

## Medições de resistência de aterramento

**Danilo Neves de Araújo – dnevesaraujo@gmail.com**  
**MBA em Projeto, Execução e Controle de Engenharia Elétrica**  
**Instituto de Pós-Graduação - IPOG**  
**São Luis, MA, 14 Janeiro de 2018**

### Resumo

Os sistemas de aterramento em geral precisam ser monitorados, pois em seu funcionamento anormal, podem gerar consequências patológicas aos seres humanos, e um mau funcionamento dos sistemas elétricos a ele conectados. Este trabalho tem o objetivo de apresentar os principais tipos de sistemas de aterramento, os riscos da corrente de choque elétrico, proveniente da deficiência do sistema de aterramento, que uma pessoa que esteja no interior da subestação de energia no momento de uma falta está submetida. Quais métodos para medição da resistência de aterramento existem em normas nacionais afim de jugar a eficiência de um aterramento? Este trabalho foi realizado através de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema aterramento elétrico nas normas nacionais, artigos, sites de fabricantes de equipamentos de medição e livros de autores renomados em relação ao tema, além de fotos de execução de projeto de malha de aterramento por onde trabalhei. Contudo é importante a reciclagem do profissional habilitado em trabalhos com eletricidade, pois conhecer os principais métodos da resistência de aterramento. O aterramento pode passar de um facilitador das instalações elétricas de uma subestação para um causador de patologias caso um procedimento de medição do eletrodo de aterramento não seja realizado periodicamente.

**Palavras-chave:** Aterramento elétrico. Método queda de potencial. Segurança nas instalações.

### 1. Introdução

Situações como a de um operador de subestação de energia elétrica que ao tocar em uma estrutura suporte metálica de um equipamento como, por exemplo, a de um transformador de corrente de subestação de 230 KV, ou até mesmo ao manobrar a alavanca de uma chave seccionadora, ambos os casos, espera-se que o contato seja seguro, sem tensão que possa causar algum dano ao corpo humano. Isso é possível com um sistema de aterramento funcional e eficiente. Na maioria das vezes, quando há uma falta em uma instalação, as correntes dispersas pelo sistema de aterramento provocam o surgimento de diferenças de potencial entre pontos na superfície do solo (exemplo: tensões de passo); geram potenciais entre partes metálicas aterradas da instalação e o solo (exemplo tensão de toque). Os valores das tensões de toque e de passo são considerados desde a fase de projeto de sistema de aterramento, pois a eles juntamente ao valor da resistência do sistema de aterramento está

**Medições de resistência de aterramento****Julho/2019**

relacionado à segurança das pessoas e também o bom funcionamento de um sistema elétrico (ABNT NBR 15749:2009).

Por tanto este trabalho tem como objeto de estudo os tipos de sistemas de aterramento e os principais métodos de medições da resistência de aterramento. Quais riscos um profissional do interior de uma subestação poderá estar submetido devido uma corrente falta? Quais as consequências de um mau sistema de aterramento? É importante auxiliar os profissionais do SEP ( sistema elétrico de potencia) a conhecer os riscos a que estão submetidos no interior de uma subestação relacionados ao sistema de aterramento e de explicar a forma correta de julgar sua eficiência.

Tensão de passo é a máxima diferença de potencial entre os pés (Conceitualmente 1 m entre os pés) a que ficaria submetido uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, durante o fluxo de corrente pelo mesmo. Já a tensão de toque é a máxima diferença de potencial entre mão e pés a que ficaria submetido uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, que tivesse contato com uma parte metálica ligada aos seus eletrodos, durante o fluxo de corrente pelo aterramento (Considera-se ambos os pés afastado de 1m da estrutura tocada) (VISACRO FILHO, 2002:121).

Mamede Filho (2013:394) define tensões de passo e de toque inserindo a consequência patológica que se deseja evitar: fibrilação ventricular. Dos diversos efeitos danosos de choque elétrico devido tensões de toque e de passo, o mais relevante é a fibrilação ventricular do coração (CAMPAGNOLO E KINDERMANN, 1995:116).

A máxima corrente elétrica que circula pelo corpo humano sem provocar fibrilação é conhecida como corrente de choque elétrico de longa duração ( $I_{Chld}$ ). Uma corrente ao tingir o miocárdio, atrapalha seu funcionamento normal. Os impulsos periódicos que em condições normais regulam as contrações (sístoles) e as expansões (diástoles) são alterados. No fenômeno da fibrilação, ocorre uma batida desordenada do coração o que influi na falha do fluxo vital de sangue ao corpo. Na maioria das vezes, mesmo após a interrupção da corrente de choque, a fibrilação ainda continua. Nesses casos o fenômeno cessa após o uso de um aparelho chamado desfibrilador ( SUETA E MODENA,2016:54 ).

Os valores máximos de corrente de choque elétrico de longa duração suportado por um corpo humano são os tabelados abaixo:

Porcentagem da população que suporta	Homens	Mulheres
99,5 %	9 mA	6 mA
50 %	16 mA	10,6 mA

Tabela 1 – Corrente limite de largar de longa duração ( $I_{Chld}$ )

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15751(2009)

O termo aterramento é definido como “ligação intencional de parte eletricamente condutiva a terra por meio de um condutor elétrico” (ABNT NBR 7117:2012,1; ABNT NBR 15749:2009,1 ; ABNT NBR 15751:2009, 1).

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

Segundo Campagnol e Kindermann (1995:1) os objetivos principais de um aterramento são:

- Obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível, para correntes de falta a terra;
- Fazer os equipamentos de proteção sejam mais sensibilizados e isolem rapidamente as falhas à terra;
- Proporcionar um caminho de escoamento para terra de descargas atmosférica;
- Usar a terra como retorno de corrente, nos casos de sistemas monofilar com retorno por terra (MRT).

Um sistema de aterramento pode perder sua eficiência ao longo do tempo por motivos intrínseco ao eletrodo metálico em contato com o solo por meio do processo de corrosão do material ou ate mesmo por ação de vândalos, cabendo assim realizar medições periódicas nesses sistemas de modo prevenir que a elevação de potencial do sistema em relação à terra de referencia. Além disso, as medições nos sistemas de aterramento buscam basicamente (NBR 15749, 2009:4-5):

- a) Verificar a eficácia do eletrodo ou do sistema de aterramento;
- b) Definir alterações para um sistema de aterramento existente;
- c) Detectar possíveis tensões de toque e passo perigosos;
- d) Determinar a elevação de potencial do sistema de aterramento em relação à terra de referencia.

