



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Análise Estrutural e Dimensionamento de Linhas de Transmissão de Energia

Fabrizio Cotta Torres, Hisashi Inoue

Universidade Federal de São João del-Rei / fabrizio.cotta.torres@gmail.com

Universidade Federal de São João del-Rei / hisashi@ufsj.edu.br

Resumo

O trabalho se baseia na análise estrutural e dimensionamento de uma linha de transmissão de energia (LT) autoportante, sendo uma estrutura de suspensão de circuito simples, com tensão de 230 kV, altura de 24 metros e vão entre as torres de 500 metros.

A torre será em sistema estrutural treliçado, formada por perfis de cantoneiras de abas iguais em aço ASTM A36.

O dimensionamento seguirá as recomendações da NBR 5422:1985 e a NBR 8800:2008. Já a modelagem da estrutura utilizando o programa SAP 2000 versão 15.01.

Adotaremos três hipóteses que podem ocasionar o colapso da estrutura, sendo elas:

- Ruptura do cabo condutor, com aplicação do vento em velocidade máxima;
- Ruptura do cabo para-raios, com aplicação do vento em velocidade máxima;
- Os cabos intactos, porém, com vento em velocidade máxima;

O cabo condutor adotado será de alumínio com alma de aço (CAA) do tipo IBIS. Suas características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades do cabo condutor

Diâmetro nominal	19,88 mm
Seção transversal do condutor	234,07 mm ²
Massa aproximada	813,5 kg/km
Carga de ruptura	7386 kgf

O cabo para-raios adotado será cordoalha de aço, com extra-alta resistência (EHS) e 3/8 de polegada. Suas características estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades do cabo para-raios

Diâmetro nominal	9,52 mm
Seção transversal do condutor	51,14 mm ²
Massa aproximada	407 kg/km
Carga de ruptura	6990 kgf

O isolador adotado foi do tipo de suspensão de vidro padrão normal. Suas características estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3– Propriedades do isolador

Diâmetro do isolador	255 mm
Distância de escoamento dos isoladores	32 cm
Peso líquido	4 kg

Palavras-chave

Linhas de transmissão de energia; análise estrutural; dimensionamento; estrutura treliçada; ruptura do cabo; ação do vento.

Ações em torres de transmissão de energia

Para FUCHS (1977) estruturas de suspensão são dimensionadas para suportar cargas normais verticais e cargas normais horizontais, transversais devidas às ações do vento sobre os cabos e as próprias estruturas. Já no sentido longitudinal resistem à ação da força do vento.

KAMINSKI (2007) ressalta que as ações provocadas pela ruptura de um ou mais cabos em e uma LT requerem uma atenção especial, já que elas podem gerar danos de grandes proporções. Quando o carregamento não é considerado de forma adequada no projeto, pode resultar no colapso em sequência de torres de suspensão, conhecido como efeito cascata. Enquanto o colapso de uma torre devido à ação do vento, sem ruptura de nenhum cabo, pode ser reparado em um período de tempo relativamente curto, reparar uma seção inteira de uma LT pode levar semanas, e os custos associados crescem com o período de interrupção da energia.

Técnicas usuais de dimensionamento de torres de linha de transmissão de energia

Normalmente adota-se uma análise elástica linear para calcular deslocamentos, esforços e tensões nas barras, em projetos de torres metálicas treliçadas. A carga de colapso se baseia na ideia do “elo mais fraco”, ou seja, a ruptura é atingida quando um carregamento é aplicado à torre e supera um determinado estado limite ultimo (ELU), tanto da barra quanto de uma ligação, que pode estar associado à tração ou flambagem de barras, ao corte nos parafusos, ao rasgamento ou esmagamento das seções dos perfis. O que se observa, é que normalmente o ELU é atingido por flambagem das barras.

A resistência das barras e das ligações é verificada aplicando a metodologia dos estados limite, de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008).

Os carregamentos gerados pela ruptura de cabos e ação do vento têm natureza dinâmica, mas é usual considera-los como cargas estáticas equivalentes, para simplificar a análise do projeto. Na hipótese da ruptura de cabos, a recomendação é que a carga seja aplicada diretamente nos braços da torre de forma isolada, ou seja, sem os cabos, na direção longitudinal à LT.

