

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Melhoramento de solo em sistema de aterramento de regulador de tensão em linha de distribuição, na região oeste da Bahia

Silva J. Maurilio^a, Cabussú S. Mário^b, Portella F. Kleber^c, Pereira Ap. Príncipe^d, Brambilla J.C.Kelly^e, Cerqueira P. Daiton^f, Rogério Salles^g, Sotille A. Carlos^h

Abstract

In this work to show studies accomplished to decrease earthing system impedance for equipment placed in electric power energy distribution. It also establishes laboratory procedures for characterization backfield that can be applied in soils. The backfield together with earth electrode should have the conductive capacity at least 2,5 times the length earthing electrode diameter. For resistivity soil among 100 to 300 Ohm m, when with backfield, should be reduction resistivity, at least, 30% of the original measure. To have a good effectiveness in backfield development, it is should be necessity to study the characteristic physical-chemistries soil property, where backfield will be used.

This work presents a practical involving all necessary stages to diminish the earthing system impedance through the use backfield.

Keywords: underground corrosion, soil corrosion, electrochemical measurements, physical-chemical tests, earthing systems.

Resumo

Neste trabalho, tem-se como objetivo, mostrar estudos realizados para diminuir a impedância do sistema de aterramento em “Religador de tensão” situado em uma linha de distribuição de energia elétrica, situada na cidade de LENÇÓIS (região oeste da Bahia). Também estabelece procedimentos de laboratório para realizar ensaio objetivando a caracterização de aditivos (também chamados de despolarizantes e/ou backfield) que possam ser aplicados em solos localizados nas proximidades do cabo condutor ou das hastes de aterramento para diminuir a impedância do sistema de aterramento de redes de distribuição de energia elétrica, quando o solo apresenta alta resistividade. A resistividade do solo pode ser reduzida por qualquer tipo de melhoramento do solo, dependendo do tipo e textura do solo vizinho ao eletrodo de aterramento. O solo melhorado em conjunto com o eletrodo de terra deve ter uma capacidade condutiva (raio de ação) pelo menos 2,5 vezes o comprimento do diâmetro do eletrodo de aterramento. Para isso, o aditivo deve ser aplicado de acordo com instruções de fornecedores. Para solos que tenham uma resistividade entre 100 a 300 Ohm.m, ao aplicar o aditivo, este deve propiciar a redução da resistividade, de pelo menos, 30% da medida original. Para se ter uma boa eficácia do aditivo ou despolarizante, o fornecedor deve ter em conta, as características geológicas e físico-químicas do terreno, onde o aditivo será utilizado. Para saber as características geotécnicas e físico-químicas mínimas do solo, este deve ser coletado, transportado ao laboratório, secado e destorroado. Após destorroação, a determinação da

^a Doutor, Químico – LACTEC

^c Doutor, Químico – LACTEC

^e Química – LACTEC

^g Engenheiro Eletricista – COELBA

^b Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA

^d Engenheira Mecânica - LACTEC

^f Engenheiro Eletricista - COELBA

^h Engenheiro Eletricista - CESP

granulometria simples deve ser realizada. Em seguida recomenda-se estudar a corrosividade do solo com e sem o aditivo a ser utilizado em campo. Este trabalho apresenta um caso prático e bem sucedido, envolvendo todas etapas necessárias para se diminuir a impedância de um sistema de aterramento através do uso de aditivo comercial.

Palavras-chave: Sistema de aterramento, Ensaio físico-químico, Corrosão pelo solo, Medidas eletroquímicas.

Introdução

O local de estudo é um regulador de tensão existente em uma linha de distribuição de energia elétrica de 34,5 kV, situado nas imediações da cidade de Lençóis na Bahia (Chapada Diamantina). Antes da execução deste trabalho houveram várias descargas atmosféricas na linha de distribuição em questão. As possíveis causas da queima do regulador de tensão em questão estão associadas com a indução de sobre tensões transitórias e surtos originados pelos raios. A consequência disso foi perda de energia durante algumas horas de interrupção da linha de distribuição. Além do estudo das características físico-químicas do solo e do desenvolvimento de poços redutores, foi feito o diagnóstico e verificação do aterramento existente conforme recomendações da IEEE 81⁽¹⁾.

