

Capítulo X

Medições em instalações energizadas – Método da injeção de alta frequência

O envelhecimento das malhas de terra de subestações, aliado ao grau cada vez maior de contato com pessoas qualificadas ou não para essa interação, impõe uma necessidade premente de avaliá-las periodicamente.

As concessionárias brasileiras efetuam tal avaliação com o sistema – linha de distribuição/transmissão – desenergizado (muitas das vezes somente no comissionamento da malha original). Esporadicamente, uma ou outra empresa buscou desenvolver técnicas de medições com as instalações energizadas, deparando-se, porém, com obstáculos que comprometiam a qualidade dos resultados de ensaios, como interferências eletromagnéticas nos instrumentos utilizados e, conseqüentemente, nas leituras realizadas, exposição a riscos (segurança pessoal e aparelhos utilizados), bem como os longos tempos de execução dos ensaios.

A busca pela adequação dos processos às restrições de desligamentos do sistema de transmissão e distribuição recebe, a cada dia, mais e mais aliados, por razões de interesse das áreas técnica e comercial, passando sempre pelas questões regulatórias da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Neste artigo apresenta-se uma proposta de metodologia que propicia uma rápida avaliação da malha, sem

prejudicar a qualidade do fornecimento e de forma segura. Na sua elaboração, procurou-se mesclar os procedimentos atualmente utilizados na medição de malhas de subestações desenergizadas com experimentos feitos em instalações energizadas por concessionárias e pesquisadores do país e de fora, acreditando assim, ter dado um passo, sabe-se discutível e ainda pequeno, mas para a frente, em um tema que se mostra de interesse para o setor elétrico e para a comunidade em geral.

INTRODUÇÃO

Os procedimentos aplicáveis às avaliações em malhas de subestações no Brasil foram objeto das partes 1 e 2 do capítulo VII, em que se deu ênfase ao método da queda de potencial e instalações desenergizadas, não se fazendo referência, assim como na norma ABNT NBR 15749, aos procedimentos para a situação de instalações energizadas, deixando evidente a necessidade de se desenvolver metodologia para essa situação. A norma faz clara menção de que os cabos para-raios de todas as linhas de transmissão que chegam à instalação devam ser desconectados do sistema de aterramento sob ensaio, bem como as blindagens dos cabos isolados, neutros de linhas de

distribuição e contrapesos contínuos de linhas de transmissão. Argumenta ainda, que o efeito do acoplamento entre os cabos de interligação dos circuitos de corrente e potencial torna-se um fator importante nas medições de resistência de aterramento com valores muito baixos, particularmente envolvendo sistemas de aterramento de grande porte, que exigem grandes comprimentos de cabos de interligação.

MÉTODO DE INJEÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

Um equipamento deste tipo deve permitir a determinação da resistência de aterramento do sistema constituído de todos os sistemas de aterramentos interconectados.

A configuração para esta medição é similar à medição de resistência de aterramento de um sistema qualquer, com a particularidade de que os pontos de fixação dos eletrodos de potencial serão nas regiões limítrofes da malha.

É importante registrar que não será necessário especificar a quantidade e o tipo dos aterramentos dos sistemas interconectados, visto que, para a medição da resistência da malha, a alta frequência injetada deve garantir o desacoplamento das demais instalações.

DA MEDIÇÃO EM ALTA FREQUÊNCIA

O instrumento deve operar em uma frequência tal que a impedância indutiva do(s) cabo(s) para-raios de uma ou mais linhas de transmissão acopladas à subestação, em um vão de comprimento normal, seja razoavelmente alta, a ponto de se reduzir o efeito dos aterramentos adjacentes ao que se está medindo.

A utilização de uma frequência alta nas medições deve permitir que se teste o aterramento numa condição mais próxima daquela em que este será chamado para dissipar um surto tipo de chaveamento ou mesmo de descarga atmosférica.

- Compensação da componente reativa

O instrumento deve possuir um módulo que permite a introdução de capacitâncias com a finalidade de efetuar a compensação dos reativos presentes na medição.

