



GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

REDUÇÃO DE CUSTOS COM ELABORAÇÃO DE PROJETO DE FUNDAÇÃO INDIVIDUALIZADO POR TORRE DE ANCORAGEM EM UMA NOVA LINHA DE TRANSMISSÃO

H. D. O. Gontijo (*)
CR GONTIJO

D.C. Lopes
CEMIG

F.T. Borges
CEMIG

RESUMO

As fundações representam um dos principais custos a serem considerados em uma nova linha de transmissão. No entanto, é possível encontrar estruturas que possuem uma folga com relação aos parâmetros para os quais foram projetadas. As cargas reais obtidas são, em geral, menores que as cargas máximas de projeto. O presente trabalho apresenta a redução de custos obtida a partir da aplicação de uma metodologia de cálculo de cargas nas fundações e projeto de fundação individualizado para cada locação de torre de ancoragem em novas linhas de transmissão. A economia obtida na execução das fundações variou de 27% a 49%.

PALAVRAS-CHAVE

Estruturas, Torres Metálicas, Linhas de Transmissão, Fundações

1.0 - INTRODUÇÃO

Na implantação de uma nova linha de transmissão quanto menores forem os custos, maior será a eficiência de aplicação dos recursos financeiros resultando em empreendimento mais lucrativo para o investidor. A busca por novas soluções que se proponham a diminuir o volume de recursos dispendidos é constante. O desenvolvimento de uma metodologia de projeto de fundações que contemple o cálculo específico para cada torre aplicada em uma linha de transmissão tem como objetivo reduzir o investimento na construção de uma nova linha de transmissão.

Quando uma torre 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 peso, 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 locadas próximas de sua maior capacidade.

O mesmo raciocínio pode ser utilizado com relação às cargas nas fundações. As cargas utilizadas para o dimensionamento das fundações são obtidas a partir do cálculo das maiores reações de apoio provenientes das diversas hipóteses de carregamento nas estruturas para linhas de transmissão. Ao invés de calcular as cargas nas fundações de uma estrutura para condições de aplicação de projeto, levou-se em consideração a real aplicação da estrutura na linha de transmissão existente. A obtenção das cargas nas fundações de cada estrutura isoladamente em sua real condição de aplicação na linha de transmissão foi realizada através de um software que considerou ainda a configuração da estrutura existente em cada locação específica da linha. Ao se considerar a real aplicação

da estrutura e sua real configuração separadamente houve uma redução substancial no valor das cargas nas fundações.

2.0 - METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE CARGAS NAS FUNDAÇÕES

2.1 Metodología Utilizada Tradicionalmente

O projetista da estrutura inicia um projeto a partir de uma silhueta básica que define as variações de alturas úteis que vão ser necessárias para a plotação, a configuração das fases e as distâncias elétricas. Ao se calcular um tipo de estrutura para linha de transmissão, considera-se que todas as possíveis configurações geométricas podem ser utilizadas em campo. A representação gráfica do tipo de estrutura calculada é feita através de uma silhueta unifilar que representa todas as configurações geométricas possíveis. ver Figura 1. 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.