Aplicando a metodologia indicada na norma IEEE 81, foram feitas medições da resistividade do solo pelo método de Wenner⁽²⁾ e a estratificação do solo utilizando um software de computador. A medição do valor da resistência Ohmica do sistema de aterramento foi baseado no método da queda de potencial utilizando a regra dos 62%⁽³⁾. Trabalhos foram executados, conforme recomendações técnicas existentes, em normas vigentes tais como IEC 62305⁽⁴⁾ e ABNT NBR 5419⁽⁵⁾. Como resultado desse estudo foi definido uma configuração otimizada em relação ao posicionamento dos poços redutores, de tal forma, que ficou garantida uma solução apropriada para as condições do lugar, no sentido de obter um valor de impedância de aterramento desejado, que permitisse obter segurança para as pessoas e confiabilidade para os equipamentos elétricos e eletrônicos.

Metodologia

O regulador de tensão mencionado na Fig.1 recebeu uma descarga atmosférica (vide Figs.2 a 6). Próximo a esse regulador de tensão (cerca de 20 km) existe outro regulador, que foi retirado de operação devido avarias sofrida durante descargas atmosféricas.

As Figs. 2 e 3 mostram os locais do poste em que o cabo de descida se rompeu. A temperatura foi tão alta que parte do poste se rompeu, conforme mostra em detalhe na Fig.3.

O sistema de aterramento do regulador de tensão em estudo não suportou a descarga atmosférica ocorrida naquele local. A Fig. 4 mostra que o solo vizinho a malha de terra petrificou. A cor preta verificada na Fig. 4 é devido à presença de óxido de cobre juntamente com solo local. Portanto, além da petrificação, houve oxidação do cobre existente no cabo malha transformando-o em íons cobre juntamente com terra.



Figura 1 – Regulador de tensão instalado na região oeste da Bahia



Figura 2 – Rompimento do cabo devido a uma descarga atmosférica



Figura 3 – Rompimento do cabo vista em detalhe



Figura 4 – Petrificação do solo e ionização do cobre da malha



Figura 5 – Fusão ou derretimento do conector mecânico



Figura 6 – A solda exotérmica suportou a descarga atmosférica

Nesse aterramento havia uma haste de terra conectada na malha através de conexão mecânica. O conector mecânico se fundiu na extremidade superior da haste (vide Fig.5). Isto mostra que o conector mecânico não suportou o surto ocasionado naquela região. Por outro lado, a Fig.6 mostra uma haste de aterramento conectada na malha através da solda exotérmica. Observa-se que houve perda de massa na solda exotérmica, porém ela suportou o surto. Nas vizinhanças da haste o cabo malha está totalmente danificado devido à alta temperatura atingida naquela região, porém o cabo não se rompeu. Ao percorrer o caminho da descarga, verificou-se que ela passou pela haste e seguiu o cabo malha fechando a configuração do aterramento previamente construído. Isto é comprovado pela petrificação do solo abaixo do cabo malha ao longo do anel do sistema de aterramento. Também é importante notar que a descarga atmosférica preferiu seguir o cabo malha ao invés de se dissipar pela haste (vide Fig.6).

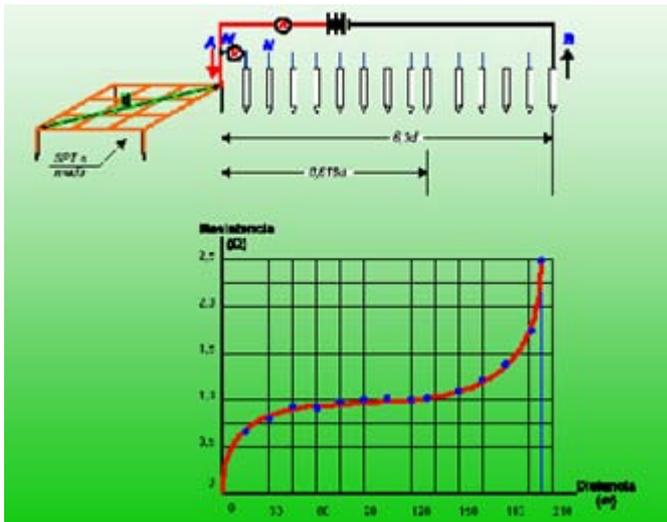


Figura 8 – Medida da resistência pela regra dos 62%

O valor da resistência obtida conforme Figura 8, foi de 2.580 Ohms, para a resistência da malha em funcionamento. Esta resistência está muito acima do valor recomendado pela IEEE 80.



