



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GSE/25

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - VIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO- GSE**

**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ESFORÇOS DEVIDOS AO EFEITO DA PASSAGEM DE CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO EM BARRAMENTOS FLEXÍVEIS DE SUBESTAÇÕES ISOLADAS A AR SIMULTANEAMENTE À AÇÃO DOS VENTOS, SEGUNDO AS NORMAS NBR 5422, NBR 6123 E NBR 8681**

**Rafael Faria da Silva  
Airton Violin  
Estácio Tavares Wanderley Neto  
UNIFEI**

**Igor de Paula Cardoso (\*)  
Ademir Carnevalli Guimarães  
Rogério Regis da Silva  
TSE – Tecnologia em Sistemas Elétricos**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta uma comparação entre os resultados de esforços devidos à corrente de curto-circuito, de acordo com a norma IEC60865-1, em barramentos flexíveis de subestações isoladas a ar, considerando a ação simultânea da carga de vento, de acordo com as normas NBR 5422, NBR 6123 e NBR 8681. O trabalho é fruto de um projeto realizado entre os anos de 2014 e 2015 no qual o dimensionamento de estruturas para uma subestação de 500 kV no norte do país gerou muitas discussões. O acesso a diversas memórias de cálculo para dimensionamento de estruturas mostrou que não há um entendimento pleno dos conceitos envolvidos e das considerações necessárias para a aplicação das normas citadas. Conclui-se que existe diferença entre a aplicação das duas normas para considerações acerca do vento no cálculo final dos esforços devidos ao curto-circuito. Todavia, essa diferença não é expressiva. Questiona-se, entretanto, a necessidade desta consideração, uma vez que as brochuras do CIGRE que dão origem à norma IEC 60865-1 não exigem que seja feita a consideração de ação simultânea de carga de vento e curto-circuito.

**PALAVRAS-CHAVE**

IEC 60865-1, NBR 6123, NBR 5422, NBR 8681, Esforços Estáticos, Esforços Dinâmicos, Condutores Flexíveis

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Este trabalho foi motivado por um projeto de uma subestação de grande porte no norte do país no qual a determinação dos esforços devidos às forças originadas da ação da passagem das correntes de curto circuito pelos barramentos flexíveis gerou diversas discussões.

A princípio foi utilizada a norma NBR 5422 para considerações sobre os efeitos dos ventos para o cálculo de esforços estáticos. Em uma das revisões dos relatórios foi requisitado que a norma NBR 6123 fosse utilizada, uma vez que a norma NBR 5422 é destinada a linhas de transmissão. Por fim, solicitou-se que fossem considerados os efeitos simultâneos das correntes de curto-circuito nos barramentos e o efeito das cargas de vento, utilizando um fator de redução de acordo com a norma NBR 8681.

Com relação à determinação dos esforços devidos ao curto-circuito, utilizou-se a norma IEC 60865-1 associada às brochuras 105 e 214 do CIGRÉ, *The Mechanical Effects of Short-Circuit Currents*, parte 1 e 2, respectivamente. Grande parte da norma é baseada na brochura 105 e alguns itens contêm informações da brochura 214.

Este artigo apresenta, em um primeiro momento, alguns comentários sobre as normas utilizadas, tanto àquelas que consideram os esforços devidos à ação dos ventos quanto àquela que considera a ação das correntes de curto-circuito nos barramentos. Posteriormente, são apresentados os resultados para o cálculo dos esforços devidos à passagem de curto-circuito, os esforços estáticos utilizando as duas normas para considerações acerca dos efeitos

(\*) Rua São Judas Tadeu, n° 930 – CEP 37.500-000 Itajubá, MG, – Brasil  
Tel: (+55 35) 3629-0796 – Fax: (+55 35) 3622-0685 – Email: igor.igpc@gmail.com

dos ventos e os resultados para a combinação dos efeitos da passagem da corrente de curto-circuito e da ação do vento simultaneamente.

Este projeto e todas as discussões ao longo do desenvolvimento do documento final mostraram que não há um entendimento pleno por parte das empresas da aplicação das normas e das considerações a serem feitas. Obteve-se acesso a diversas memórias de cálculo de diversas empresas nacionais e observou-se, por exemplo, que, com relação aos efeitos das correntes de curto-circuito, muitos simplesmente negligenciavam estes esforços em suas memórias de cálculo para dimensionamento de estruturas ou aplicavam a norma de maneira incorreta acarretando subdimensionamentos ou sobredimensionamentos da estruturas da subestação.

