

Tema: Aspectos arquitetônicos das construções de aço

## **TORRE DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UM NOVO OLHAR E POSSIBILIDADES PARA O CENÁRIO DE TRANSMISSÃO BRASILEIRO\***

Karine Murta Elias<sup>1</sup>  
Ricardo Hallal Fakury<sup>2</sup>  
Lucas Figueiredo Grilo<sup>3</sup>

### **Resumo**

No cenário energético brasileiro, nota-se que uma parcela considerável da energia elétrica produzida é proveniente de usinas hidrelétricas. Por não se restringir a atender somente a demanda local, as linhas de transmissão levam energia para diferentes regiões do país. Essa transmissão, na maioria dos casos, é basicamente feita através de cabos suspensos, sustentados por postes ou torres metálicas. Essas torres, por sua vez, possuem projetos tradicionais, com estrutura treliçada, sem distinção de design quando cruzam cenários urbanos ou rurais. Por essa razão surgem conflitos no ambiente urbano, tanto visuais quanto socioeconômicos. Com o intuito de propor uma nova abordagem para as torres brasileiras, será apresentada uma nova solução, com a concepção de um projeto específico para áreas urbanas. Ao contrário das estruturas convencionais, compostas por perfis de aço de seção aberta, para permitir maior liberdade de criação, a nova torre será constituída por perfis tubulares circulares de aço. Essas mudanças possibilitarão uma nova relação da torre com a população e a paisagem urbana.

**Palavras-chave:** Perfis Tubulares Compostos Concêntricos; Compressão Axial; Curva de Resistência à Compressão; Estruturas de Aço.

### **POWER LINES OF TRANSMISSION: A NEW LOOK AND POSSIBILITIES FOR BRAZILIAN TRANSMISSION SCENARIO**

### **Abstract**

In the Brazilian energy scenario, it should be noted that a considerable portion of the electricity produced comes from hydroelectric plants. By not restricting the local demand, the transmission of lines play an important role to lead the energy for different regions of the country. This transmission, in most cases, is basically made through suspended cables, supported by poles or metallic towers. These towers, moreover, have traditional projects, with structure of truss, without design distinction when they cross urban or rural scenery. That is the reason for arise conflicts in the urban environment, arise of conflicts: visual, economic and social. With intention to propose a new approach to the towers in Brazil, it will be presented in this paper a new solution, with a specific design for urban areas. In contrast with the conventional structures, composed of steel open profiles, the new tower will be constituted by steel tubular of circular sections profiles, to allow greater freedom of creation. These changes will lead to possible new relationship between the tower, people and the urban landscape.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



**Keywords:** Over Head Power Lines; Electricity; Design; Architecture and Urbanism.

<sup>1</sup> Arquiteta e Urbanista, Mestre em Engenharia de Estruturas, Contagem, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia de Estruturas, Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas, UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia de Estruturas, Doutorando em Engenharia de Estruturas, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão de energia elétrica têm grande importância no Brasil, uma vez que cruzam uma parte considerável do seu território. Partindo de estudos e projetos desenvolvidos no exterior, direcionados para a criação de diferentes tipos de torres, instigou-se a necessidade de inserir o Brasil no contexto de novas possibilidades para o sistema de transmissão aéreo, no que diz respeito às inovações do design para as torres urbanas.

Neste caso, em específico, o projeto da torre deixará de ser fundamentado apenas em relação aos quesitos elétricos e econômicos, sendo questões sociais e urbanas também partes essenciais no desenvolvimento deste trabalho.

### 1.1 OBJETIVOS

O desenvolvimento de um novo design para as torres urbanas brasileiras tem como objetivo geral incitar novos questionamentos e uma abordagem diferenciada no processo de criação ou ampliação do sistema de transmissão.

Como objetivo principal tem-se a tentativa de trabalhar os impactos causados pela imposição desse equipamento urbano ao meio e à sociedade. A ideia é, através do design, gerar uma sensação visualmente mais confortável e dar maior contextualidade às torres no meio específico no qual serão inseridas.

