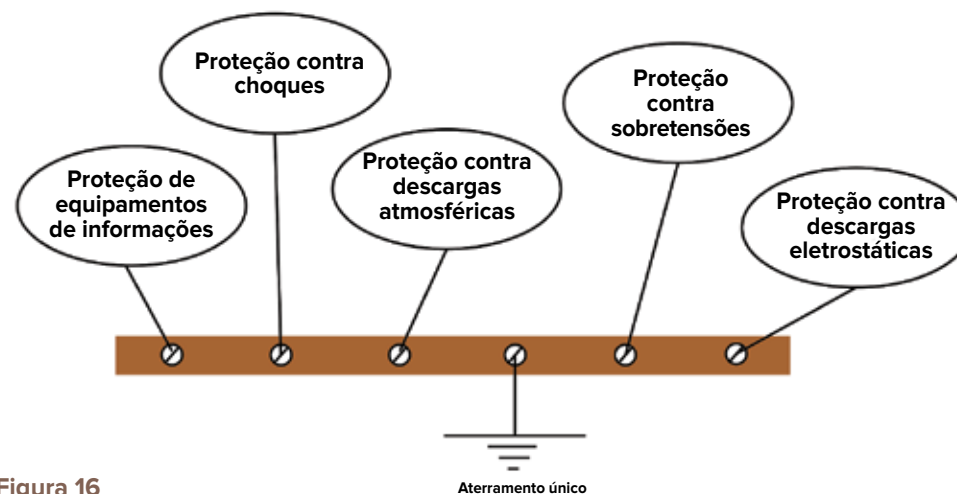


Figura 16

9.1 - PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

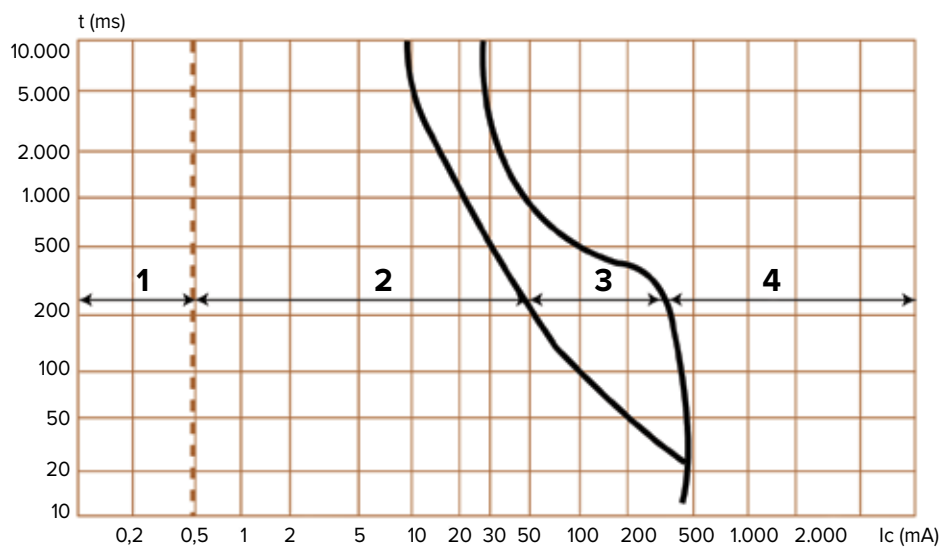
Quando se fala em proteger as pessoas contra choques elétricos, deve-se lembrar que o perigo está presente quando o corpo da pessoa está sendo percorrido por uma corrente elétrica superior a um dado valor por um tempo maior do que o suportável. Essa dependência corrente-tempo pode ser observada no Gráfico 1, obtido a partir de estudos realizados pela IEC.

Como a questão é limitar (ou eliminar) a corrente que atravessa o corpo ou permitir que ela circule apenas durante um tempo determinado, temos que agir sobre essas duas variáveis para enfrentar o problema do choque. Para tanto, há algumas maneiras possíveis de prover essa proteção:

● se a pessoa estiver isolada da fonte, não haverá como circular corrente pelo seu corpo. Ela poderá estar calçando botas e luvas isolantes, porém essa não é uma situação habitual, possível de ser garantida durante muitas horas do dia. Por outro lado, se a pessoa, mesmo descalça e sem luvas, estiver posicionada sobre um piso e junto a paredes isolantes, não haverá caminho de circulação da corrente e ela estará protegida (Figura 17). A norma ABNT NBR 5410 considera pisos e paredes isolantes quando sua resistência for superior a 50 kΩ. De fato, conforme a Figura 18, uma pessoa de resistência mão-pé da ordem de 1 kΩ em série com um piso de 50 kΩ, submetida a uma tensão fase-terra de 127 V, será percorrida por uma corrente elétrica de aproximadamente $127 \text{ V} / 51 \text{ k}\Omega = 2,5 \text{ mA}$. Conforme o Gráfico 1, esse valor é insuficiente para causar problemas para a pessoa.

Infelizmente, a enorme maioria dos pisos e paredes que nos cerca não é isolante, o que limita esse tipo de proteção apenas a lugares especialmente construídos para tal finalidade.

Gráfico 1 - Zonas tempo-corrente de efeitos de corrente alternada (15 a 100 Hz) sobre pessoas



LEGENDA

1. Nenhum efeito perceptível.
2. Efeitos fisiológicos geralmente não danosos.
3. Efeitos fisiológicos notáveis (parada cardíaca, parada respiratório, contrações musculares) geralmente reversíveis.
4. Elevada probabilidade de efeitos fisiológicos graves e irreversíveis: fibrilação cardíaca, parada respiratória.

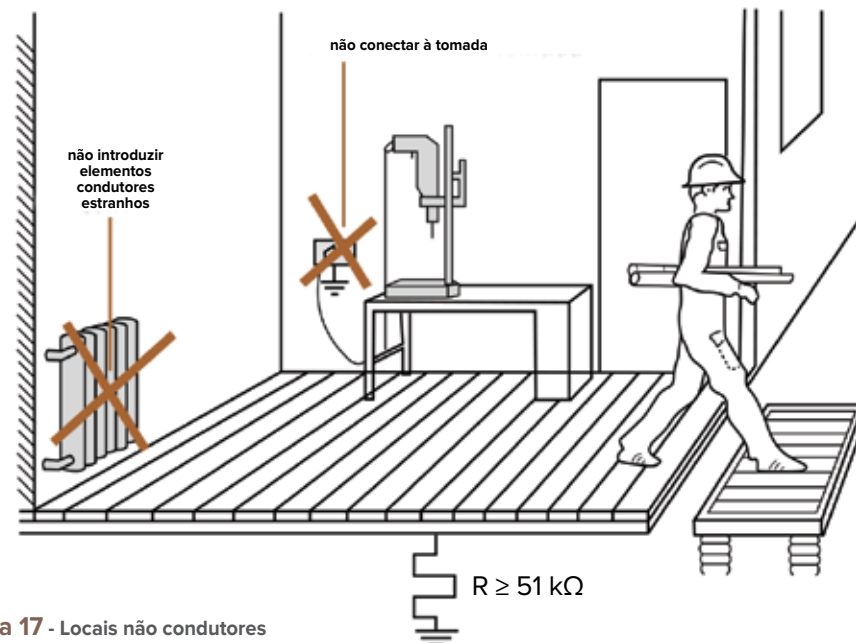


Figura 17 - Locais não condutores

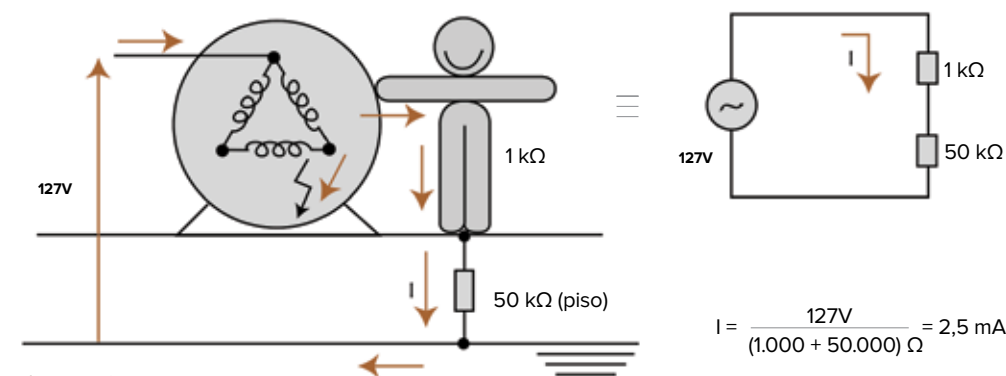


Figura 18

● os mesmos estudos realizados pela IEC concluíram que as pessoas estão livres de choques perigosos se estiverem submetidas a tensões elétricas inferiores a 50 V (alternados) ou 120 V (contínuos), na situação 1 e 25 V (alternados) ou 60 V (contínuos), na situação 2.