Segundo KAMINSKI (2007) a força aplicada no braço da torre, corresponde à carga estática residual após a ruptura do cabo, estabelecida pela força de tração em EDS (Every Day Stress) do cabo, levando em conta o alívio nesta tração em razão do movimento da cadeia de isoladores. Para um cabo condutor, é usualmente adotada uma força de tração em EDS em torno de 20% da UTS (Ultimate Tension Stress).

A NBR 5422 (ABNT, 1985) recomenda que na condição de maior duração, caso não tenha sido adotadas medidas de proteção contra efeitos de vibração, limitar o esforço de tração nos cabos apresentados na Tabela 1 e Tabela 2 respectivamente em 20% e 14% da carga de ruptura.

Levantamento das ações

Foi adotada a recomendação de KAMINSKI (2007), também foi considerando que o movimento da cadeia de isoladores reduz aproximadamente 20% a força de tração em EDS, e que o peso próprio do cabo ao romper será reduzido em 50% de sua carga. Para o levantamento da ação de vento no suporte da torre é necessário adotamos dimensões iniciais dos perfis de cantoneira simples, estes valor adotado por alguns engenheiros são L75x75x5 para montantes principais, L60x60x4 para barras horizontais e L45x45x4 para barras diagonais, é realizada uma análise para ver se elas suportam as ações que a torre é solicitada, caso não seja, deve-se aumentar a seção do perfil.

Peso próprio da estrutura

O peso próprio da torre pode ser obtido pela aplicação de uma aceleração de 1g (aceleração da gravidade $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$) na estrutura, que é constituída de perfis de aço ASTM A36. Assim o software SAP 2000 calcula

automaticamente o peso próprio da estrutura, considerando a área da seção transversal e comprimento de cada perfil.

Peso próprio da cadeia de isoladores

Para determinar o peso da cadeia de isoladores devemos calcular quantos isoladores irão compor a cadeia, para isso utilizaremos a equação 1 indicada por LABEGALINE *et al.* (1992), e então multiplicamos pelo peso líquido de um isolador indicado na Tabela 3.

$$n_i = \frac{U_{max} \cdot d_e}{\sqrt{3} \cdot d_i} \quad (1)$$

Onde:

n_i é o número de isoladores em uma cadeia;

U_{max} é a tensão máxima de operação da linha, que vale 230 kV;

d_e é a distância de escoamento específica, que vale 3,2 cm/kV para poluição ligeira;

d_i é a distância de escoamento dos isoladores, que vale 32 cm;

Substituindo os valores na equação 1 temos o valor de 13,28, o que indica que devemos utilizar 14 isoladores por cadeia. Logo o peso próprio da cadeia de isoladores é 549,17 N.

Peso próprio do cabo condutor

O peso próprio do cabo condutor é calculado a partir da massa aproximada indicada na Tabela 1 multiplicado pelo comprimento do vão entre torres. Logo o peso próprio do cabo condutor é 3988,85 N.

Peso próprio do cabo para-raios

O peso próprio do cabo para-raios é calculado a partir da massa aproximada indicada na Tabela 2 multiplicado pelo comprimento do vão entre torres. Logo o peso próprio do cabo para-raios é 1995,5 N.

Carga estática equivalente devido à ruptura do cabo condutor

A força de tração no regime EDS corresponde a 20% da carga de ruptura do cabo condutor indicada na Tabela 1, chegamos ao valor de 14486,38 N. No entanto deve ser feita uma redução de 20% da carga EDS devido ao movimento da cadeia de isoladores no cabo condutor, esta redução vale 2897,28 N. Logo a carga estática equivalente devido à ruptura do cabo condutor é 11589,10 N.

Carga estática equivalente devido à ruptura do cabo para-raios

A força de tração no regime EDS corresponde a 20% da carga de ruptura do cabo para-raios indicada na Tabela 2. Logo a carga estática equivalente devido à ruptura do cabo para-raios é 13680 N.

