

8

Síntese do Procedimento de Metodização e Constatações Particulares

8.1

Visão geral

O desenvolvimento de uma metodização do estudo das fundações para suportes de linhas aéreas de transmissão é particularmente atraente tendo em vista a extensão e diversidade territoriais brasileiras e as características próprias desses projetos. Os suportes de LT's situam-se ao longo de extensos traçados, com espaçamentos usualmente superiores a 400 m, o que representa diferentes condições de apoio para as fundações. Assim sendo, a disponibilidade de material contendo informações sobre as características físicas, geológicas e geotécnicas de uma determinada região representa uma redução de custo e de tempo na etapa inicial dos projetos de fundação. Por outro lado, como ainda existe uma tradição em elaborar projetos-tipo para as fundações de suportes de LT's visando uma economia de escala nesse tipo de atividade, uma metodização que considera a interação do conjunto torre x terreno x fundação orienta na busca por soluções técnicas convenientes e economicamente aceitáveis.

De uma maneira breve e geral, a metodização dos projetos de fundações para suportes de LT's proposta nesta tese consiste nas seguintes etapas:

- 1) Levantamento das linhas de transmissão existentes e previstas na área;
- 2) Definição do ambiente fisiográfico, geológico e geotécnico da região de interesse, incluindo assim, estudo do relevo, hidrografia, geologia e pedologia;
- 3) Identificação dos procedimentos de investigações geotécnicas mais úteis para esse tipo de projeto;
- 4) Tipificação dos solos e rochas da região;

- 5) Conhecimento dos tipos de suportes de LT's mais comuns e, conseqüentemente, das cargas mais usuais para o dimensionamento das fundações;
- 6) Definição de conjuntos torre x terreno x fundação;
- 7) Caracterização de soluções e procedimentos para esses conjuntos.

8.2

Constatações particulares e cenários

8.2.1

Cenário determinístico

Para estudar e propor uma metodização do estudo de fundações para linhas de transmissão e, paralelamente, ilustrar as atitudes e procedimentos recomendados, elege-se como guia a Bacia Hidrográfica do Prata, mormemente pela riqueza e densidade dos elementos analíticos disponíveis e pela riqueza de exemplos das LT's implantadas e previstas.

Primeiramente, expõe-se a situação atual das LT's existentes na Bacia do Prata e as suas prováveis expansões. Como a porção brasileira dessa bacia abrange sete estados, a transmissão de energia elétrica na região é realizada por diferentes companhias, envolvendo mais de 28.000 km de linhas aéreas de transmissão. Prossegue-se com o levantamento de informações sobre a conformação da superfície e da hidrografia, que mostra uma região, no geral, dominada por planaltos e com diversos cursos d'água, dentre os quais se destacam os rios Paraná e Uruguai. O estudo da evolução geológica da Bacia do Prata indica uma superposição, principalmente, de arenitos e siltitos provenientes de rochas sedimentares e vulcânicas. A última etapa para a caracterização fisiográfica e geológica da Bacia do Prata está relacionada à pedologia da região, onde predominam os latossolos e argissolos, e em menor escala, os cambissolos, neossolos e nitossolos. Em geral, essa região apresenta lençol freático profundo e camada de solo maduro sobreposta à camada de solo residual jovem.

Em cenário determinístico, a metodização desenvolvida busca apresentar procedimentos ultimamente adotados para orientar as investigações geotécnicas necessárias à implantação das fundações das torres de LT's a partir das áreas correlatas descritas nas etapas anteriores. Normalmente, as investigações

geotécnicas envolvem sondagens a trado para simples reconhecimento dos solos, sondagens tipo SPT e, eventualmente, sondagens rotativas.

Para as etapas da metodização relacionadas diretamente aos projetos de fundação, inicialmente, são expostos e exemplificados os tipos e as características mais comuns de suportes de LT's na Bacia do Prata, ou seja, torres metálicas em suspensão autoportantes e estaiadas. Segue-se com a tipificação dos solos e rochas, de acordo com as propriedades encontradas nos maciços da região eleita. Como essa tipificação depende de cada projeto relacionado a uma determinada LT, um exemplo é apresentado. Por último, são apresentados alguns critérios e diretrizes comumente adotados no desenvolvimento dos projetos de fundação, assim como são descritos e, posteriormente exemplificados, os tipos mais comuns de fundação encontrados para os suportes das LT's em foco. São eles: bloco ancorado em rocha, sapata de concreto armado, grelha metálica, tubulão e estaca. Dessa forma, é possível definir alguns conjuntos torre x terreno x fundação para a região eleita. Tais conjuntos auxiliam na busca por projetos tecnicamente e economicamente melhores.