A situação 1 corresponde a locais “normais”, como quartos, salas, cozinhas, lojas, escritórios e na maior parte dos locais industriais. A situação 2 abrange áreas externas, locais molhados (banheiros), campings, etc. Assim sendo, se alimentarmos uma instalação (ou um setor da instalação) com tensões inferiores às mencionadas, garantimos a proteção das pessoas contra choques perigosos.

Infelizmente, na prática, poucos aparelhos podem ser alimentados diretamente nessas condições, uma vez que o usual é dispormos de tensões de 127, 220, 380 e 440 V.

A alimentação em tensões inferiores a 50 e 25 V limita-se, geralmente, a aparelhos de iluminação subaquáticos e alguns comandos.

- uma vez que os dois conceitos de proteção anteriores têm restrições práticas de aplicação, o caso mais comum é aquele em que se admite que pode haver a circulação de correntes perigosas e que elas devem ser “desviadas” do corpo humano e desligadas o mais rapidamente possível. Assim sendo, nessas circunstâncias, o conceito básico da proteção das pessoas contra choques elétricos é o de que as massas da instalação devem ser aterradas e que deve haver um dispositivo de seccionamento automático da alimentação quando da presença de correntes (tensões) perigosas para os usuários.

Dependendo da maneira como o sistema é aterrado e qual é o dispositivo de proteção utilizado, os esquemas de aterramento em baixa tensão são classificados pela ABNT NBR 5410 em três tipos:

Esquema TT

Esquema TN

Esquema IT

ESQUEMA TT

O neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento independente do eletrodo da fonte (Figura 19).

Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa inclui a terra, o que limita em muito o valor da corrente devido ao elevado valor da resistência de terra. Essa

corrente é insuficiente para acionar disjuntores ou fusíveis, mas suficiente para colocar em perigo uma pessoa. Portanto, ela deve ser detectada e eliminada por dispositivos mais sensíveis, geralmente chamados de dispositivos diferenciais residuais (DR).

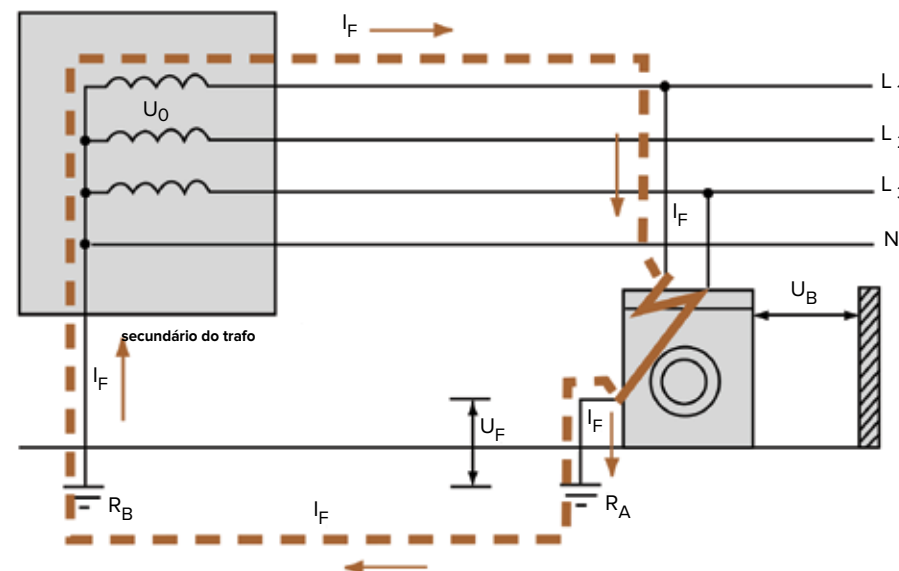


Figura 19 - Esquema TT

Esquema TN

O neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação conectadas a esses ponto por meio de condutores metálicos (condutor de proteção), conforme Figura 20.

Nesse caso, o percurso de uma corrente fase-massa é de baixíssima impedância (cobre) e a corrente pode atingir valores elevados, suficientes para serem detectados e interrompidos até mesmo por disjuntores ou fusíveis.

O esquema pode ser do tipo TN-S, quando as funções de neutro e proteção forem realizadas por condutores separados (N = neutro e PE = proteção), ou TN-C, quando essas funções forem realizadas pelo mesmo condutor (PEN). Há ainda o esquema misto, chamado de TN-C-S.

No Brasil, o esquema TN é o mais comum, quando se tratam de instalações alimentadas diretamente pela rede pública de baixa tensão da concessionária de energia elétrica.

Nesse caso, o neutro que vem da rede pública é ligado ao eletrodo de aterramento do padrão de entrada e segue até o interior da edificação, quando é ligado ao barramento de equipotencialização principal (BEP), geralmente localizado no quadro geral da instalação ou próximo a ele. Com isso, esse condutor tem dupla função, de neutro e proteção (condutor PEN), e este trecho da instalação tem a configuração de um esquema TN-C. Neste arranjo, o condutor PEN tem ainda a finalidade de equipotencializar o eletrodo de aterramento do padrão de entrada com o eletrodo de aterramento da instalação elétrica interna da edificação. A partir do BEP, o neutro passa a servir os circuitos terminais fase-neutro, enquanto o condutor de proteção é distribuído para todos os circuitos, formando assim um esquema TN-S.

É fácil observar que, no caso da perda do condutor neutro antes da entrada consumidora (por exemplo, com o rompimento do neutro devido a um acidente na rua com um veículo), ou no trecho após o padrão de entrada em que este condutor é o PEN, o sistema irá se transformar em TT. Isso nos leva a conclusão de que, mesmo em esquemas TN, é sempre conveniente utilizar dispositivos DR para garantir a proteção das pessoas contra choques elétricos.

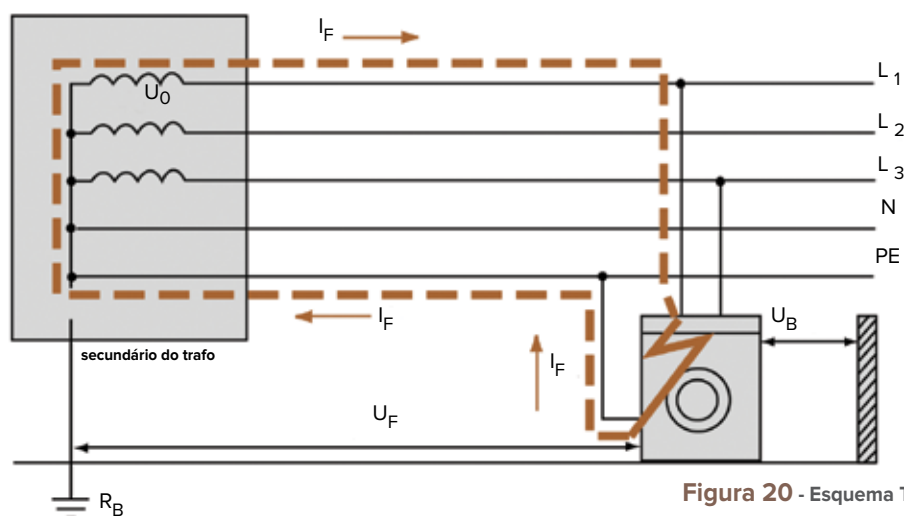


Figura 20 - Esquema TN

Esquema IT

É um esquema parecido com o TT, porém o aterramento da fonte é realizado através da inserção de uma impedância de valor elevado (resistência ou indutância), conforme Figura 21. Com isso, limita-se a corrente de falta a um valor desejado, de forma a não permitir que uma primeira falta desligue o sistema. Geralmente, essa corrente não é perigosa para as pessoas, mas como a instalação estará operando em condição de falta, devem ser utilizados dispositivos que monitorem a isolação dos condutores, evitando a excessiva degradação dos componentes da instalação.