Para uma subestação da qual partem/ chegam linhas de transmissão com seus cabos para-raios ligados à malha de terra, estima-se que um instrumento com tal frequência deve medir somente a resistência da malha de terra em estudo.

Impedâncias envolvidas entre cabo PR e retorno pelo solo (exemplo para uma alta frequência de 25 kHz)

Para se ter uma ideia da ordem de grandeza das impedâncias envolvidas nos

circuitos das linhas de transmissão (mútua entre cabo para-raios e fases e própria da malha formada pelo cabo para-raios e retorno pelo solo), utiliza-se a formulação de Carson para as frequências de 60 Hz e a que está em análise.

Observa-se que, para a frequência de 25 kHz, a impedância mútua entre cabo para-raios e fases aumenta cerca de 200 vezes enquanto que a impedância própria da malha formada pelo cabo para-raios e retorno pelo solo aumenta cerca de 100 vezes, passando o ângulo para próximo de 90°.

Dessa forma, os parâmetros (resistência + reatância) dos cabos para-raios tendem a infinito, ou seja, passam a ser excluídos da medição em alta frequência.

Assim sendo, a corrente de alta frequência tenderá a circular na sua totalidade pelo circuito formado agora pela malha de terra e o eletrodo auxiliar de corrente, elevando os potenciais de superfície junto a ele. Em consequência, ao se deslocar o eletrodo auxiliar de potencial em uma região livre das influências, tanto da malha de aterramento sob ensaio quanto do eletrodo auxiliar de corrente (patamar da curva com compensação obtido na região B), aparecerá o valor procurado para a resistência da malha.

A Figura 1 mostra a tendência das curvas com e sem compensação de reativos.

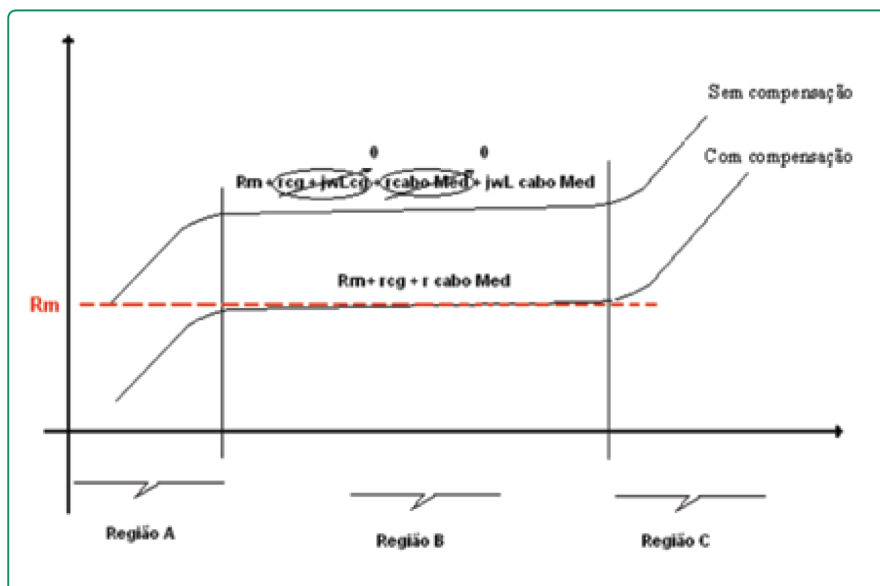


Figura 1 – Tendência das curvas “sem e com” compensação de reativos.

