

Avaliação Experimental dos Coeficientes de Arrasto em uma Torre Treliçada de Suspensão

M. M. Rocha; A. M. Loredou-Souza; L. I. Rippel; G. J. Z. Núñez; E. A. Carpegianni, UFRGS
A. O. Silva; J. C. P. Medeiros, FURNAS

Resumo - Este trabalho apresenta os resultados das medições das forças de arrasto aerodinâmico sobre modelos reduzidos dos módulos de uma estrutura de suspensão utilizada por FURNAS Centrais Elétricas. Estas medições foram realizadas no túnel de vento do Laboratório de Aerodinâmica das Construções da UFRGS, dentro de um projeto de P&D, que tinha dois objetivos principais:

- verificar a aplicabilidade dos critérios para cálculo das cargas de vento sobre estruturas, constantes das normas utilizadas no projeto de linhas de transmissão;

- estabelecer coeficientes de arrasto compatíveis com as geometrias das diversas partes das torres utilizadas em LT's, como subsídio para a revisão da norma ABNT NBR 5422/1985.

Neste sentido, descrevem-se aqui as técnicas de medição utilizadas, bem como resultados para diferentes direções de incidência do vento sobre segmentos da torre. Estes resultados indicam limitações importantes na fórmula de interpolação da Norma IEC 60826/1991, utilizada para a determinação de forças de arrasto em direções não ortogonais às faces da torre.

Palavras-chave - Ação do Vento, Linhas de Transmissão, Modelos, Torres Treliçadas, Túnel de Vento.

I. INTRODUÇÃO

Estruturas treliçadas submetidas à ação do vento têm sido utilizadas de forma rotineira em aplicações da engenharia estrutural há mais de um século. Entretanto, o conhecimento dos efeitos do vento sobre este tipo de estrutura é, ainda hoje, imperfeito e as prescrições das normas a respeito destes efeitos são, em muitos casos, mutuamente inconsistentes e em desacordo com dados experimentais [1]. Para o caso particular de estruturas para linhas de transmissão, podemos acrescentar que as normas existentes não são, em princípio, aplicáveis à maior parte das geometrias utilizadas nas suas diversas partes.

Neste trabalho são apresentados os resultados das medições das forças de arrasto aerodinâmico sobre modelos reduzidos dos módulos de uma estrutura de suspensão utilizada por FURNAS Centrais Elétricas. Estas forças medidas experimentalmente, podem ser utilizadas para a determinação de coeficientes de arrasto conforme a definição adotada para a área de exposição.

No trabalho são verificadas as forças de arrasto para diferentes direções de incidência do vento sobre segmentos da torre. Estes resultados indicam limitações importantes na fórmula de interpolação da norma IEC 60826, utilizada para a determinação de forças de arrasto em direções oblíquas às faces da torre. Esta fórmula utiliza os coeficientes de arrasto determinados com o vento incidindo perpendicularmente a cada uma das faces, conduzindo a resultados inconsistentes quando o segmento analisado tem seção com lados de dimensões diferentes.

II. FORÇAS EXERCIDAS PELO VENTO SOBRE ESTRUTURAS TRELIÇADAS

O método de cálculo da ação do vento em torres treliçadas previsto em normas [1,5,6], consiste na determinação das forças totais do vento em módulos da estrutura utilizando coeficientes de força aplicáveis a estas configurações específicas.

Um conceito fundamental para a análise aerodinâmica de estruturas treliçadas é o de índice de área exposta, ϕ , definido como a razão entre a área frontal efetiva do reticulado, A_e , e a área frontal da superfície limitada pelo contorno do reticulado, A , conforme indicado na (1).

$$\phi = \frac{A_e}{A} \quad (1)$$

onde as áreas frontais, são as áreas de todos os membros do reticulado projetadas em um plano perpendicular à direção do vento incidente (área de sombra) [5].

