


| | | | | | |
|---|-----------------|------------------------|--|--------------------|---------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 0A | 14/11/18 | Emissão Inicial | | VRA | KCAR LNAG |
| Nº | Data | Natureza da Revisão | | Elaborado | Verificado Aprovado |
|  | | | Sterlite São Francisco Energia S.A. | | |
| Sterlite São Francisco Transmissão de Energia S.A. | | | | | |
| PROJETO BÁSICO – LOTE 7 – LEILÃO Nº02/2018 - ANEEL | | | | | |
| ELAB. VRA | VERIF. KCAR | APROV. LNAG | RESP. TÉCNICO CSF | CREA 2000119859 | DATA 14/11/2018 |
| TÍTULO | | | | | |
| SISTEMA DE ATERRAMENTO | | | | | |
| Nº DOCUMENTO | | | | FOLHA | REVISÃO |
| SF01818-LT-GNLT-G-RE-0014 | | | | 1 | 0A |

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|---|
| 1. | OBJETIVO | 3 |
| 2. | RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DO PROJETO | 3 |
| 3. | CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE DO SOLO | 3 |
| 4. | CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO | 3 |
| 4.1 | CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA..... | 3 |
| 4.2 | EFETIVIDADE DO CONTRAPESO E DAS HASTES DE ATERRAMENTO | 4 |
| 5. | DETALHAMENTO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO | 5 |
| 5.1 | ESPECIFICAÇÃO DO CONTRAPESO E CONECTORES ASSOCIADOS..... | 5 |
| 5.2 | ESPECIFICAÇÃO DAS HASTES DE ATERRAMENTO E CONECTORES ASSOCIADOS..... | 5 |
| 5.3 | ARRANJO FÍSICO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO | 6 |
| 5.4 | DEFINIÇÃO DAS FASES DO SISTEMA DE ATERRAMENTO | 6 |
| 6. | MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO | 6 |
| 7. | REFERÊNCIAS | 7 |

1. OBJETIVO

Definir o Sistema de Aterramento a ser utilizado nas estruturas das LTs 500 kV, circuito simples, Porto Sergipe – Olindina, 180 km, e Olindina – Sapeaçu, 187 km, integrantes do lote 7 do Edital de Leilão nº02/2018 ANEEL.

2. RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DO PROJETO

Conforme mostrado na referência (1), para que seja alcançado o desempenho a descargas atmosféricas especificado no Edital a resistência de aterramento das estruturas está sendo limitada a 20 Ω para as LTs.

Serão aceitas estruturas esparsas com resistências de aterramento superiores ao valor acima desde que no trecho situado em torno das estruturas em questão a média das resistências de aterramento atenda o limite especificado.

3. CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE DO SOLO

Para que possam ser selecionados os tipos de fundações a serem instalados em cada estrutura, está prevista a realização de uma campanha de investigação dos solos (2) a ser empreendida tão logo tenha sido concluído o projeto de plotação inicial.

Simultaneamente com a investigação geotécnica acima mencionada deve ser realizada uma campanha de medição de resistividade dos solos da região atravessada pelas linhas de transmissão.

A resistividade do solo deve ser medida tão próximo quanto possível do marco central das estruturas usando preferencialmente instrumentos com cinco terminais, sendo dois de potencial, dois de corrente e um de guarda.

Deve ser medida a resistividade nos seguintes pontos:

- a) Locais extremamente secos;
- b) Locais com indícios de rocha a baixa profundidade;
- c) Local de todas as torres das LTs.

Além dos valores medidos os relatórios devem fornecer as condições climatológicas na ocasião em que foram realizadas as medições de resistividade, indicar se o solo estava seco ou úmido, se havia chovido recentemente, se a época do ano correspondia à estação chuvosa ou seca etc.

4. CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

4.1 CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA

Para reduzir a resistência ao valor especificado no item 2 acima está sendo proposto um sistema de aterramento constituído por quatro ramais de fio contrapeso conectados às cantoneiras de ancoragem dos pés das estruturas autoportantes e aos mastros e estais das estruturas estaiadas.

Os quatro ramais afastam-se das estruturas em formação radial até o limite da faixa de servidão, passando em seguida a correr paralelo aos limites da faixa.

Em locais de resistividade elevada e desde que a consistência do solo permita, os quatro ramais de fio contrapeso serão complementados por quatro hastes de aterramento. As hastes deverão ser enterradas a uma profundidade em torno de 3,0 m e conectadas às estruturas utilizando ramais curtos de fio contrapeso.

4.2 EFETIVIDADE DO CONTRAPESO E DAS HASTES DE ATERRAMENTO

O uso de contrapeso e de hastes de aterramento e sua efetividade na proteção de LTs contra surtos atmosféricos são temas que vêm sendo estudados há várias décadas, havendo um volume substancial de literatura sobre o assunto (3) (4) (5) (6).