Figura 9 – Confecção de um novo aterramento constituído de 12 poços

Como recuperação do sistema de aterramento antigo, foi construído um novo aterramento contendo 12 poços redutores. Cada poço redutor contém: 2 kg de carbono grafite, 4 kg de cimento, 6 kg de bentonita e 20 kg de areia lavada. Esta mistura de despolarizante foi colocada em um caníster de 3 metros de comprimento por 15 cm de diâmetro. Dentro do caníster foi colocada uma haste de aço cobreada de 2,4 metros por 15 mm de diâmetro.

A configuração do sistema de aterramento foi de acordo com a Figura 10. A figura 10 mostra um sistema de aterramento tipo “dois pés de galinha simétricos” interligados por um anel, aberto nas laterais próximo do seu ponto médio. O cabo malha que interliga os poços redutores são de cobre com bitola de 75 mm. Este cabo foi conectado às hastes por meio de solda exotérmica. As distâncias entre os poços redutores estão em metros (vide Fig.10) e cada

representação “HT” identifica a instalação de um poço. Após construção deste sistema de aterramento foram instalados dois contadores de descargas atmosférica próximos aos reguladores de tensão (vide Fig.11).

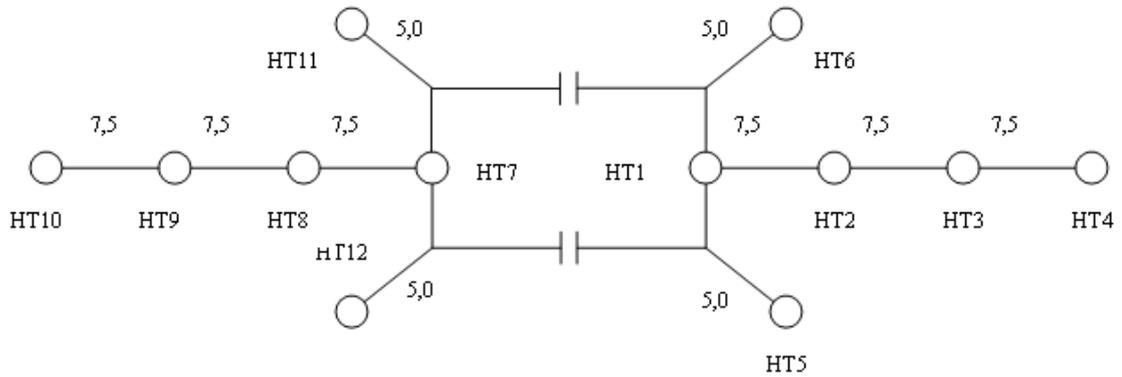


Figura 10 – Configuração do novo sistema de aterramento



Figura 11 – Contador de descarga instalado no regulador de tensão

Resultados e discussão

O valor da resistência do aterramento obtida conforme Figura 8, foi de 350 Ohms, para a resistência da malha recém construída com poços redutores. Esta resistência está acima do valor recomendado pela IEEE 80, porém está muito abaixo do valor apresentado pela malha antiga. Cálculos matemáticos, a partir da resistência juntamente com o potencial de toque, mostram claramente que a segurança de pessoas no local, está assegurada.

Após um ano de operação foram registrados dois surtos provenientes de indução advinda de descargas atmosféricas. Os reguladores de tensão suportaram estes surtos e não queimaram. No entanto, foram feitas escavações com objetivo de analisar visualmente a situação da malha após passagem de alta corrente advinda das descargas atmosféricas. A escavação foi feita de modo a percorrer todo o sistema de aterramento, descobrindo o cabo condutor e as hastes à ele interconectadas.