Ação do vento segundo NBR 5422

Inicialmente é calculada a pressão dinâmica do vento (q_0) através da equação 2, a partir da qual podemos obter os esforços aplicados nos cabos, cadeia de isoladores e na estrutura.

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

Onde:

ρ é a massa específica do ar, em kg/m³;

V_p é a velocidade do vento de projeto, em m/s;

A massa específica do ar (ρ) pode ser calculada a partir da equação 3.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

$$\rho = \frac{1,293}{1 + 0,00367 \cdot t} \left(\frac{16000 + 64 \cdot t - ALT}{16000 + 64 \cdot t + ALT} \right) \quad (3)$$

Onde:

t é a temperatura coincidente, que vale 14,5 °C sendo a temperatura mínima anual para cidade de Ouro Branco, no estado de Minas Gerais;

ALT é a altitude média da região de implantação da linha, que vale 1263 m, obtida pelo perfil de elevação do terreno gerado pela ferramenta *Google Earth Pro*, ilustrada na Figura 2;

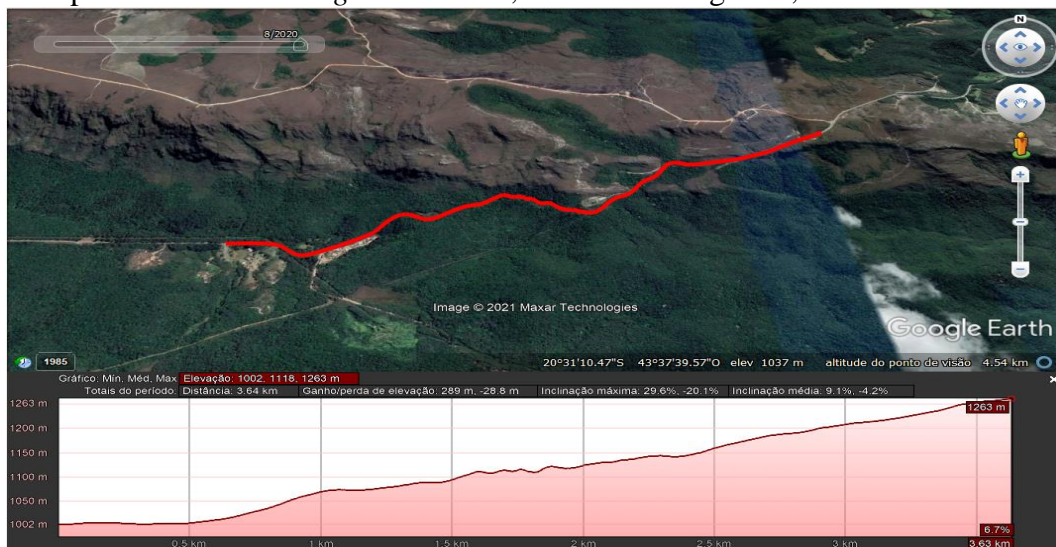


Figura 2 – Perfil de elevação do terreno

Substituindo os seguintes valores na equação 3 chegamos ao valor de 1,057 kg/m³ para massa específica do ar.

A velocidade do vento de projeto pode ser calculada a partir da equação 4.

$$V_p = K_r \cdot K_d \cdot \frac{H^{(1/n)}}{10} \cdot V_b \quad (4)$$

Onde:

K_r é o coeficiente de rugosidade do terreno, que vale 1,00;

K_d é o coeficiente de correção do período de integração, que vale 1,2 para os cabos e 1,4 para cadeia de isoladores e estrutura;

H é a altura do elemento em estudo sobre o nível do terreno, que vale 16 m para cabo condutor fixado no braço 1 da estrutura, 18 m para o cabo condutor fixado no braço 2 da estrutura, 20 m para o cabo condutor fixado no braço 3 da estrutura, 24 m para o cabo para-raios, a altura da cadeia de isoladores segue a dos cabos condutores;

n é o coeficiente de correção da velocidade do vento em função da altura H , que vale 11,0 para os cabos e 12,0 para cadeia de isoladores e estrutura;

V_b é a velocidade básica do vento, que vale 35 m/s para cidade de Ouro Branco, no estado de Minas Gerais; Substituindo os respectivos valores na equação 4 chegamos a 43,83 m/s para o cabo condutor peso ao braço 1; 44,31 m/s para o cabo condutor peso ao braço 2; 44,73 m/s para o cabo condutor peso ao braço 3; 45,48 m/s para o cabo para-raios, 50,96 m/s para cadeia de isoladores presa ao condutor do braço 1; 51,46 m/s para cadeia de isoladores presa ao condutor do braço 2 e 51,91 m/s para cadeia de isoladores presa ao condutor do braço 3.