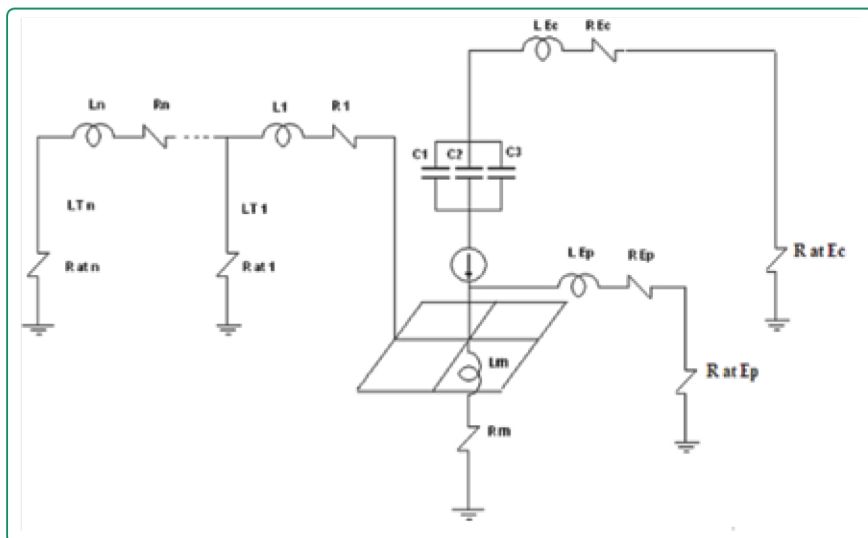


Figura 2 – Esquema simplificado da medição com alta frequência.

ELEMENTOS ENVOLVIDOS NA MEDIÇÃO DE ATERRAMENTO

No esquema da Figura 2 encontram-se, de forma simplificada, os parâmetros que compõem a medição alta frequência.

Neste esquema é possível identificar os parâmetros envolvidos na medição, sendo que:

- $L_1 \dots L_n$ representam a parte indutiva da impedância do circuito formada pelas torres (cabos para-raios das linhas de transmissão);
- $R_1 \dots R_n$ representam uma parte da resistência do circuito (cabos para-raios das linhas de transmissão);
- $R_{at1} \dots R_{atn}$ representam as resistências dos aterramentos de cada torre das linhas de transmissão;
- L_m representa a parte indutiva da impedância da malha de aterramento sob ensaio;
- R_m representa a parte resistiva da impedância da malha de aterramento sob ensaio;
- L_{Ec} representa a parte indutiva da impedância do eletrodo de corrente;
- R_{Ec} representa a parte resistiva da impedância do eletrodo de corrente;
- R_{atEc} representa a resistência de

aterramento do eletrodo de corrente;

- L_{Ep} representa a parte indutiva da impedância do eletrodo de potencial;
- R_{Ep} representa a parte resistiva da impedância do eletrodo de potencial;
- R_{atEp} representa a resistência de aterramento do eletrodo de potencial;
- C_1, C_2, C_3 representam o banco de capacitores utilizado para compensar a parte reativa do circuito.

METODOLOGIA

Metodologia convencional reduzida

Essa metodologia se aplica a sistemas de aterramento na condição de energizados, em locais com poucas

e pequenas áreas disponíveis para colocação dos eletrodos de retorno de corrente e de potencial, tais como áreas em regiões semi-urbanas ou rurais.

Nessa metodologia de medição, é utilizado o método convencional da queda de tensão aplicado, porém, a eletrodos de corrente posicionados “relativamente próximos” do sistema de aterramento em teste.

Nessas medições, com frequências de algumas dezenas de kHz, o posicionamento do eletrodo de corrente se dará a distâncias máximas de 1,25 vez a maior dimensão do sistema de aterramento.

O levantamento da curva de resistência de aterramento em função da distância do eletrodo de potencial se processará tal como definido no levantamento com as instalações desenergizadas.