### 1.2 JUSTIFICATIVA

Dada a relevância dos custos em uma linha de transmissão, foi necessária uma análise aproximada de valores, que servirá como um dos comparativos finais da proposta. Para tal, foi tomado como base os gastos de uma concessionária no que se refere a criação de uma linha de transmissão (aérea e subterrânea) de 138kV, tensão mais utilizada em áreas urbanas. Assim, segundo dados fornecidos pela CEMIG:

- A linha de transmissão aérea tem um custo aproximado de R\$ 250.000,00/km, onde o custo das torres representa de 15 a 25% do custo total da linha.
- A linha de transmissão subterrânea tem um custo bastante superior, atingindo R\$ 5.000.000,00/km.

Como pode ser observado, os dois tipos de linhas de transmissão apresentam uma razão de custo de até 20 vezes quando comparados entre si. Por essa razão a implantação das linhas de transmissão aéreas continua sendo uma boa opção financeira para as concessionárias. Desse modo, justifica-se a necessidade de propor um novo projeto de torre mais condizente com as transformações sociais e urbanas, dada a relevância e a quantidade de torres no sistema de transmissão aéreo.

Porém, este trabalho não visa a levar em consideração apenas a questão financeira, uma vez que uma torre de design não usual terá, provavelmente, um custo mais elevado que os modelos padronizados. Ao se basear na ideia de que com o passar dos tempos as necessidades

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

mudam, sejam elas sociais, econômicas ou da própria paisagem urbana, é importante o desenvolver novas opções, de acordo com as necessidades atuais.

Outro ponto importante é o fato de que o projeto das torres instaladas no ambiente urbano é o mesmo empregado em ambientes rurais. O diferencial que pode existir no design está mais ligado às questões relacionadas à transmissão de eletricidade do que especificamente aos locais por onde as linhas passam. Essa situação acaba causando a desvalorização dos locais adjacentes as torres, fato que pode ser trabalhado com um design específico para essas áreas.

## 2 A TORRE DE TRANSMISSÃO GENERALIDADES

Uma das primeiras linhas de transmissão de energia de que se tem registro no Brasil tinha 2 km de extensão e foi construída por volta de 1883, na cidade histórica de Diamantina (Minas Gerais). No cenário atual da transmissão de energia no Brasil, o país conta com uma rede de transmissão de aproximadamente 107.000 km (ANEEL [1]).

A linha de transmissão, que é parte do sistema de transmissão, é composta de modo geral por uma parte passiva, onde não há a passagem de corrente, no caso as torres, e a parte ativa da linha, onde há passagem de corrente, representada pelos cabos condutores. As torres são estruturas cuja função é fazer a sustentação mecânica dos cabos condutores e para-raios, transmitindo todos os esforços mecânicos à fundação. É justamente esse sistema que possibilita a ligação aérea entre as centrais de distribuição de energia e os consumidores.

O design das torres segue, na maioria dos casos, uma forma padronizada, composta por uma estrutura treliçada de aço. Principalmente por questões econômicas essas estruturas são padronizadas em Famílias de Torres, que são compostas por subestruturas iguais ou similares, como pode ser visto na a Figura 1.

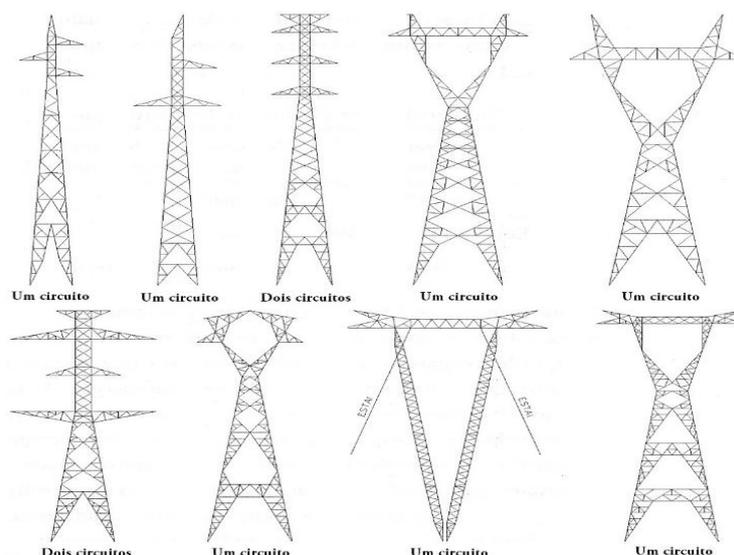


Figura 1 – Configurações de torres para 1 e 2 circuitos (GONTIJO [2], 1994)

Na maioria dos casos as torres são compostas por uma estrutura espacial treliçada de aço, e seguem um formato padronizado por questões econômicas e produtivas. Devido a essa

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

padronização, é possível classificá-las baseando-se em alguns aspectos técnicos, por exemplo, pela quantidade de circuitos.