## 2.0 - CONSIDERAÇÕES SOBRE AS NORMAS UTILIZADAS

Nesta seção alguns pontos relevantes da aplicação das normas são levantados. Todo o procedimento para o cálculo não será explicitado neste trabalho, uma vez que a apresentação de todas as etapas de cálculo para três normas demandaria um trabalho mais extenso, mas uma breve explanação sobre cada norma é mostrada, conforme segue.

### 2.1 NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica

A norma ABNT NBR 5422/1985 estabelece as condições básicas para o projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica com tensão máxima, valor eficaz fase-fase, acima de 38 kV e não superior a 800 kV.

A partir da definição da velocidade básica de vento são realizadas algumas correções considerando características específicas da região em que a estrutura será instalada.

$$V_p = V_T \cdot K_r \cdot K_d \cdot \left( \frac{H}{10} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Na fórmula têm-se as seguintes correções:

- $K_r$  depende da rugosidade do terreno;
- $K_d$  é utilizado para corrigir os valores para diferentes tempos de integração. Este valor depende da categoria do terreno e do tempo de integração adotado;
- $n$  é utilizado para correção da altura de instalação dos condutores. Este valor depende da categoria do terreno e do tempo de integração utilizado;
- $H$  é a altura de instalação dos condutores com relação ao solo;
- $V_T$  é a velocidade básica de projeto corrigida para o tempo de retorno  $T$  (em anos) e é dada pela fórmula abaixo que depende dos coeficientes  $\alpha$  (fator de escala da distribuição de Gumbel em  $(m/s)^{-1}$ ) e  $\beta$  (Estimador do fator de posição da distribuição de Gumbel em m/s), ambos fornecidos pela norma através de gráficos;

$$V_T = \beta - \frac{\ln \left[ - \ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{\alpha} \quad (2)$$

A partir do valor calculado da velocidade de projeto a carga de vento é então calculada:

$$q_0 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_p^2 \quad (3)$$

A fórmula acima depende do valor da massa específica do ar, dada por:

$$\rho = \frac{1,293}{1 + 0,00367 \cdot t} \cdot \left( \frac{16000 + 64 \cdot t - Alt}{16000 + 64 \cdot t + Alt} \right) \quad (4)$$

Onde:

- $t$  é a temperatura coincidente (média das mínimas temperaturas);
- $Alt$  é a altitude média da região de instalação da estrutura;

Por fim, calcula-se força resultante da ação dos ventos nos condutores 'Ac':

$$A_C = q_0 \cdot C_x \cdot \alpha' \cdot d \cdot \frac{V}{2} \cdot \text{sen}^2(\theta) \quad (5)$$

O cálculo da força resultante depende da carga de vento calculada  $q_0$ , do coeficiente de arrasto ' $C_x$ ', do coeficiente de efetividade ' $\alpha'$ ', do comprimento do vão ' $V$ ', do diâmetro do condutor ' $d$ ' e do ângulo formado entre a direção do vento e o condutor ' $\theta$ ' que, sendo o mais pessimista possível, é considerado  $90^\circ$ .

Metodologia análoga é aplicada para o cálculo da carga de vento nas cadeias de isoladores e, posteriormente, para o cálculo da força resultante nas cadeias.

## 2.2 NBR 6123 – Forças Devidas ao Vento em Edificações

A norma NBR 6123 fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.

Um procedimento bastante semelhante àquele apresentado na seção anterior é aplicado pela norma NBR 6123. Um valor de velocidade de projeto é determinado e, a partir deste valor, a carga de vento nos condutores e cadeias de isoladores é determinada.

A velocidade básica de vento ' $V_0$ ' é obtida a partir de uma mapa do território nacional com as isopletas de velocidade de vento. Considera-se uma rajada de três segundos, a dez metros acima do solo em campo aberto e plano para um período de retorno de cinquenta anos.