Metodologia DDPprox (diferenças de potencial em pontos próximos ao sistema de aterramento)

Essa metodologia se aplica a sistemas energizados e localizados principalmente em áreas de nenhuma disponibilidade (densamente edificadas) para colocação dos eletrodos de corrente e potencial, a

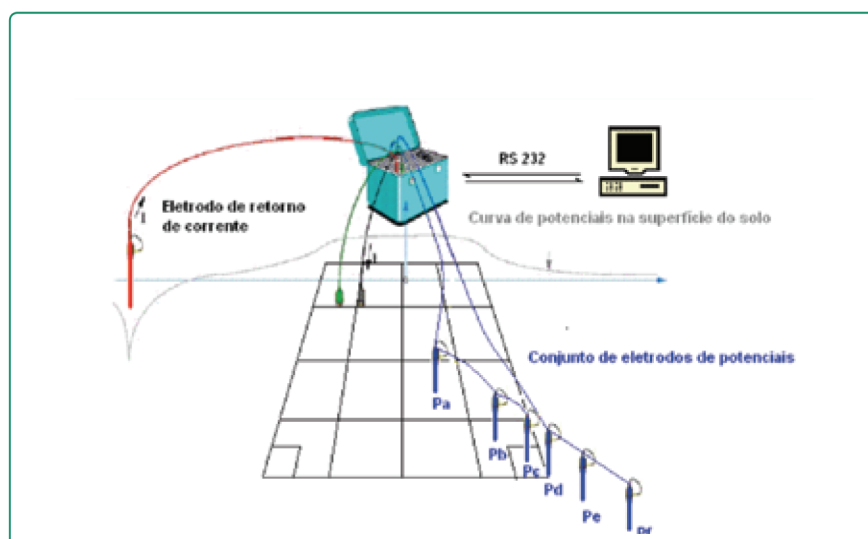


Figura 3 – Metodologia DDPprox aplicada a malhas de aterramento com configuração conhecida.

não ser aquela imediatamente adjacente à do sistema em teste.

Nessa metodologia não se utiliza o conceito de queda de potencial em relação a um ponto remoto, o que pode inviabilizar as medições notadamente de sistemas de aterramento de médias e grandes dimensões feitas convencionalmente. São realizadas em espaços bem pequenos as medições de diferença de potencial em pontos pré-determinados do sistema de aterramento, dependendo do grau de conhecimento que se tenha de sua configuração, relativamente ao ponto de injeção de corrente.

Metodologia DDPprox aplicada a malhas de aterramento com configuração conhecida

Definidas as coordenadas limítrofes da configuração, posiciona-se o eletrodo de corrente em função da maior dimensão da malha, os eletrodos de potencial devem ser posicionados em pontos como centro de maior e menor quadrícula, próximos da periferia e, a partir desta, de metro em metro, até em torno de 1/10 da distância do eletrodo de corrente.

Metodologia DDPprox aplicada a malhas de aterramento com configuração desconhecida

Não dispondo de informações do sistema de aterramento (dimensões reais, tamanhos de quadrículas, profundidade de condutores, etc.), estimam-se as coordenadas de um provável condutor periférico previsto a partir da presença de algum elemento (final de camada de brita, alambrado divisório de área energizada, etc.) e efetua-se o posicionamento do eletrodo de corrente; os eletrodos de potencial devem ser posicionados (em número e espaçamentos diferentes e aleatórios função das características da planta do local), independentemente de se conhecer a posição relativa do sistema de aterramento, até uma distância em torno de 1/10 do eletrodo de corrente para cada direção escolhida.

COMPETÊNCIAS DO INSTRUMENTO

O instrumento deve possuir um módulo gerador de sinal de alta frequência (algumas dezenas de kHz), com sinais de corrente da ordem de algumas dezenas de mA, controlado por um cristal que dê estabilidade à

frequência e possua filtros, altamente seletivos, dimensionados para eliminar o efeito das correntes parasitas de frequência industrial presentes no solo;

O instrumento deve possuir um módulo de aquisição e armazenamento dos dados coletados dos eletrodos de corrente e potencial.

O instrumento deve possuir um módulo de controle dos dados, no qual se efetue a correção de erros e redução de ruídos, bem como a proteção contra sobretensões.

Imunidade

O instrumento deve apresentar imunidade eletrostática segundo a IEC 61000-4-2, imunidade a radiação eletromagnética segundo a IEC 61000-4-3, EMC segundo a IEC 61326-1 e proteção ambiental IP 54.