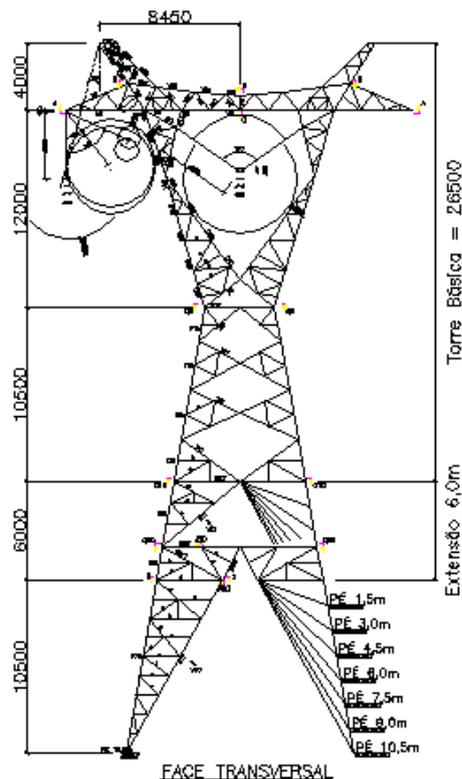


FIGURA 1 – Silhueta de uma Estrutura para Linha de Transmissão

Para que se possa obter uma utilização de acordo com as necessidades da plotação da linha, são definidos valores de alturas úteis, ângulos de deflexão e vãos (de vento e de peso) máximos que 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 das estruturas e para o cálculo das cargas nas fundações. A partir das cargas nas fundações e dos parâmetros do solo, o projetista da fundação pode iniciar a elaboração do projeto de fundação da estrutura. Desta forma, foi estabelecida uma padronização no dimensionamento das fundações para atender os parâmetros máximos citados anteriormente. A referida padronização foi necessária no passado para possibilitar uma maior celeridade na elaboração de uma enorme quantidade dos projetos. No entanto, em função da necessidade atual de redução de custos, pode não ser a melhor solução.

2.2 Metodologia Utilizada Considerando a Aplicação Real

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 das cargas nas fundações. Com valores menores de cargas nas fundações, é possível projetar fundações que possuam uma quantidade menor de materiais. Como o custo de implantação está diretamente relacionado com a quantidade de material necessário para executar a fundação, o custo financeiro do empreendimento pode ser reduzido consideravelmente conforme será demonstrado. As fundações de uma estrutura de linha de transmissão têm um custo relevante dentro do custo global do empreendimento.

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. A mesma conclusão pode ser aplicada com relação às fundações que foram projetadas utilizando as cargas máximas.

3.0 - CÁLCULO DAS CARGAS NAS FUNDAÇÕES EM APLICAÇÕES REAIS

3.1 Dados de Entrada

Para o cálculo das cargas nas fundações em aplicações reais é necessário fazer o levantamento e a definição de dados que podem ser obtidos, muitas vezes, apenas após a locação das estruturas em campo. Para os projetos descritos neste trabalho, foi criada uma tabela que contempla parâmetros de entrada necessários para o cálculo das cargas das fundações reais. Dentre os parâmetros considerados estão a numeração da estrutura na linha, o tipo de estrutura, a altura útil real, as extensões utilizadas, a configuração de pés, o vão médio real, o vão gravante real e o ângulo de deflexão real, ver Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de Aplicação das Estruturas

Número	Tipo	Altura útil (m)	Extensão (m)	Pés (m)				Vão Médio (m)	Vão Gravante (m)	Ângulo
				A	B	C	D			
2	L3A	28,00	7,50	7,5	7,5	7,5	7,5	352,48	506,90	-
3	L3A	26,50	6,00	5,25	5,25	6,0	6,0	407,37	503,50	22°11'23"D
12	DLEA	47,00	27,00	9,0	9,0	9,0	9,0	620,74	778,20	-
16	L3A	19,00	6,00	4,50	4,50	4,50	4,50	583,37	570,90	02°13'42"D
72	T4R	13,50	0,00	1,5	2,25	1,5	1,5	174,16	141,00	-
74	T4R	13,50	3,00	1,5	1,5	3,0	2,25	104,74	32,50	54°27'57"E

Outros parâmetros necessários devem ser informados pela empresa responsável pela linha como, por exemplo, as propriedades dos cabos utilizados, critérios de esticamento, parâmetros para a definição das pressões de vento e critérios para o cálculo dos carregamentos mecânicos.

3.2 Modelagem da Estrutura Conforme Configuração Real

Cada estrutura específica foi modelada de acordo com sua geometria real, ou seja, uma estrutura com extensão de seis metros e quatro pés nivelados foi considerada desta exata maneira para a análise estrutural. A modelagem da estrutura real permite que as cargas nas fundações sejam menores em relação à modelagem que leva em considerações todas as possíveis configurações geométricas.