Agora com os valores da massa específica do ar (ρ) e velocidade do vento de projeto (V_p), substituindo na equação 2, chegamos aos respectivos valores de pressão dinâmica do vento (q_0), 1015,30 N/m² para o cabo condutor peso ao braço 1; 1037,60 N/m² para o cabo condutor peso ao braço 2; 1057,40 N/m² para o cabo condutor peso ao braço 3; 1093,17 N/m² para o cabo para-raios, 1372,47 N/m² para cadeia de isoladores presa ao condutor do braço 1; 1399,54 N/m² para cadeia de isoladores presa ao condutor do braço 2 e 1424,12 N/m² para cadeia de isoladores presa ao condutor do braço 3.

Ação do vento nos cabos

Os esforços provocados pela ação do vento nos cabos são aplicados nos pontos de sua fixação na estrutura e podem ser obtidos com a equação 5.

$$A_c = q_0 \cdot C_{xc} \cdot \alpha \cdot d \cdot \frac{Z}{2} \cdot \text{sen}^2\theta \quad (5)$$

Onde:

q_0 é a pressão dinâmica do vento, calculado anteriormente;

C_{xc} é o coeficiente de arrasto, que vale 1,0;

α é o fator de efetividade, que vale 0,85;

d é o diâmetro do cabo, de acordo com valores apresentados na Tabela 1 e Tabela 2;

Z é o comprimento do vão considerado, que vale 500 metros;

θ é o ângulo de incidência do vento em relação à direção do vão, considerado 90° e 0°.

Substituindo os respectivos valores na equação 5 chegamos a ação do vento a 90° de 4289,05 N para o cabo condutor peso ao braço 1; 4383,51 N para o cabo condutor peso ao braço 2; 4467,03 N para o cabo condutor peso ao braço 3; 2211,48 N para o cabo para-raios. Para ação do vento a 0° os valores zeram.

Ação do vento nos isoladores

O esforço decorrente da ação do vento sobre os isoladores, aplicado nos seus pontos de fixação na estrutura pode ser calculado pela equação 6.

$$A_i = q_0 \cdot C_{xi} \cdot S_i \quad (6)$$

Onde:

q_0 é a pressão dinâmica do vento, calculado anteriormente;

C_{xi} é o coeficiente de arrasto, que vale 1,2;

S_i é a área da cadeia de isoladores, projetada ortogonalmente sobre o plano vertical, calculada a partir do diâmetro de um isolador fornecido na Tabela 3 e o número de isoladores que compõem a cadeia, chegamos ao valor de 0,71 m²;

Substituindo os respectivos valores na equação 6 chegamos aos valores de 1169,34 N para cadeia de isoladores fixada no cabo condutor peso ao braço 1; 1192,41 N para cadeia de isoladores fixada no cabo condutor peso ao braço 2 e 1213,35 N para cadeia de isoladores fixada no cabo condutor peso ao braço 3.

Ação do vento na estrutura da torre

A ação do vento em um suporte é feita decompondo o mesmo em painéis de comprimento inferior a 10 metros e aplicando a carga nos centros de gravidade. A velocidade do vento deve ser corrigida em função da altura do painel considerado. Para suportes metálicos treliçados de seção transversal retangular, a ação pode ser calculada pela equação 7.

$$A_t = q_0 \cdot (1 + 0,2 \cdot \text{sen}^2 2\theta) (S_{t1} \cdot C_{xt1} \cdot \text{sen}^2\theta + S_{t2} \cdot C_{xt2} \cdot \text{cos}^2\theta) \quad (7)$$

