

## Capítulo VIII

# Métodos normalizados para medição de resistência de aterramento –

## Parte 3: Método da queda de potencial com injeção de alta corrente e ensaios em instalações energizadas

Jobson Modena e Hélio Sueta\*

Neste fascículo, serão abordados outros métodos normalizados para medição de resistência de aterramento, incluindo as medições com instalação energizada.

### *Método da queda de potencial com injeção de alta corrente*

Utilizado geralmente com a instalação desenergizada, consiste em circular uma alta corrente entre o sistema de aterramento sob ensaio e o solo por meio de um eletrodo auxiliar de corrente, medindo-se os potenciais na sua superfície. O valor da resistência ôhmica do eletrodo de aterramento é obtido pela relação dos parâmetros mencionados. Este método é recomendado para a medição dos potenciais na superfície do solo e também da resistência de um sistema de aterramento particular ou a impedância de um sistema de aterramento global, em que podem ser envolvidas também subestações com cabos para-raios das linhas de transmissão, condutores de neutro de alimentadores, entre outros.

Geralmente utiliza-se como eletrodo auxiliar de corrente uma torre da linha de transmissão com um trecho da linha, uma malha de aterramento de uma subestação adjacente ou uma malha de aterramento auxiliar especialmente construída para este fim. Para a obtenção de alta corrente é importante que o eletrodo de corrente tenha valor de resistência de aterramento compatível com o sistema utilizado no ensaio.

É importante verificar as regiões de influência

da malha e do eletrodo de corrente, que deve ser posicionado a uma distância mínima superior a cinco vezes a maior dimensão do eletrodo de aterramento sob ensaio. Esta distância depende da configuração do sistema de aterramento, da instalação elétrica e do tipo do solo. Uma maneira prática para se executar este tipo de medição em sistemas ainda não energizados é injetar a corrente de ensaio nos condutores de fase das linhas de transmissão, curto-circuitados e interligados a uma torre aterrada que esteja posicionada a mais de 5 km do eletrodo a ser medido.

O eletrodo de potencial será uma haste metálica cravada firmemente no solo. Este eletrodo (S) deve ser deslocado radialmente a partir da periferia do sistema de aterramento sob ensaio (E), sendo que a leitura da tensão entre S e E deve ser feita com um voltímetro de alta impedância de entrada. O deslocamento do eletrodo de potencial deve ser em uma direção que faça um ângulo entre 90° e 180° em relação à direção do eletrodo de corrente para evitar eventuais acoplamentos entre estes dois circuitos.

A resistência de aterramento do sistema sob ensaio é dado por:

$$R = \frac{V}{I}$$

Em que:

V é a tensão medida (fora da região de influência da malha e do eletrodo de corrente) em volts;

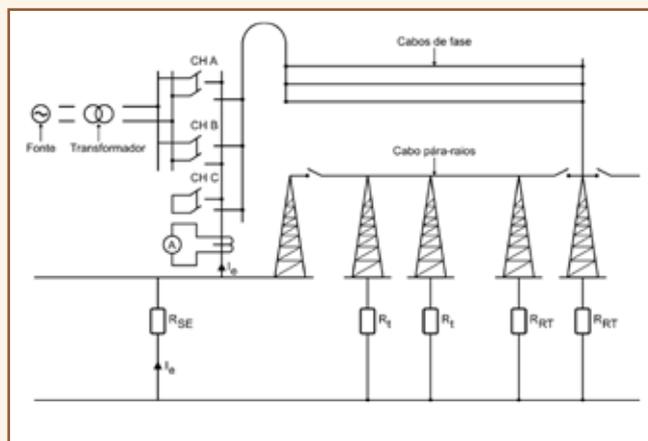
I é a corrente total injetada no eletrodo de corrente, expressa em ampéres.

A confiabilidade dos valores obtidos é diretamente proporcional ao valor da corrente de ensaio, pois assim haverá menor influência relativa de eventuais correntes de interferência. O valor de corrente dependerá da fonte utilizada e é muito importante verificar as questões de segurança referentes ao pessoal envolvido nas medições, assim como aqueles que transitam pelas imediações. Dependendo dos valores de ensaios utilizados, tensões superficiais perigosas podem surgir nas proximidades do local de medição, sendo necessário o uso de EPIs (calçados de segurança, luvas, etc.) e até mesmo isolar a área com barreiras para evitar a aproximação de pessoas.