Os coeficientes de força dos módulos das torres são determinados através de ensaios em túnel de vento nos quais são colocados modelos seccionais das torres e medidas as forças através de uma balança instalada na base dos módulos. A força total medida na direção do vento é chamada de força de arrasto, F_a . A partir da força de arrasto é calculado o coeficiente de arrasto definido pela (2).

$$C_a = \frac{F_a}{q A_e} \quad (2)$$

onde F_a é a força de arrasto média (em N); $q = \frac{1}{2} \rho V^2$ é a pressão dinâmica (em N/m²) correspondente à velocidade média de referência; ρ é a massa específica (em kg/m³) do ar; V é a velocidade média (em m/s) de referência do vento ao nível da altura média do trecho reticulado e A_e é a área (em m²) efetiva de referência.

O coeficiente de arrasto é, então, associado com o correspondente índice de área exposta do módulo testado, tornan-

Este trabalho de P&D foi financiado por FURNAS Centrais Elétricas.

M. M. Rocha; A. M. Loredou-Souza; L. I. Rippel; G. J. Z. Núñez; E. A. Carpegianni. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (e-mail: lac@ufrgs.br).

A. O. Silva; J. C. P. Medeiros FURNAS Centrais Elétricas (e-mail: afoonsoos@furnas.com.br).

do-se adequado para fins de codificação, conforme ilustrado na figura 1 [7]. O processo automaticamente inclui efeitos de proteção causados pelos elementos frontais sobre outros elementos porventura localizados em suas esteiras.

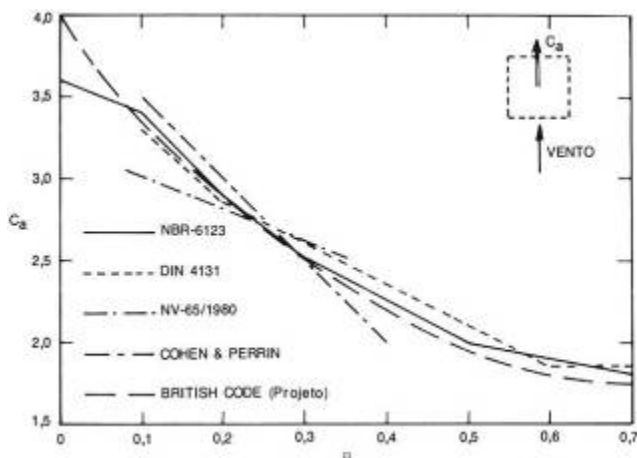


Figura 1. Coeficiente de arrasto em torres reticuladas de seção quadrada.

As torres utilizadas em LT's são constituídas por cantoneiras com arestas vivas e por isso são pouco sensíveis ao número de *Reynolds*, Re , definido pela (3), o qual influencia a forma do escoamento e, conseqüentemente, a distribuição de pressões e a força exercida sobre o sólido imerso no escoamento:

$$Re = \frac{Vl}{\nu} \quad (3)$$

sendo, V a velocidade do vento (em m/s), l uma dimensão (em m) característica e ν a viscosidade cinemática do ar (em m^2/s), a qual pode ser considerada aproximadamente constante para pequenas variações de temperatura. Então, para uma determinada dimensão característica, l , Re é diretamente proporcional à velocidade. Assim, em princípio, os coeficientes de arrasto podem ser considerados independentes da velocidade do vento.

III. MEDIÇÃO DAS FORÇAS DE ARRASTO

A. Modelo da Estrutura

A partir dos desenhos de projeto, foram confeccionados diversos modelos reduzidos de trechos da torre autoportante A33 (para 345 kV). Os módulos selecionados para a confecção dos modelos foram escolhidos como sendo representativos da formação da torre citada, procurando seguir a recomendação da NBR 5422 e IEC 60826 de dividir a torre em troncos com altura máxima de 10 m, sendo que alguns destes módulos foram ensaiados em distintas escalas para verificação de eventuais efeitos do número de *Reynolds*. Assim, conforme ilustrado na figura 3, foram constituídos três grupos de modelos, correspondentes às partes principais da torre:

- tronco comum e extensões;
- cabeça da torre e suas partes componentes (delta, viga, mísulas e pára-raios);
- pernas.

Os modelos foram confeccionados em madeira com escalas variando de 1:17 a 1:11, em função das dimensões dos módulos. A título de ilustração, a figura 3 mostra o modelo da cabeça da Torre A33, instalado no túnel de vento.