A velocidade de projeto é determinada pela expressão abaixo, que considera 3 fatores multiplicando a velocidade básica:  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ .

$$V_k = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot V_0 \quad (6)$$

O fator topográfico  $S_1$  leva em consideração as variações do relevo do terreno. Para terreno plano ou fracamente acidentado  $S_1 = 1,0$  (para este trabalho apenas esta condição será considerada).

O fator estatístico  $S_3$  é baseado em nível de probabilidade de 63% de que a velocidade básica de projeto seja igualada ou excedida em um período de retorno de 50 anos. Para cada tipo de edificação há valores para o fator  $S_3$ . Para subestações considera-se que sua ruína total ou parcial possa afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva. Neste caso,  $S_3 = 1,1$ .

O fator  $S_2$  considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação. É determinado pela expressão a seguir:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left( \frac{z}{10} \right)^p \quad (7)$$

Onde:

- $F_r$  é o fator de rajada;
- $b$  e  $p$  são parâmetros relacionados à rugosidade do terreno;
- $z$  é a altura acima do nível do terreno.

Primeiramente, classifica-se o terreno com relação à rugosidade em cinco categorias (I, II, III, IV e V) e classificam-se as edificações em três classes (A, B e C), de acordo com as dimensões da mesma. A classe das edificações está relacionada diretamente ao intervalo de tempo utilizado para o cálculo da velocidade média (tempo de integração), sendo que quanto maior a edificação, maior será o intervalo de tempo para o cálculo. A Tabela 1 abaixo apresenta uma das maneiras de determinar o valor de  $S_2$  (que será utilizada neste trabalho). Para edificações maiores, assume-se para o cálculo do fator  $S_2$  a metodologia apresentada no Anexo A da norma NBR 6123. Nesta metodologia calcula-se um novo tempo de integração e o parâmetro é determinado para este valor, de acordo com a dimensão a edificação.

Tabela 1 – Valores de S<sub>2</sub>

z [m]	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,16	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86

Com os fatores S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> e S<sub>3</sub> determinados calcula-se a velocidade de projeto (equação 6) que será utilizada para determinar a pressão dinâmica, utilizando a expressão:

$$q = 0,613.V_k^2 \quad (8)$$

Com o valor da pressão dinâmica determinado calcula-se a força resultante nos condutores e cadeias de isoladores:

$$F_y = C_a.q.\frac{V}{2}.d.\text{sen}^2\alpha \quad (9)$$

O coeficiente de arrasto 'C<sub>a</sub>' depende do número de Reynolds que, por sua vez, depende da velocidade 'V<sub>k</sub>' e do diâmetro do condutor. Quanto menor o número de Reynolds, maior é o coeficiente de arrasto para os condutores.

$$\text{Re} = 70000.V_k.d \quad (10)$$

Para cadeias de isoladores, o coeficiente de arrasto depende da relação entre o diâmetro e o comprimento da cadeia.

### 2.3 IEC 60865-1 – Short-Circuit Currents – Calculation of Effects

A norma IEC 60865-1 apresenta uma metodologia para o cálculo dos esforços dinâmicos devidos à passagem da corrente de curto-circuito pelos barramentos. Esta norma é baseada na brochura 105 e alguns tópicos são baseados na brochura 214 do CIGRÉ. Acredita-se que uma nova revisão desta norma traga mais informações da brochura 214, uma vez que esta brochura apresenta diversas informações adicionais e complementares à brochura 105.

A norma IEC 60865-1 é aplicável para determinação dos efeitos mecânicos e térmicos das correntes de curto-circuito. São apresentadas metodologias para o cálculo para condutores rígidos e flexíveis e o efeito térmico em condutores nus. A duração da corrente de curto-circuito nos condutores depende de características da proteção. Os procedimentos de cálculo são ajustados a requisitos práticos e contempla simplificações conservativas. As cargas determinadas pelo procedimento de cálculo devem ser consideradas como cargas de projeto e utilizadas como cargas excepcionais sem considerações de fatores de segurança adicionais.

A Figura 1 abaixo apresenta um exemplo do comportamento da força de tração a qual será submetida a estrutura durante um curto-circuito:

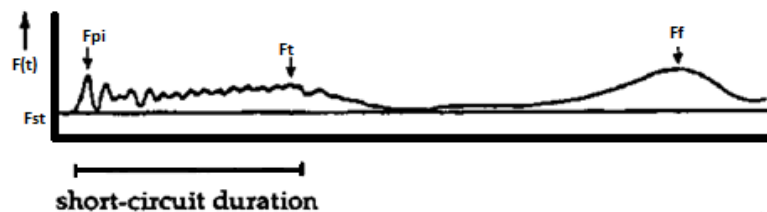


Figura 1 – Exemplo das forças de tração durante o curto-circuito [7].