O uso dos sistemas IT é restrito aos casos onde uma primeira falha não pode desligar imediatamente a alimentação, interrompendo processos importantes (como em salas cirúrgicas, certos processos metalúrgicos, etc.).

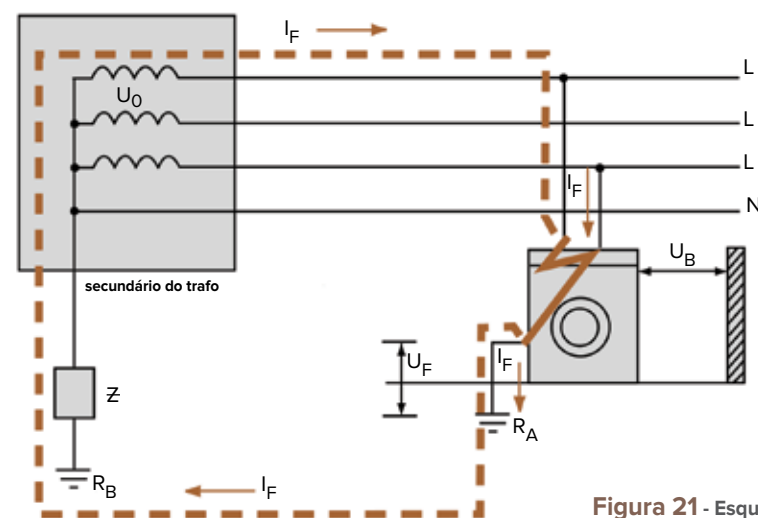


Figura 21 - Esquema IT

9.2 O ATERRAMENTO NA PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A norma brasileira ABNT NBR 5419 aborda esse assunto de maneira completa. Sob o ponto de vista desta nossa publicação, o aterramento é o meio responsá-

vel pelo escoamento das correntes dos raios no solo, sem provocar tensões de passo perigosas e mantendo baixa a queda de tensão na resistência de terra. As correntes dos raios penetram na instalação pelos captosres e são conduzidas até o aterramento por meio das descidas, que são ligadas ao eletrodo de aterramento.

O eletrodo de aterramento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas é o mesmo da instalação elétrica (um único aterramento por edificação) já apresentado no item 7 anterior, ou seja, pode ser constituído pelas armaduras do concreto da fundação; por fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações; por malhas metálicas enterradas no nível das fundações; ou por anel metálico enterrado.

Os cabos de descidas do sistema de proteção contra descargas atmosféricas devem ser ligados ao eletrodo de aterramento, exceto, obviamente, nos casos de condutores de descidas naturais combinados com o eletrodo de aterramento natural.

9.3 - PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES

Todas as vezes que ocorrem chaveamentos dos circuitos ou de cargas nas instalações elétricas, elas ficam sujeitas à sobretensões. Também quando caem raios diretamente ou nas vizinhanças das redes elétricas, são geradas sobretensões no sistema de alimentação.

Essas sobretensões, quando ultrapassam os limites suportáveis pelos equipamentos, podem danificá-los. Isso significa a perda de aparelhos eletrônicos sensíveis, seus programas, a comunicação entre sistemas, enfim, prejuízos diretos e indiretos de grande monta.

O tema da proteção contra sobretensões é tratado tanto na ABNT NBR 5410 quanto na ABNT NBR 5419, que se completam.

Conforme as duas normas, o conjunto de medidas de proteção da instalação elétrica contra sobretensões transitórias consiste na existência de um eletrodo de aterramento eficiente, na presença das ligações equipotenciais locais que garantam a menor diferença de potencial possível entre os componentes envolvidos (aqui incluída a instalação de para-raios de linha e de DPS do tipo comutador de

tensão), assim como a diminuição das tensões induzidas que adentram a instalação, realizadas através de DPS do tipo atenuador de tensão.

Todos os dispositivos de proteção contra sobretensões (DPS) têm em comum o fato de “desviarem” do circuito de alimentação o excesso de tensão que poderia provocar o dano na instalação. Esse “desvio” utiliza sempre o sistema de aterramento como caminho preferencial. Aqui, mais uma vez, o eletrodo de aterramento utilizado para esta proteção é o mesmo (único) da instalação elétrica e do sistema de proteção contra descargas atmosféricas já mencionados anteriormente.

Importante notar que todos os condutores vivos devem ser ligados ao DPS. Isso significa que, exceto no ponto onde o condutor neutro é diretamente ligado ao eletrodo de aterramento ou ao BEP (Figura 22), nos demais casos o neutro também deverá ser ligado ao DPS (Figura 23). Além disso, como recomendação, todos os aparelhos eletrônicos importantes, sejam por seu valor inerente ou pelo valor do serviço que eles fornecem, devem ser protegidos por DPS (Figura 24).

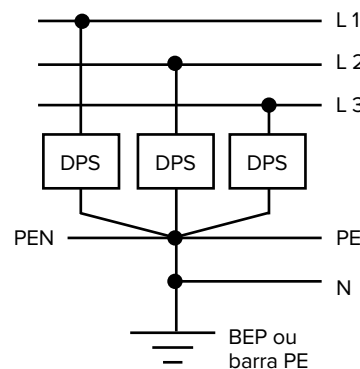


Figura 22

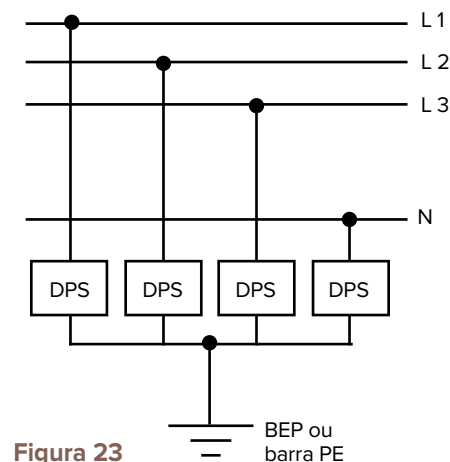


Figura 23

Na entrada de telefonia (no Distribuidor Geral - DG), terminal de aterramento de telefonia (TAT) deve ser ligado ao BEP da instalação elétrica por meio de fita ou cordoalha chata de cobre, devendo ainda ser instalado no DG um DPS de sinal adequado (Figura 25).

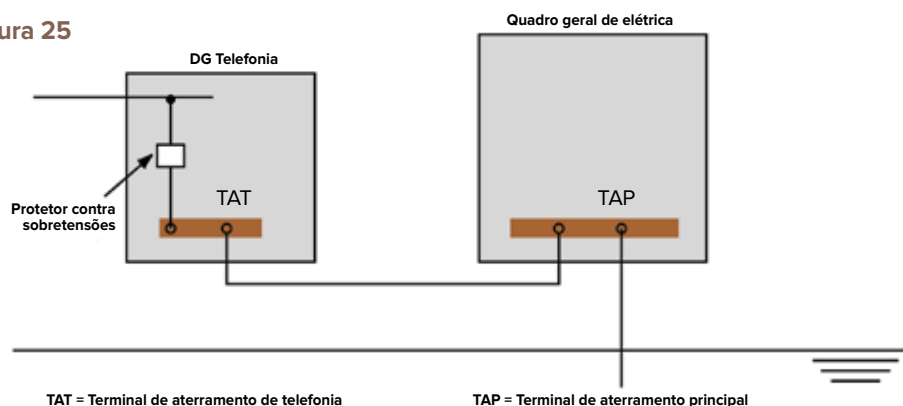


Figura 24 - Proteção contra sobretensão junto do equipamento

Havendo outras linhas metálicas que penetrem na edificação vindas do exterior (TV a cabo, cabos de antenas de TV, cabos de sinal, dados, controle, instrumentação, etc.), todos deverão ser objeto de proteção contra sobretensões, mediante a instalação no ponto de entrada da edificação de DPS adequados. No caso de linhas de sinal, o uso de fibras ópticas, por sua natureza imune a interferências eletromagnéticas, dispensa o uso de protetores contra sobretensões.