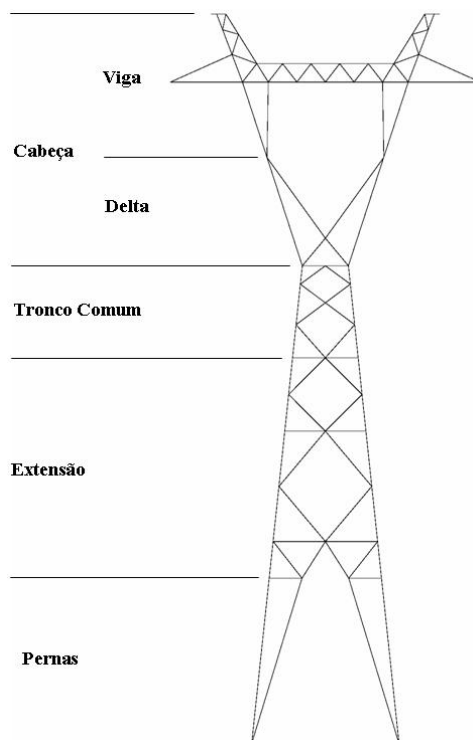


Figura 2. Módulos da torre, para as medições em túnel de vento.

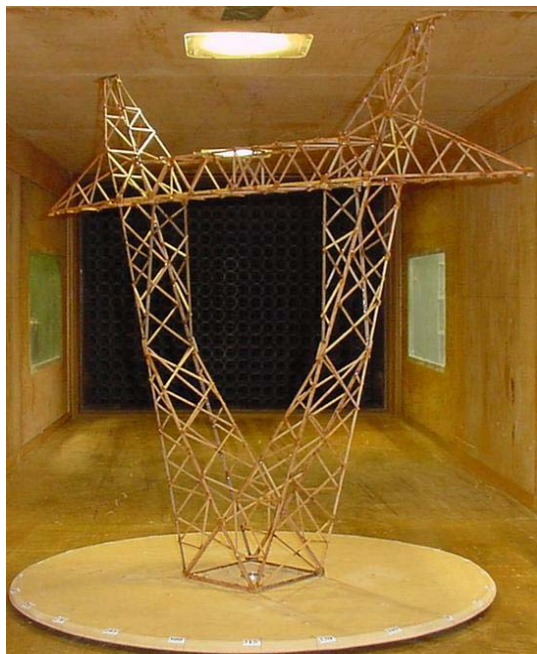


Figura 3. Modelo referente ao trecho da cabeça da Torre A33.

B. Túnel de Vento

Os ensaios foram realizados no Túnel de Vento Prof. *Joaquim Blessmann* do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), mostrado na figura 4 [2,3]. Trata-se de um túnel de vento de camada limite de retorno fechado, projetado especificamente para ensaios estáticos e dinâmicos de modelos de construções civis.

Este túnel permite a simulação das principais características de ventos naturais. Apresenta a relação “comprimento/altura” da câmara de ensaios superior a 10, sendo que a velocidade máxima do escoamento de ar nesta câmara, com vento uniforme e sem modelos, é de 42 m/s (150 km/h). A simulação correta das principais características do vento natural em túneis de vento é requisito básico para aplicações em Engenharia Civil [4], sem a qual os resultados obtidos podem se afastar consideravelmente da realidade.



Figura 4. Vista do Túnel de Vento Prof. *Joaquim Blessmann*.

C. Balança de Força

Para a determinação da força de arrasto aerodinâmico sobre os modelos das torres foi confeccionada uma balança de força unidirecional, ilustrada na figura 5, sobre a qual se acoplou a mesa de ensaios com os modelos instalados. A balança é constituída de duas placas rígidas horizontais, unidas por lâminas verticais de aço inox temperado. A placa inferior é rigidamente acoplada a um tripé fixo sobre o piso das instalações do túnel de vento, enquanto a placa superior é acoplada à mesa de ensaios (base dos modelos), deslocando-se conjuntamente com os modelos no sentido do escoamento, na proporção da força de arrasto aerodinâmico atuante.



Figura 5. Detalhe da balança de medições de forças de arrasto.