No caso deste trabalho, a torre não poderá ser classificada segundo sua geometria, pois está fora dos padrões empregados, tanto pela nova silhueta quanto pelo material empregado. Porém, ela pode ser classificada segundo outros critérios técnicos, tais como o número de circuitos, a disposição dos cabos condutores (vertical) e à função (suspensão). Outras definições importantes são a tensão de operação, que no caso será a de 138 kV, escolhida por ser a tensão mais comum em áreas urbanas, e a forma de estrutural da torre, que será autoportante, trabalhando na suspensão dos cabos.

## 2.2 O MEIO AMBIENTE URBANO E A LINHA DE TRANSMISSÃO

Este projeto é destinado às áreas urbanas, e por isso leva em consideração o entorno imediato do local da intervenção, seja através da criação ou ampliação de uma linha de transmissão. Fazer um projeto dessa natureza em áreas urbanas é uma tarefa difícil, e requer uma análise diferenciada em relação aos projetos concebidos para áreas rurais. Existem alguns fatores que devem ser levados em consideração, como por exemplo a escassez de áreas disponíveis nos grandes centros e seus custos elevados, e a necessidade de essas áreas atenderem à requisitos mínimos para instalação das linhas de transmissão e distribuição de energia.

Com crescente a falta de espaço nos meios urbanos, muitas áreas que tem acesso restrito devido à passagem das linhas acabam sendo ocupadas de forma irregular. Essas situações ocorrem muitas vezes devido ao crescimento acelerado das cidades, à falta de planejamento adequado e de uma estratégia mais eficaz para coibir tais situações de risco. Segundo a ABNT NBR 5422:1985 [3], no trajeto da linha de transmissão deve haver um espaço reservado para o sistema, conhecido como faixa de passagem. Essa é mais uma questão que afeta diretamente no uso e ocupação do solo, aumentando a disputa de espaço nas cidades entre as linhas e as pessoas. Esse conflito pode ter suas proporções reduzidas, a partir do momento que a integração do objeto com o espaço urbano e as pessoas se torne realidade. Uma torre esteticamente diferenciada não irá diminuir os problemas sociais, porém, a partir do momento em que deixar de ser uma imposição e se tornar um marco no ambiente urbano, as relações poderão ser modificadas gradativamente. Segundo ECKARDT [4]:

“Instituir um ambiente que seja socialmente justo, esteticamente durável e tecnicamente eficiente, um ambiente que, acima de tudo crie e preserve o sentido de comunidade com outros, que nos dê importância e segurança, sentido de participação e partilha da vida comum”.

Essas relações nada mais são do que a proposição de uma integração urbana, tornando-se possível através dela a integração social. Para isso é necessário fazer com que as partes do ambiente se ajustem com as necessidades e qualidades específicas do lugar, para que a população se relacione, identifique-se e sinta-se como parte efetiva dele.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

### 3.1 INOVAÇÕES NO EXTERIOR

O suporte para o desenvolvimento deste trabalho foi obtido pelo conhecimento de estudos, projetos executados e concursos realizados no exterior, voltados para o desenvolvimento de novas possibilidades de design de torres de transmissão de energia. Para ilustrar que esse tipo de projeto já é uma realidade, e não apenas um capricho estético ou arquitetônico, algumas possibilidades de design já desenvolvidas podem ser vistas na Figura 2.



Figura 2 – Diferentes possibilidades de design de torre de transmissão

Essas e tantas outras alternativas demonstram que esse tipo de proposta é viável e que existe a necessidade de que haja modificações graduais na paisagem e no ambiente em geral, à medida que evoluem as necessidades do homem e da própria cidade. Servem também para se opor ao paradigma de que a criação de um novo projeto não possa vir a amenizar os impactos das linhas de transmissão de energia em relação ao meio e à população, sem prejuízo das funções às quais são destinadas.

