

Aterramento

1 Fundamentos

Em toda instalação elétrica de média tensão para que se possa garantir, de forma adequada, a segurança das pessoas e o seu funcionamento correto deve ter uma instalação de aterramento. A NBR 14039, norma técnica brasileira de MT, e a NR-10, norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, exigem que todas as instalações elétricas tenham um aterramento. Esta exigência tem como finalidade principal a segurança das pessoas, tanto dos profissionais encarregados da operação e manutenção quanto das pessoas que utilizam a instalação e estão na sua proximidade e influência.

Além da finalidade de segurança pessoal, no entanto, pode-se citar ainda como finalidades do aterramento: a proteção das instalações, a melhoria da qualidade dos serviços, principalmente da proteção e o estabelecimento de um referencial de tensão para a instalação.

O aterramento segundo sua função pode ser classificado como:

1. Aterramento funcional é o aterramento de um condutor vivo, normalmente o neutro, objetivando o correto funcionamento da instalação;
2. Aterramento de proteção é o aterramento das massas e dos elementos condutos estranhos à instalação, objetivando a proteção contra choques por contatos indiretos.
3. Aterramento para trabalho é o aterramento de uma parte de um circuito de uma instalação elétrica, que está normalmente sob tensão, mas é posta temporariamente sem tensão para que possam ser executados trabalhos com segurança.

Dependendo do esquema de aterramento adotado os aterramentos: funcional e de proteção podem ser implementados no mesmo eletrodo de aterramento ou em eletrodos distintos. Mas tanto o aterramento funcional quanto o aterramento de proteção são permanentes enquanto que o aterramento de trabalho é um aterramento temporário, só é feito durante a realização do trabalho na instalação sendo retirado em seguida para a reenergização.

O aterramento consiste fundamentalmente de uma estrutura condutora, que é enterrada propositadamente ou que já se encontra enterrada, e que garante um bom contato elétrico com a terra, chamada eletrodo de aterramento, e a ligação desta estrutura condutora aos elementos condutores da instalação elétrica que não são destinados à condução da corrente.

O eletrodo de aterramento – termo normalizado na terminologia oficial brasileira - também é conhecido como malha de terra. As características e o desempenho do eletrodo de aterramento deve satisfazer às prescrições de segurança das pessoas e funcionais da instalação.

Esta ligação elétrica intencional com a terra, em caráter permanente ou temporário, é feita para prover a instalação de um potencial de referência e/ou de um caminho de impedância adequada à corrente de falta. Neste último aspecto, a terra deve ser considerada como um elemento do circuito por onde pode circular uma corrente, seja ela, proveniente de uma falta ou descarga atmosférica. No caso da corrente de falta o fenômeno é eletrodinâmico e a corrente percorre sempre um caminho fechado incluindo a fonte e a carga. No caso da descarga atmosférica o fenômeno é eletrostático a corrente do raio circula pela terra para neutralizar as cargas induzidas no solo. A circulação da corrente apresenta conseqüências, como por exemplo, tensão de contato e tensão de passo.

Do ponto de vista da proteção contra choque elétrico, o objetivo de uma malha de terra é proporcionar uma superfície equipotencial no solo onde estão colocados os componentes da instalação elétrica e onde as pessoas estão pisando. Esta superfície equipotencial irá garantir que quando uma corrente circular pelo aterramento, seja ela proveniente de uma falta ou de uma descarga atmosférica não aparecerá diferença de potencial entre diferentes pontos acessíveis à pessoa. Como pode ser visto na figura 1, esta superfície só será equipotencial se a condutividade do material da superfície for nula. Isto é, no entanto uma situação irreal, impossível de ser realizada e desnecessária.

O projeto de uma malha de aterramento de uma instalação de MT visa buscar uma condição aceitável, uma situação real, onde poderão aparecer gradientes de potencial ao longo da

superfície do piso da subestação, devido à circulação de correntes pelo solo, como por exemplo, as correntes de falta.

Os valores de gradientes que podem aparecer no piso devem ser valores aceitáveis, isto é, devem estar dentro dos limites suportáveis pelas pessoas.