Portanto, pode-se inferir que a metodização proposta, no que tange ao cenário determinístico, é útil no desenvolvimento de projetos de fundação para suportes de linha de transmissão, contribuindo para a redução do tempo de elaboração dos mesmos e para a racionalização das investigações geotécnicas.

8.2.2 Cenário não-determinístico

O estudo de projetos de fundações para torres de LT's mostra que utiliza, em geral, apenas critérios determinísticos. Todavia, essa área da engenharia envolve diversas incertezas que justificam uma análise não-determinística, tais como ações atmosféricas intensas, propriedades do terreno e peculiaridades de funcionamento da demanda. Assim sendo, uma segunda vertente exemplificadora, considerando a Confiabilidade Estrutural, é incorporada à metodização desenvolvida, com o intuito de abordar a avaliação do nível de segurança através de uma aproximação probabilística, que auxilia no emprego de estratégias de manutenção otimizada e no projeto de reparos e reforços.

Inicialmente, analisa-se a falha do conjunto torre x terreno x fundação devido à estabilidade externa, com foco na relação entre a compressão máxima na base da fundação e a capacidade de suporte do solo, e, então, se avalia a probabilidade de falha para diferentes conjuntos existentes nas amostras examinadas.

Os resultados obtidos estão dentro da faixa de probabilidade de falha alvo fixada pelo JCSS (Baker et al, 2006) que varia entre 10^{-3} a 10^{-6} , dependendo do custo relativo das providências de segurança e do nível das conseqüências das incertezas. Ressalta-se que a maioria dos conjuntos torre x terreno x fundação analisados apresentam probabilidade de falha inferior a 10^{-6} . Conclui-se, então, que os modelos de cálculo das fundações fornecem resultados confiáveis, mas ao mesmo tempo muito conservadores.

Quanto à participação relativa das diversas variáveis aleatórias nesta análise de confiabilidade, identifica-se que a velocidade do vento e o ângulo de atrito do solo são mais importantes para a determinação da probabilidade de falha; também observa-se que o caráter incerto do peso específico do solo pode ser desprezado.

É importante esclarecer que as avaliações não-determinísticas das fundações selecionadas constituem um exemplo de análise de confiabilidade, no qual simplificações são adotadas e alguns critérios são escolhidos. Para uma resposta mais conclusiva sobre a confiabilidade de uma fundação em linhas de transmissão é necessário uma abordagem probabilística mais ampla, considerando todos os demais modos de falha da fundação ou, pelo menos, os mais importantes. Isso inclui, por exemplo, o arrancamento da fundação e a relação entre a resistência do solo e compressão atuante na base da fundação (critério exemplificado). Deve-se considerar também a ação do vento, nas principais direções (transversal, longitudinal e a 45°), sobre todos os componentes da linha, ou seja, torre, cabos e isoladores. Recorda-se que, no exemplo desenvolvido, considera-se somente a ação do vento transversal máximo sobre a torre.

Essa abordagem mais ampla, assim como as conseqüências associadas a falhas da linha, devem alimentar as árvores lógicas que são formuladas e usadas para uma análise conclusiva do risco do sistema. A análise de risco de uma linha de transmissão garante ao proprietário da mesma construir e operar a linha com vantajoso balanço entre as três principais condicionantes: desempenho-segurança-custo.

8.3 Trabalhos complementares

O estudo do comportamento determinístico e não-determinístico das fundações para suportes de linhas de transmissão é extenso e muitos trabalhos podem ainda ser desenvolvidos. Seguindo a abordagem adotada nesta tese de doutorado, as seguintes sugestões podem ser citadas:

- Incorporação do comportamento das demais torres, que não as de sustentação;
- Consideração dos tipos particulares de fundação, como por exemplo, estacas em hélice;
- Incorporação do efeito dos tornados na análise;
- Construção de árvores lógicas, considerando os modos de falha mais importantes da fundação, e emprego das mesmas na avaliação de risco do sistema.