Observa-se no começo uma força pequena que representa apenas a tração estática do condutor. Nos momentos iniciais do curto-circuito há um pico, representado na figura por  $F_{pi}$ , referente à força de *pinch* entre os subcondutores de uma mesma fase (quando há utilização de *bundle* nas fases). A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra a posição dos subcondutores de um *bundle* durante a ocorrência de um curto-circuito. Neste período, surge uma força “F” de atração entre os subcondutores do *bundle* que faz com que haja uma aproximação, com colisão ou não, destes subcondutores.

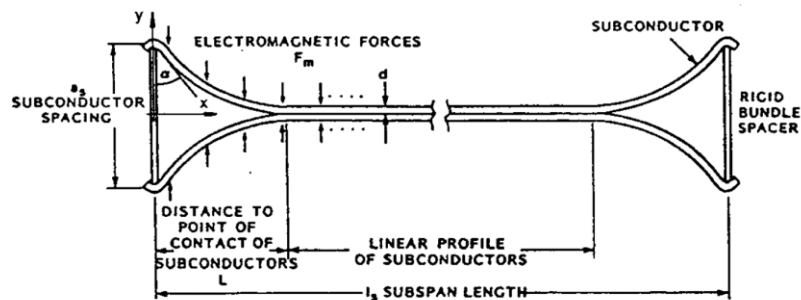


Figura 2 – Posição dos subcondutores durante o curto-circuito [7].

Após esta fase inicial observa-se a atuação de uma força oscilatória e, para o pico desta força, é determinada  $F_t$ , que é a força devida às forças entre fases que surgem com a passagem das correntes de curto-circuito. Estas forças provam balanço no condutor o que provoca forças de tração na estrutura e pode ocasionar outros curtos-circuitos devidos à redução da distância entre as fases.

Por fim, tem-se a força  $F_r$  que ocorre quando, após cessar a passagem de corrente pelos condutores, o condutor volta à posição original. Esta força é chamada de *drop back*. Dependendo do ângulo que o condutor estiver, com relação à posição inicial e da magnitude da força entre as fases esta força de *drop back* pode ser desconsiderada por ser muito pequena. Entretanto, em alguns casos, esta é a força predominante e, portanto, aquela que será utilizada para o dimensionamento das estruturas.

A Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 3 apresenta o movimento do condutor durante o curto-circuito do qual foram extraídas as trações apresentadas na Figura 2.

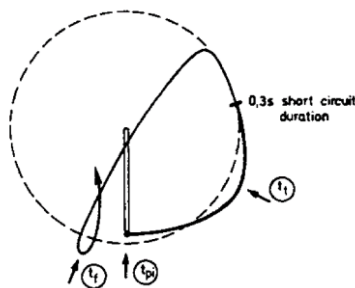


Figura 3 – Movimento do condutor durante o curto-circuito [7].

Os cálculos devem ser executados com base na tração estática determinada para a mínima e máxima temperaturas (normalmente 0 °C e 80 °C). Para cada uma das três forças dinâmicas calculadas, o pior caso, entre as máximas e mínimas temperaturas, deve ser considerado para o projeto das estruturas.

#### 2.4 NBR 8681– Ações de Segurança nas Estruturas

A norma NBR 8681 fixa os requisitos exigíveis na verificação de segurança das estruturas usuais da construção civil. A norma fixa valores de fatores de combinação que devem ser aplicados às grandezas envolvidas nos cálculos: neste caso à carga de vento. Como o efeito do curto-circuito é considerado uma carga excepcional o fator de ponderação é aplicado apenas à carga de vento: “a ação excepcional deve ser considerada com seu valor representativo e as demais ações variáveis devem ser consideradas com valores correspondentes a uma grande probabilidade de atuação simultânea com a ação variável excepcional”.