Se houver interesse em se verificar o comportamento do sistema de aterramento como um todo, ou seja, não só o eletrodo, mas os cabos de para-raios, os neutros dos transformadores ou as blindagens de cabos de potência isolados, uma configuração especial deve ser utilizada de forma a considerar todos os caminhos de retorno ligados a esse eletrodo.

### **Método síncrono à frequência industrial – apresentado no anexo A da ABNT NBR 15749**

A Figura A.1 da norma apresenta o circuito de corrente utilizado neste método:



#### **Legenda:**

**CH A/CH B - chaves para inversão de polaridade da fonte com intertravamento**

**CH C - chave de by-pass da fonte**

$I_e$  (A) - **corrente de ensaio**

$R_{SE}$  - **resistência de aterramento da instalação**

$R_t$  - **resistência de aterramento das estruturas da linha de transmissão**

A corrente de ensaio, na frequência de 60 Hz, deve ser fornecida por uma fonte em que seja possível a mudança na polaridade, por exemplo, um transformador. Inicialmente, com a

fonte de alimentação desconectada, devem ser medidas a corrente de interferência e a tensão de interferência. Com a fonte de alimentação ligada e a chave A fechada, é obtido o valor para a tensão e a corrente. Com a abertura da chave A e fechamento da chave B, é possível a inversão da polaridade da fonte para serem obtidas as leituras da tensão e da corrente.

Com estes valores medidos é possível determinar a corrente de medição fornecida pelo sistema de alimentação e a tensão provocada pela passagem dessa corrente pelo sistema de aterramento por meio das equações:

$$I_c = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2}{2} - I_i^2}$$

$$V_c = \sqrt{\frac{V_a^2 + V_b^2}{2} - V_i^2}$$

Em que:

$I_c$  é a corrente de ensaio, expressa em ampères (A);

$I_a$  é a corrente de medição numa determinada polaridade, expressa em ampères (A);

$I_b$  é a corrente de medição de polaridade defasada de 180° da corrente  $I_a$ , expressa em ampères (A);

$I_i$  é a corrente de interferência, expressa em ampères (A);

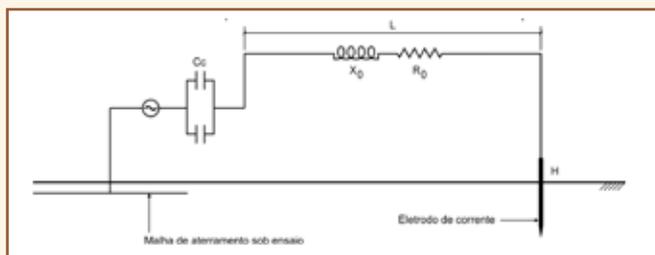
$V_c$  é a tensão de ensaio, expressa em volts (V);

$V_a$  é a tensão de medição em uma determinada polaridade, expressa em volts (V);

$V_b$  é a tensão de medição de polaridade defasada de 180° da tensão  $V_a$ , expressa em volts (V);

$V_i$  é a tensão de interferência, expressa em volts (V).

A norma apresenta também em seu Anexo B um esquema básico da configuração de um circuito de corrente com compensação capacitiva (Figura B.1 da ABNT NBR 15749). Esta compensação capacitiva visa a diminuir a impedância da linha de transmissão utilizada para servir como circuito da corrente de ensaio.



**Legenda:**

$R_0$  (Ω/Km) **resistência de sequência zero**

$X_0$  (Ω/Km) **reatância indutiva de sequência zero**

$L$  (Km) **comprimento do circuito de corrente**

$C_c$  (μF) **capacitância de compensação**

Quando utilizamos as três fases interligadas de uma linha de transmissão por um determinado comprimento como circuito de corrente, consideramos a seguinte equação:

$$X_{\phi 1} = X_{\phi} \times L$$

Em que:

$X_{\phi 1}$  é a reatância indutiva de sequência zero, expressa em ohms (Ω);

$X_{\phi}$  é a reatância indutiva de sequência zero por unidade de comprimento, expressa em ohms por quilômetro (Ω/km);

$L$  é o comprimento do circuito de corrente, expresso em quilômetros (km).