3.3 Cálculo dos Carregamentos Conforme Aplicação Real

Além da modelagem real, os carregamentos específicos foram calculados levando em consideração os dados de entrada descritos no item 3.1 para minimizar o valor das cargas nas fundações. A utilização dos parâmetros reais resultou em árvores de carregamento específicas para cada locação de torre na linha de transmissão. Todas as

árvores de carregamentos geradas possuíam valores inferiores as árvores de carregamentos originais pelo fato dos parâmetros utilizados serem menores do que os parâmetros máximos para os quais as estruturas foram inicialmente projetadas. Um exemplo de uma locação específica com dados a respeito da identificação da estrutura analisada, da geometria utilizada, dos parâmetros de entrada considerados e de algumas hipóteses de carregamento pode ser analisado, ver Figura 2.

TORRE - 12 - TIPO G1A - EXTENSÃO 12.0 m						
Combinação de pernas	1.50	2.25	1.50	2.25		
Aplicação	A					
Vão gravante (m)	235.					
Vão de vento (m)	374.					
Ângulo (graus)	21.00					
2.4.3 FORÇAS APLICADAS NOS PONTOS DE FIXAÇÃO DOS CABOS						
CASO - Hipótese 1						
LOCAL	----- FEIXE INTACTO -----			----- FEIXE ROMPIDO -----		
	--PZ--	*--FY--*	*--FX--*	*--PZ--*	*--FY--*	*--FX--*
1	102.	902.	223.	0.	0.	0.
2	269.	1088.	499.	0.	0.	0.
3	152.	852.	0.	0.	0.	0.
CASO - Hipótese 2						
LOCAL	----- FEIXE INTACTO -----			----- FEIXE ROMPIDO -----		
	--PZ--	*--FY--*	*--FX--*	*--PZ--*	*--FY--*	*--FX--*
1	102.	858.	214.	0.	0.	0.
2	269.	1038.	489.	0.	0.	0.
3	152.	817.	1.	0.	0.	0.
CASO - Hipótese 3						

FIGURA 2 – Dados de um Exemplo de uma Aplicação Específica

3.4 Cálculo das Cargas nas Fundações em Aplicações Reais

No relatório de saída do programa utilizado para o cálculo das fundações de acordo com a aplicação específica, é especificado um resumo das cargas máximas encontradas para a geometria específica submetida ao carregamento específico da locação. As cargas são descritas nas três direções e a hipótese de carregamento, sob a qual as cargas são obtidas, é especificada.

4.0 - CÁLCULO DAS FUNDAÇÕES EM APLICAÇÕES REAIS

As fundações de uma estrutura de linha de transmissão têm a finalidade de transmitir para o solo os esforços provenientes das ações variáveis, permanentes e excepcionais que atuam sobre as estruturas.

4.1 Definição dos Projetos de Fundações

Existem diversos tipos de fundações que podem ser aplicadas nas estruturas das linhas de transmissão e são caracterizadas como diretas e profundas. Considerando como parâmetro a profundidade, podemos adotar a seguinte classificação para os tipos mais utilizados segundo Chaves [2]:

- Fundações Diretas:
 - Grelha metálica;
 - Sapata de concreto;
 - Estaca helicoidal;
 - Bloco de concreto.
- Fundações Profundas:
 - Bloco sobre estaca;
 - Tubulão em solo.

O tipo de fundação mais utilizado nos empreendimentos analisados é o tubulão em solo, principalmente por ser uma fundação barata e eficiente. Seu baixo custo se deve à sua simplicidade executiva, seu baixo volume de escavação, não exigência de reaterro, pequena intervenção no terreno e na região da estrutura, pequeno consumo de fôrmas, dentre outros.

4.2 Dimensionamento do Tubulão em Solo

Tubulões são fundações profundas que podem atingir mais de 10 metros de profundidade, mesmo em solos mais resistentes. São utilizados em solos onde as camadas mais resistentes encontram-se mais profundas, com resistência crescente com a profundidade e que permitem escavação a céu aberto, de maneira a evitar a utilização de escoramentos.