Para definir os limites suportáveis na especificação de uma malha de aterramento duas variáveis são comumente usadas, como pode ser visto na figura 2: a tensão de contato, que é a tensão que aparece entre partes simultaneamente acessíveis, quando de uma falha de isolamento, e a tensão de passo, que é a tensão produzida por uma corrente que circula pela terra entre dois pontos de sua superfície, separados por uma distância correspondente à largura do passo de uma pessoa (Para efeito de projeto e/ou de medição, considera-se uma distância de 1 m entre os dois pontos considerados).

2 Eletrodos de Aterramento

O eletrodo de aterramento é um condutor ou conjunto de condutores enterrados no solo e eletricamente ligados a terra, para fazer um aterramento,

Os eletrodos de aterramento podem ser: natural, que não é instalado especificamente para este fim, em geral as armaduras de aço das fundações e convencional que é instalado unicamente para este fim, como por exemplo, os condutores em anel, as hastes verticais ou inclinadas e os condutores horizontais radiais.

Os eletrodos naturais são elementos metálicos, normalmente da estrutura da edificação, que pela sua característica tem uma topologia e um contato com o solo melhor que os eletrodos convencionais e ainda apresentam uma resistência de aterramento também inferior. Como o projeto é feito por profissionais da área de engenharia civil e o foco é somente na estrutura da edificação é necessária a consideração de que a estrutura será utilizada sistema de aterramento já na fase de projeto.

2.1 Eletrodo Natural

Um dos eletrodos de aterramento naturais mais usados é o constituído pelas armaduras de aço embutidas no concreto das fundações das edificações. 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 podem ainda, juntamente com as demais armaduras do concreto da edificação, constituir, nas condições prescritas pela NBR 5419, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas (aterramento e gaiola de Faraday, complementado por um sistema captor).

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 estrutura. A fita deve ter, no mínimo, 100 mm² de seção e 3 mm de espessura e deve ser disposta na posição vertical. A barra deve ter, no mínimo, 95 mm² de seção. A fita ou a barra deve ser envolvida por uma camada de concreto com espessura mínima de 5 cm.

O aterramento pelas fundações, já consagrado em diversos países e já previsto nas edições de 1980 e de 1990 da NBR5410, tem como características básicas: o fato de o concreto, em contato com o solo, apresentar resistividade típica de terreno argiloso (cerca de 30 Ω.m a 20⁰ C) e a existência de grande quantidade de condutores (de aço) nas fundações, bastante superior à de condutores de cobre que seria utilizada para o mesmo fim.

As normas brasileiras proíbem a utilização das canalizações metálicas de fornecimento de água e outros serviços como eletrodo de aterramento, isto se deve principalmente, pela possibilidade de interrupção da continuidade pela colocação de luvas isolantes e outros acessórios isolantes, por parte da empresa responsável por estes serviços, uma vez que a preocupação básica não é o aterramento e sim os serviços prestados.

2.2 Eletrodo Convencional

As normas brasileiras estabelecem que quando o aterramento for utilizados os eletrodos de aterramento convencionais, a seleção e instalação dos componentes dos aterramentos devem ser tais que:

a) o tipo e a profundidade de instalação dos eletrodos de aterramento devem ser tais que as mudanças nas condições do solo (por exemplo, secagem) não aumentem a resistência de aterramento dos eletrodos acima do valor exigido.

b) o projeto do aterramento deve considerar o possível aumento da resistência de aterramento dos eletrodos devido à corrosão.

c) resistam às solicitações térmicas, termomecânicas e eletromecânicas;

d) sejam adequadamente robustos ou possuam proteção mecânica apropriada para fazer face às condições de influências externas.

e) apresente baixo valor de resistência e impedância de aterramento,

f) tenha distribuição espacial conveniente.

Preferencialmente o eletrodo de aterramento convencional deve constituir um anel circundando o perímetro da edificação. A eficiência de qualquer eletrodo de aterramento depende das condições locais do solo; devem ser selecionados um ou mais eletrodos adequados às condições do solo e ao valor da resistência de aterramento exigida pelo esquema de aterramento adotado. O valor da resistência de aterramento do eletrodo de aterramento pode ser calculado ou medido.