No caso específico de sistema de aterramento de subestações de energia elétrica, é preciso verificar se os projetos padrão de aterramento de equipamentos estão em conformidade com a ABNT em sua NBR 1575:1. Isso pode ser feito inspeção à luz desta norma.

## 2. Conceitos e definições relevantes em aterramentos elétricos

### 2.1 Eletrodos de aterramento

Elemento ou conjunto de elementos do sistema de aterramento que assegura o contato elétrico com o solo e dispersa a corrente de defeito, de retorno ou descarga atmosférica na terra (ABNT NBR 15794, 2009:2).

### 2.2 Sistemas de aterramento

É um conjunto de todos os eletrodos e condutores de aterramento, interligados ou não entre si. Também pode ser considerado um sistema de aterramento partes metálicas que tem a função indiretamente de aterramento tais como: torres, pórticos , armaduras de edificações , capas metálicas de cabos , tubulações.

Os tipos de sistemas de aterramento mais utilizado são a malha de terra (CAMPAGNOLO E KINDERMANN, 1995:1):

- a) Uma haste cravada no solo;

Além de serem muito usada em aterramento das residências, o emprego das haste verticais também é utilizado como complemento de aterramentos como malha de terra de subestação pois é ajuda para o bom desempenho do escoamento das correntes de surto . Além de baixar

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

a resistência da terra, aponta da haste ajuda a manter o potencial perigoso no fundo do solo (CAMPAGNOLO E KINDERMANN, 1995:190).

- b) Hastes alinhadas;
- c) Hastes em quadrado;
- d) Hastes em triângulo;
- e) Hastes em círculo;
- f) Placas de material condutor enterrado no solo;
- g) Fios ou cabos enterrados no solo, formando diversas configurações tais como em cruz em estrela, quadriculados formam uma malha de terra.

### 2.2.1 Malha de aterramento

Para Campagnolo e Kindermann (1995:190) o sistema mais eficiente é o da malha de terra. Malha de aterramento ou malha de terra é o conjunto de condutores nus interligados e enterrados no solo (ABNT NBR 15751,2009: 2).Para Mamede Filho (2013:396-397) os principais elementos de uma malha de aterramento são:

- **Eletrodo de terra** Que também é chamado de eletrodo verticais e podem ser constituídos tanto de material ferro galvanizado quanto de aço cobreado .
- **Condutor de aterramento:**

No caso de solos de características ácidas, pode-se utilizar o condutor de cobre nu de seção não inferior a 16 mm<sup>2</sup>. Para solos de natureza alcalina, a seção do condutor de cobre não deve ser inferior a 25 mm<sup>2</sup>.A grandeza da corrente de defeito fase e terra poderá , determinar seções superiores.(MAMEDE,2013: 397)
- **Conexões :** São elementos metálicos utilizados para conectar os condutores nas emendas ou derivações. Dos diversos tipos existentes é relevante destacar as conexões aparafusadas e as conexões exotérmicas. A figura 1 mostra modelo de aparafusada com finalidade de conexão de fio ou cabo condutor de cobre ou aço cobreado com uma haste de terra cilíndrica em aço cobreado.



Figura 1 – conexão aparafusadas  
Fonte : Site intelli

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

Em estrutura metálica de subestação o conector mostrado na figura 2 é largamente utilizado

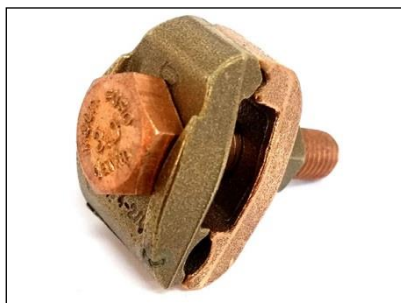


Figura 2 – Conector aparafusado para um condutor  
Fonte : Site intelli

- a) **Conexões exotérmicas:** É um processo de conexão a quente onde se verifica a fusão entre um elemento metálico de conexão e o condutor. Existem vários tipos, os principais encontrados em projetos de malha de terra de subestação estão na figura 3 .



Figura 3 – Conexão exotérmica tipo T  
Fonte: Foto do próprio autor (2017)

Outo tipo de conexão exotérmica é mostrado na figura 4. As conexões exotérmicas são realizadas no interior de cadinhos (figura 5) que são os moldes do tipo de conexão. Para cada tipo de conexão existe um cadinho específico que varia de acordo com abitola do cabo condutor (MAMED,2013:397).



Figura 4 – Conexão exotérmica tipo X  
Fonte: retirada do site metálica.com

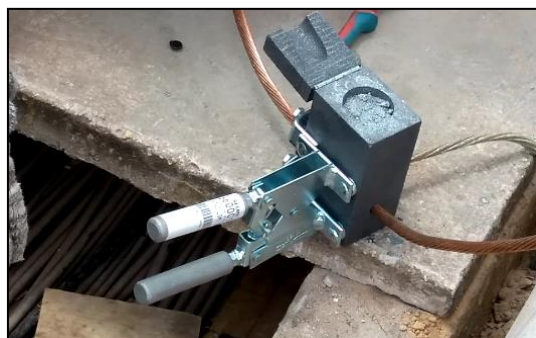


Figura 5 – cadinho para conexão tipo T  
Fonte: O próprio autor (2017)

Em um projeto de malha de terra de subestação de 230 KV na figura 6 é possível verificar vários tipos de conexão exotérmica inclusive o reforço da malha feito por hastes de aterramento na região dos equipamentos.