O dimensionamento da geometria do tubulão é realizado considerando as hipóteses de esforços de compressão, tração e horizontais máximos.

- Verificação dos esforços de compressão: De posse dos parâmetros do solo e dos resultados dos cálculos de cargas na fundação, dimensiona-se o elemento de fundação para suportar tais esforços através do atrito lateral e resistência oferecida pela base do tubulão.
- Verificação dos esforços de tração: Existem vários métodos para cálculo da capacidade da carga última de arrancamento dos tubulões tracionados devido à dificuldade em sua determinação exata. Existem diversos métodos para o cálculo que podem encontrar resultados bastantes distintos. Para cálculo das fundações onde foi aplicada a metodologia de cálculo deste trabalho, foi adotado o método desenvolvido pela Universidade de Grenoble que foi concebido a partir da observação do fenômeno real de ruptura do solo em ensaios em modelos reduzidos e, a partir daí, em estudos teóricos fundamentados nos conceitos da mecânica dos solos.
- Verificação dos esforços horizontais: O cálculo da resistência da fundação aos esforços laterais é feito considerando que as cargas serão equilibradas com o auxílio lateral do solo, mobilizando empuxos passivos e ativos. No dimensionamento das fundações foi utilizado o método descrito por Wiggins [3].

4.3 Projeto de Fundação Individualizado

Considerando-se as cargas máximas que podem ser aplicadas nas fundações ao se dimensionar a fundação de um tipo de estrutura, é possível padronizar um projeto para este tipo de estrutura ao se utilizar o pior caso possível em que a estrutura pode ser aplicada. Porém, ao se utilizar esta metodologia, é gerado um superdimensionamento nas fundações na grande maioria dos casos. O superdimensionamento pode ser comprovado, por exemplo, pela inobservância de ocorrências de necessidade de reforços em fundações existentes.

Como o dimensionamento da fundação depende basicamente dos esforços aplicados, dos parâmetros do solo e da metodologia de cálculo adotada, optou-se por trabalhar a questão dos esforços, na busca pela otimização dos projetos. Esta opção foi adotada devido ao fato de que sabidamente as estruturas não estão aplicadas com as cargas máximas para as quais foram projetadas na grande maioria das situações.

Na metodologia que considera o projeto específico de fundação por locação, é gerado um projeto específico para cada torre considerando a real condição em que está sendo aplicada. Por isso, é gerado um maior número de projetos de fundação para a linha de transmissão. Apesar da economia obtida, deve ser observado que existe uma demanda maior de acompanhamento da fiscalização da obra para garantir que a execução da fundação, em cada locação, foi realizada conforme o projetista dimensionou.

5.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Apenas fundações de estruturas de ancoragem e terminais foram calculadas pela nova metodologia visto que a economia de materiais é potencialmente maior já que as estruturas usualmente estão locadas com uma folga maior com relação aos valores adotados no projeto padrão. No período de junho de 2014 até março de 2017, a metodologia de projeto de fundações contemplando o cálculo específico para aplicação de cada estrutura foi utilizada nos seguintes empreendimentos:

- LD Pimenta - Piumhi 2, 138kV
- LD Claudio 2 - Oliveira, 138kV
- LD Alpinópolis 2 - Passos 1, 138kV
- LD Araçuaí 2 - Salinas, 138kV
- LD Pirapora 2 - Várzea da Palma 2, 138kV
- LD2 Corinto 1 - Três Marias, 138kV
- LD Almenara 1 – Jequitinhonha, 69kV
- LD Capelinha – Itamarandiba, 138kV
- LD Arcos - São Sebastião do Oeste, 138kV

- LD Nova Ponte 2 - Bem Brasil, 138kV
- LD Nova Ponte 2 - Miranda, 138kV
- LD Arcos - Pimenta, 138kV

Considerando apenas 4 (quatro) das linhas especificadas acima, pode-se observar uma redução média de 36% na quantidade de volume de concreto utilizado apenas pela adoção da metodologia de projeto de fundação específico para cada locação de torre, ver tabela 2.