As lâminas verticais tiveram sua flexibilidade criteriosamente escolhida, de forma que o deslocamento da placa superior tivesse uma magnitude adequada à sensibilidade dos extensômetros elétricos sem, contudo, incorrer em não-linearidades físicas ou geométricas. Nesse sentido, a fim de se reduzir ao máximo a sensibilidade da balança a esforços transversais, procedeu-se a soldagem das lâminas flexíveis verticais da balança nas placas rígidas horizontais de modo a proporcionar uma maior rigidez ao conjunto da balança.

A balança é criteriosamente calibrada sob uma carga vertical igual ao peso do modelo a ser ensaiado, de forma a minimizar a influência (já pequena) de efeitos tipo *P-Delta* sobre as hastes flexíveis instrumentadas.

D. Medidas das Forças de Arrasto

Foram feitos registros de força de arrasto média para diferentes valores de velocidade do escoamento, de forma a se verificar uma eventual influência do número de *Reynolds* (Re). Os ensaios foram realizados com vento incidindo a 0° , 45° e 90° para os módulos da Torre A33, de acordo com a convenção indicada na figura 6.

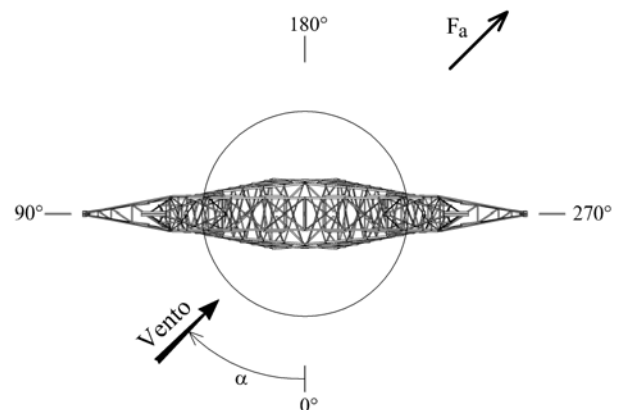


Figura 6. Referência para ângulo de incidência do vento.

IV. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para evitar inicialmente uma discussão sobre a definição mais conveniente para a área efetiva, definição esta que repercute no valor atribuído aos coeficientes de arrasto, serão utilizados os valores medidos experimentalmente para o produto *coeficiente de arrasto* \times *área*, que denominaremos a partir daqui de *área de fictícia*, A_F , definida conforme a (4).

$$A_F = \frac{2F}{\rho V^2} \times E^2 \quad (4)$$

onde F é a força (em N) medida experimentalmente; ρ é a massa específica do ar; V é a velocidade do escoamento durante a medição; e E é o inverso da escala do modelo, de tal forma que A_F (em m^2) é uma grandeza definida já para a escala do protótipo. A nomenclatura atribuída às diversas partes ensaiadas já foi definida na figura 2.

A partir dos resultados obtidos com a (1), elaborou-se o quadro resumo apresentado na Tabela I. Nesta tabela estão apresentados os resultados para a cabeça da torre inteira e também subdividida em duas partes (delta e viga). Além

disso, estão apresentados os resultados para o trecho do delta estudada em duas escalas de modelagem, 1:17 e 1:8.

Com os valores de *áreas fictícias*, apresentados na Tabela I, procedeu-se a um ajuste por mínimos quadrados, para cada módulo, do coeficiente k da fórmula da IEC 60826, devidamente adaptada, mostrada na (5), para cada :

$$A_F(\alpha) = (I + k \cdot \sin^2 2\alpha) \cdot (A_{F1} \cos^2 \alpha + A_{F2} \sin^2 \alpha) \quad (5)$$

onde α é o ângulo de incidência do escoamento e A_{F1} e A_{F2} são as *áreas fictícias* para os ângulos de incidência de 0° e 90° , respectivamente, sendo que as letras B e S se referem às forças medidas a barlavento e a sotavento na balança, estando os resultados apresentados na Tabela II. Na fórmula original da IEC o parâmetro k é fixo e igual a 0,20, mas os resultados mostram que o valor de k depende da geometria de cada módulo.