Deve-se ressaltar que nenhum protetor contra sobretensões funcionará corretamente se não existir o condutor de proteção e um sistema de aterramento adequado.

Figura 25



TAT = Terminal de aterramento de telefonia

TAP = Terminal de aterramento principal

9.4 - PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

9.4.1 - CARACTERÍSTICAS E EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE ATERRAMENTO PARA EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS SENSÍVEIS

Podemos estabelecer a seguinte sequência histórica em relação à aplicação dos sistemas de aterramento para equipamentos eletrônicos sensíveis:

- Utilização do próprio sistema de aterramento de força para os equipamentos sensíveis;
- Utilização de um sistema de aterramento independente, “isolado” do sistema de aterramento de força;
- Utilização de sistema de aterramento radial de “ponto único”;
- Utilização da Malha de Terra de Referência (MTR).

9.4.2 - UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DE FORÇA

O sistema de aterramento para os equipamentos de força já é bem conhecido, com longo tempo de utilização e desenvolvimento, funcionando com ótimos resultados quando bem projetado. Então por que não o utilizar também para os equipamentos eletrônicos?

Este raciocínio natural foi posto em prática quando se começou a utilização dos equipamentos eletrônicos em larga escala (início dos anos 1970) e se mostrou um grande fracasso.

As malhas de terra para os equipamentos de força são completamente inadequadas para equipamentos sensíveis, uma vez que, em regime normal, costumam ser percorridas por correntes de várias origens, denominadas “espúrias”. Elas são provocadas por correntes anódicas/catódicas, correntes de fuga naturais, correntes devidas às induções eletromagnéticas diversas, etc.). Por outro lado, em regime transitório (curtos-circuitos para a terra, descargas atmosféricas, etc.),

as correntes que circulam pelo aterramento de força podem ser extremamente elevadas. Daí, conclui-se que o sistema de aterramento com potencial fixo, inalterável, necessário aos equipamentos eletrônicos sensíveis, não é o aterramento projetado para os sistemas de força.

9.4.3 - UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE ATERRAMENTO ISOLADO

Uma vez descoberto que as malhas de força para os equipamentos eletrônicos não era adequada, o passo seguinte foi estabelecer sistema de aterramento “isolado”, independente, para os equipamentos em questão.

Este sistema, embora tenha tido algum sucesso, pois efetivamente controla alguns aspectos negativos da malha de força (principalmente reduz as correntes espúrias que percorrem as mesmas), apresenta alguns inconvenientes, a saber:

- o aterramento da carcaça (ou invólucro metálico do painel suporte dos equipamentos) não é equalizado com o aterramento dos equipamentos eletrônicos;
- projetar uma malha de terra “isolada” da malha de força é uma tarefa altamente inglória e discutível, pois o solo, ainda que seja de elevada resistividade, é condutor. Assim, existe um acoplamento resistivo (para baixas frequências) e capacitivo (para altas frequências) entre os dois sistemas considerados “isolados”;
- não tendo sofrido alteração na sua geometria, a malha apresenta ainda deficiências construtivas, como condutores longos, incapazes de equalizar altas frequências e, principalmente, “loops” (malhas fechadas) características das malhas industriais.

9.4.4 - ATERRAMENTO DE “PONTO ÚNICO”

Este método representa o passo seguinte na evolução dos sistemas de aterramento dos equipamentos sensíveis, pois elimina do sistema isolado a sua principal desvantagem, que é a falta de segurança pessoal originada da diferença de potencial que pode aparecer entre as duas malhas.

As características principais desse método são:

- os equipamentos eletrônicos continuam isolados do painel de sustentação. Suas barras de terra, também isoladas, são ligadas através de condutores isolados, radiais, a uma barra de terra geral, comumente situada no quadro de distribuição de força dos equipamentos. Esta barra também é isolada do quadro de distribuição, mas conectada através de um cabo isolado a um único ponto do sistema de aterramento de força. Portanto, equalizam-se as duas malhas através desta conexão;
- as carcaças dos painéis de sustentação são ligadas ao sistema de aterramento de força de forma convencional, isto é, de modo a permitir o retorno das correntes de curtos-circuitos originadas pela falha na isolação de alimentação de força dos equipamentos eletrônicos.

Quando existe um quadro de distribuição de força único para os referidos equipamentos, a melhor forma é aterrar suas carcaças através de cabos isolados ligados radialmente na barra do quadro de distribuição.

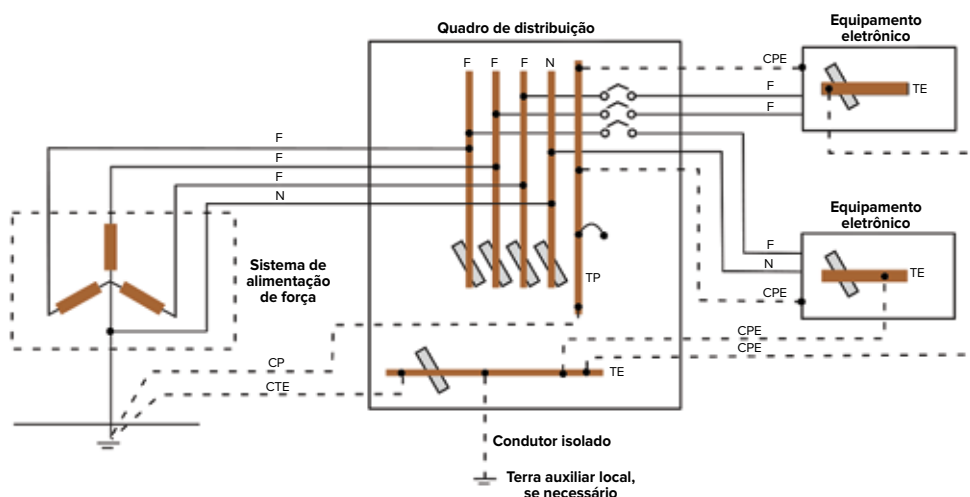
Este quadro pode possuir, portanto, três “barras de aterramento”:

- barra de neutro (ligada à carcaça do quadro);
- barra de terra, que recebe os cabos radiais de aterramento das carcaças dos quadros de sustentação dos equipamentos eletrônicos (também ligada à carcaça do quadro);
- barra de terra isolada da carcaça (própria para aterramento dos equipamentos eletrônicos).

Esta última barra, como já descrito, está ligada através de cabos isolados radiais nas barras de terra (barra de referência) dos equipamentos eletrônicos e a um único ponto do sistema de força (daí o nome de “aterramento de ponto único”).

A barra de terra dos equipamentos eletrônicos, situada no quadro de distribuição, deve ser ligada a esses eletrodos através de um condutor isolado.

O esboço da malha de aterramento de ponto único está apresentado na Figura 26.



LEGENDA

- F** - Fase
- N** - Neutro
- T.P.** - Barra de aterramento que recebe o condutor de proteção (retorno de defeito fase-terra).
- T.E.** - Barra de terra de referência para equipamentos eletrônicos - isolada do quadro.
- C.P.E.** - Condutor isolado de proteção dos quadros de equipamentos eletrônicos.
- C.T.E.** - Condutor isolado de aterramento das T.E.
- C.T** - Condutor isolado de aterramento da T.E. do quadro de distribuição
- C.P.** - Condutor de aterramento da T.E. do quadro de distribuição

Figura 26 - Sistema de aterramento de ponto único para equipamentos eletrônicos (sem transformador de isolamento)

A filosofia de ponto único deve sempre manter uma ligação única entre os sistemas de aterramento de força e o sistema de aterramento de referência dos equipamentos eletrônicos sensíveis.