Os eletrodos convencionais como são produtos especialmente estabelecidos para este fim, podendo ser especialmente fabricado para ser eletrodo como as hastes ou fabricado para outro uso elétrico como o cabo nu e usado como eletrodo. Os eletrodos convencionais estabelecidos nas normas brasileiras estão indicados na tabela 1.

Tabela 1 - Eletrodos de aterramento convencionais

Tipo de eletrodo	Dimensões mínimas	Observações
Tubo de aço zincado	2,40 m de comprimento e diâmetro nominal de 25 mm	Enterramento totalmente vertical
Perfil de aço zincado	Cantoneira de (20mmx20mmx3mm) com 2,40 m de comprimento	Enterramento totalmente vertical
Haste de aço zincado	Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento	Enterramento totalmente vertical
Haste de aço revestida de cobre	Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento	Enterramento totalmente vertical
Haste de cobre	Diâmetro de 15 mm com 2,00 ou 2,40 m de comprimento	Enterramento totalmente vertical
Fita de cobre	25 mm ² de seção, 2 mm de espessura e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Largura na posição vertical
Fita de aço galvanizado	100 mm ² de seção, 3 mm de espessura e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Largura na posição vertical
Cabo de cobre	25 mm ² de seção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Posição horizontal
Cabo de aço zincado	95 mm ² de seção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Posição horizontal
Cabo de aço cobreado	50 mm ² de seção e 10 m de comprimento	Profundidade mínima de 0,60 m. Posição horizontal

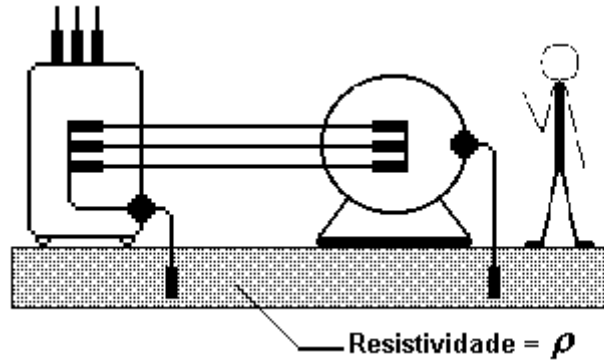


Figura 1 – Aterramento deve ser uma equipotencialização local para ser eficaz na proteção contra choque

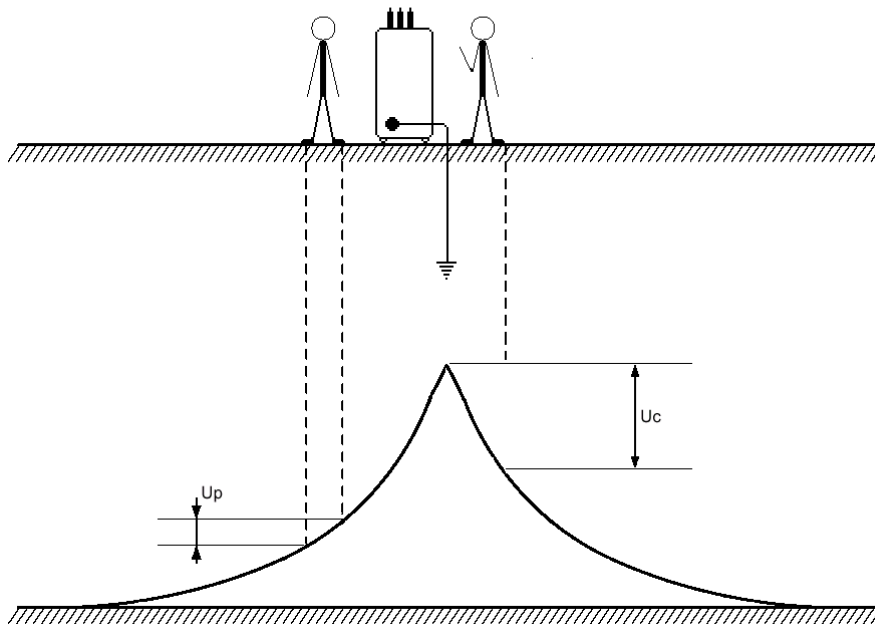


Figura 2 – Tensão de passo e tensão de contato provocado por um eletrodo de aterramento.