TABELA I
VALORES DAS ÁREAS FICTÍCIAS

Trecho	α (°)	Arrasto		Longitudinal		Transversal	
		A _{F-B}	A _{F-S}	A _{F-B}	A _{F-S}	A _{F-B}	A _{F-S}
		(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)
TC (1:11)	0	8,15	-	-	-	-	-
	45	9,05	-	-	-	-	-
	90	8,15	-	-	-	-	-
Viga (1:17)	0	25,33	25,34	-	-	-	-
	45	27,23	27,25	21,53	21,70	17,70	18,80
	90	16,40	16,53	-	-	-	-
Delta (1:17)	0	7,71	7,79	-	-	-	-
	45	10,04	10,10	7,01	7,14	6,71	6,97
	90	7,56	7,56	-	-	-	-
Cabeça (1:17)	0	16,90	16,95	-	-	-	-
	45	16,59	16,69	12,82	13,34	9,90	10,00
	90	8,39	8,55	-	-	-	-
Delta (1:8)	0	8,72	8,75	-	-	-	-
	45	10,15	10,19	7,27	7,42	7,13	7,33
	90	8,07	8,00	-	-	-	-
Extens. (1:15)	0	24,69	24,77	-	-	-	-
	45	27,58	27,76	19,01	19,47	-	-
	90	24,69	24,77	-	-	-	-
Pernas (1:13)	0	16,74	16,87	-	-	-	-
	45	19,32	19,14	13,48	13,57	-	-
	90	16,74	16,87	-	-	-	-

Observa-se dos resultados do ajuste que existe uma boa concordância entre as áreas fictícias calculadas para a cabeça da torre e para as suas sub-partes (delta e viga). Já as medições feitas para a parte do delta em duas escalas diferentes apresentam diferenças da ordem de 6 e 10%.

Embora não esteja explícito no texto da IEC que explica a (5), pode-se presumir que a força aerodinâmica que atua perpendicularmente as duas faces de barlavento podem ser obtidas multiplicando o valor total, $A_F(\alpha)$, por $\cos(\alpha)$ e $\sin(\alpha)$, respectivamente, o que resulta em:

$$A_{F1}(\alpha) = (I + k \cdot \sin^2 2\alpha) \cdot A_{F1} \cos \alpha \quad (6)$$

$$A_{F2}(\alpha) = (I + k \cdot \sin^2 2\alpha) \cdot A_{F2} \sin \alpha \quad (7)$$

TABELA II
AJUSTE DA FÓRMULA DA IEC 60826

Trecho	α (°)	k	A _{F1} (m ²)	A _{F2} (m ²)
TC (1:11)	0/90	0,11	8,15	8,15
	45			
Viga (1:17)	0/90	0,33	25,3	16,5
	45			
Delta (1:17)	0/90	0,30	7,75	7,56
	45			
Cabeça (1:17)	0/90	0,30	16,9	8,47
	45			
Delta (1:8)	0/90	0,22	8,73	8,04
	45			
Extensão (1:15)	0/90	0,11	24,7	24,7
	45			
Pernas (1:13)	0/90	0,14	16,8	16,8
	45			

TABELA III
RESÍDUOS DO AJUSTE

Trecho	α (°)	Arrasto		Longitudinal		Transversal	
		A _{F-B}	A _{F-S}	A _{F-B}	A _{F-S}	A _{F-B}	A _{F-S}
		(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)
TC (1:11)	0	0,00	-	-	-	-	-
	45	0,00	-	-	-	-	-
	90	0,00	-	-	-	-	-
Viga (1:17)	0	0,03	0,04	-	-	-	-
	45	-0,57	-0,55	-2,26	-2,09	2,18	3,28
	90	-0,10	0,03	-	-	-	-
Delta (1:17)	0	-0,04	0,04	-	-	-	-
	45	0,09	0,15	-0,11	0,02	-0,41	-0,15
	90	0,00	0,00	-	-	-	-
Cabeça (1:17)	0	0,00	0,05	-	-	-	-
	45	0,10	0,20	-2,72	-2,20	2,11	2,21
	90	-0,08	0,08	-	-	-	-
Delta (1:8)	0	-0,01	0,02	-	-	-	-
	45	-0,08	-0,04	-0,26	-0,11	0,19	0,39
	90	0,03	-0,04	-	-	-	-
Extens. (1:15)	0	-0,01	0,07	-	-	-	-
	45	0,16	0,34	-0,38	0,08	-	-
	90	-0,01	0,07	-	-	-	-
Pernas (1:13)	0	-0,06	0,07	-	-	-	-
	45	0,17	-0,01	-0,06	0,03	-	-
	90	-0,06	0,07	-	-	-	-

A Tabela III apresenta os resíduos do cálculo do arrasto total feito através da equação (5) da IEC, e também do cálculo de componentes deste arrasto, feito com as equações acima (6) e (7). Estes resíduos são, em geral, pequenos, com exceção do caso em que se calculam as componentes do arrasto para os segmentos da torre que apresentam faces de largura muito diferentes. Isso indica uma importante limitação na fórmula da IEC 60826.

V. APLICAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ARRASTO MEDIDOS

Utilizando-se as medições de arrasto em túnel de vento, faz-se a seguir uma comparação com um cálculo teórico baseado em coeficientes de arrasto e definições de áreas de referência provenientes de normas técnicas. Nos exemplos que se seguem, é feito uso de uma memória de cálculo das forças aerodinâmicas sobre a torre estudada, fornecida por FURNAS, que será adiante referida apenas como "MC".

Como as forças de arrasto obtidas experimentalmente devem ser atribuídas ao centro de gravidade das respectivas partes da torre, será necessário transportá-las para os níveis de aplicação de carga utilizados na memória de cálculo. Para isso utilizou-se um critério de igualdade de momentos, que conduz a um sistema de equações cuja solução são os valores de força nos pontos desejados. O critério do método é simples: dado um conjunto de m forças conhecidas, F_i , atuando horizontalmente sobre m níveis conhecidos, H_j , obtém-se um novo conjunto de n forças (incógnitas), f_i , atuando horizontalmente sobre n níveis pré-estabelecidos, h_i , resolvendo-se o sistema de equações (8) e (9), tem-se que:

$$\sum_{i=1}^n f_i (h_i - h_k) = \sum_{j=1}^m F_j (H_j - h_k), \quad \text{para } k=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

e também,

$$\sum_{i=1}^n f_i = \sum_{j=1}^m F_j \quad (9)$$

A memória de cálculo a ser verificada considera dois perfis de pressão. O primeiro é referente ao que se denomina de "ventos extremos":

$$p(z) = 77,8z^{0,16} \quad (10)$$

onde a pressão, $p(z)$, é dada em kgf/m^2 para uma altura, z , em metros. O segundo perfil é referente a "tormentas elétricas":

$$p(z) = \text{constante} = 208,3 \text{ kgf/m}^2 \quad (11)$$

Os níveis de referência utilizados na memória de cálculo estão ilustrados na figura 7. A Tabela IV apresenta as alturas referentes aos centros de gravidade dos módulos ensaiados em túnel de vento e dos níveis de referência utilizados na memória de cálculo.

As forças aerodinâmicas calculadas a partir dos resultados do túnel de vento são apresentadas nas Tabelas V a IX, em comparação com as respectivas forças fornecidas na memória de cálculo. As colunas denominadas "LAC 1" e "LAC 2" correspondem às forças calculadas para os centros de gravidade dos módulos ensaiados e para as alturas de referência da memória, respectivamente.

Percebe-se nas Tabelas V a IX que as forças aerodinâmicas calculadas a partir dos arrastos medidos em túnel de vento apresentam eventualmente uma excelente concordância com as forças apresentadas na memória de cálculo, tanto em termos de força total como em termos de momento na base. Observa-se que a concordância é boa sempre que se considera o vento incidindo perpendicularmente a uma das faces da torre, e ruim quando se considera o sentido diagonal. Os resultados apresentados na memória se afastam dos valores experimentais principalmente no que se refere à

decomposição da força de arrasto segundo os eixos perpendiculares às faces da torre. Contudo, a soma vetorial dessas componentes apresenta uma concordância razoável com os valores experimentais.