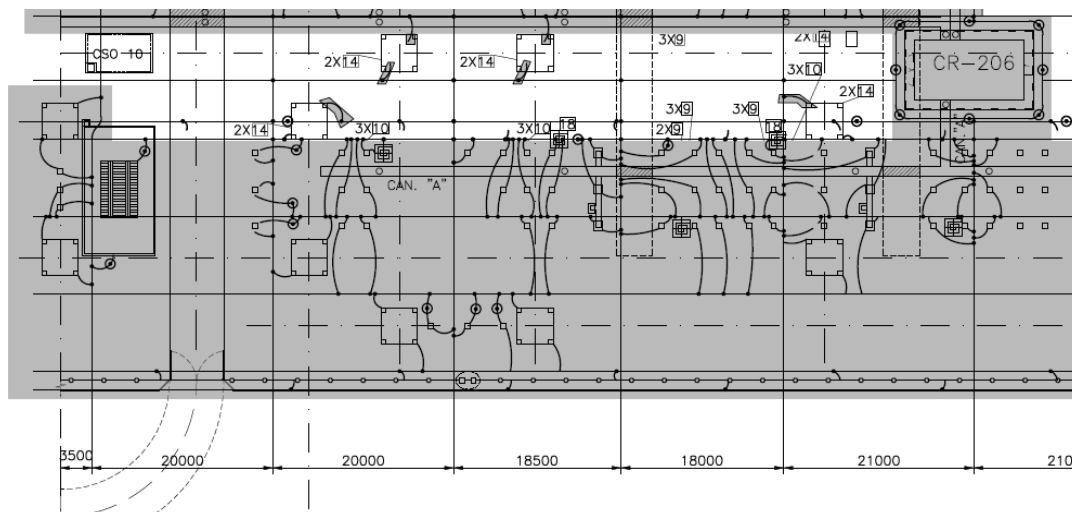


Figura 6 - Projeto executivo de malha de aterramento de uma subestação de 230 KV  
Fonte: Adaptação de projeto executivo feito pela empresa Gneto para etapa da substituição dos transformadores na SE Vila do Conde no Pará (2014)

### 3. Método de medição de resistência de aterramento

A resistência de aterramento total vista pelo aterramento de um equipamento é formada por :

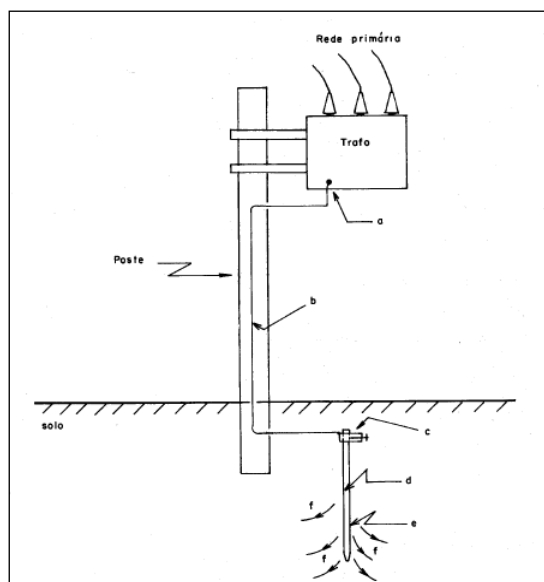


Figura 7 - Resistencia elétrica total do equipamento  
 Fonte : Campagnol e Kindermann (1995)

- a) Conexão do cabo com o equipamento ;
- b) Impedância do cabo de aterramento ;
- c) Da resistência de material que forma o sistema de aterramento ;
- d) Da resistência de contato do material com a terra;
- e) Da resistência da cavidade geométrica do sistema de aterramento com a terra;

Destas , a que mais contribui com a resistencia total por ter seu valor maior comparado com as demais, é a resistencia da cavidade geométrica do sistema de aterramento com a terra. Esta parcela é também conhecida como resistencia de terra e depende das condições do clima e do solo. A medição em campo é a forma mais eficaz para verificação dos valores de resistencia ôhmica do eletrodo de aterramento e de valores de potenciais de passo e de toque calculados na etapa de projeto (CAMPAGNOLO E KINDERMANN,1995:64).

#### 3.1 Queda de potencial

A ABNT NBR 15749 de 2009 recomenda este método para ser utilizado em equipamentos específicos , como o terrometro . Observando-se a figura 8 , temos os seguintes elementos formando o circuito:

- a) Malha de aterramento, que desejamos medir o valor de sua resistencia ôhmica ;
- b) Um trecho de terra ( terra remoto) ;

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

- c) Eletrodo de corrente ;
- d) Eletrodo auxiliar de tensão , ou sonda , ou eletrodo de potencial ou simplesmente eletrodo de tensão .

Faz-se gerar uma corrente alternada pelo eletrodo de corrente , Esta tende a fluir para a malha sob análise causando quedas de potenciais na terra .Simultaneamente são medidas tensões pelo eletrodo auxiliar tensão entre a malha e o terra de referencia ( terra remoto) .

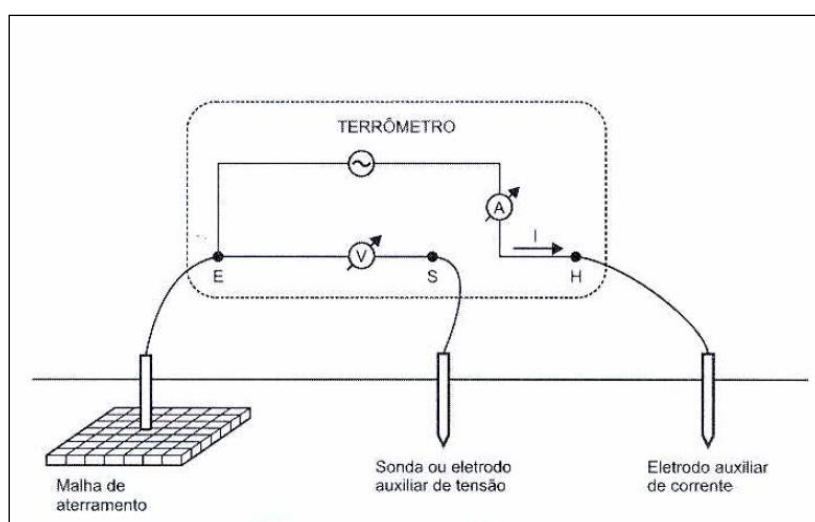


Figura 8 - Método da queda potencial  
Fonte: (ABNT,2009)

Sendo as variáveis na figura 8,

- **I** - Corrente de ensaio;
- **S** - Borne para sonda ou eletrodo auxiliar de potencial;
- **H** - Borne para eletrodo auxiliar de corrente;
- **E** - Borne para malha de aterramento sob medição.

Os eletrodos auxiliares de corrente e de potencial podem ser uma ou mais hastes metálicas interligadas e cravadas firmemente no solo afim de garantir a menor resistência de aterramento do conjunto. Para se conseguir isso , no caso do eletrodo de corrente deve atingir profundidades maiores que 0,5 m. Isso ocorre devido a resistência do eletrodo de corrente ser maior que a resistência do eletrodo sob teste o que pode gerar um erro nos resultados obtidos (VISACRO FILHO, 2002).