A conexão acima descrita é um reconhecido avanço na metodologia de aterramento dos equipamentos sensíveis, mas ainda possui alguns inconvenientes.

O maior deles é a incapacidade dos longos condutores de aterramento para equalizar as barras de terra nos casos em que são percorridos por correntes de frequência elevada. Outro inconveniente é o acoplamento capacitivo entre o terra do equipamento eletrônico e a carcaça do painel de sustentação, já que são

localmente isolados. Este acoplamento pode formar loops para altas frequências, resultando em correntes circulantes que produzem ruídos, alterando o potencial da barra de referência.

Estes inconvenientes são reduzidos quando os cabos de aterramento são curtos, como no caso de se aterrar apenas um ou uns poucos equipamentos situados próximos do quadro de distribuição.

9.4.5 - MALHA DE TERRA DE REFERÊNCIA (MTR)

No estágio atual, a técnica de aterramento de equipamentos sensíveis mais eficaz consiste em se utilizar a Malha de Terra de Referência (MTR) (Figura 27).

Seu objetivo básico é o de cancelar o grave inconveniente de todos os tipos de malhas anteriores, no que concerne à incapacidade de equalizar as barras de terra dos diversos equipamentos eletrônicos para altas frequências, permitindo então a entrada de ruídos indesejáveis nestes mesmos equipamentos.

Como já foi abordado, as fontes de ruídos são bastante diversificadas, incluindo-se radiofrequências (RF) e frequências mais elevadas na faixa de MHz ou GHz provocadas, por exemplo, pelo próprio computador ou seus periféricos.

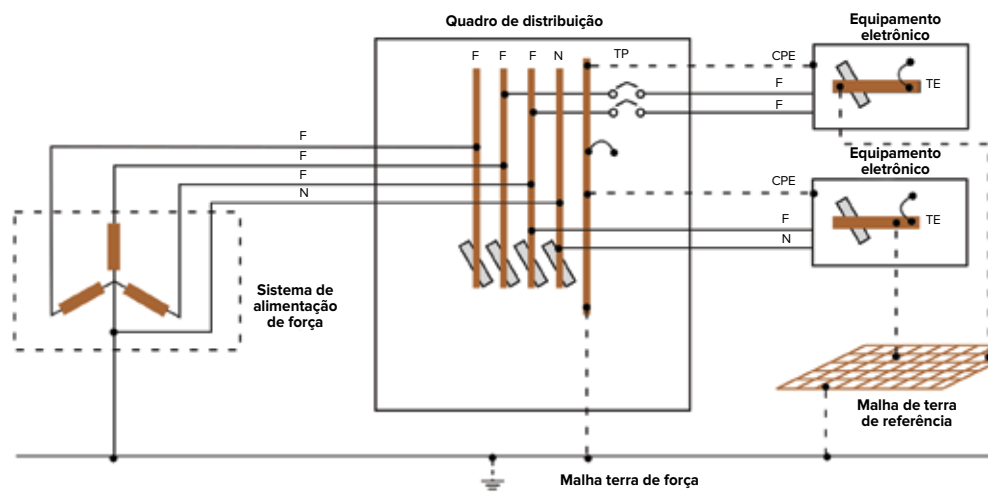
A construção da MTR é baseada nas pesquisas de condução de sinais de alta frequência em cabos condutores (linhas de transmissão), pesquisas estas que estabeleceram que, se o comprimento do condutor não for maior do que 1/10 a 1/20 do comprimento de onda do sinal transmitido, então a diferença de potencial estabelecida entre as extremidades do condutor é praticamente desprezível.

Para um sinal de 60 MHz, por exemplo, 1/20 do seu comprimento de onda equivale a cerca de 30 cm. Portanto, se for construída uma malha de condutores espaçados entre si com esta distância e interconectados nos seus cruzamentos, será criado um grande número de circuitos paralelos de baixa impedância, que funcionarão praticamente como curto-circuito para o espectro de frequências desde 60 Hz (frequência industrial) até 60 MHz. Pode-se concluir, por extensão, que uma "chapa" equaliza qualquer frequência por mais elevada que seja, uma vez que o espaçamento entre condutores na chapa é nulo.

O condutor ideal para altas frequências é no formato de uma “fita”. Logo a MTR deve, em princípio, ser executada com estes condutores. Entretanto, a execução física da MTR com fitas é mais trabalhosa e requer equipamentos de execução de solda mais difíceis de serem encontrados e operados.

Na prática, a construção da malha com cabos usuais de seção circular, mantido o espaçamento anteriormente citado, é completamente satisfatória, com a vantagem de que a MTR, em alguns casos, pode até ser adquirida no mercado pré-fabricada, em diversas seções de condutores.

Deve ser observado que a função básica desta malha é a equalização de potenciais (equipotencialização) e não a condução de correntes de curtos-circuitos. Isto significa que os condutores de proteção para retorno de curtos-circuitos fase-terra devem continuar existindo, dimensionados segundo a norma de instalação ABNT NBR 5410.



NOTAS

- 1 - Ver legenda na Figura 21
- 2 - A conexão da barra de terra de referência dos equipamentos eletrônicos (TE) à MTR deve ser feita preferencialmente com fita ou cordoalha, de comprimento máximo igual ao adotado entre condutores da MTR
- 3 - A conexão de equalização entre a MTR e a malha de terra de força é para baixas frequências, principalmente para atender o critério de segurança pessoal. Podem existir mais de uma dessas conexões, sem prejuízo para o funcionamento do sistema.

Figura 27 - Sistema de aterramento utilizando a MTR

A MTR deve ser obrigatoriamente conectada ao sistema de aterramento de força, para eliminar a diferença de potencial já comentada, embora, sob o ponto de vista teórico, ela funcione até mesmo suspensa no ar.

Podem existir um ou mais pontos de conexão, pois eles não interferem no funcionamento da MTR. Todas as carcaças e barras de terra de referência dos quadros de equipamentos eletrônicos sensíveis, assim como partes metálicas e demais equipamentos integrantes do ambiente, como eletrodutos, colunas metálicas, quadros de distribuição, etc., devem ser ligados à MTR através de cordoalhas ou fitas de cobre. Pode-se também utilizar os suportes metálicos do piso falso como parte integrante da própria MTR.

9.4.6 - O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MTR

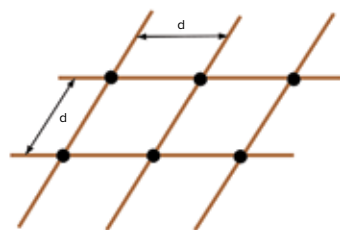
Sabe-se da teoria de transmissão de ondas conduzidas que, se o comprimento físico do condutor é da ordem de grandeza do comprimento de onda da própria onda, então existirão diferenças de potencial ao longo do condutor. Por outro lado, se o comprimento físico é muito menor (10 a 20 vezes menor) que o comprimento de onda, então as diferenças de potencial ao longo do condutor são mínimas (este aliás, é o critério utilizado, em estudos de transitórios, quando se modela uma linha através de parâmetros distribuídos ou concentrados).

Portanto, se construirmos uma malha de aterramento (MTR) com dimensões (“mesh”) muito menores do que o comprimento de onda da maior frequência interferente, não existirão diferenças de potencial apreciáveis entre dois pontos quaisquer da malha.

Na Figura 28 estão resumidos os critérios e fórmulas de determinação da distância entre condutores (mesh).

O critério atual é adotar uma frequência no espectro de radiofrequência (30 MHz), que atende à maioria das interferências presentes nos meios industriais e comerciais, incluindo-se as descargas atmosféricas.