Onde:

q_0 é a pressão dinâmica do vento, calculada de acordo com a equação 2, que tem embutido os resultados da equação 3 e equação 4, sendo que nesta o valor de H que é a altura do elemento em estudo sobre o nível do terreno, tem que ser corrigido de acordo com a divisão dos painéis;

C_{xt1} , C_{xt2} é o coeficiente de arrasto próprio das faces 1 e 2, com valor adotado de 2,0;

θ é o ângulo de incidência do vento, sendo analisado a 90° e 0° ;

S_{t1} , S_{t2} é a área líquida total de uma face projetada ortogonalmente sobre plano vertical situado na direção das faces 1 e 2, ela é obtida pela multiplicação da largura do perfil pelo comprimento da barra;

Após análise dos perfis do pré-dimensionamento foram adotados os perfis L152x152x25,4, L127x127x9,5, L102x102x7,9 e L76x76x7,9 para as montantes principais; L152x152x25,4, L127x127x11,1, L76x76x7,9 e L64x64x4,8 para barras horizontais; L76x76x12,7, L76x76,4,8 e L51x51x3,2 para barras diagonais.

O valor da pressão dinâmica, da área líquida e ação do vento para os respectivos painéis são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Ação do vento na estrutura

Painel	H (m)	q_0 (N/m ²)	S_t (m ²)	Ac (N)
Perna	4	1089,32	19,09	41590,24
Tronco 1	8	1222,74	11,583	28325,99
Tronco 2	12	1308,07	10,163	26587,83
Tronco 3	16	1372,47	7,712	21168,98
Tronco 4	18	1399,54	3,773	10560,93
Tronco 5	20	1424,12	3,573	10176,76
Tronco 6	22	1447,26	4,403	12744,57
Para-raios	24	1468,35	1,383	4061,46
Braço 1	16	1372,47	1,496	4106,43
Braço 2	18	1399,54	1,496	4187,42
Braço 3	20	1424,12	1,496	4260,97

O valor da ação do vento no suporte foi dividido por dois e aplicados em suas respectivas alturas nas extremidades das barras do painel.

Combinações de cargas

Foram seguidas as recomendações da NBR8800 (ABNT 2008) para adotar as combinações assim como seus coeficientes de ponderação.

A simbologia e descrição das cargas utilizadas estão apresentadas na Tabela 5

Tabela 5 – Cargas e fatores de ponderação

Simbologia	Descrição	Fator de ponderação última normal	Fator de ponderação excepcional	Ψ_0
FG1	Peso próprio da estrutura	1,25	1,10	-
FG2	Peso próprio do condutor IBIS no braço 1	1,50	1,30	-
FG3	Peso próprio do condutor IBIS no braço 2	1,50	1,30	-



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 5 – Continuação cargas e fatores de ponderação

Simbologia	Descrição	Fator de ponderação ultima normal	Fator de ponderação excepcional	Ψ_0
FG4	Peso próprio do condutor IBIS no braço 3	1,50	1,30	
FG5	Peso próprio do para-raios EHS	1,50	1,30	-
FG6	Peso próprio da cadeia de isoladores	1,50	1,30	-
FQ1	Sobrecarga de tração devido a ruptura do condutor IBIS no braço 2	-	1,00	-
FQ2	Sobrecarga de tração devido a ruptura do para-raios EHS	-	1,00	-
FQv90	Ação do vento na estrutura a 90°	1,40	1,00	0,60
FQv0	Ação do vento na estrutura a 0°	1,40	1,00	0,60
FQv2	Ação do vento no cabo condutor IBIS no braço 1	1,40	1,00	0,60
FQv3	Ação do vento no cabo condutor IBIS no braço 2	1,40	1,00	0,60
FQv4	Ação do vento no cabo condutor IBIS no braço 3	1,40	1,00	0,60
FQv5	Ação do vento no cabo para-raios EHS	1,40	1,00	0,60
FQv6	Ação do vento na cadeia de isoladores	1,40	1,00	0,60

Hipótese 1 - Peso próprio da estrutura

Esta hipótese é adotada como uma combinação ultima normal, expressa abaixo:

$$\text{CombUN01} = 1,25 \text{ FG1} + 1,5 (\text{FG2} + \text{FG3} + \text{FG4} + \text{FG5} + \text{FG6})$$