Afim de minimizar os erros na medição deve-se alinhar os eletrodos auxiliares na mesma direção e mesmo sentido (ABNT,2009).

### 3.1.1 Procedimento

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

Deve-se fincar o eletrodo de corrente a uma distancia  $d$  da periferia da malha sob teste conforme figura 9. Recomenda-se que  $d$  deve ser pelo menos três vezes a maior dimensão linear do sistema de aterramento que se deseja medir ( como exemplo de uma malha de 2X5m , a distancia  $d$  seria maior ou igual a 15 m) . Após isso deve-se deslocar o eletrodo de potencial  $S$  ao longo da direção do eletrodo de corrente com intervalos de 5 % da distancia  $d$ . Todos os valores devem ser registrados.

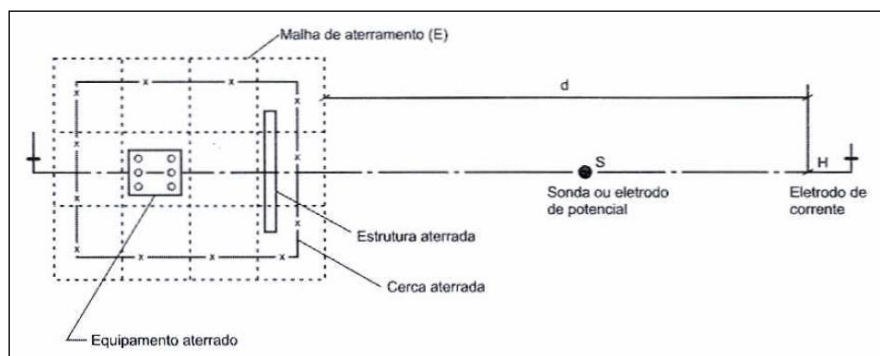


Figura 9 – representação da medição da resistência de aterramento

Fonte: (ABNT,2009)

Depois de registrados os valores deve-se traçar um gráfico com o valor da resistência em função da distancia conforme figura 10:

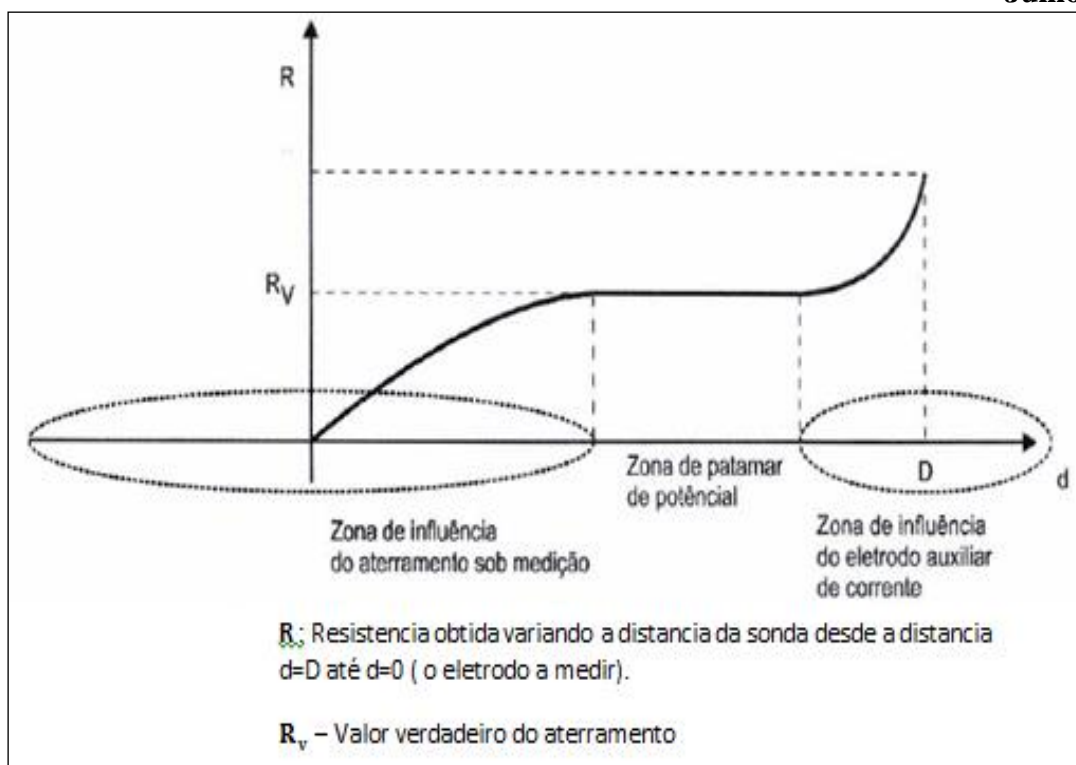


Figura 10 – Curva característica teórica da resistência de aterramento de um eletrodo pontual  
 Fonte: ABNT NBR 15751 (2009)

O trecho horizontal da curva é a zona de patamar de potencial. Fora da zona de patamar estão as regiões onde há interferência nas medições, pois há uma superposição devido às proximidades com o eletrodo de corrente e a malha (VISACRO FILHO, 2002:74).

No decorrer do procedimento de medição, para verificar a zona de patamar, devemos primeiramente garantir que o eletrodo de corrente está a uma distância  $d$  da malha sob teste. Realizar o registro da medição inicial do eletrodo de potencial  $S$ . Depois se deve verificar as tensões variando a posição do eletrodo de potencial em 5% de  $d$  para direita  $S1$  e para esquerda  $S2$  de  $S$ . Não há sobreposição se a diferença entre os valores medidos com o eletrodo de potencial nas posições  $S1$  e  $S2$  e a medição inicial em  $S$  não ultrapassar os 10% (ABNT,2012).

Tanto Visacro Filho (2012) quanto Kinderman (1995) definem a resistência medida, que é a resistência de aterramento como a relação da tensão de patamar e a corrente injetada pelo eletrodo de corrente. Pela equação abaixo fica:

$$R_v = \frac{V_{patamar}}{I_{injetada}}$$

Sendo ,

$R_v$  – Valor verdadeiro da resistência de terra.