Para a correção da reatância indutiva para frequência da fonte, deve ser utilizada a seguinte equação:

$$X'_{\phi 1} = X_{\phi 1} \times \frac{f'}{f}$$

Em que:

$X'_{\phi 1}$  é a reatância indutiva de sequência zero para frequência da fonte de medição, expressa em ohms (Ω);

$f'$  é a frequência da fonte de medição, expressa em hertz (Hz);

$f$  é a frequência industrial, expressa em hertz (Hz).

Assim, o valor da capacitância de compensação é dado pela seguinte equação:

$$C_c = \frac{10^6}{2 \times \pi \times f' \times X'_{\phi 1}}$$

Em que:

$C_c$  é a capacitância de compensação, expressa em microfarads .

Medições em instalações energizadas

A necessidade da realização de medições de resistência ôhmica em eletrodos de aterramento com as instalações energizadas é cada vez maior, visando a não interrupção do serviço, produção, etc. Nestes casos, devem ser adotadas providências específicas e o cuidado com a segurança deve ser muito maior, uma vez que as medições com as instalações energizadas introduzem situações e peculiaridades (presença de tensões entre neutro e terra, ruídos, harmônicas, etc.) que não existem ou são muito menores quando os pontos de ensaio estão desenergizados.

O item 8 da ABNT NBR 15749 descreve uma série de condições para a realização dos ensaios sob essas condições específicas, além dos preceitos utilizados para as medições em sistemas não energizados que, dependendo da situação, possam vir a ser utilizados com ressalvas e adaptações.

Uma inspeção detalhada do local deve ser realizada para viabilizar o planejamento do ensaio, identificando todas as conexões entre os elementos do sistema de aterramento, inclusive aquelas provenientes de blindagens de cabos de potência. Deve-se também determinar quais conexões estão exercendo, realmente, sua função no sistema, assim como se deve prever a possibilidade de desconexão de alguns elementos, a complexidade de utilização de

circuitos de medição, etc. Nesta fase de planejamento e programação, todas as áreas envolvidas deverão ser previamente escolhidas e identificadas, deve-se definir o encaminhamento dos condutores auxiliares ou a utilização de estrutura externa (por exemplo, de linhas de transmissão, cabos-guarda ou mesmo condutores de fase). Todos os aspectos de segurança dos profissionais envolvidos e a possível presença de pessoas nas proximidades, a praticidade na realização das medições e o objetivo (estudos de fenômenos em frequência industrial ou transitórios) são fundamentais para o sucesso do ensaio.

O planejamento antecipado para a escolha do método a ser utilizado é importante visando os cuidados especiais a serem tomados no momento do ensaio, pois operadores e outros equipamentos ficam expostos (por instrumentos de ensaio conectados à instalação) aos riscos relacionados a eventos decorrentes dos sistemas elétricos, por exemplo, curtos-circuitos, elevações de potencial, sobretensões transitórias (de origem atmosférica ou causadas por manobras), campos eletromagnéticos, etc.

Outro aspecto a ser considerado em relação ao circuito auxiliar de corrente, quando utilizado, são as possíveis tensões de transferência que podem ocorrer. Dessa forma, é necessário prover todos os circuitos envolvidos na medição com proteção de sobretensão e sobrecorrente por meio de dispositivos adequados e corretamente dimensionados.

Se for utilizada uma malha auxiliar de corrente, esta também poderá sofrer elevação de potencial e criar tensões superficiais (de passo e de toque) perigosas. De qualquer forma, o eletrodo de corrente

utilizado deve estar sob supervisão e ser sinalizado adequadamente.

O eletrodo de potencial, caso utilizado, também poderá estar sujeito a potenciais perigos, devendo estar também sob supervisão e sinalizado. Os cabos utilizados devem ter isolamento adequada aos níveis de tensão envolvidos.