Casos especiais devem ser analisados à parte. Portanto, a MTR projetada segundo este critério será um plano de referência, sem perturbações, tanto para frequências baixas (60 Hz), como para radiofrequências da ordem de 30/60 MHz.



$$d = \frac{\lambda}{20} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad d = \frac{c}{20f}$$

d = comprimento do “Mesh” da malha (m)

λ = comprimento de onda (m)

c = velocidade da luz = 3×10^8 m/s

f = frequência (Hz)

Figura 28 - Determinação do “mesh” da malha de referência

9.4.7 - CONDUTOR DA MTR

A MTR não é projetada para retorno de correntes de curto-circuito, uma vez que as correntes de curto-circuito fase-terra de cada equipamento devem retornar pelo condutor individual de proteção (PE) que, conforme a ABNT NBR 5410, deve sempre estar próximo ou, se possível, no mesmo invólucro dos condutores fase e neutro, a fim de reduzir a impedância de retorno (sequência zero).

Como a malha é projetada para altas frequências, apenas a periferia do condutor será, em geral, utilizada para conduzir as correntes circulantes (efeito pelicular).

Portanto, o critério de dimensionamento dos condutores que formam a malha é apenas mecânico. Desta forma, pode-se utilizar cabos com seções nominais compreendidas entre 6 mm² e 16 mm², dependendo da situação de montagem.

Como a área externa do condutor é que será efetivamente percorrida por corrente elétrica, uma fita (de largura, por exemplo, 20 mm), possuindo área externa maior, apresentará melhor desempenho, devido à sua menor impedância para altas frequências. Quanto maior for a relação largura/espessura da fita, melhor aproveitamento da seção haverá. No entanto, por razões mecânicas, não se recomenda utilização de fita com espessura inferior a 0,4 mm.

Independentemente do tipo de condutor utilizado (redondo ou fita), todos os pontos de cruzamento devem ser metalicamente ligados entre si, utilizando-se, preferencialmente, solda prata ou latão.

Existe ainda a possibilidade de se utilizar malhas pré-fabricadas. No Brasil, geralmente, são disponíveis malhas com condutores redondos, comercializadas em rolos de 3 x 6 m.

9.4.8 - A LOCALIZAÇÃO DA MTR

A malha de terra de referência deve ser montada sob os equipamentos eletrônicos sensíveis, a uma distância tal que o comprimento entre as barras de terra lógicas dos aparelhos e a MTR não ultrapasse a distância do “mesh”.

Algumas opções para se conseguir este objetivo são as seguintes:

- montagem da malha no fundo de um piso falso. Naturalmente, a construção da malha deve ocorrer antes do lançamento dos cabos de sinais;
- montagem da malha suspensa, fixada firmemente (através de conectores) nos suportes do piso falso. Esta opção é mais trabalhosa e mais cara que a primeira, devendo ser utilizada somente em locais com cabos já lançados, como nos casos de reformas;
- montagem da malha embutida no concreto estrutural do piso. Neste caso, deve-se deixar os pontos de conexão acessíveis;
- montagem da malha no teto de uma galeria técnica localizada sob o piso.

9.4.9 - CONEXÃO DOS TERRAS LÓGICOS À MTR

Os terras lógicos dos equipamentos sensíveis devem ser ligados à malha de terra de referência por meio de condutores planos (cordoalhas) ou fitas.

Para facilitar a conexão à malha, pode-se utilizar placas metálicas de conexão, interligadas ao “mesh” da malha nos quatro lados. Estas placas, ligadas à malha preferencialmente através de solda exotérmica, permitem mais uma base metálica que facilita a conexão de cabos, cordoalhas, etc.

Quando o comprimento do terra lógico até a malha exceder a dimensão do “mesh”, deve ser utilizada cordoalha ou fita de maior largura (mínimo de 40 mm).

No caso de uma sala com MTR que possua tomadas no piso ou nas paredes, o terceiro pino das tomadas deverão ser ligados simultaneamente na malha de

referência e no condutor de proteção (PE) que sai do quadro de distribuição que alimenta as tomadas, garantindo assim a equipotencialização da instalação.

A distribuição dos condutores de proteção deverá ser radial, sem formar “loops” (laços).

9.4.10 - A INTERLIGAÇÃO DA MALHA DE TERRA DE REFERÊNCIA À MALHA DO SISTEMA DE FORÇA - EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAL

Sob o ponto de vista teórico, a malha de terra de referência funciona sem nenhuma conexão à terra (suspensa no ar, por exemplo), já que, conforme visto anteriormente, a equalização de potencial é feita em função do seu “mesh”, definido conforme o comprimento de onda da maior frequência interferente. Além disso, é necessário que a MTR seja interligada à malha de força para cumprimento da condição de segurança pessoal, conforme a ABNT NBR 5410. Por garantia, é recomendado que a interligação intencional da MTR à malha de força seja feita através de, pelo menos, dois pontos (Figura 29).

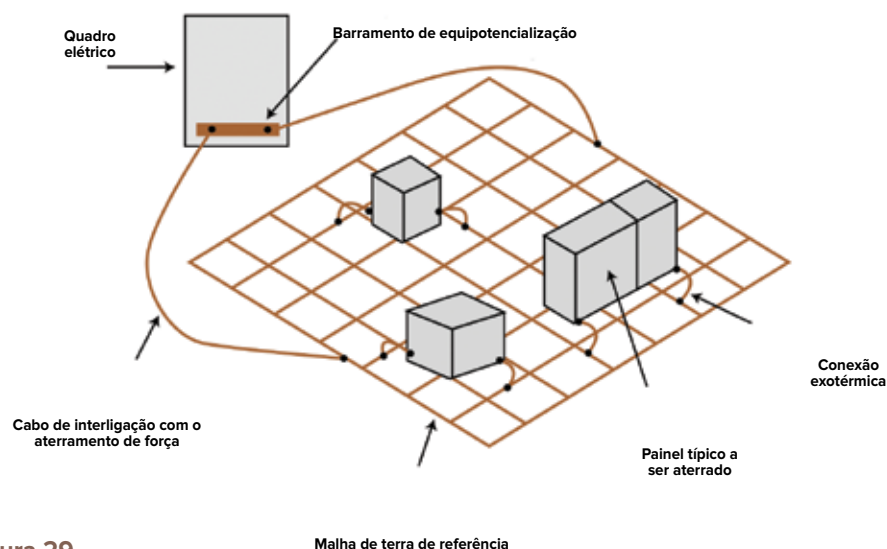


Figura 29

Além da interligação intencional à malha de força, a malha de terra de referência deve também ser interligada intencionalmente a todos os componentes metálicos presentes no seu ambiente (Figura 30), como • colunas metálicas; eletrodutos, que chegam ou saem no ambiente da malha; carcaças metálicas dos quadros de comando, de força e de instrumentação; armários metálicos diversos; equipamentos de ar condicionado; tubulações de água e de incêndio, entre outras.

A filosofia portanto é de equalização de potencial, através da conexão em múltiplos pontos.

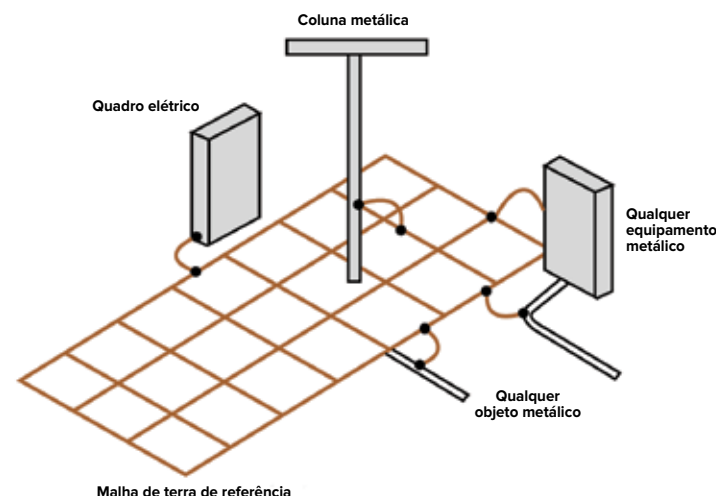


Figura 30

9.4.11 - OUTROS ASPECTOS IMPORTANTES RELACIONADOS COM O ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS SENSÍVEIS

A malha de terra de referência é a solução mais eficaz para o aterramento confiável de um conjunto de equipamentos sensíveis agrupados em um mesmo ambiente, sendo esta a solução natural para CPD, salas de controle com PLC, centrais telefônicas, estações de rádio, equipamentos gerais de informática e comunicação de dados, etc.