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

Nos casos de medição de sistemas de aterramento de grande porte, onde requer grandes comprimentos de cabos, *o efeito do acoplamento* entre os cabos de interligação dos circuitos de corrente e de potencial deve ser um fator considerado, Pois nesses casos, o valor da resistência de aterramento geralmente é muito baixo. Como regra prática os problemas de acoplamento são desconsiderados nas medições de resistência acima de  $10 \Omega$ ; São relevantes para as medições abaixo de  $1 \Omega$ ; e são passíveis de análise, em cada caso, nas medições com valores entre  $1 \Omega$  e  $10 \Omega$  (SUETA E MODENA,2011:40).

### 3.1.2 Limitações do método da queda de potencial e considerações

- a) Áreas urbanas, onde fica impossível utilizar os cabos para medição devido essas regiões serem altamente povoadas (ABNT NBR 54751,2009:11);
- b) A dificuldade mais evidente dos sistemas de grande porte é a necessidade de se estender circuitos de correntes e de potencial a distancias muito grandes, as vezes de vários quilômetros o que dificulta a medição. Esses circuitos apresentam resistência de aterramento muito baixo ( inferiores a  $1 \Omega$ ) o que acarreta uma série de incertezas quanto aos resultados como acoplamento, sensibilidade do instrumento de ensaio, impedâncias do circuito de ensaio. Além disso, os sistemas de grande dimensões, a reatância pode ser significativa quando comparado com a resistência, nesses casos é melhor medir a impedância utilizando a medição através de correntes com frequência próxima a 60Hz (ABNT NBR 54751,2009:11).
- c) A utilização de instrumentos em alta frequência entre 20 KHz e 30 KHz permite a obtenção de patamares em enormes distancias em comparação com as distancias obtidas a frequência industrial (ABNT NBR 54751,2009:11).

O método da injeção de corrente em alta frequência é recomendado nos casos em que o método da queda de potencial for limitado.

Nos casos de subestações onde são evidentes as limitações pelo uso da queda de potencial [...] existe a alternativa de utilizar como circuito de corrente uma linha de transmissão desenergizada que chegue à instalação e, como circuito de potencial, um circuito de telecomunicação (por exemplo o telefônico), ou mesmo uma linha de transmissão cuja rota seja afastada do circuito de corrente (ABNT NBR 15749,2009:11).

### 3.2. Método de queda de potencial com injeção de alta corrente

Geralmente é realizado com a instalação desenergizada. Basicamente provoca-se a circulação de uma alta corrente entre o sistema sob teste e o solo através de um eletrodo auxiliar de corrente, medindo-se o potencial na superfície do solo e então a resistência de aterramento fazendo a relação entre as grandezas. Recomenda-se este método para medição de potenciais na superfície do solo e também na medição de resistência de aterramento particular ou impedância de um sistema de aterramento global, constituindo-se de subestações com para-raios das linhas de transmissão, neutro de alimentadores, entre outros. Pode ser utilizado como circuito de corrente uma torre, uma malha de aterramento de subestação adjacente, um trecho de linha de transmissão ou uma malha de aterramento auxiliar construída apenas para realizar

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

as medições. Recomenda-se, para evitar regiões de influencia na medição, que o eletrodo de corrente esteja a uma distancia de cinco vezes a maior dimensão do sistema sob teste. Um maneira prática de se realizar esse método em sistemas desenergizados é utilizar como circuito de corrente os condutores fases da linha de transmissão, curto-circuitados e interligados a uma torre aterrada que esteja a mais de 5 km do sistema sob ensaio (ABNT NBR 15749, 2009:12).

Já o eletrodo de potencial é uma haste cravada firmemente no solo. Como procedimento deve ser deslocado radialmente a partir da periferia do sistema de aterramento que se deseja conhecer a resistência , fazendo-se as leituras da tensão entre S e E com voltímetro de alta impedância de entrada. Como usualmente o eletrodo de corrente é uma linha de transmissão desenergizada , afim de evitar o efeito acoplamento entre o circuito de potencial e de corrente, recomenda-se deslocar o eletrodo de potencial S radialmente, a partir da periferia do sistema de aterramento sob teste E ,fazendo um ângulo entre 90° e 180 ° em relação ao eletrodo de corrente. A medida da resistência será

$$Resistencia = \frac{\text{Tensão medida ,expressa em volts(V)}}{\text{Corrente total injetada no sistema de aterramento sob teste E ,expressa em Ampères(A)}}$$

No momento da medição, como eleva-se os potenciais na superfície do solo , é obrigatório a correta utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs) como botas isolantes , luvas ,entre outros. Para evitar à aparência de pessoas alheias a medição, deve-se isolar a área com barreias além de uma eficiente sinalização conforme recomenda a NR 10.

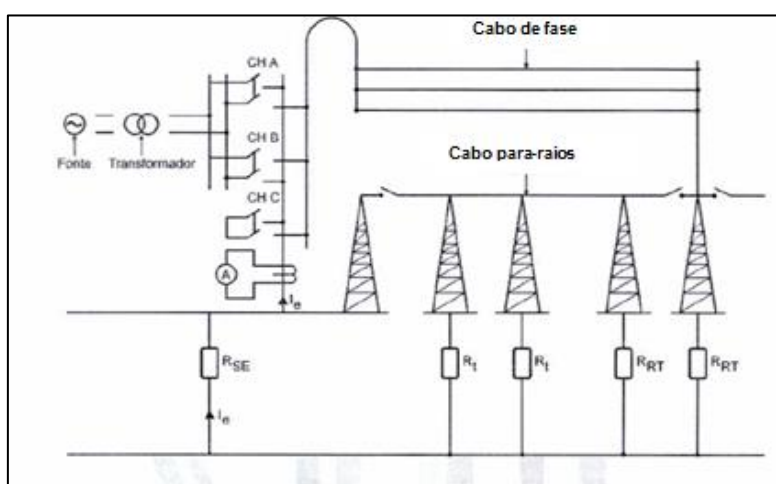


Figura 11 – Detalhe da LT curto circuitada e ligada a uma torre aterrada

Fonte : NBR 15749(2009)

### 4. Segurança no momento das medições

Deve-se atentar para segurança das pessoas e animais envolvidos diretamente ou não no momento da medição. Para isso medidas devem ser tomadas a fim de minimizar os riscos de acidentes como utilizar equipamento de proteção individual (EPI), botas e luvas com nível de

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

isolamento compatível com os valores máximos de tensão que possam ocorrer no sistema sob medição; Não realizar medições quando se avalia que há possibilidade de descargas atmosféricas (ABNT, 2009).