Por esse e outros motivos já citados, a proposta de desenvolver um novo projeto para as torres de linha de transmissão no Brasil visa não apenas à melhoria estética, mas desenvolver uma estrutura específica para nosso país.

---

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



### 3.2 PROCESSO DE CRIAÇÃO

Para criar uma forma que carregasse a essência brasileira seria necessário mergulhar na cultura do país. Porém, como se sabe, o país tem uma diversidade cultural muito ampla, o que dificulta a busca por um item que seja capaz de unificar essas diferenças. De modo simplificado, este projeto utilizou-se da bandeira brasileira e suas geometrias para efetuar um estudo apropriado da concepção de forma. Esse ponto em comum seria um símbolo comum entre todos os estados brasileiros. Porém, a bandeira por si só não é capaz de carregar a essência do país, mas foi o ponto de partida para a criação da forma da torre. (Figura 3)



Figura 3 – A bandeira do Brasil e suas geometrias, ponto de partida para a criação da forma

Após o desmembramento das geometrias, alguns croquis foram feitos (Figura 4) na tentativa de chegar à melhor forma possível, onde se utilizasse a menor quantidade possível de perfis sem que o design perdesse sua expressão. Pensando não só nos custos, mas na parte estética da torre, que é o foco principal, optou-se por trabalhar com os perfis tubulares circulares laminados da Vallourec Tubos do Brasil.

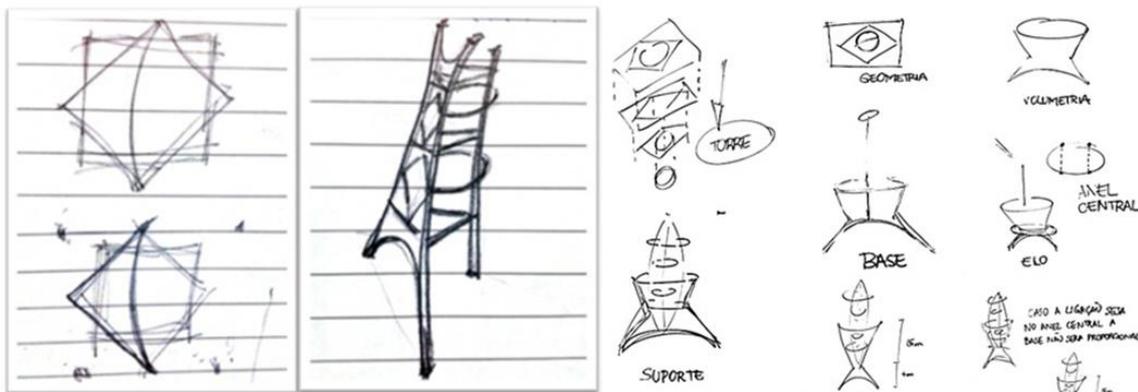


Figura 4 – Estudos de forma, croquis iniciais

### 3.2.1 Evolução da Forma

Como explicitado anteriormente, as geometrias da bandeira foram submetidas a modificações, junções, adaptações e interações até que a silhueta da torre fosse capaz de atender à expectativa estética e às necessidades estruturais e elétricas.

Durante a concepção do design foram geradas diversas possibilidades até se chegar ao resultado final. Algumas dessas alternativas podem ser vistas na Figura 5. Todas essas estruturas possuem justificativas para não terem sido consideradas ideais para cumprir com o objetivo deste trabalho, seja por questões estéticas, práticas ou elétricas.