Quando for difícil a sua aplicação, principalmente para um número pequeno de equipamentos ou equipamentos muito espalhados, pode-se utilizar o método de aterramento de ponto único ou então utilizar uma placa metálica que simule a malha de terra de referência, chamada de “Transient Suppressor Plate” (TSP), ou Placa Supressora de Transiente.

De qualquer forma, a malha de terra de referência ou qualquer outro sistema de aterramento, não garante, sozinha, o bom desempenho dos equipamentos sensíveis. Para tanto, devem ser realizados os seguinte complementos:

- execução de uma blindagem externa do edifício (ou blindagem interna na sala que abrigue a malha) contra descargas atmosféricas diretas e indiretas, conforme as prescrições da ABNT NBR 5419. O objetivo dessa medida é reduzir o campo eletromagnético no volume interno onde estão situados os equipamentos eletrônicos sensíveis e, portanto, reduzir também as interferências irradiadas via ar. Importante mencionar que a proteção tipo Franklin não é adequada para esta finalidade;
- aplicação de dispositivos protetores de surtos (DPS) no início e fim de cada interface longa, não óptica, dos cabos de comunicação de sinais. As interfaces longas a considerar são aquelas entre edifícios ou dentro de um mesmo edifício;
- escolha criteriosa do sistema de alimentação elétrica dos equipamentos sensíveis, de forma que eles sejam protegidos contra surtos de tensão, transitórios, harmônicos e outros fenômenos. Deve-se ainda proceder a uma avaliação na qualidade de energia local e estudar a necessidade de se implantar um sistema de energia ininterrupta (UPS). Deve ser observado que os estabilizadores de tensão, largamente utilizados no Brasil, em geral não possuem resposta para fenômenos transitórios rápidos, corrigindo apenas variações lentas de tensão;
- escolha criteriosa da rota e maneira de instalação dos cabos de comunicação de sinais sensíveis em bandejas, eletrodutos, redes de dutos, etc. Os cabos de comunicação de sinais sensíveis preferencialmente devem ser instalados em eletrodutos, canaletas fechadas, eletrocalhas com tampas, ou qualquer outro tipo de conduto fechado, sempre metálico (preferencialmente em alumínio), contínuo e aterrado em múltiplos pontos. Em bandejas ou outros condutos abertos, os cabos sensíveis devem estar situados em distâncias progressivas em

relação ao nível de tensão mais alto, atendendo às normas de compatibilidade eletromagnética;

- escolha da forma adequada de aterrar as blindagens dos cabos, levando-se em conta a frequência de comunicação e o sistema de aterramento utilizado. Como recomendação geral, em baixas frequências (até algumas dezenas de kHz), a blindagem pode ser aterrada somente em uma extremidade. Já em altas frequências (centenas de kHz ou faixa de MHz e GHz), é recomendável o aterramento nas duas extremidades. Neste último caso, a blindagem deve ser protegida por um condutor externo ao cabo, com seção nominal mínima 16 mm² (critério mecânico), a fim de evitar que ela seja danificada por correntes transitórias elevadas. O cabo em questão deve ser aterrado também nas duas extremidades.

9.4.12 - COMPLEMENTOS AO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Deve ser notado que, mesmo sendo uma malha de aterramento de melhor concepção, a MTR tem ação limitada, pois atua apenas equalizando as barras de terra dos equipamentos eletrônicos sensíveis a ela conectados através de condutores (fitas ou cordoalhas) curtas.

Uma situação importante, e bastante comum, a ser analisada é a interconexão de equipamentos situados em prédios ou locais distantes entre si. Embora em cada prédio ou edifício possa existir uma MTR, se elas forem interconectadas através de condutores longos, não se conseguirá equalizá-las para altas frequências. Desta forma, podem surgir diferenças de potencial entre as malhas e, em uma situação pior, podem ser induzidos surtos de tensão elevados nos cabos que fazem a conexão dos equipamentos remotos.

Estes surtos são causados, geralmente, por descargas atmosféricas incidentes nos edifícios ou nas suas proximidades, e penetram nos cartões de interface através dos cabos, quer seja na forma de sinal de modo comum (entre condutores vivos e terra), quer seja no modo diferencial (entre condutores vivos).

Em alguns casos, os valores dos surtos são tão elevados que os componentes eletrônicos dos cartões são literalmente carbonizados. Embora esses surtos de

tensão possam ser atenuados por técnicas de instalação corretas (blindagem dos condutores através de eletrodutos metálicos, por exemplo), a experiência tem mostrado que estas técnicas são insuficientes ou, em alguns casos, impossíveis de serem aplicadas, pelo seu custo muito elevado. Nestes casos, a situação pode ser contornada através do emprego de protetores de surtos adequados (DPS), cujo dimensionamento requer um estudo específico, ou pelo emprego de cabos em fibra óptica.

Também podem ser acoplados surtos de tensão através das fontes de alimentação de força, o que pode ser atenuado pelo emprego de transformadores de isolamento, associados a protetores de surto convenientes.

O transformador de isolamento, é um equipamento que possui uma blindagem eletrostática (material não magnético, como o alumínio), envolvendo um ou mais de seus enrolamentos. Esta blindagem, sendo aterrada, reduz o acoplamento capacitivo entre os enrolamentos. Para a maioria das aplicações, uma única blindagem é suficiente.

Deve ser observado que os transformadores de isolamento atenuam a entrada de surtos de modo comum, mas não evitam a passagem de surtos no modo diferencial, uma vez que, neste caso, o acoplamento será realizado através do próprio circuito magnético do transformador.

9.5 - PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ELETROSTÁTICAS

A acumulação de eletricidade estática em equipamentos, materiais armazenados ou processados e em pessoal de operação introduz um sério risco nos locais onde estão presentes líquidos, gases, poeiras ou fibras inflamáveis ou explosivos.

A eletricidade estática é, provavelmente, a primeira forma de eletricidade registrada pela Humanidade, estando reportada em escritos gregos de 600 anos Antes de Cristo.

Ela é gerada pela movimentação dos elétrons que acontece quando dois materiais bons condutores elétricos estão em contato e são separados. Nesse caso, a maioria dos elétrons em excesso de um condutor voltará para o outro, antes

da separação ser realizada por completo. No entanto, se um ou ambos materiais forem isolantes elétricos, os elétrons em excesso em um deles não voltam para o outro antes da separação, tornando-se, assim, carregado. Em resumo, a carga estática é devida a uma deficiência ou a um excesso de elétrons.

Uma superfície que possua uma diferença de um elétron a cada 100.000 átomos está muito carregada!

A tensão elétrica resultante neste processo está relacionada com a quantidade de carga depositada no corpo e com a sua capacitância em relação à sua vizinhança, sendo expressa por:

$$U = Q / C$$

onde:

U = tensão (volt)

Q = carga (coulomb)

C = capacitância (faraday)

Essa tensão, em alguns casos, pode atingir milhares de volts, provocando uma descarga entre o corpo energizado e outro qualquer.

Muitos problemas de eletricidade estática podem ser resolvidos pela ligação equipotencial de várias partes dos equipamentos e a ligação à terra de todo o sistema. A ligação equipotencial minimiza a tensão entre os equipamentos, prevenindo descargas entre eles. O aterramento minimiza a diferença de potencial entre o objeto e a terra. Essas ligações podem ser feitas por condutores nus ou isolados, utilizando-se o sistema de aterramento único da edificação.