## 3.0 - COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS

Para comparação dos resultados foi escolhido um vão de 80 metros de comprimento, no setor de 500 kV da subestação, com quatro cabos CAA RAIL 954 MCM por fase em um *bundle* regular, com espaçadores, considerando *droppers* apenas no início do vão (próximos às cadeias de isoladores), altura de instalação de 28 metros, cadeia de isoladores de 6 metros com massa total de 300 kg, altitude da instalação de 50 metros com relação ao nível do mar, no norte do estado do Pará (próxima à região de Belo Monte), flecha máxima no vão igual a 4% do seu comprimento.

O cálculo dos esforços estáticos foi desenvolvido de acordo com a referência [8]. Ressalta-se que esta metodologia considera o efeito das cadeias de isoladores na determinação dos esforços estáticos. Verificou-se que, em algumas memórias de cálculo obtidas, o efeito das cadeias de isoladores eram desprezados, procedimento comum para cálculo de grandes vãos de linhas de transmissão, mas para vãos menores de subestação o efeito das cadeias é mais significativo e, portanto, deve ser considerado.

Considerar-se-á que a subestação encontra-se em um terreno plano, com poucos obstáculo baixos.

A tabela abaixo apresenta os valores considerados e os cálculo realizados para a norma NBR 5422:

Tabela 2 – Parâmetros utilizados e resultados para a norma NBR 5422.

<b>Categoria do terreno</b>	B ( $k_r = 1,00$ )	<b>alt</b>	50
<b><math>\alpha</math></b>	0,44	<b>t</b>	22
<b><math>\beta</math></b>	11,0	<b><math>\rho</math></b>	1.1895
<b>Para um período de retorno de 250 anos</b>	$V_T = 23,54$	<b><math>q_{cabo}</math></b>	631
		<b><math>q_{cadeia}</math></b>	778
<b><math>k_{dcabo}</math></b>	1,26	<b><math>C_{xcabo}</math></b>	1,0
<b><math>k_{dcadeia}</math></b>	1,41	<b><math>C_{xcadeia}</math></b>	1,2
<b><math>n_{cabo}</math></b>	11	<b><math>\alpha'</math></b>	0,95
<b><math>n_{cadeia}</math></b>	12		
<b><math>V_{pcabo}</math></b>	32,57	<b><math>F_{cabo}</math> (kgf/m)</b>	1,8
<b><math>V_{pcadeia}</math></b>	36,17	<b><math>F_{cadeia}</math> (kgf/m)</b>	15,6

Abaixo seguem as considerações para a norma NBR 6123.

Tabela 3– Parâmetros utilizados e resultados para a norma NBR 6123.

<b><math>S_1</math></b>	1,0	<b><math>V_p</math></b>	32,34
<b><math>S_3</math></b>	1,1	<b>Reynolds</b>	67000
<b>Rugosidade do terreno</b>	Categoria III	<b><math>C_a</math></b>	1,1
<b>Classe da edificação</b>	Classe C	<b>q</b>	641
<b><math>S_2</math></b>	0,98	<b><math>F_{cabo}</math> (kgf/m)</b>	2,09
<b><math>V_o</math></b>	30	<b><math>F_{cadeia}</math> (kgf/m)</b>	9,36

A Tabela 4 abaixo apresenta os resultados obtidos para os esforços estáticos e dinâmicos utilizando as informações apresentadas acima.

Tabela 4– Resultados obtidos.

	Estáticos		Dinâmicos		
	Valor (kgf)	Condição	Força	Valor (kgf)	Condição
	1911	80°C / Sem vento	$F_{t,d}$	3296 3992	80°C sem vento 0°C sem vento
	2674	0°C / Sem vento	$F_{f,d}$	0	N.A
			$F_{pi,d}$	5600 7188	80°C sem vento 0°C sem vento
			$F_{t,d}$	5912 5568	22°C vento 100% 22°C vento 60%
Norma NBR 5422	3022	22°C / Com vento Máximo	$F_{t,d}$	6396 6292	22°C vento 100% 22°C vento 60%
	3224	22°C / Com vento 60%	$F_{pi,d}$	6400 5604	22°C vento 100% 22°C vento 60%
Norma NBR 6123	3224	22°C / Com vento Máximo	$F_{t,d}$	6544 6304	22°C vento 100% 22°C vento 60%
	2894	22°C / Com vento 60%	$F_{pi,d}$		

#### 4.0 - CONCLUSÃO

Os resultados mostram que existe uma diferença entre a aplicação de uma ou outra norma no resultado final obtido para os esforços devidos à passagem das correntes de curto-circuito considerando a ação simultânea das cargas de vento. Entretanto, estas diferenças não são muito expressivas. No pior dos casos houve uma diferença percentual de 8%.

