XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

CB/GTL/02

GRUPO - XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

DIMINUIÇÃO DE CUSTOS NO COMPARTILHAMENTO DE INFRA-ESTRUTURA DE TELECOMUNICAÇÕES PROPORCIONADA PELA ANÁLISE ESTRUTURAL ESPECIFICA DE CADA TORRE

D.C. Lopes (*)
CEMIG

W.E. Souza
CEMIG

H. D. O. Gontijo
CR GONTIJO

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo feito com o objetivo de implantar cabos ópticos em linhas de transmissão existentes de 138 kV. Ao invés de verificar todas as estruturas de um mesmo tipo para condições de aplicação de projeto, levou-se em consideração a real aplicação da estrutura na linha de transmissão existente. No caso específico do empreendimento analisado, observou-se que o peso estimado de reforço das estruturas foi reduzido em quase 90% em relação ao peso estimado previamente, considerando a análise estrutural do tipo de torre sem levar em consideração a sua real aplicação no campo.

PALAVRAS-CHAVE

Análise Estrutural, Torres Metálicas, Linhas de Transmissão, Cabo ADSS, Recapacitação de Linhas

1.0 - INTRODUÇÃO

O nível crescente de exigências ambientais, aliado aos questionamentos e às disputas pelo direito de passagem, fazem com que as empresas busquem, hoje em dia, otimizar ao máximo os corredores para transporte de energia já existentes. O aproveitamento das linhas de transmissão já existentes para ampliação da capacidade de transmissão ou ainda para transmissão de dados passou a ser uma alternativa cada vez mais considerada pelas empresas do setor.

Quando uma estrutura para linha de transmissão é projetada, ela é otimizada de acordo com alguns parâmetros que são definidos como base para aquele tipo específico de estrutura. Dentre esses parâmetros estão o vão de vento, o vão de pés, ângulo e uma variedade de alturas que permite que os cabos superem os mais variados obstáculos que são encontrados ao longo da linha de transmissão. No entanto, poucas vezes as estruturas em campo estão com uma aplicação igual à máxima projetada, ou seja, maior vão de peso, maior vão de vento, maior ângulo e ainda a maior altura com pés desnivelados. Isso ocorre devido às características do perfil topográfico e demais obstáculos existentes ao longo da linha que impedem que as torres sejam alocadas próximas de sua maior capacidade. Consequentemente, em uma linha de transmissão existente, é possível encontrar estruturas que possuem uma folga de resistência com relação aos parâmetros para os quais foram projetadas.

Ao se considerar a real aplicação da estrutura e sua real configuração separadamente, na maioria dos casos, uma quantidade significativa de reforços deixa de ser necessário, mesmo em casos de aumento do carregamento. Como o custo de implantação está diretamente ligado a quantidade de aço necessária para reforçar as estruturas, o custo financeiro do empreendimento pode ser reduzido consideravelmente.

(*) Avenida Barbacena n° 1.200, – CEP 30.190-131 Belo Horizonte, MG, – Brasil
Tel: (+55 31) 3506-2161 – Email: dcampos@cemig.com.br

2.0 - VERIFICAÇÕES ESTRUTURAIS

2.1 Verificação do Tipo de Torre

Com relação ao cálculo de um tipo de estrutura para linha de transmissão, considera-se no cálculo que todas as possíveis configurações geométricas podem ser utilizadas em campo. Em geral, são utilizadas extensões de corpo e pernas, além da torre básica, para garantir que a torre alcance as alturas úteis propostas conforme Gontijo [1]. Diferentes tipos de pernas ainda podem ser utilizados em função dos possíveis desníveis existentes entre os pontos de apoio de uma locação, principalmente em terrenos mais acidentados. A representação gráfica de um tipo de estrutura calculada é feita através de uma silhueta unifilar que representa todas as configurações geométricas possíveis, ver Figura 1.