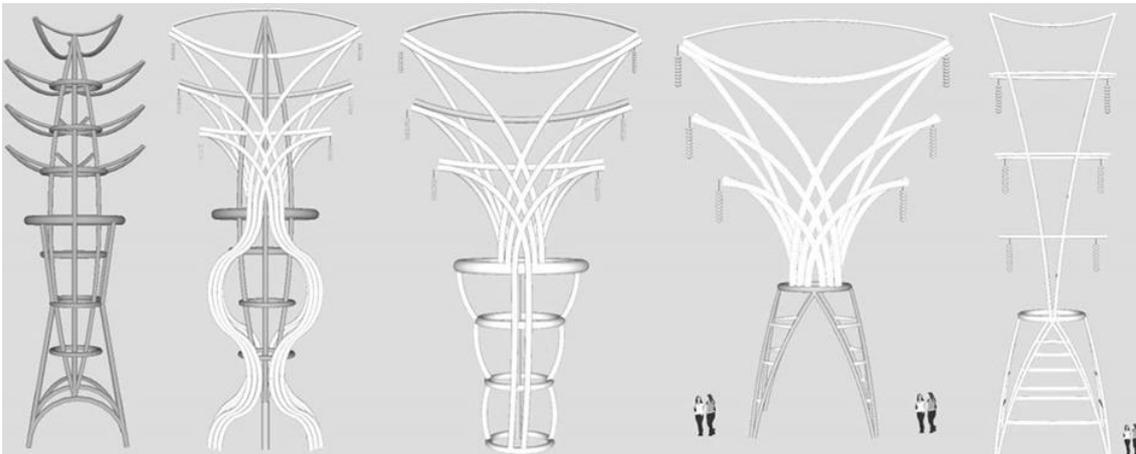


Figura 5 – Evolução da forma

Ainda analisando a Figura 5, como exemplo de questões estética e elétricas, tem-se a primeira estrutura. Foi observado que a geometria dela remete à arquitetura oriental, fugindo do conceito básico que seria fundamentar a torre como um símbolo brasileiro e, além disso, o ângulo das mísulas não é o suficiente para atender aos requisitos elétricos quanto ao balanço da cadeia de isoladores e do cabo condutor. Como problema das demais, de modo geral, nenhuma das formas mostradas levou em consideração a possibilidade de modulação do trecho inferior (base) para, caso necessário, ser possível realizar modificações na altura da base devido a variações topográficas.

Tendo em vista essa questão de lidar melhor com as variações topográficas, algumas adequações foram necessárias. Foram adicionados perfis estruturais que fazem a ligação entre o anel central e a mísula inferior, para que a torre tenha maior capacidade de suportar os esforços transversais. Por fim a base tornou-se então modular, podendo sofrer alterações em sua altura conforme diferentes topografias por onde a linha necessite passar, sem que o projeto sofra interferências em suas demais partes. O design final pode ser visto na Figura 6.

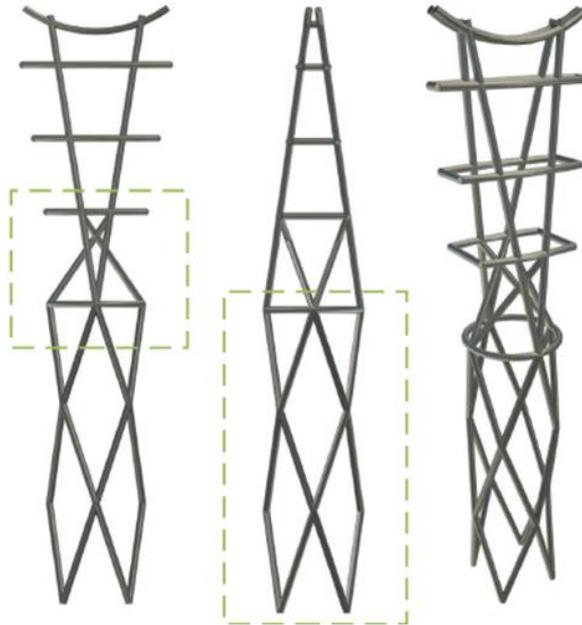


Figura 6 – Adaptações e design final

Fugindo da padronização das formas treliçadas e de forma mais sutil, suavizando sua relação com as pessoas e com o meio ambiente urbano, a proposta concebida é resultado da busca pela melhor opção de projeto. Por fim, o modelo priorizou não somente a otimização da parte elétrica, conforme ocorre atualmente no Brasil, mas também na transformação e adequação dessas estruturas pensando nos espaços urbanos em que serão instaladas. Ao melhorar a conexão com o meio urbano e visando à possibilidade de interação com a população dentro de limites aceitáveis, a torre ganha também uma função social no espaço urbano. A inserção da nova torre na paisagem urbana pode ser vista na Figura 7.