São indicados a seguir alguns pontos do conhecimento acumulado sobre o uso de contrapeso e hastes de aterramento, relevantes para o projeto do sistema de aterramento a ser adotado:

- a) O contrapeso é efetivo na redução do número de descargas devidas a surtos atmosféricos, tanto instalado no sentido perpendicular aos condutores como no sentido paralelo. O contrapeso é marginalmente mais efetivo (5 a 10%) quando instalado paralelamente aos condutores.
- b) Contrapesos muito longos são menos efetivos do que o mesmo comprimento subdividido em vários ramais menores adequadamente afastados entre si.
- c) A eficácia do contrapeso depende do comprimento dos ramais instalados; contudo, a partir de comprimentos da ordem de 120 metros as melhoras no desempenho passam a ser pouco significativas.
- d) Ramais excessivamente curtos não devem ser usados pois causam reflexões da onda do surto, prejudicando o desempenho do sistema de aterramento. Respeitados os limites da faixa de servidão o espaçamento entre ramais deve ser o maior possível.
- e) O material e bitola do contrapeso têm pouca influência na sua eficácia como redutor da resistência de aterramento das estruturas, devendo ser selecionados visando a durabilidade, facilidade de manuseio e instalação e sua resistência à corrosão, assim como sua capacidade de transportar a parcela das correntes de curto-circuito que descem pelas estruturas e escoam para o solo.
- f) A profundidade de enterramento do contrapeso tem pouca influência sobre seu desempenho e deve ser escolhida visando protegê-lo contra atos de vandalismo.
- g) Hastes de aterramento enterradas verticalmente também são efetivas na redução do número de descargas devidas a surtos atmosféricos. A forma mais comum de haste é a barra redonda de aço zincado a quente ou revestida de cobre (copperweld), usualmente com diâmetro de 16 mm e 2 a 3 m de comprimento, extensível por meio do acoplamento de duas ou mais barras. Cantoneiras de aço zincado a quente também são usadas, com comprimento entre 2 e 3 m, não extensível.
- h) O desempenho das hastes depende principalmente de seu comprimento enterrado, porém essa relação não é linear, havendo melhoras apenas marginais a partir de comprimentos enterrados elevados. Na maior parte dos solos uma profundidade enterrada em torno de 3,0m tem-se mostrado satisfatória.
- i) O desempenho do sistema de aterramento pode ser melhorado conectando-se várias hastes em paralelo.
- j) Se a distância entre as hastes for suficientemente grande quando comparada com o comprimento individual de cada haste, a resistência tenderá a ser reduzida na mesma proporção do número de hastes. Caso contrário haverá interferência entre os campos elétricos das várias hastes e a conseqüente redução de sua eficácia.

5. DETALHAMENTO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

5.1 ESPECIFICAÇÃO DO CONTRAPESO E CONECTORES ASSOCIADOS

Será utilizado como contrapeso cabo de aço zincado por imersão a quente (classe B) 3/8" SM, com 9,144 mm de diâmetro.

São indicadas a seguir as principais características do contrapeso selecionado:

Características Gerais do Cabo Contrapeso

| | |
|--|-----------------------|
| Tipo | Aço Zincado, 3/8", SM |
| Diâmetro do cabo | 9,144 mm |
| Diâmetro dos fios individuais | 3,05 mm |
| Seção transversal do cabo | 51,08 mm ² |
| Número de fios | 7 |
| Massa unitária | 0,407 kg/m |
| Carga de ruptura mínima | 3.151 kgf |
| Alongamento mínimo em 610 mm | 8% |
| Classe da zincagem | B |
| Peso mínimo da camada de zinco | 520 g/m ² |
| Sentido do encordoamento da camada externa | A esquerda |

Os ramais de contrapeso serão solidamente ligados às cantoneiras de ancoragem das pernas das estruturas autoportantes e aos mastros das estruturas estaiadas, por meio de conectores aparafusados de aço, zincados por imersão a quente.

Nas estruturas estaiadas os ramais de contrapeso serão estendidos até os estais e conectados aos mesmos por meio de grampos paralelos de aço, zincados por imersão a quente.

Os ramais serão enterrados em valetas de 80 centímetros de profundidade, com os comprimentos correspondentes à fase de aterramento selecionada para a estrutura. Se necessário, serão acrescentados comprimentos adicionais de cabo contrapeso, utilizando-se grampos paralelos aparafusados, fabricados em aço e zincados por imersão a quente.