Tabela 2 – Economia por Linha de Distribuição

LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO 138kV	KM	QUANTIDADE DE TORRES DE ANCORAGEM	CONCRETO UTILIZADO (m ³)		REDUÇÃO DO VOLUME DE CONCRETO (m ³)	ECONOMIA (%)
			PROJETO ORIGINAL	NOVO PROJETO		
LD Araçuaí 2 - Salinas	86	37	561,60	284,50	277,10	49%
LD Claudio 2 - Oliveira	37	36	751,27	551,99	199,28	27%
LD Almenara - Jequitinhonha	45	37	885,56	601,08	284,48	32%
LD Pimenta – Piumhi 2	21	16	349,68	181,16	168,52	48%
TOTAL	189	126	2.548,11	1.618,73	929,38	36%

Na linha de distribuição Cláudio 2 – Oliveira de 138kV foram calculadas as cargas nas fundações conforme a metodologia proposta para 36 estruturas de ancoragem, deste total 05 estruturas foram aplicadas como terminal. Na execução das fundações desta linha foram utilizados 551,99 m³ de concreto. Uma economia de 199,28 m³ de concreto em comparação a metodologia anterior, ou seja, um percentual de 27% de redução do volume de concreto. A estrutura terminal tipo GL1D teve redução do volume de concreto de 25,13 m³ para 5,39 m³, ou seja, um percentual de 79% de economia. Outras 11 (onze) estruturas tiveram reduções superiores a 50% do volume de concreto utilizado em suas fundações.

Na linha de distribuição Almenara – Jequitinhonha de 138kV, foram calculadas as cargas nas fundações conforme a metodologia proposta para 37 estruturas de ancoragem. Na execução das fundações foram utilizados 601,08 m³ de concreto, com economia de 284,48 m³ de concreto, representando o percentual de 32% de redução do volume de concreto em comparação a metodologia anterior. Sete estruturas de ancoragem intermediárias do tipo H3L4A tiveram redução do volume de concreto da ordem de 67%. Outras 05 (cinco) estruturas tiveram reduções com percentuais superiores a 50% do volume de concreto utilizado em suas fundações.

Na linha de distribuição Pimenta – Piumhi 2 de 138kV, foram calculadas as cargas para 16 estruturas de ancoragem, utilizando a metodologia descrita neste trabalho. Na execução das fundações foram utilizados 181,16 m³ de concreto, com economia de 168,52 m³ de concreto, representando o percentual de 48,19% de redução do volume de concreto em comparação a metodologia tradicional. Considerando o custo total das fundações, incluindo ainda as estruturas de suspensão cujas fundações não foram calculadas conforme a metodologia descrita neste trabalho, a redução total dos custos foi de 30,61%.

Na linha de distribuição Araçuaí 2 - Salinas de 138kV, foram calculadas as cargas de forma individual para 37 estruturas de ancoragem de um total de 54 estruturas de ancoragem. Em 17 estruturas de ancoragem foram adotadas as fundações do projeto padrão. Na execução das fundações da torres de ancoragem foram utilizados 284,50 m³ de concreto, com economia de 277,10 m³, representando o percentual de 49% de redução do volume de concreto em comparação a metodologia anterior. Não se utilizou a metodologia em todas as estruturas porque algumas estavam próximas da aplicação máxima e, por isso, a economia não seria interessante em relação ao projeto original. A economia por cada locação de torre pode ser observada, ver tabela 3.