Adicionalmente, para evitar que pessoas e animais alheios à medição se aproximem dos eletrodos utilizados, deve-se realizar delimitação de área como, por exemplo, o uso de tela tapume laranja cerquite além de uma eficiente sinalização da área de medição.

Para se evitar os riscos de acidentes com potenciais transferido deve-se seccionar e isolar qualquer parte metálica não energizada conectada aos eletrodos e que ultrapasse a região do aterramento que poderá ocasionar uma transferência de potencial quando por ventura fluir corrente pelo aterramento (VISACRO FILHO, 2002:122).

Deseja-se que as correntes geradas no corpo humano por tensões de passo e toque não atinjam valores que venham a gerar efeitos patológicos. Por tanto em nível de projeto é que os eletrodos são definidos e posicionado no solo de forma a assegurar que a corrente que por ventura vier a atingir um corpo humano esteja com valor abaixo da permissível (VISACRO FILHO, 2002:123).

Como medida de controle segundo a Norma Regulamentadora 10 ( NR- 10) sistemas de aterramento em edificações, indústrias, subestações, etc. devem ser inspecionados periodicamente para assegurar a manutenção das condições de segurança pessoal e patrimonial das instalações (NR 10 ,2016:1).Como o sistema de aterramento faz parte de um sistema de proteção contra descarga atmosférica , devemos considerar a periodicidade citada na norma NBR 5419 para os sistemas de aterramento.

Uma inspeção visual do SPDA deve ser efetuada anualmente. inspeções completas [...] devem ser efetuadas periodicamente, em intervalos de:

- a) 5 anos, para estruturas destinadas a fins residenciais, comerciais, administrativos, agrícolas ou industriais, excetuando:  
se áreas classificadas com risco de incêndio ou explosão;
- b) 3 anos, para estruturas destinadas a grandes concentrações públicas (por exemplo: hospitais, escolas, teatros, cinemas, estádios de esporte, centros comerciais e pavilhões), indústrias contendo áreas com risco de explosão, conforme a NBR 9518, e depósitos de material inflamável;
- c) 1 ano, para estruturas contendo munição ou explosivos, ou em locais expostos à corrosão atmosférica severa (regiões litorâneas, ambientes industriais com atmosfera agressiva etc.).

### 5. Medições de potenciais na superfície do solo

Estas medições são realizadas sob injeção de alta corrente. O circuito de corrente deve ter resistencia minima afim de não interferir nos resultados da resistencia e deve receber tratamento adequado objetivando de possibilitar a circulação de um valor de corrente compatível com o sistema de medição .

Já as medições de potencial são efetuados em em pontos previamente projetados ou em regiões estratégica de substações existentes com voltmetro de alta impedancia de entrada não inferior a  $1M\Omega/V$ .Os voltímetros eletronicos são os mais adequados (ABNT,2009).

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

### 5.1 Medição da tensão de passo e tensão de toque

A tensão deve ser medida entre dois eletrodos de potencial cravados no solo e afastados em um metro um do outro conforme figura 12.

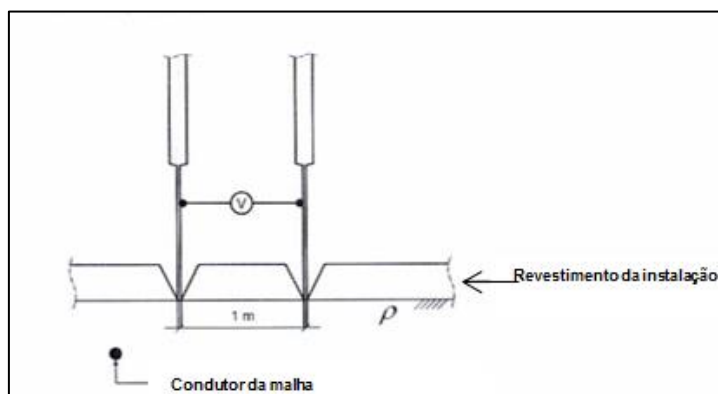


Figura 12 – Medição de potencial de passo  
Fonte : ABNT (2009)

Conforme figura 13 , para medição da tensão de toque deve ser feita entre as partes metálicas, estrutura metálica, carcaça de equipamentos ligadas ao sistema de aterramento sob teste e o eletrodo de potencial cravado no solo. Este eletrodo deve ser colocado a um metro da parte metálica envolvida no teste.

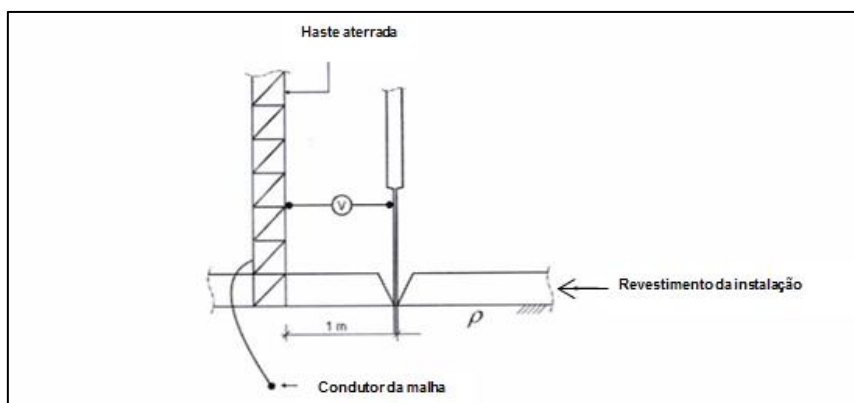


Figura 13 - Medição de potencial de passo  
Fonte : ABNT (2009)

### 5.2 Pontos importantes a acrescentar na execução de medições em subestações

- a) Devem ser desconectado do sistema de aterramento sob teste os cabos pára-raios e contrapesos de transmissão , neutro dos alimentadores, blindagem e capas metálicas de cabos isolados que chegarem a instalação.