Ressalta-se que, para o caso estudado, a força de *drop back* é desprezada devido ao peso dos condutores e ao comprimento do vão. Para que esta força seja considerada é necessário que o condutor alcance um certo ângulo de balanço (acima de 70°) e que a força eletromagnética estabelecida entre as fases represente até 60% do peso dos condutores. Neste casos, estas condições não são satisfeitas.

De acordo com as brochuras do CIGRE ([6], [7]) a consideração de ações simultâneas ao curto-circuito não é necessária podendo ficar a cargo de cada país ou de cada empresa. As mesmas brochuras ainda ressaltam que os esforços calculados pela metodologia não devem ser majorados com fatores de segurança.

A utilização da norma NBR 8681 para consideração simultânea das ações pode ser vista como uma medida conservativa dada a importância da instalação em questão. Nota-se entretanto que, para o caso estudado, o esforço de *pinch* para a temperatura mínima considerada (0°C) sem ação de vento resultou em um esforço maior do que aqueles considerando a ação simultânea de vento e curto-circuito. Isto se dá devido ao fato de que para a temperatura mínima, os condutores estão mais tracionados o que maximiza o efeito dos esforços devidos ao *pinch*.

Este artigo analisa apenas um cenário, mas são muitas as variáveis envolvidas no cálculo destes esforços e uma análise mais profunda deve ser realizada para se obter uma conclusão acerca do assunto.

Uma dissertação de mestrado está sendo desenvolvida neste ano e diversos casos são comparados. Casos com condutores mais leves, com flechas maiores e menores, com mais ou menos espaçadores, com estruturas maiores ou menores, considerando efeito de droppers no meio do vão, vãos menores e maiores do que o estudado, com menos condutores no *bundle* ousem considerar *bundle*. Desta forma, uma visão geral sobre o assunto será apresentada.

O acesso a diversas memórias de cálculo durante o desenvolvimento do projeto citado mostrou que não há um entendimento pleno da aplicação das normas e de como considerar os efeitos do curto-circuito para o dimensionamento das estruturas.

Espera-se que este trabalho possa gerar discussões sobre o assunto e que o conhecimento destas normas e as considerações acerca dos parâmetros utilizados e sua aplicação sejam disseminadas para evitar sobredimensionamentos e, no pior dos casos, subdimensionamento de estruturas.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5422: Projetos de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica – Procedimento. Rio de Janeiro, 1985.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1988.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações de segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- (4) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60865-1: Short-circuit currents – Calculation of effects – Part I – Definitions and calculation methods. 3 ed. Genebra, 2011.
- (5) KOLLER, W. M. *Verificação Estrutural de Torre LTEE sob Ação de Vento*. 2012. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Estruturas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- (6) CIGRE STUDY COMMITTEE 23 (SUBSTATIONS) – *The Mechanical Effects of Short-Circuit Currents in Open Air Substations – Part I*. Brochure 105 – 04/1996.
- (7) CIGRE STUDY COMMITTEE 23 (SUBSTATIONS) – *The Mechanical Effects of Short-Circuit Currents in Open Air Substations – Part II*. Brochure 214 – 10/2002.
- (8) KIESSLING, F. et al. – *Overhead Power Lines: Planning, Design, Construction*. Berlim: Springer-Verlag, 2003. 759 p.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



### **Igor de Paula Cardoso**

Nasceu em Valença(RJ), em 1990, onde viveu até ingressar em Engenharia Elétrica na UNIFEI em Itajubá(MG), no ano de 2009. Em 2011/2012 participou do Grupo de Estudos da Qualidade da Energia Elétrica atuando na área de Novas Definições de Fator de Potência. Em 2013 foi aluno na *University of Idaho - USA* onde atuou como *Research Assistant* nas áreas de Análise e Proteção de Sistemas Elétricos. Atualmente é estagiário na TSE em Itajubá na área de estudos de sistemas elétricos.