Medição de tensões de passo e toque

O instrumento deve permitir a obtenção dos potenciais de passo e toque em V/A de corrente injetada para posterior extrapolação ao valor de corrente de malha.

Determinação da continuidade elétrica entre elementos vinculados à malha da subestação

O instrumento deve permitir a medição da impedância entre dois pontos do sistema que engloba a malha de aterramento na condição de sistema energizado. Como detector de continuidade, o instrumento deve permitir a determinação das resistências vistas por esses dois pontos, concluindo-se, então, pela sua continuidade.

DA CORRENTE DE MEDIÇÃO

A corrente de medição é função da resistência de aterramento do eletrodo

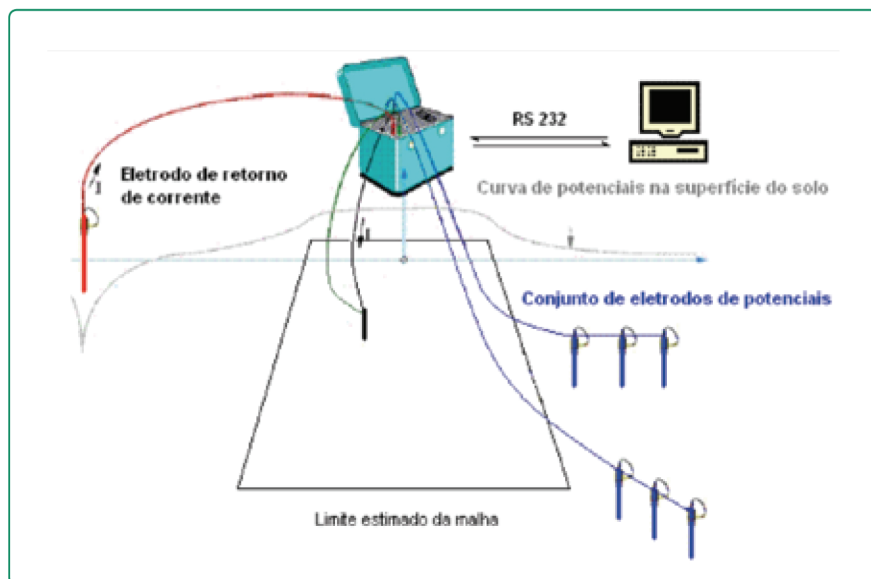


Figura 4 – Metodologia DDPprox aplicada a malhas de aterramento com configuração desconhecida.

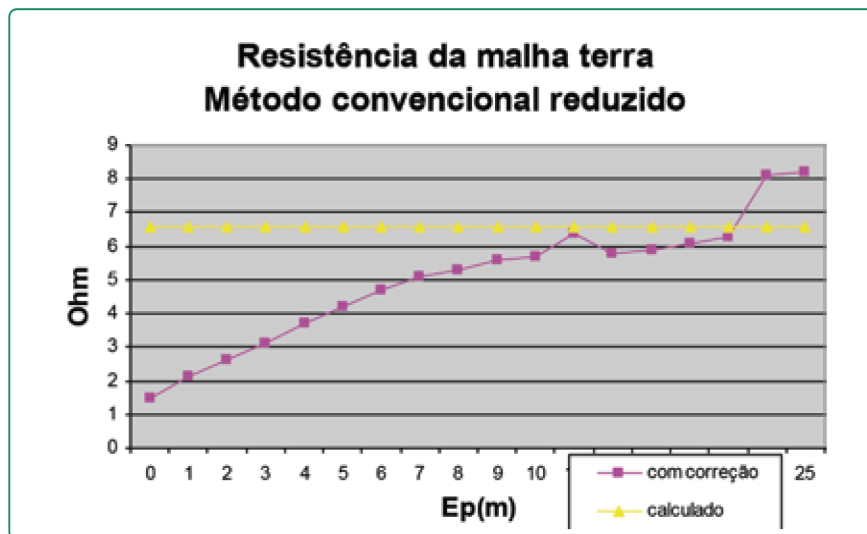


Figura 5 – Curva para o método convencional reduzido.