Para definir as características mais importantes do eletrodo de aterramento, vamos analisar o que ocorre quando uma corrente elétrica é injetada em um eletrodo de aterramento. A terra por ser um material condutor apresenta propriedades físicas, como por exemplo, a resistividade. E um eletrodo de aterramento cravado no solo, passa a ser um componente da instalação elétrica por onde circula corrente, e, portanto apresenta uma resistência elétrica. O valor desta resistência depende como todo condutor da resistividade do material e da geometria do componente. Quando uma corrente é injetada no eletrodo de aterramento aparecem ao longo do solo em torno dele gradientes de potencial. Os gradientes têm o seu valor máximo nas proximidades do eletrodo e os valores diminuem à medida que afastam do eletrodo.

Considera-se como zona de influência do eletrodo de aterramento a região no solo onde o potencial varia com a injeção da corrente. Um ponto importante que define os limites da zona de influência de um eletrodo é o terra de referência. Pode-se definir o terra de referência como o

ponto em que o potencial não varia, quando uma dada corrente circula pelo eletrodo. Do ponto de vista estritamente teórico este ponto está no infinito, para qualquer eletrodo e qualquer corrente, o que indica que do ponto de vista da aplicação esta teoria não se aplica (a não ser para alimentar calorosas discussões técnicas).

Como exemplo, pode-se analisar o que acontece quando uma haste vertical é usada como eletrodo. A corrente injetada no eletrodo e a distribuição espacial do potencial são mostradas na figura 3. Este modelo é baseado nas seguintes simplificações:

- solo é homogêneo,
- a corrente injetada no eletrodo tem um percurso que é fechado no infinito.

Defini-se resistência de aterramento R_T como a relação entre a tensão no eletrodo de aterramento e a corrente que a gerou, ou seja:

$$R_T = \frac{U}{I}$$

Onde:

I é a corrente elétrica que circula no eletrodo e

U é a tensão que aparece no eletrodo de aterramento, em relação a um ponto distante do eletrodo, conhecido como terra de referencia.

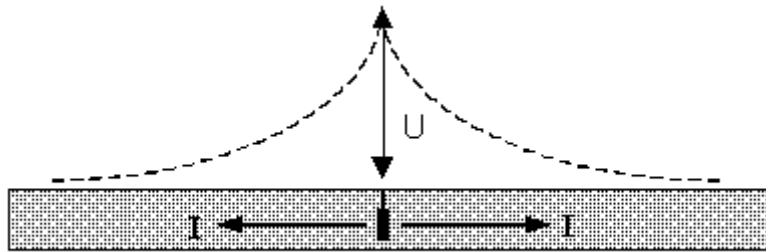


Figura 3 Perfil de potencial de uma haste quando for injetado uma corrente.

Um aspecto importante a se ressaltar é que o conceito de resistência de aterramento está vinculado ao terra de referência. A elevação de potencial considerada é a elevação no eletrodo para o ponto de referência, ou seja, no exterior ao eletrodo de aterramento.

Durante uma falta à terra, supõe-se que o eletrodo de aterramento e todas massas metálicas conectadas a ele pode ser elevado ao potencial U , mas isto só ocorre na superfície horizontal de um eletrodo contínuo. Proteger uma subestação com um eletrodo contínuo, no caso uma placa, não seria nem necessário tecnicamente nem economicamente viável. O que se faz é o uso de um conjunto de eletrodos elementares interligados em forma de malha.

3 Gradientes de potencial associados a malhas de terra

Uma malha de terra visa proporcionar, de forma satisfazer os requisitos técnicos e econômicos, uma condição de equipotencialidade satisfatória na superfície do solo de uma subestação. Na prática, sempre irão ocorrer gradientes de potencial quando passarem pelo solo correntes de falta, mas desde que as malhas de terra tenham sido dimensionadas apropriadamente, os máximos valores de gradiente para os níveis da corrente de falta não serão excedidos. A distribuição de potencial no interior e no entorno de uma malha é dado na figura 4.