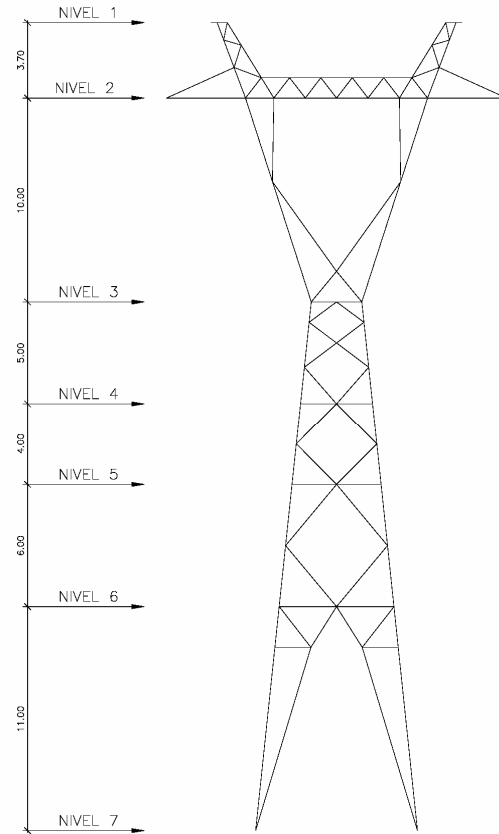


Figura 7. Níveis de referência definidos na memória de cálculo.

TABELA IV
ALTURAS DOS CENTROS DE GRAVIDADE DOS MÓDULOS ENSAIADOS NO TÚNEL DE VENTO, Z_G , PRESSÕES CALCULADAS PARA DOIS TIPOS DE VENTO, P_{EPS} (VENTOS EXTREMOS) E P_{TS} (TORMENTAS ELÉTRICAS), E ALTURAS DOS NÍVEIS DE REFERÊNCIA DA MC, Z .

Trecho	Z_G (m)	P_{EPS} (Pa)	P_{TS} (Pa)	Nível	Z (m)
Pernas (1:13)	5,24	995	2043	7	0,00
Extensão (1:15)	13,85	1162	2043	6	11,00
				5	17,00
TC (1:11)	23,37	1263	2043	4	21,00
Delta (1:17)	28,86	1307	2043	3	26,00
Viga (1:17)	35,83	1353	2043	2	36,00
				1	39,70

TABELA V

COMPARAÇÃO DE FORÇAS AERODINÂMICAS PARA A CONDIÇÃO "VENTO EXTREMO", COM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DE 90° (VENTO TRANSVERSAL)

Nível	Hipótese 1 – Vento 90°					
	LAC 1		LAC 2		Memória	
	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.
7	16716	0	15431	0	9977	0
6	28714	0	13175	0	19218	0
5			11939	0	10448	0
4	10301	0	11115	0	8505	0
3	9879	0	10094	0	14931	0
2	11458	0	8034	0	13312	0
1			7269	0	1707	0
Força Total (N)	77067	0	77058	0	78097	0
Momento na Base (N m)	1421644	0	1421574	0	1502821	0

TABELA VII

COMPARAÇÃO DE FORÇAS AERODINÂMICAS PARA A CONDIÇÃO "TORMENTA ELÉTRICA", COM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DE 90° (VENTO TRANSVERSAL)

Nível	Hipótese 3 – Vento 90°					
	LAC 1		LAC 2		Memória	
	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.
7	34335	0	29528	0	18207	0
6	50472	0	24231	0	34188	0
5			21347	0	17501	0
4	16657	0	19424	0	13714	0
3	15451	0	17020	0	22887	0
2	17305	0	12213	0	20012	0
1			10438	0	2531	0
Força Total (N)	134220	0	134201	0	129041	0
Momento na Base (N m)	2334183	0	2333925	0	2377567	0

TABELA VI

COMPARAÇÃO DE FORÇAS AERODINÂMICAS PARA A CONDIÇÃO "VENTO EXTREMO", COM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DE 45° (VENTO OBLÍQUO)

Nível	Hipótese 2 – Vento 45°					
	LAC 1		LAC 2		Memória	
	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.
7	13469	13469	12086	10791	8466	8466
6	22534	22534	10565	10713	16304	16304
5			9732	10663	8858	8858
4	8083	8083	9172	10634	7220	7220
3	9084	9310	8486	10595	11537	12066
2	10536	21023	7093	10526	13499	13950
1			6583	10497	3208	2217
Força Total (N)	63706	74419	63716	74419	69092	69082
Momento na Base (N m)	1211247	1593504	1211561	1593556	1394814	1385498