Hipótese 2 - Condições normais de operação

Esta hipótese é adotada como uma combinação ultima normal, expressas abaixo:

$$\text{CombUN02} = 1,25 \text{ FG1} + 1,5 (\text{FG2} + \text{FG3} + \text{FG4} + \text{FG5} + \text{FG6}) + 1,4 (\text{FQv90} + \text{FQv2} + \text{FQv3} + \text{FQv4} + \text{FQv5} + \text{FQv6})$$

$$\text{CombUN03} = 1,25 \text{ FG1} + 1,5 (\text{FG2} + \text{FG3} + \text{FG4} + \text{FG5} + \text{FG6}) + 1,4 \text{ FQv0}$$



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Hipótese 3 – Ruptura do cabo para-raios

Esta hipótese é adotada como uma combinação excepcional, o peso próprio do cabo para-raios é reduzido em 50% e não se aplicou ação de vento nele, elas são expressas abaixo:

CombUEXC01 = 1,1 FG1 + 0,65 FG5 + 1,3 (FG2 + FG3 + FG4 + FG6) + 1 FQ2 + 0,6 (FQv90 + FQv2 + FQv3 + FQv4 + FQv6)

CombUEXC02 = 1,1 FG1 + 0,65 FG5 + 1,3 (FG2 + FG3 + FG4 + FG6) + 1 FQ2 + 0,6 FQv0

Hipótese 4 – Ruptura do cabo condutor

Esta hipótese é adotada como uma combinação excepcional, o peso próprio do cabo condutor preso ao braço 2 da estrutura é reduzido em 50% e não se aplicou ação de vento nele, elas são expressas abaixo:

CombUEXC03 = 1,1 FG1 + 0,65 FG3 + 1,3 (FG2 + FG4 + FG5 + FG6) + 1 FQ1 + 0,6 (FQv90 + FQv2 + FQv4 + FQv5 + FQv6)

CombUEXC04 = 1,1 FG1 + 0,65 FG3 + 1,3 (FG2 + FG4 + FG5 + FG6) + 1 FQ1 + 0,6 FQv0

Dimensionamento

O dimensionamento obtido pela análise estrutural no software SAP 2000, que é feito buscando a seção mais econômica, têm os esforços demonstrados na Tabela 6. Este dimensionamento deve ser verificado aplicando a metodologia dos estados limite, de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008).

Tabela 6 - Solicitação das barras

Grupo	ID da Barra	Perfil	Esforço Normal Pu (kN)	Momento Mu33 (kN.m)	Momento Mu22 (kN.m)	Cortante Vu22 (kN)
Perna	128	L 152x152x25,4	-497,811	-7,179	-1,166	-7,39
Montante Perna	135	L 152x152x25,4	-11,694	19,130	0	0,0002295
Diagonal Perna	112	L 51x51x3,2	22,522	0,106	0	0,002
Tronco 1	16	L 152x152x25,4	-405,417	-4,360	2,751	4,049
Montante Tronco 1	11	L 127x127x11,1	-112,766	-2,454	0,057	3,649
Contraventamento Tronco 1	332	L 76x76x12,7	81,106	-2,32	1,122	2,673
Tronco 2	28	L 152x152x25,4	-292,136	-3,53	2,096	3,811
Montante Tronco 2	26	L 152x152x25,4	-84,752	-14,622	0,069	-14,429
Contraventamento Tronco 2	300	L 76x76x12,7	65,402	-1,412	0,728	2,042
Tronco 3	40	L 152x152x25,4	-206,381	-3,461	1,895	3,814
Montante Tronco 3	38	L 127x127x11,1	-55,802	-2,561	0,203	-3,698
Contraventamento Tronco 3	331	L 76x76x12,7	59,473	0,256	-0,992	-0,365
Tronco 4	58	L 127x127x9,5	-148,271	-1,746	3,375	-1,595
Montante Tronco 4	44	L 76x76x7,9	-67,365	-0,285	0,036	0,795
Contraventamento Tronco 4	96	L 76x76x4,8	76,119	0,201	0,023	-0,045
Tronco 5	64	L 102x102x7,9	-83,449	0,267	1,419	0,236
Montante Tronco 5	93	L 76x76x7,9	-44,607	-0,402	0,01	-0,897
Contraventamento Tronco 5	228	L 76x76x4,8	61,297	0,204	0,002	-0,024
Tronco 6	76	L 76x76x7,9	-37,647	-0,263	0,422	-0,23
Montante Tronco 6	103	L 76x76x7,9	-30,095	-0,468	0,148	-0,963