No interior da malha de aterramento, onde estão os equipamentos e as pessoas, os valores de elevação de potencial deverão permanecer dentro de limites aceitáveis. Um parâmetro importante no projeto das malhas de terra, para que os máximos valores de gradiente para os níveis da corrente de falta não sejam excedidos, é a dimensão das malhas básicas.

Quanto maior for a malha básica maior será a elevação de potencial no interior da malha, de forma qualitativa a figura 5 mostra a variação de potencial em relação dimensão da malha básica.

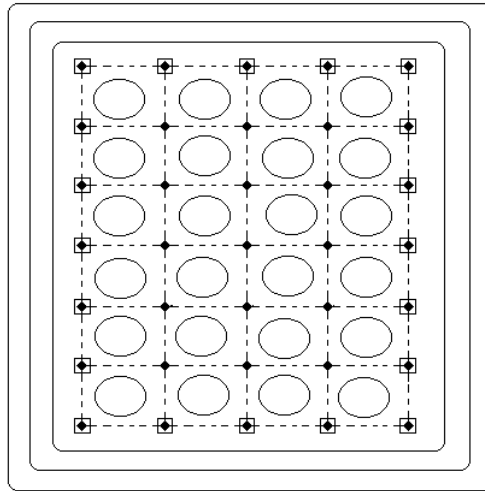


Figura 4- linhas de equipotencial um uma malha de aterramento



Figura 5 – distribuição de potencial no interior das malhas básicas.

4 Eletrodo de aterramento em uma subestação de MT

Como nas outras áreas, tais como, nas instalações elétricas de baixa tensão e nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, nas instalações elétricas de média tensão o eletrodo de aterramento em uma subestação deve constituir de no mínimo um anel circundando o perímetro da edificação.

O sistema de aterramento de uma subestação é que irá efetivamente garantir a proteção dos usuários contra choque elétrico por contato indireto. O desempenho deste eletrodo deve ser compatível com esta função. Logo, do ponto de vista da proteção dos usuários de uma instalação, o parâmetro mais importante na especificação do eletrodo de aterramento é a tensão de contato. A tensão de contato máxima a que pode ser submetida uma pessoa em uma instalação média tensão é dada na NBR 14039.

Outra especificação adicional do eletrodo é que valor da resistência de aterramento deve satisfazer às condições de proteção e de funcionamento da instalação elétrica, de acordo com o esquema de aterramento utilizado.

Portanto pode-se estabelecer a seguinte seqüência para o projeto do eletrodo de aterramento de uma subestação de média tensão:

1. Verificar qual é a máxima corrente de falta;
2. Verificar o tempo de eliminação da falta pela atuação da proteção;
3. Verificar na curva de tensão de contato x tempo, qual a máxima tensão de contato aceitável;
4. Projetar uma malha em função da: corrente de falta, máxima tensão de contato aceitável, resistividade do solo.

Seguindo a seqüência dada e usando um método adequado para o projeto da malha, o resultado encontrado é o tamanho da malha básica, também conhecida com “mash”, e a espessura de concreto do piso da subestação. Um método muito conhecido para o cálculo das malhas é dado na norma técnica americana IEEE Std 80 - IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

A figura 8 ilustra com um exemplo qualitativo a aplicação de um eletrodo de aterramento em uma subestação de média tensão.

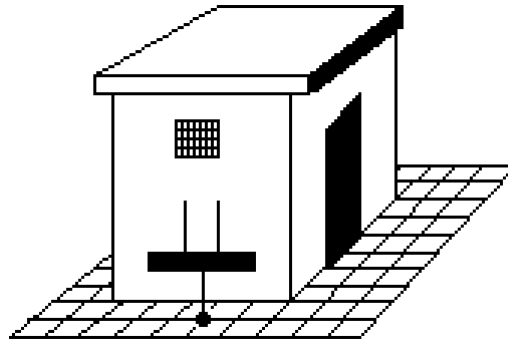


Figura 8 – eletrodo de aterramento em malha de uma subestação.