Figura 7 – A nova torre no contexto urbano

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.

#### 4 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

A ideia neste trabalho foi a de propor inicialmente uma mudança na visão de mercado, onde outras questões pudessem ser abordadas nos estudos de linhas de transmissão, levando em consideração a realidade atual dos locais que abrigam ou que receberão novas linhas. Nesse caso, as torres de transmissão de energia deixariam de ser apenas estruturas suportes entre tantas, mas também colaborariam com a melhoria na qualidade dos espaços urbanos nos quais estão inseridas.

Para se chegar ao resultado final foram utilizadas algumas normas específicas, cada uma voltada para as diferentes partes do projeto. A formulação do design se adequou aos parâmetros das normas de linha de transmissão [3] e [6], e após a definição da forma utilizou-se a norma para o cálculo de estruturas de aço [5]. Mesmo com todas as restrições que envolvem uma linha de transmissão, a nova solução mostrou que é possível propor alternativas diferenciadas e que a estética pode auxiliar na integração do objeto no contexto urbano, como mostra a Figura 8.



Figura 8 – Inserção do novo modelo da torre de transmissão no contexto urbano

#### 5 RESULTADOS E CONTINUIDADE

Conforme abordado nesta pesquisa, a idealização de um novo formato de torre para áreas urbanas não se restringiu apenas a questões estéticas ou estruturais. O contínuo crescimento das cidades causa cada vez mais o aumento da demanda por energia, fazendo com que, muitas vezes, a ampliação ou a criação de novas linhas de transmissão gere conflitos com a população pela falta de espaço nas áreas urbanas. Foi pensando nisso que a proposta aqui apresentada abrangeu também os quesitos relacionados a questões urbanas e socioeconômicas, entre outras.

A complexidade das questões intrínsecas a esse tema é grande, uma vez que sua interdisciplinaridade faz com que seja difícil um único setor identificar ou propor soluções aos diferentes problemas relacionados aos impactos causados pela linha de transmissão. Por isso, a nova estrutura é apenas um ponto de partida para novas análises e questionamentos, ou seja, mais uma contribuição à sociedade. Sabe-se também que de modo isolado a solução apresentada não é capaz de mudar a realidade social brasileira, porém além do trabalho em conjunto de diferentes setores e áreas, é imprescindível que haja novos parâmetros de abordagem envolvendo estudos a respeito de linhas de transmissão.

\* Contribuição tecnocientífica ao **Construmetal 2016** – Congresso Latino-americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro de 2016, São Paulo, SP, Brasil.



Por fim, ao se pensar em novos empreendimentos a questão financeira não pode estar acima das questões sociais, mas sim ser analisada de forma conjunta, buscando alternativas ou meios de beneficiar todas as partes envolvidas. O desenvolvimento de estudos e de novas soluções para as torres de transmissão de energia para áreas urbanas se enquadra nesse contexto, propondo alternativas aos desafios urbanos e sociais contemporâneos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio incondicional do Mestre Carlos Roberto Gontijo (*in memoriam*). Agradecem também o apoio, interesse e disponibilidade de Carlos Kleber da Costa Arruda, professor do CEFET-RJ; Danilo Campos Lopes, gerente de Gestão da Expansão de Subestações e Linhas da Distribuição da CEMIG; Ivan José da Silva Lopes, professor no Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG e Claudenir Janderlino Souza, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG.

Além das pessoas citadas, os autores agradecem o suporte das agências brasileiras CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

## REFERÊNCIAS

- 1 ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; Disponível em: “<<http://www.aneel.gov.br/>>”.
- 2 GONTIJO, C. R.. Cálculo de torres para linhas de transmissão. 1994.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR -5422: Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia. p.52, 1985.
- 4 ECKARDT, Wolf Von. “A crise das cidades. Um lugar para viver”. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1975. (pp. 36-43, 51-61, 67-81).
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR -8800: Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. p.237, 2008.
- 6 International Electrotechnical Commission – IEC-60826: Design Criteria of Overhead.