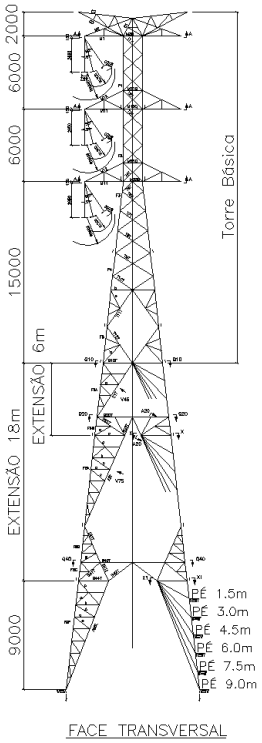

FIGURA 1 – Silhueta de uma Estrutura para Linha de Transmissão

Os carregamentos para a verificação, em geral, utilizam as mesmas premissas que foram utilizadas para projetar a estrutura. Para que se possa obter uma utilização de acordo com as necessidades da plotação da linha, os valores de alturas úteis, ângulos de deflexão e vãos (de vento e de peso) são máximos e devem ser suportados por um determinado tipo de estrutura. A partir desses valores, são elaboradas as hipóteses de carregamentos que são utilizadas para o dimensionamento e posterior verificação das estruturas.

2.1 Verificação Torre por Torre

Ao se considerar a real aplicação da estrutura (parâmetros reais) e sua real configuração separadamente, na maioria dos casos, é possível obter uma considerável redução nos valores dos esforços nas barras das estruturas. Com a redução dos esforços na estrutura, é possível diminuir a quantidade de reforços em uma recapacitação de uma linha existente. Como o custo de implantação está diretamente relacionado com a quantidade de reforços, o custo financeiro do empreendimento pode ser reduzido consideravelmente.

Em função dos vários obstáculos existentes durante a plotação em campo, poucas vezes as estruturas estão com uma aplicação igual à máxima projetada, ou seja, maior vão de peso, maior vão de vento, maior ângulo e ainda a maior altura com pés desnivelados. Isso ocorre devido às características do perfil topográfico e demais obstáculos existentes ao longo da linha que impedem que as torres sejam alocadas próximas de sua maior capacidade. Consequentemente, em uma linha de transmissão existente, é possível encontrar estruturas que possuem grande folga com relação aos parâmetros para os quais foram projetadas. Um exemplo de uma configuração geométrica especifica com torre básica e pés variáveis é demonstrado, ver Figura 2.

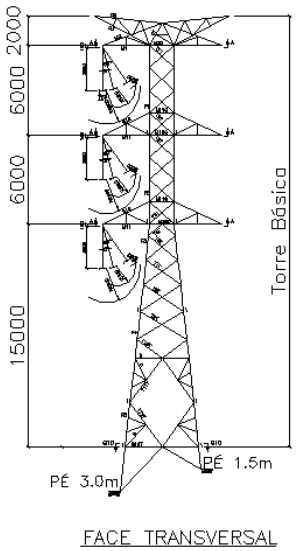

FIGURA 2 – Silhueta de uma Estrutura com Geometria Específica

3.0 - RECAPACITAÇÃO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

3.1 Considerações Iniciais

As torres para as linhas de transmissão 138 kV Poços de Caldas – Santa Rita de Caldas e Pouso Alegre 2 – Santa Rita de Caldas precisavam ser verificadas para a instalação de um cabo ADSS adicional, bem como atualizadas em relação ao vento conforme os padrões atuais. As duas linhas de transmissão somam um total de 182 torres distribuídas, ver tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de Tipos de Torres Analisadas

Tipo de Estrutura	Quantidade
S1	48
S2	93
S3	11
SE	4
T1	6
T2	2
T3	5
TE	1
XX	2
L6	8
H6L7	1
H3L4	1

Após um estudo inicial que considerou a possibilidade de utilização da norma IEC 60826 [2] ou da norma NBR 5422 [3], ficou definido que o vento nas estruturas seria atualizado conforme a NBR 5422 e que seria estudado um ponto para fixação do cabo ADSS. Foram escolhidas as torres S1 e S2 para o início da análise pelo fato delas estarem em maior quantidade na linha e, consequentemente, serem responsáveis para maior parte da tonelagem de aço do empreendimento.

As seguintes hipóteses de carregamento foram consideradas nas análises estruturais:

- Vento Extremo Transversal.
- Vento Extremo a 75º.
- Vento Extremo a 60º.

- Vento Extremo a 45º.
- Vento Extremo a 0º.
- Ruptura Para-raios.
- Ruptura Condutor.
- Ruptura do Cabo ADSS.
- Montagem do Cabo ADSS.
- Contenção Cascata.