TABELA VIII

COMPARAÇÃO DE FORÇAS AERODINÂMICAS PARA A CONDIÇÃO "TORMENTA ELÉTRICA", COM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DE 45° (VENTO OBLÍQUO)

Nível	Hipótese 4 – Vento 45°					
	LAC 1		LAC 2		Memória	
	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.
7	27674	27674	23220	21268	15451	15451
6	39613	39613	19424	19649	29018	29018
5			17344	18767	14852	14852
4	13077	13077	15961	18168	11635	11635
3	14205	14558	14234	17432	17707	18521
2	15912	31745	10781	15961	20228	20895
1			9506	15421	4758	3286
Força Total (N)	110480	126667	110470	126667	113649	113659
Momento na Base (N m)	1979325	2556826	1979288	2556765	2193501	2180268

TABELA IX

COMPARAÇÃO DE FORÇAS AERODINÂMICAS PARA A CONDIÇÃO "TORMENTA ELÉTRICA", COM ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DE 0° (VENTO LONGITUDINAL)

Nível	Hipótese 5 – Vento 0°					
	LAC 1		LAC 2		Memória	
	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.
7	0	34335	0	27399	0	18207
6	0	50472	0	24476	0	34188
5			0	22887	0	17501
4	0	16657	0	21827	0	13714
3	0	15833	0	20503	0	18669
2	0	34531	0	17854	0	28538
1			0	16873	0	6004
Força Total (N)	0	151829	0	151820	0	138821
Momento na Base (N m)	0	2962445	0	2962375	0	2774694

VI. CONCLUSÕES

Apresentou-se neste trabalho uma descrição dos estudos experimentais em modelo reduzido sobre as forças aerodinâmicas nos módulos de uma estrutura de suspensão utilizada por FURNAS Centrais Elétricas. Estas forças podem ser utilizadas para a determinação de coeficientes de arrasto conforme a definição adotada para a área de exposição.

Como aplicação dos resultados obtidos, procedeu-se a uma verificação da fórmula de interpolação proposta pelo IEC 60826/91, a qual fornece as forças aerodinâmicas causadas pelo vento incidindo obliquamente às faces da torre.

Observou-se que a referida fórmula conduz a resultados satisfatórios para seções com lados não muito diferentes, e desde que se escolha corretamente um coeficiente de ajuste, aqui denominado k . Na fórmula original este coeficiente tem valor fixo igual a 0,20.

Contudo, quando o segmento da torre tem seção transversal com lados muito diferentes, a fórmula produz valores de forças corretos apenas quanto à sua resultante, divergindo dos resultados experimentais quanto à decomposição em componentes ortogonais.

É importante ressaltar que os módulos da torre com seções transversais mais distorcidas estão situados via de regra na parte superior da torre. Conseqüentemente, as diferenças em termos de momento fletor na base são particularmente agravadas.

Finalmente, também são apresentadas neste trabalho comparações entre forças e momentos resultantes na base, produzidos a partir de coeficientes de arrasto obtidos de gráficos normalizados, com resultantes estimadas a partir dos resultados experimentais sobre modelos reduzidos. Pelo que foi concluído quanto à aplicabilidade da fórmula do IEC, os resultados obtidos por normas erram, contra a segurança, para ângulos de incidência do vento oblíquos à face, enquanto que, para incidências ortogonais a qualquer uma das

faces da torre, observou-se uma boa correlação.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *NBR 6123 Forças Devidas ao Vento em Edificações*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.
- [2] J. Blessmann, "The Boundary Layer Wind Tunnel of UFRGS," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, pp. 231-248, 1982.
- [3] J. Blessmann, *Aerodinâmica das Construções*, Porto Alegre, Ed. Sagra, 2° ed., 1990.
- [4] A. G. Davenport and N. Isyumov, "The Application of The Boundary Layer Wind Tunnel to the Prediction of Wind Loading," in *Proc. 1967 Proceedings of the International Research Seminar: Wind Effects on Buildings and Structures*, pp. 201-230.
- [5] *NBR 5422 Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988.
- [6] *IEC 60826 Design Criteria of Overhead Transmission Lines*, Internacional Eleetrotechnical Comission, 1991.
- [7] J. Blessmann, *Tópicos de Normas de Vento*, Porto Alegre, Ed. da Universidade / UFRGS, 1990.