Deve-se salientar que o aterramento e equipotencialização não são a solução única para todos os problemas de eletricidade estática, como no caso de processamento de materiais isolantes (papel, roupas, borrachas) ou de líquidos pouco condutivos (refino de petróleo). Nesses casos, a eletricidade não pode ser removida pelo aterramento ou equipotencialização e devem ser adotados outros métodos de controle (por exemplo, ionização, umidificação, etc.).

10 - O ATERRAMENTO ÚNICO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Em qualquer projeto, deve ser assegurado que todos os tipos de proteções necessárias (choque, descargas atmosféricas diretas, sobretensões, equipamentos eletrônicos, descargas eletrostáticas) se juntem em um único ponto de aterramento, garantindo, assim, a tão desejada e fundamental equipotencialização.

10.1 - BARRAMENTO DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO PRINCIPAL - BEP

Esse ponto de convergência do sistema de aterramento de uma instalação elétrica é o chamado BEP – Barramento de Equipotencialização Principal.

Conforme a ABNT NBR 5410, o BEP deve ser posicionado prioritariamente no ponto de entrada da instalação (onde os condutores vivos das linhas externas adentrem a edificação), permitindo assim a interligação direta ou indireta (via DPS) com os mesmos.

Em alternativa e, dependendo das condições exigíveis de equipotencialização para proteção contra os efeitos diretos causados pelos raios, o BEP pode ser posicionado no quadro de distribuição principal – QDP ou QGBT.

Embora a norma não defina o seu formato físico, em geral o BEP pode ser constituído por uma barra retangular de cobre nu de, no mínimo, 50 mm de largura x 3 mm de espessura, sendo o seu comprimento determinado pela disponibilidade de espaço dentro do quadro ou caixa onde será instalado e o número de ligações que serão feitas.

O BEP deve ser ligado ao eletrodo de aterramento por meio de um cabo isolado de cobre com seção nominal mínima igual a 16 mm², sendo a seção máxima aquela obtida pelo mesmo critério de dimensionamento prescrito pela ABNT NBR 5410 para o condutor de proteção. Essa ligação deve ser a mais direta e curta possível, realizada em um ou mais pontos do eletrodo de aterramento.

10.2 - RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

Com a equipotencialização assegurada, em geral o valor absoluto da resistência de aterramento deixa de ser um fator relevante.

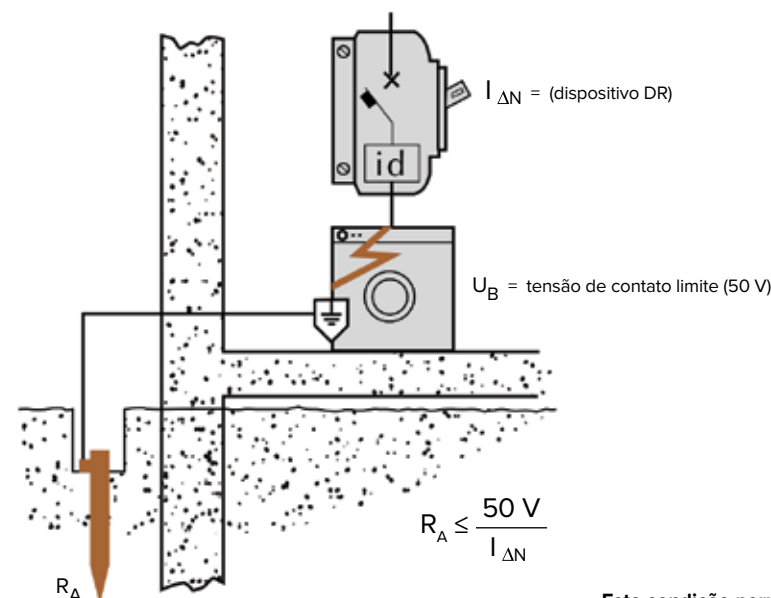
A ABNT NBR 5410 não prescreve nenhum valor de resistência de aterramento para o caso do esquema de aterramento TN, que é o mais comumente encontrado no Brasil, e indica a seguinte fórmula para o valor máximo dessa resistência nos casos TT e IT:

$$R = U_L / I_a$$

onde:

U_L: tensão limite de contato (50 V ou 25 V, nas situações 1 ou 2);

I_a: corrente de atuação do dispositivo de seccionamento automático para proteção contra choques elétricos.



Esta condição permite resistências de aterramento muito elevadas, de fácil realização

Figura 31 - Proteção com dispositivo diferencial-residual

No caso de um dispositivo DR com corrente de sensibilidade de 30 mA, para a tensão limite de 50 V, a resistência máxima de aterramento resulta em $R = 1,7 \text{ k}\Omega$, valor extremamente elevado e muito fácil de ser obtido. Mesmo para um DR de 300 mA, teríamos uma resistência máxima de aterramento de $50 \text{ V} / 300 \text{ mA} = 167 \Omega$, também fácil de ser conseguido (Figura 31).

Por outro lado, a ABNT NBR 5419 não prescreve nenhum valor de resistência máxima de aterramento na proteção contra descargas atmosféricas, igualmente dando destaque para a equipotencialização e, conseqüentemente, para a continuidade dos condutores envolvidos com essa medida.

10.3 - UM PROJETO DE ATERRAMENTO MODERNO, EFICIENTE E INTEGRADO

Resumindo tudo o que foi exposto nessa publicação, podemos concluir que um sistema de aterramento que satisfaça às exigências atuais de funcionalidade, segurança e que atenda às normas em vigor deve possuir as seguintes características:

- utilização da ferragem da estrutura, interligada em anel por um condutor de cobre nu, como eletrodo de aterramento;
- presença do BEP no quadro geral de baixa tensão, interligado ao anel enterrado por meio de um cabo de cobre isolado;
- ligações, por meio de cabos de cobre nus ou isolados, de todos os elementos metálicos não energizados que entram na edificação, como tubulações de água, esgoto, etc., até o BEP. Essas ligações devem ser radiais, as mais curtas possíveis;
- utilização de protetores contra sobretensões na entrada da instalação, seja na linha de força, na linha de telefonia, de sinal etc. Os terminais de terra desses protetores devem ser ligados ao BEP por meio de cabos de cobre isolados;
- ligação dos terminais de terra dos protetores de sobretensão instalados juntos aos aparelhos eletrônicos no interior da instalação, através dos condutores de proteção dos circuitos terminais até o BEP;

- ligação de todos os terminais de terra dos equipamentos da instalação elétrica (chuveiros elétricos, torneiras elétricas, aquecedores, motores, etc.), através dos condutores de proteção dos circuitos terminais até o BEP;
- ligação das malhas de aterramento dos equipamentos eletrônicos sensíveis ao BEP através de condutores de equipotencialização os mais curtos e retos possível. Caso não se utilize a malha e sim o sistema de ponto único, ligar os condutores de proteção ao BEP de forma radial e a mais curta possível;
- ligação de todos os condutores de equipotencialidade da instalação ao BEP do modo mais curto e reto possível.

LEITURA COMPLEMENTAR

IEEE Std 142-2007: IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.

Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEEE Std 1100-2005: IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment

Institute of Electrical and Electronics Engineers

ABNT NBR 5410:2004: Instalações elétricas de baixa tensão

Associação Brasileira de Normas Técnicas

Curso de instalações elétricas – módulo 3 – Sistemas de aterramento

Instituto Brasileiro do Cobre

Autores da edição original deste manual em 1999:

Hilton Moreno - Engenheiro eletricista, professor, consultor do Procobre, membro do Comitê Brasileiro de Eletricidade da ABNT.

Paulo Fernandes Costa - Engenheiro eletricista, mestre em engenharia, diretor técnico da Senior Engenharia e Serviços Ltda.

Autor da revisão de 2018: Professor Engenheiro Hilton Moreno

O Instituto Brasileiro do Cobre – PROCOBRE promove campanhas de conscientização, distribui publicações e patrocina cursos e palestras.

O cobre participa de uma vida melhor.

Atualize-se e conheça as novidades do uso do cobre no site:

www.procobre.org