A escolha da posição do o cabo ADSS levou em conta as distâncias elétricas mínimas, as distâncias do cabo até o solo e a possibilidade de que o ponto de fixação afetasse o mínimo possível a torre em termos estruturais. Além disso, foi observado que o cabo ficar abaixo das fases facilitaria em termos de manutenção. Ficou então definido que o cabo ADSS seria instalado abaixo da cintura da estrutura. Pode ser observada a posição escolhida para passagem do cabo ADSS na torre S1, ver figura 3.

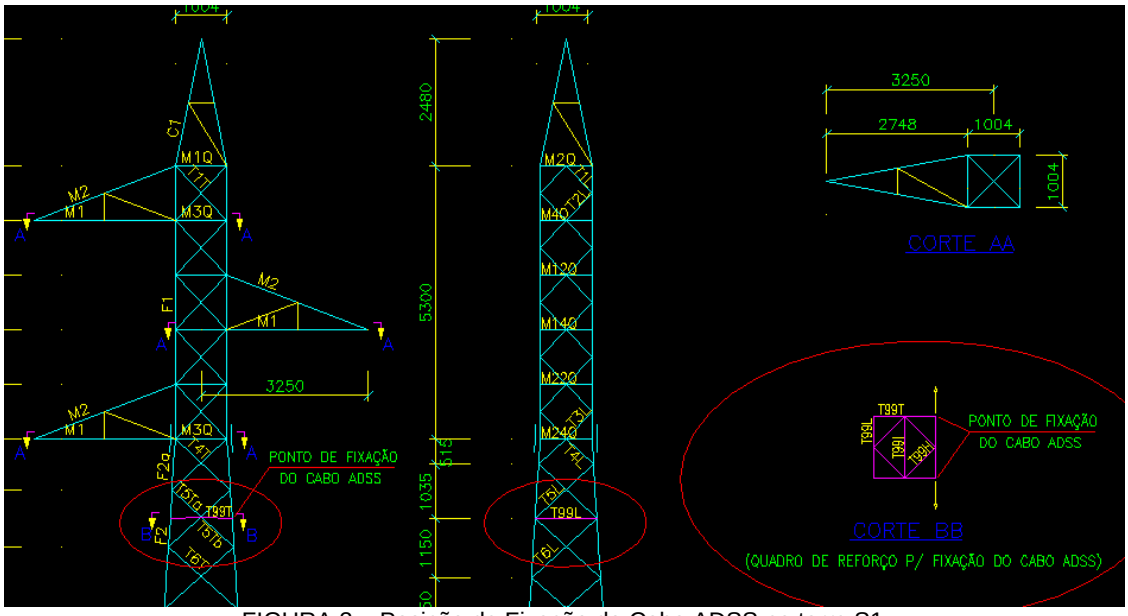

FIGURA 3 – Posição de Fixação do Cabo ADSS na torre S1

3.2 Primeira Verificação

A primeira verificação feita das estruturas contemplava as condições originais de projeto. Cada tipo de torre seria analisado de acordo com a verificação por tipo de torre considerando:

- Vãos conforme projeto original.
- Cabo pararraios Petrel.
- Cabo condutor Linnet.
- Cabo ADSS instalado abaixo da cintura da estrutura.

Foi observado que a quantidade de reforços, necessária para absorver o aumento de carregamento, seria grande levando em consideração os vãos de projeto. Dentre as barras que necessitariam de reforço estrutural, estavam vários montantes que, em geral, são as peças mais pesadas da estrutura e que, possivelmente, demandariam um reforço mais pesado.

O cenário para as outras análises feitas nos outros tipos de torres, considerando as condições iniciais de projeto, foi parecido. As torres necessitariam de uma quantidade considerável de reforço para resistir ao novo carregamento proposto para a verificação.

3.3 Segunda Verificação

Visto que a quantidade de reforços necessária para recapacitar a linha estava muito acima do previsto no orçamento inicial, foi proposta outra abordagem com relação ao problema. Para minimizar a quantidade de reforços nas estruturas, as torres das linhas de transmissão especificadas foram verificadas torre por torre. Nas suas reais condições de aplicação, ou seja, cada torre foi analisada isoladamente levando em consideração:

- A real aplicação de vão de vento.
- A real aplicação do vão de peso

- O ângulo real.