Ao percorrer o percurso feito pelo raio, por intermédio de análise visual, decidiu-se iniciar a análise a partir do contador de descarga (vide Fig.11). Após o contador de descarga, o cabo de descida (condutor de aterramento) entra dentro de um tubo de aço galvanizado. Esse tubo de aço galvanizado que está encostado ao poste de concreto penetra uns 10 cm para dentro do solo. O cabo de descida sai desse tubo já abaixo do nível do solo e segue até encontrar o primeiro poço redutor. A região do tubo de aço galvanizado que está enterrada, apresenta uma intensa corrosão vermelha e ausência da camada de galvanização e o cabo de descida está com uma coloração levemente negra (leve queimadura) exatamente na curva que é feita entre a saída do tubo e a canaleta com destino ao primeiro poço redutor. Isto mostra que nas regiões de curvatura do condutor de aterramento houve uma maior dissipação do raio para a terra, evidenciando o caráter vetorial do campo elétrico.

O primeiro poço redutor (vide HT7, Fig.10) apresentava uma leve queimadura na região da solda exotérmica e dentro do caníster contendo o despolarizante. O condutor de aterramento estava brilhante (sem leve queimadura) entre os poços redutores HT7 e HT8 (vide Fig.10), mas volta a apresentar uma leve queimadura no local da solda exotérmica e dentro do caníster no poço redutor HT8. Esse processo repete-se para os poços redutores subsequentes localizados no lado esquerdo dos reguladores de tensão, tais como, HT9 e HT10 (vide Fig.10). O fato do poço redutor HT10 apresentar aspecto levemente fosco é uma indicação de que a perna do aterramento em estudo atuou perfeitamente no sentido de escoar para o solo (de forma adequada) a energia proveniente do raio. Parte do raio entrou no primeiro poço e parte do raio se dirigiu para os outros poços. Isto foi se propagando como um efeito dominó até o último poço que está a uns 30 metros de distância de onde o raio começou a entrar no solo pelo aterramento em estudo.

Ao analisar o percurso do raio para o outro lado do sistema de aterramento (lado direito dos reguladores de tensão), verificou-se um comportamento similar ao encontrado para o lado esquerdo. Esta perna do aterramento também teve ótima atuação no sentido de dispersar a energia do raio para pontos distantes dos reguladores de tensão. Também foi verificado comportamento similar para as outras pernas radiais do anel mostrado na Fig.10.

Durante essa visita foi retirado um poço redutor (HT7 vide Fig.10) para análise de porosidade em laboratório. No lugar desse poço foi instalado um novo poço e interligado no sistema de aterramento. A primeira surpresa foi ter detectado a ausência do tecido que envolvia o despolarizante. Isto mostra que após um ano o tecido do caníster já desapareceu e portanto o despolarizante já está em contato direto com o solo local. Outra surpresa agradável foi ter detectado que o despolarizante está petrificado como se fosse concreto e portanto não há a mínima probabilidade de haver lixiviação do despolarizante com o passar do tempo. Ao

quebrar parte do despolarizante, verificou-se leve queimadura em toda região da haste que está em contato com o despolarizante, mostrando que existe um bom efeito de fronteira na interface haste/despolarizante que facilita a drenagem da corrente que chega na haste e entra no despolarizante e deste para o solo. Portanto o raio não enxerga o solo, mas enxerga o despolarizante e isto é o suficiente para haver uma boa dissipação da corrente. Este efeito foi uniforme em toda região da haste embutida no despolarizante e o fato da haste de aterramento estar centralizada dentro do caníster de 15 cm de diâmetro, facilitou a drenagem da corrente. O diâmetro de 15 cm foi suficiente para amenizar o impacto e haver uma boa dissipação da energia por parte do poço redutor. Em alguns locais da haste de aterramento, verificou-se pontos típicos de centelhamento, talvez pela presença de alguns poros grandes existentes na interface haste/despolarizante dentro do caníster. Isto mostra que a melhor forma de dispersar um raio é trabalhar a configuração do sistema de aterramento (tipo radial) e otimizar o formato da malha no sentido de diminuir a indutância, além de diminuir a resistência, fazendo com que a impedância seja diminuída.