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 6 - Continuação solicitação das barras

Grupo	ID da Barra	Perfil	Esforço Normal Pu (kN)	Momento Mu33 (kN.m)	Momento Mu22 (kN.m)	Cortante Vu22 (kN)
Contraventamento Tronco 6	265	L 76x76x4,8	29,661	-0,194	-0,038	-0,398
Para-raios	206	L 76x76x7,9	-9,732	-0,252	0,424	-0,553
Montante Para-raios	214	L 64x64x4,8	-0,795	0,049	0	-0,0003199
Diagonal Para-raios	217	L 51x51x3,2	-0,236	0,078	0	0,0001512
Braço 1	178	L 76x76x7,9	-13,057	-0,628	-0,017	1,186
Montante Braço 1	139	L 64x64x4,8	-0,108	0,049	0	0
Diagonal Braço 1	142	L 51x51x3,2	-3,696	0,078	0	0,003
Braço 2	188	L 76x76x7,9	-0,501	-0,961	0,0003	-1,623
Montante Braço 2	145	L 64x64x4,8	-0,072	0,049	0	-0,00001443
Diagonal Braço 2	148	L 51x51x3,2	-3,732	0,078	0	0,0004744
Braço 3	197	L 76x76x7,9	-12,101	-0,475	0,241	-0,999
Montante Braço 3	151	L 64x64x4,8	-0,04	0,049	0	0,00002262
Diagonal Braço 3	210	L 51x51x3,2	-3,651	0,078	0	0,002

Conclusão

Este artigo teve como objetivo a análise estrutural de um suporte de linha de transmissão de energia, a partir da observação da atuação do clima e variação do terreno onde o mesmo será instalado. Foram detalhados os parâmetros necessários para obtenção dos esforços que solicitam a estrutura, e os procedimentos para verificação do dimensionamento da mesma.

A utilização do software SAP 2000 é indispensável para execução dos cálculos uma vez que permiti a realização de análises mais complexas, como as análises não lineares, de forma ágil. Uma vez que as ações e combinações são configuradas, o software permite que infinitas configurações de perfis sejam feitas no suporte, que posteriormente de forma rápida é feita a análise estrutural, permitindo que seja encontrado o perfil mais viável estruturalmente e economicamente para o projeto, auxiliando desta forma na padronização.

Para finalidade acadêmica foram adotadas algumas simplificações, como a análise estática, uma vez que as ações provocadas pelo vento e a ruptura de cabos são dinâmicas. Análise isolada de um suporte, mesmo que a linha de transmissão tenha vários suportes que atuam em conjunto em sua extensão, sujeitos a outra variação de clima e terreno.



Referência Bibliográfica

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5422: Projeto de linhas aéreas de linhas de transmissão de energia elétrica. Rio de Janeiro, 1985.

__. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BELGO BEKART ARAMES S.A. Fios e cordoalhas de aço zincado para eletrificação e telefonia. São Paulo, 2020.

FUCHS, R. D.; Transmissão de Energia Elétrica – Linhas Aéreas. v1. 1 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1977.

KAMINSKI Jr.; Incertezas de Modelos na análise de torres de metálicas treliçadas de linha de transmissão. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, RS, 2007.

LABEGALINI, P. R.; LABEGALINI, J. A.; FUCHS, R. D.; ALMEIDA, M. T. Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1992.

NEXANS BRASIL S.A. Cabos de alumínio nu com alma de aço – CAA. São Paulo, 2021.

TEXPI S.A. Catálogo de isoladores de vidro de suspensão. Paraná, 2021.