A utilização dos vãos e ângulos reais resultou em árvores de carregamento especificas para cada locação de torre na linha de transmissão. Todas as árvores de carregamentos geradas possuíam valores inferiores as árvores de carregamentos originais.

Foi ainda considerada a geometria real da estrutura, ou seja, uma estrutura com extensão de seis metros e quatro pés nivelados foi considerada desta exata maneira para a análise estrutural. Pode-se observar a saída da montagem dos carregamentos específicos por locação de torre e ainda a descrição de qual torre está sendo analisada, ver Figura 4.

5.5 TORRE - 23 - TIPO S1 - EXTENSÃO 20.0 m

```
Combinação de pernas          2.1   2.6   2.1   2.6
Aplicação                           S
Vão gravante (m)              318.
Vão de vento (m)              398.
Ângulo       (graus)          0.00
```

5.5.1 FORÇAS APLICADAS NOS PONTOS DE FIXAÇÃO DOS CABOS

```
CASO     -  HIPÓTESE 1 - VENTO EXTREMO TRANS
LOCAL ------- FEIXE INTACTO --------        ------- FEIXE ROMPIDO --------
      *---FZ---**---FY---**---FX---*        *---FZ---**---FY---**---FX---*
  1        138.      412.        0.                0.        0.        0.
  2        321.      677.        0.                0.        0.        0.
  3         35.      332.     2495.                0.        0.        0.
  4         18.      166.    -2495.                0.        0.        0.
CASO     -  HIPÓTESE 2 - VENTO EXTREMO 75°
LOCAL ------- FEIXE INTACTO --------        ------- FEIXE ROMPIDO --------
      *---FZ---**---FY---**---FX---*        *---FZ---**---FY---**---FX---*
  1        138.      385.        0.                0.        0.        0.
  2        321.      633.       14.                0.        0.        0.
  3         35.      310.     2383.                0.        0.        0.
  4         18.      155.    -2383.                0.        0.        0.
CASO     -  HIPÓTESE 3 - VENTO EXTREMO 60°
LOCAL ------- FEIXE INTACTO --------        ------- FEIXE ROMPIDO --------
      *---FZ---**---FY---**---FX---*        *---FZ---**---FY---**---FX---*
```

FIGURA 4 – Descrição da Torre e árvores de carregamento

Para cada estrutura, foi possível saber quais eram as barras que estavam acima do limite de resistência, quais eram as cargas das fundações para aquela aplicação específica e ainda a verificação da fundação utilizada naquela posição da linha, ver Figura 5.

5.13.2 BARRAS DA ESTRUTURA A SEREM ANALISADAS

```
 Barra Hipot   Carga  Perfil                Esb   f/F ---  Ntp Diam fv/Fv fp/Fp

T99L  1        2768  L  51.x   51.x   4.8 S      0.32 ---    1 12.7  1.03  0.89
```

5.13.3 RESUMO DAS CARGAS VERTICAIS MÁXIMAS NAS FUNDAÇÕES

```
        HIP.  COMB.          FZ          FY          FX

         2     31        -18622.       1797.       1305.

         2  I  31        -19160.      -1790.       1357.

         3  I  31        -18139.      -1646.       1390.

         2  I  31         17428.      -1682.       1286.

         3  I  31         16295.      -1537.       1317.
```

5.13.4 ELEMENTOS DAS FUNDAÇÕES METÁLICAS A SEREM ANALISADOS

```
1GRO *** Necessary gross área > Real Ag 1.17
1UPL *** Safety Factor Against Uplift   0.82
1UPG *** Uniform Pressure Gross Área    1.28
1UPN *** Uniform Pressure Net   Área    1.43
1TPG *** Toe Press Gross Área           1.19
1TPN *** Toe Pressure Net Área          1.33
```

FIGURA 5 – Barras a serem reforçadas, cargas nas fundações e verificação da fundação

3.4 Comparação entre os Resultados Obtidos

Em decorrência da verificação de cada estrutura de maneira separada, considerando sua real aplicação e sua real configuração geométrica, observou-se uma enorme diminuição da quantidade de reforços necessários. Para comparar os resultados obtidos, foi elaborada uma tabela comparando o número de carregamentos elaborados, o número de verificações, o número de torres reforçadas e o peso de reforço das estruturas S1 e S2, ver tabela 2.