No poço redutor recém instalado em substituição ao poço redutor retirado foi feita medição do aterramento, quando ele ainda estava seco e o valor apresentado foi de 492Ω . Com apenas 1 litro de água o valor apresentado foi de 496Ω . Com muita água o valor apresentado foi de 492Ω e com esse poço contendo água e interligado no sistema de aterramento, o valor do conjunto se manteve em 492Ω . Isto mostra que se o poço redutor for poroso, ele será um bom absorvedor de água e com pequenas quantidades de água de chuvas ou início de chuva a resistência do sistema de aterramento cai rapidamente para o valor real do sistema de aterramento instalado.

O poço redutor retirado foi levado para o laboratório com objetivo de realizar ensaio de porosidade (vide Figs.12 e 13). O ensaio de porosidade seguiu o item 10.10 da norma ABNT NBR 5032⁽⁶⁾. Por motivo de comparação o ensaio de porosidade foi feito no poço redutor e em um concreto convencional retirado de uma cruzeta (vide Foto 12).

Fragmentos (cinco) de concreto convencional e cinco fragmentos do poço redutor foram imersos em uma solução alcoólica de fucsina 1 % (1 grama de fucsina em 100 gramas de álcool) e foram submetidas a uma pressão de 450 kgf/cm^2 durante 5 horas. Após esse tempo, foi retirada a pressão e os fragmentos foram retirados da solução alcoólica, lavados, secos e novamente quebrados.

De acordo com a NORMA ABNT NBR 5032, um material pode ser considerado, sem porosidade, se o exame a olho nu nos fragmentos recentemente quebrados não revelar qualquer indício de penetração do corante. No caso do concreto convencional observa-se a inexistência de poros. Já nos fragmentos retirados do poço redutor foi detectada a presença da penetração do corante em boa parte de um fragmento selecionado, como pode ser visto na Fig.13.



Figura 12 – Análise de porosidade em concreto convencional de cruzeta e no poço redutor em análise



Figura 13 – Fragmentos de concreto convencional de cruzeta e do poço redutor em análise

Conclusões

O sistema de aterramento construído a partir de uma configuração otimizada (dois pés de galinhas simétricos interconectados por meio de um anel aberto) e constituído de 12 poços redutores, abaixou a resistência do aterramento de 2 500 Ω para 350 Ω .

Após um ano de operação foram registrados dois surtos provenientes de indução advinda de descargas atmosféricas. Ao percorrer o percurso feito pelo raio, por intermédio de análise visual, concluiu-se que:

- nas regiões de curvatura do condutor de aterramento houve uma maior dissipação do raio para a terra, evidenciando o caráter vetorial do campo elétrico;
- o sistema de aterramento em estudo atuou perfeitamente no sentido de escoar para o solo (de forma adequada) a energia proveniente do raio. O raio foi propagando-se como um efeito dominó até o último poço, no sentido de dispersar a energia para pontos distantes dos reguladores de tensão.

Análise de um poço redutor retirado após um ano de funcionamento, mostrou-se:

- a ausência do tecido que envolvia o despolarizante;
- o despolarizante petrificou-se como se fosse concreto;
- a haste apresentou leve queimadura na região que estava em contato com o despolarizante.

Análise de porosidade feita no poço redutor pela Norma ABNT NBR 5032 mostrou que:

- o poço redutor é poroso com alto poder absorvedor de água;
- com início de uma chuva, a resistência do sistema de aterramento cai rapidamente para um valor estacionário.

Em relação ao sistema de aterramento proposto e confrontando-se os resultados atuais com os resultados antigos, é observado uma significativa melhora. Isto pode respaldar em um adequado uso desta tecnologia desenvolvida para o setor elétrico brasileiro.

Referências bibliográficas

- (1) IEEE STD 81 (1991). **Guide for measurement of impedance and safety characteristics of large, extended or interconnected grounding system.**
- (2) .ABNT NBR 7117 (2012). **Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo.**
- (3) G.F.TAGG. **Measurements of earth electrode resistance with particular reference to earth-electrode Systems Covering a Large Area.** Proceedings. IEE, Vol.III, No. 12, Dezembro. (1964).
- (4) IEC 62305 (2005). **Protection of structures against lightning.**
- (5) ABNT NBR 5419 (2001). **Norma técnica brasileira de proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.**
- (6) ABNT NBR 5032. **Isoladores para linhas aéreas com tensão acima de 1 000 V. Isoladores de porcelana ou vidro para sistemas de corrente alternada.**

* * *