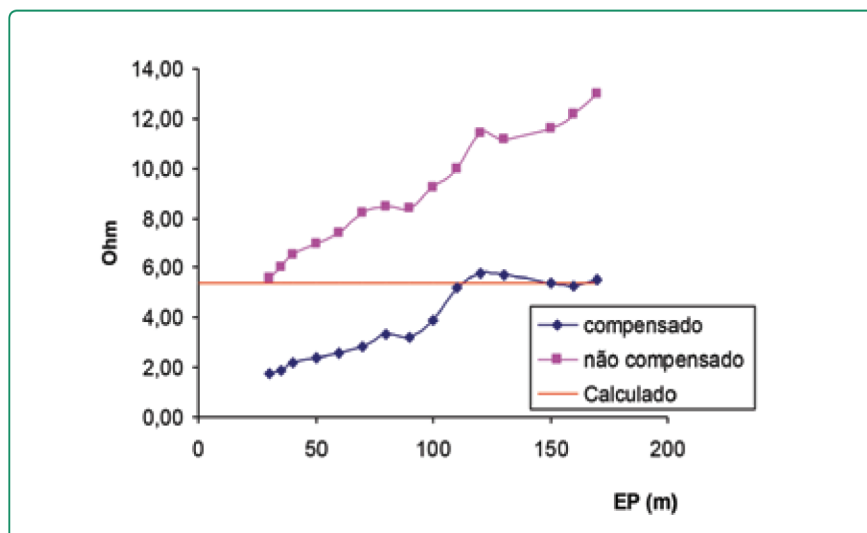


Figura 6 – Curvas para a metodologia DDPprox.

de corrente; eletrodos com poucas hastes em paralelo ou em solos de resistividades altas podem propiciar correntes baixas de medição, incompatíveis com as correntes indicadas pelos fabricantes dos instrumentos, quando se definem as precisões dos mesmos. Como regra prática, a resistência de aterramento do eletrodo de corrente usualmente deve ser inferior a 500Ω , devendo a relação entre a resistência de aterramento do eletrodo de corrente e a resistência do sistema de aterramento sob ensaio não exceder 1000:1, sendo preferíveis relações abaixo de 100:1.

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

Metodologia convencional reduzida

Deve-se efetuar o levantamento dos valores de resistência com compensação capacitiva pelo deslocamento do eletrodo de potencial a partir da periferia da malha em direção ao eletrodo de corrente posicionado para distâncias da ordem de 1,25 vez a maior dimensão da malha.

A resistência de aterramento procurada será dada pelo patamar da curva com compensação obtida.

METODOLOGIA DDPprox

Para avaliação da resistência de aterramento utilizando-se a metodologia DDPprox, as malhas deverão estar conectadas a outros sistemas de aterramento, via, por exemplo, cabo(s) para-raios de linhas de transmissão. Nessa condição:

- o valor mínimo da curva sem compensação (obtido nas proximidades da periferia da malha) tende ao valor da resistência da malha;
- o valor mínimo da curva com compensação (obtido nas proximidades da periferia da malha) tende ao valor da impedância do sistema.

Pela metodologia DDPprox, basta então medir-se o valor da diferença de potencial entre malha e um ponto a 1 m de sua periferia, referenciando-se à corrente de medição, para obter-se:

- A resistência específica da malha de terra (valor sem compensação);
- A impedância do sistema (valor com compensação).

**Carlos Alberto Sotille é engenheiro eletricista, mestre em Ciências pela Coppe/UFRJ e pesquisador. Atualmente, é diretor técnico da Sota Consultoria e Projetos Ltda. e membro da CE-03:102 – Comissão de estudos “Segurança em aterramento elétrico de subestações C.A.”, do Cobei.*

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO
Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br