Tabela 2 – Comparação de resultados pelos dois métodos de análise

Estrutura S1	Cálculo convencional	Cálculo torre por torre
Carregamentos elaborados	1	47
Verificações	1	47
Torres reforçadas	48	4
Peso de reforço (ton.)	18,72	3,94

Estrutura S2	Cálculo convencional	Cálculo torre por torre
Carregamentos elaborados	1	94
Verificações	1	94
Torres reforçadas	94	9
Peso de reforço (ton.)	64,72	8,91

A economia somente para os tipos de torre S1 e S2 foi de 70,59 toneladas. Além da redução considerável na quantidade de reforço total, houve uma redução considerável da quantidade de torres a serem reforçadas. Esses números apresentaram, nessa situação, uma redução considerável do valor total do investimento a ser feito para recapacitação e atualização da linha existente.

A maior parte da redução total de peso de reforço da linha foi obtida para as estruturas de suspensão que, além de estar em maior quantidade na linha de transmissão, são os tipos de estruturas que normalmente possuem uma maior variedade de aplicações e configurações geométricas diferentes. Resultados parecidos eram esperados para os outros tipos de torre.

4.0 - CONCLUSÂO

Os resultados obtidos foram bastante positivos visto que o orçamento do reforço necessário é baseado no peso. A análise torre por torre propiciou uma redução de mais de 80% do peso do reforço com relação aos resultados obtidos pela análise estrutural convencional. A redução pode ser explicada pela folga existente em relação aos parâmetros utilizados no projeto original em relação aos parâmetros reais de campo. O sucesso obtido na redução de custo de investimento abriu espaço para que processo de análise estrutural torre por torre, utilizado para a primeira linha teste, fosse utilizado em outras linhas de transmissão que precisavam aumentar sua capacidade de transportar energia e/ou dados. Em uma área em que a diminuição dos custos está diretamente relacionada a maiores retornos por parte do investidor, a análise torre por torre se mostra uma alternativa viável, interessante e competitiva. Dentre as linhas existentes trabalhadas posteriormente, pode-se destacar o enlace óptico transmineira e as rotas para as cidades de Botelhos, Muzambinho, Guaxupé e Passos. Outras aplicações para esse estudo também foram desenvolvidas e já estão sendo realizadas como, por exemplo, a otimização dos gastos com fundações em linhas de transmissão novas pela consideração das cargas nas fundações de cada torre específica.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) GONTIJO, C.R. Cálculo de Torres para Linhas de Transmissão. Belo Horizonte, MG, 1994.

(2) INTERNATIONAL ELETROTECNICAL COMISSION. Publicação nº 60826.

(3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Referências bibliográficas - NBR 5422. Brasil.

(4) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Publicação nº 10-97.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Danilo Campos Lopes
Montes Claros-MG, 1978.
Uberaba-MG, 2007; Uberaba-MG, 2009; Belo Horizonte-MG, 2014.
Engenheiro de Projetos e Obras Civis, Atuação em projetos de linhas transmissão e subestações, aplicação de estruturas e fundações em LDs; proteção anticorrosiva e corrosão; recuperação estrutural; sistemas de geração de energia fotovoltaica; sinalização de linhas de transmissão de energia. Professor da disciplina Prevenção de Riscos; Perito Oficial do TRT-MG; Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Henrique Dias de Oliveira Gontijo
Belo Horizonte, 1982.
Belo Horizonte, 2005/2009
Professor das disciplinas de Resistência dos Materiais, Teoria das Estruturas e Estruturas Metálicas. Foco de atuação no cálculo de estruturas metálicas para transmissão de energia e telecomunicações.

Wesley Edney de Souza
Esmeraldas-MG, 1975.
Belo Horizonte, 2002; Belo Horizonte, 2010, Belo Horizonte, 2017.
Engenheiro Eletricista, Atuação em projetos de linhas transmissão, estudos e projetos de cabos condutores especiais aplicados a linhas de transmissão.