5.2 ESPECIFICAÇÃO DAS HASTES DE ATERRAMENTO E CONECTORES ASSOCIADOS

Serão utilizadas hastes de aterramento formadas por cantoneiras com abas iguais de 40 mm, espessura de 5 mm e 2400 mm de comprimento. As cantoneiras serão fabricadas em aço estrutural ASTM A36 e zincadas por imersão a quente. Uma das extremidades da haste deverá ser chanfrada para facilitar o cravamento no solo.

As hastes de aterramento serão conectadas ao cabo contrapeso por meio de conectores aparafusados de aço, zincados por imersão a quente.

5.3 ARRANJO FÍSICO DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

O sistema de aterramento será formado por quatro ramais de fio contrapeso ligados às estruturas e aos estais e por quatro hastes de aterramento a serem cravadas no fundo das cavas das fundações das estruturas autoportantes (ou das fundações dos estais) e conectadas às estruturas (ou aos estais) utilizando ramais curtos de cabo contrapeso.

Os quatro ramais devem se afastar dos pontos de fixação às estruturas em direções radialmente opostas, formando ângulos de 45° com o eixo das linhas de transmissão (torres autoportantes) ou orientados na direção das fundações dos estais (torres estaiadas).

Ao atingir pontos situados a 0,5 metro do limite da faixa de servidão os ramais devem passar a se deslocar paralelamente à faixa, em sentidos opostos, até terem sido instalados comprimentos de contrapeso por ramal correspondentes à fase de aterramento selecionada para a estrutura em questão.

5.4 DEFINIÇÃO DAS FASES DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

O sistema de aterramento proposto compreende quatro fases normais e uma especial, como indicado a seguir:

| Fase | Configuração |
|--------------|---|
| I | Quatro ramais com 25 metros de contrapeso por ramal. |
| II | Quatro ramais com 50 metros de contrapeso por ramal. |
| III | Quatro ramais com 75 metros de contrapeso por ramal. |
| IV | Quatro ramais com 100 metros de contrapeso por ramal. |
| V (especial) | Fase especial para trechos com resistividade extremamente elevada consistindo na instalação de ramais de contrapeso associados a hastes de aterramento, em configuração a ser definida pelo projetista das LTs. |

A fase inicial do sistema de aterramento a ser instalada em cada estrutura será definida no decorrer do projeto executivo das LTs, em função dos valores medidos da resistividade, conforme campanha de investigação dos solos descrita no item 3.

Tendo em vista que as resistividades do solo medidas serão valores aproximados e que a fase de aterramento a ser indicada nas listas de construção será escolhida utilizando uma correlação também aproximada, é provável que, em algumas estruturas, a fase de aterramento selecionada não seja suficiente para reduzir a resistência de aterramento aos valores de projeto. Nesses casos, o comprimento inicialmente instalado de contrapeso deverá ser ampliado e/ou instaladas hastes de aterramento adicionais, conforme procedimento detalhado no item 6 a seguir.

6. MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

Após a concretagem e cura das fundações e pelo menos três dias após a instalação da fase de aterramento especificada no projeto executivo, deve ser medida a resistência de aterramento da estrutura em dia de tempo bom e com solo seco.

Se na ocasião em que for medida a resistência de aterramento a estrutura ainda não estiver montada, as cantoneiras de ancoragem devem ser eletricamente interligadas com um pedaço de fio contrapeso.

As medições da resistência de aterramento das estruturas devem ser realizadas antes da instalação dos cabos para-raios ou, se já instalados, com os mesmos isolados das estruturas.

Caso a resistência medida seja superior ao valor de projeto (ver item 2) a fiscalização deve ser consultada sobre como proceder, podendo ser adotada uma das seguintes medidas:

- a) Estender os ramais de fio contrapeso até o comprimento da fase imediatamente acima daquela inicialmente instalada e repetir a medição, e assim sucessivamente até atingir a resistência de projeto ou a Fase V do Sistema de Aterramento;
- b) Deixar a estrutura com a resistência de aterramento correspondente à fase instalada se a média das resistências das estruturas do trecho for inferior à resistência de projeto;
- c) Solicitar ao projetista das LTs o detalhamento de fase de aterramento especial para a estrutura ou trecho em questão.

7. REFERÊNCIAS

- 1 Projeto Básico LTs 500 kV, circuito simples, Porto Sergipe – Olindina e Olindina – Sapeçu, COORDENAÇÃO DO ISOLAMENTO.
- 2 Projeto Básico LTs 500 kV, circuito simples, Porto Sergipe – Olindina e Olindina – Sapeçu, FUNDAÇÕES TÍPICAS.
- 3 The counterpoise – L. V. Bewley.
- 4 The protection of transmission lines against lightning – W. W. Lewis.
- 5 Electrical transmission and distribution reference book – Westinghouse Electric Corporation.
- 6 Earth conductor effects in transmission systems – E. O. Sunde.