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

- b) Para produzir potenciais na superfície do solo desde frações até dezenas de volts, pode-se usar uma tensão no gerador ou fonte de alimentação na ordem de 100 V;
- c) Nos casos de espaçamento da malha uniforme preferir as regiões periférica do Sistema de aterramento em relação as regiões centrais pois na periferia estão os maiores valores de tensões superficiais.
- d) Observando-se novamente a figura 13 quando não se conhece qual região da parte metálica se adquire uma maior tensão, recomenda-se realizar no mínimo três testes em direções diferentes da parte metálica em direções que se afastem dos condutores enterrados e /ou que se aproximem da periferia.
- e) Para ensaiar todo Sistema interligado, correntes acima de 100 A são geralmente necessárias para que as tensões medidas na superfície do solo sejam desde frações até dezenas de volts.

### 6. Alicate termometro

O funcionamento de um medidor termômetro alicate consiste em gerar uma corrente alternada que aplica uma tensão numa bobina com  $N$  espiras, cujo núcleo ferromagnético envolve um circuito fechado como na figura 14, a qual representa a única espira do secundário de um transformador com relação  $N:1$ . A tensão aplicada na bobina produzirá no circuito fechado uma FEM (Força eletromotriz) conhecida (ABNT,2009:35).

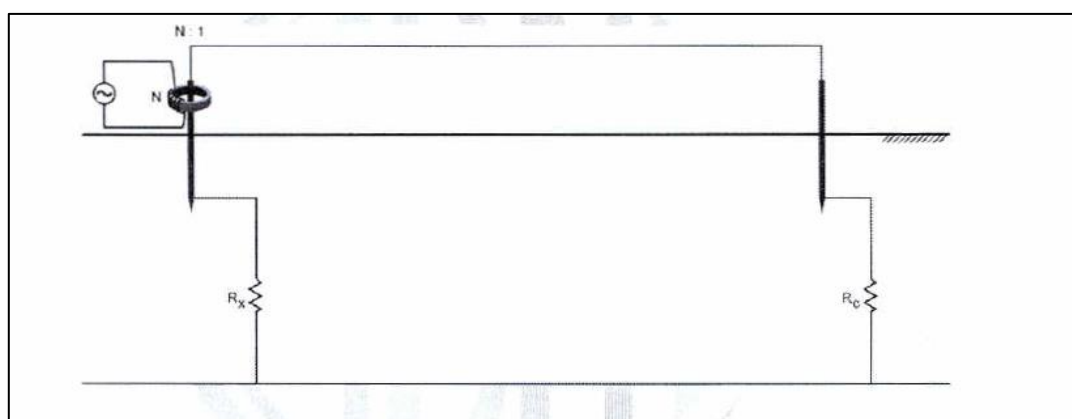


Figura 14 – Injeção de uma força eletromotriz num circuito fechado, através da bobina

Fonte: Adaptado ABNT (2009)

A medição de corrente do circuito fechado é realizado por meio de uma outra bobina com  $(M)$  espiras conforme figura 15 :

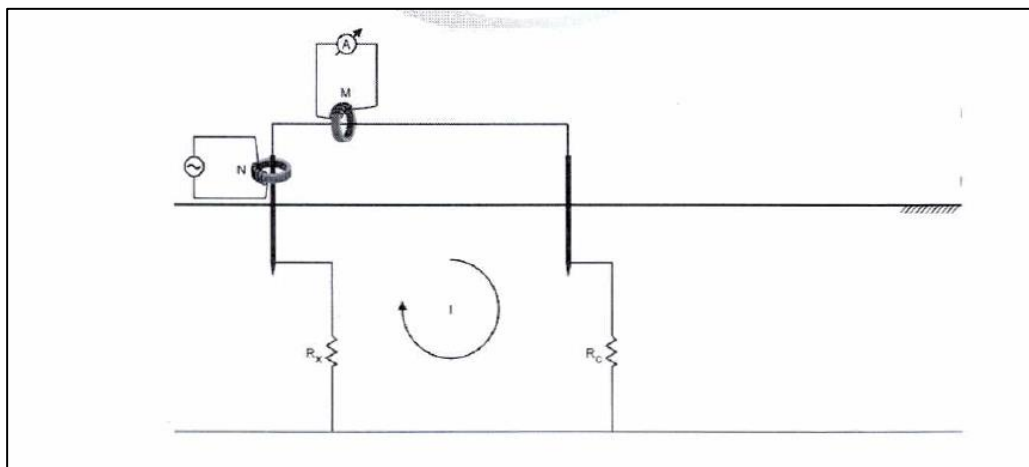


Figura 15 – Princípio de funcionamento de um terrometro alicate

Fonte: Adaptado de ABNT (2009)

A soma das resistências  $R_x + R_c$  pode ser encontrado pela tensão gerada e a corrente que circula.

No caso de sistemas multiterrados , onde temos  $R_c$  tem características de um conjunto de eletrodos em paralelo, o valor que este instrumento apresenta é o de  $R_x$ . A figura 16 representa um sistema multiterrado (ABNT,2009:36).

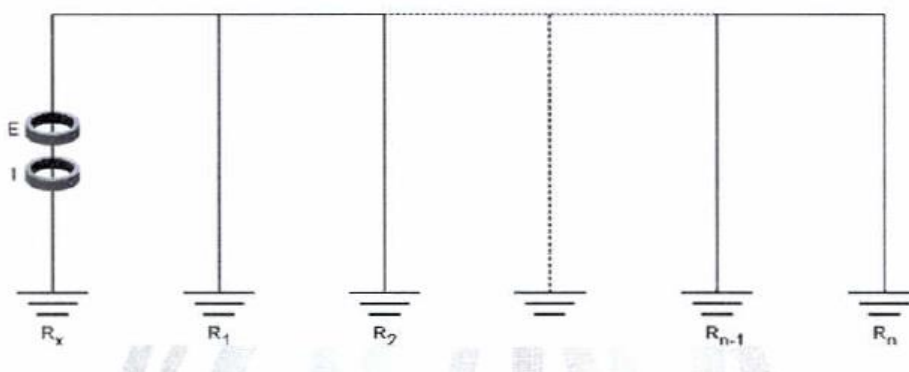


Figura 16 – Representação de sistemas multiterrados

Fonte: ABNT (2009)

Na tentativa de representar a figura 16 através de um circuito elétrico correspondente ,pode-se considerar a figura 17 que segue:

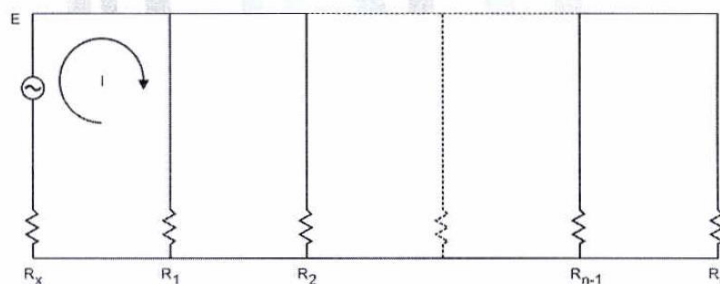


Figura 17 – Circuito Elétrico correspondente a sistemas multiterrados  
Fonte: ABNT (2009)

A resistência equivalente do circuito acima é praticamente  $R_x$  pois  $R_x \gg \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$ . Portanto quando se aplica uma tensão E no eletrodo  $R_x$  podemos admitir que a resistência calculada é :

$$\frac{E}{I} = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}$$

Logo ,

$$R_x = \frac{E}{I}$$

Sendo E, a tensão gerada e I, a corrente injetada.

## 6.1. Detalhes construtivos e restrições de uso.



Figura 18 – ilustração de um alicate terrometro  
Fonte: site da minipia (2018)

A maioria dos alicates é constituído de dois núcleos partidos e dimensionados para envolver o eletrodo de aterramento. Um dos núcleos gera a f.e.m que gera a corrente que passa pelo circuito fechado e o outro núcleo é um transformador de medida de corrente. Geralmente esses aparelhos trabalham nas frequências entre 1,5 KHz a 2,5 KHz e possuem filtros adequados afim de diminuir perturbações nas medições (ABNT,2009).

A principal vantagem do aparelho alicate termômetro é não ser preciso cravar hastes para medição o que já facilita no transporte e manuseio do aparelho. Mas isso não pode levar ao erro de generalizar que este aparelho serve para medição de todos os sistemas. O alicate é utilizado apenas quando sistema de aterramento a ser medido for um circuito fechado, ou seja, um laço. (ABNT,2009).

De acordo com Sueta e Modena (2014:28) é uma pratica errada aplicar o alicate diretamente em uma descida de SPDA (para – raio) de uma edificação e considerar o valor medido como o valor da resistência ôhmica do aterramento.

Neste caso, dependendo de outras restrições [...] apenas consegue-se um resultado confiável no ensaio se o eletrodo for desconectado do restante do SPDA e o aterramento do condutor PEN, que eventualmente servirá como eletrodo auxiliar, estiver distante o suficiente da edificação para que não haja superposição das suas zonas de influência (SUETA E MODENA, 2014:30).

## 7. Conclusão

Não basta ter um equipamento conectado a um sistema de aterramento. A verificação, através de métodos de medições adequados ao sistema de aterramento em questão, de valores da resistência de aterramento é indispensável a segurança das pessoas e do correto funcionamento da instalação elétrica. Os profissionais que trabalham em subestações como operadores, manutenedores, profissionais terceirizados de montagem de subestações estão sujeitos a correntes de choque causados por aumento de tensão superficial do solo proveniente de corrente circulante (geralmente corrente de falta) no sistema de aterramento. Se estas tensões superficiais estiverem abaixo dos valores permissíveis, as correntes máximas não serão ultrapassadas e portanto não acarretarão fibrilação do coração, patologia mais grave que poderá acometer um ser humano. Deve-se planejar antecipadamente o método a ser utilizado para medir a eficiência de um sistema de aterramento considerando os riscos inerentes do procedimento de medição e conhecendo profundamente o sistema a ser ensaiado. É indispensáveis o uso de EPIS apropriados para as pessoas envolvidas na medição de acordo com o nível de tensão requerido do sistema em teste. Não se deve generalizar o uso do termômetro alicate como medidor universal a ser utilizado em qualquer sistema de aterramento. Este é limitado. Sempre deve ser consultado o manual do fabricante do medidor termômetro antes do seu uso. Os métodos de medição disponíveis em normas nacionais apontam, em sua maioria, para medições com instalações desenergizadas, portanto a partir deste trabalho, é preciso fazer investigações relacionadas a métodos de medição em sistemas energizados como trabalho futuro, principalmente no que diz respeito as subestações de energias elétrica.

## Medições de resistência de aterramento

Julho/2019

### Referencia

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15749**: Medição de Resistencia de aterramento e potenciais na superfície do solo. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15751**: Sistemas de aterramento de subestações - Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419** : Proteção de estruturas contra descargas atmosférica - Rio de Janeiro, 2001.32p.

CEMAR, COMPANHIA ENERGÉTICA DE MARANHÃO. NT.001.EQTL.: Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão. São Luís, 2017. 94 p. Disponível em: <<http://www.cemar116.com.br/conheca-a-cemar/informacoes/normas-tecnicas>>. Acesso em: 04 jan. 2018.

FIGUEIRA LEÃO PINHEIRO , Tiago . Trabalho de conclusão de curso: **Sistemas de aterramento em baixa tensão**. Rio de janeiro.2013.90p.

INTELLI . Disponível em: <<http://www.intelli.com.br/produtos/acessorios-e-conexoes-para-aterramento>> Acessado em 11/01/2018 - conexões aparafusadas.

KINDERMAN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mario. **Aterramento Elétrico**.3. Ed. Porto Alegre: Sagra – D.C. Luzzatto Editores, 1995.

MAMED FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**.8.Ed.Rio de Janeiro:LTC,2013. MINIPA DO BRASIL LTDA. **Manual de instruções**. Disponível em <<http://www.minipa.com.br/images/Manual/ET-4310-1102-BR.pdf>> acessado em 12/01/2018.

MODENA, Jobson; HÉLIO, Sueta. Métodos Normalizados para medição de resistência de aterramento. Capítulo VI. 2011.4p. Disponível em <<https://www.osestoreletrico.com.br/category/fasciculos/anteriores/ateramentos-eletricos>> Acessado em 20/12/2017.

PORTAL METÁLICA. **Soldagem exotérmica**. Disponível em <<http://www.metalica.com.br/soldagem-exotermica>> acessada em 12/01/2018 - solda tipo X.

# ESPECIALIZE

**Medições de resistência de aterramento**

**Julho/2019**

VISACRO FILHO, Silvério. **Aterramentos Elétricos**: Conceitos Básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento. São Paulo: Artliber Editora, 2002.