A aproximação de pessoas alheias ao ensaio deve ser proibida e todos os profissionais envolvidos na medição devem utilizar os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados às classes de tensão que serão desenvolvidas, sempre estimadas para a pior condição de risco.

A fim de expor os profissionais o mínimo possível às situações de risco, devem-se utilizar dispositivos que permitam seccionar o(s) circuito(s) quando eles não estiverem sendo utilizados.

O sistema de aterramento de uma instalação energizada geralmente está conectado a diversos elementos de aterramento, tais como os neutros de alimentadores, os cabos-guarda, as blindagens de cabos de potência e as interligações entre malhas. Estas conexões possibilitam a divisão da corrente de curto-circuito e, portanto, das correntes injetadas no sistema de aterramento durante as medições. Nestas medições, é necessário obter-se o valor real da corrente que efetivamente flui da malha para o solo. Dessa forma, dependendo da metodologia escolhida para a medição, poderá ser necessária a desconexão dos circuitos de aterramento da malha a ser medida ou utilizar um método que permita a medição simultânea das correntes que fluem pelos diversos elementos, mas que seja considerada apenas

a corrente que flui da malha para o solo.

Especial atenção deve ser dada na desconexão dos elementos do sistema de aterramento de uma instalação energizada, pois há a possibilidade do aparecimento de arcos elétricos. Outros problemas na desconexão destes elementos são a possibilidade de estarem corroídos ou deteriorados. Os cabos-guarda, em especial, estando sob tensão mecânica, podem se romper e cair sobre cabos energizados, provocando curto-circuito, ou colocar em perigo os profissionais envolvidos pelas elevações de potenciais superficiais a valores inaceitáveis. Toda desconexão deve ser estudada, planejada e executada sob rigorosa supervisão.

A necessidade ou não de desconexão de elementos do sistema de aterramento é um fator determinante na escolha do método de medição. Nos casos em que a desconexão for perigosa ou de difícil execução, deve-se procurar outro método de medição em que essa prática não seja necessária. Os neutros dos transformadores de potência não devem ser desconectados, pois podem deixar os sistemas isolados sem referência de terra, inclusive com impossibilidade de detecção de corrente de curto-circuito pelos dispositivos de proteção da instalação.

Nas medições com a instalação energizada, a presença de ruídos, tensões (espúrias ou de desequilíbrio), harmônicas, etc. é constante. Na escolha do método de ensaio, estes fatores devem ser considerados, sendo que os medidores a serem utilizados devem suportar estes ruídos e serem seletivos com os sinais injetados filtrando as eventuais interferências na medição. Estes problemas são mais

evidentes quando os valores medidos forem da ordem de milivolts e dezenas de miliampères.

Outros procedimentos importantes que devem ser analisados:

- o bloqueio para que não haja religamento indesejado dos circuitos;
- a injeção de elevadas correntes pode sensibilizar os relés de alta sensibilidade que podem atuar na realização dos ensaios;
- a possibilidade de haver energização remota em instalações conectadas à instalação sob ensaio.

Os métodos de queda de potencial, de medição simultânea de correntes do sistema ou de injeção de corrente de alta frequência são alguns dos mais utilizados para ensaios em instalações energizadas. De qualquer forma, diversos métodos podem ser utilizados desde que obedecem às condições normalizadas, que foram descritas neste artigo, além do fato de terem de, necessariamente, apresentar resultados confiáveis.

---

***JOBSON MODENA** é engenheiro eletricista, membro do Comitê Brasileiro de Eletricidade (Cobei), CB-3 da ABNT, em que participa atualmente como coordenador da comissão revisora da norma de proteção contra descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419). É diretor da Guismo Engenharia.*

***HÉLIO SUETA** é engenheiro eletricista, mestre e doutor em Engenharia Elétrica, diretor da divisão de potência do IEE-USP e secretário da comissão de estudos que revisa a ABNT NBR 5419:2005.*

**Continua na próxima edição**  
 Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
 Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o  
 e-mail [redacao@atitudeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeditorial.com.br)