Tabela 3 – Economia por Locação de Torre na LD Araçuaí 2 - Salinas

TORRES DE ANCORAGEM - LD Araçuaí 2 – Salinas, 138kV					
TORRE	TIPO	CONCRETO UTILIZADO (m³)		REDUÇÃO DO VOLUME DE CONCRETO (m³)	ECONOMIA (%)
		PROJETO ORIGINAL	PROJETO NOVO		
15	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
17	G3A	17,6	8,44	9,16	52%
18	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
22	G3A	17,6	8,44	9,16	52%
28	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
30	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
31	G3A	17,6	9,44	8,16	46%
32	G3A	17,6	9,44	8,16	46%
35	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
38	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
40	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
45	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
50	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
71	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
77	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
82	G3A	17,6	7,44	10,16	58%
97	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
98	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
99	G3A	17,6	7,44	10,16	58%
101	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
103	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
119	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
125	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
140	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
143	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
147	G3A	17,6	7,44	10,16	58%
155	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
156	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
165	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
166	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
176	G1A	14,4	7,84	6,56	46%
178	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
202	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
215	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
223	G1A	14,4	6,84	7,56	53%
231	G3A	17,6	8,44	9,16	52%
235	G3A	17,6	8,44	9,16	52%
TOTAL		561,6	284,50	277,10	49%

6.0 - CONCLUSÃO

Considerando que o custo financeiro da fundação possui uma relação direta com a quantidade de concreto, pode ser observado um percentual de redução de custo interessante pela aplicação da metodologia de projeto da fundação individualizado por locação. A economia com custos das fundações variou entre 27% até 49% da quantidade de materiais que iria ser utilizado se a metodologia apresentada não tivesse sido aplicada. A redução pode ser explicada pela folga existente em relação aos parâmetros utilizados no projeto original em relação aos parâmetros reais de campo. Mesmo com um trabalho maior da fiscalização para garantir a correta locação dos projetos, observou-se que a metodologia utilizada obteve resultados bastante satisfatórios. Como o custo das fundações é importante em relação ao custo total do empreendimento, a economia foi considerável. Em uma área em que a diminuição dos custos está diretamente relacionada a maiores retornos por parte do investidor, a concepção de projetos específicos de fundação por locação se mostra uma alternativa viável, interessante e competitiva. Optou-se por não utilizar a metodologia nas torres de suspensão porque as torres estão, em geral, localadas mais próximas de suas aplicações máximas. No entanto, para linhas em que as torres de suspensão estão localadas distantes de sua aplicação máxima, a metodologia também poderia ser utilizada para economizar recursos. Em função dos resultados alcançados, a metodologia continua sendo implantada em novas linhas que estão sendo projetadas e construídas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GONTIJO, C.R. Cálculo de Torres para Linhas de Transmissão. Belo Horizonte, MG, 1994.
- (2) CHAVES, R. Fundações de Torres de Linhas de Transmissão e Telecomunicações. Belo Horizonte, MG, 2004.
- (3) WIGGINS R.L. Analysis and Design of Tower Foundations. Journal of the Power Division – Procedures of the American Society of Civil Engineers. Vol. 95, Issue 1, Pg. 77-100.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Referências bibliográficas - NBR 8850. Brasil.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Henrique Dias de Oliveira Gontijo
Belo Horizonte, 1982.
Belo Horizonte, 2005/2009

Mestre em Engenharia de Estruturas com foco de atuação no cálculo e projeto de estruturas metálicas para transmissão de energia, subestações e telecomunicações. Professor das disciplinas de Resistência dos Materiais, Teoria das Estruturas e Estruturas Metálicas.

Danilo Campos Lopes
Montes Claros-MG, 1978.

Uberaba-MG, 2007; Uberaba-MG, 2009; Belo Horizonte-MG, 2014.

Engenheiro de Projetos e Obras Civas na Cemig, 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.

Fabricio Tiago Borges
Ribeirão das Neves-MG, 1981.

Belo Horizonte, 2005; Belo Horizonte, 2009

Engenheiro de Projetos e Obras Civas na Cemig, Especialista em Estradas com ênfase em drenagem de rodovias; Atuação em projetos de linhas transmissão e subestações, topografia, aplicação de estruturas e fundações em LDs.