

8 Referências bibliográficas

- [1] AMADOR, S.D.R., DE SOUZA, R.M., VELOSO, L.A.C, R.M., AGUILERA, J.R.F., **Full-Scale Experimental Modal Analysis of an Overhead Transmission Line Tower Crossing Guamá River In The Amazon Region**. The Thirteenth International Congress on Sound and Vibration; 2006, Austria.
- [2] AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION – **LOAD AND RESITANCE FACTOR DESIGN. AISC – LRFD: Manual of Steel Construction**. Chicago, 1993.
- [3] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERING – ASCE 10, **Design of Latticed Steel Transmission Structures**, 1997.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças Devidas ao Vento em Edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5422: Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 1985.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15307: Ensaios Não Destrutivos – Provas de Cargas Dinâmicas em Grandes Estruturas** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- [7] BATTISTA, R.C., RODRIGUÊS R.S, PFEIL M.S. **Dynamic Behavior and Stability of Transmission Line Towers Under Wind Forces**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91, pp. 1051-1067, 2003.
- [8] BLESSMANN, J., **Introdução ao Estudo das Ações Dinâmicas do Vento**. 2.Ed. Porto Alegre. Editora da UF RGS, 2005.

- [9] BLESSMANN, J., **Acidentes Causados pelo Vento**. 4.Ed. Porto Alegre. Editora da UF RGS, 2001.
- [10] BENEVELI, S.M.A., **Controle híbrido para atenuação de vibrações em edifícios**. Pontifícia Universidade Católica, Tese de doutorado, 2002,
- [11] CLOUGH, R. W., PENZIEN J., **Dynamics of structures**, McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, Singapore, 1986
- [12] CHANG, C.C., **Tornado Wind Effects on Buildings and Structures with Laboratory Simulation. Proceedings**, 3rd International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, pp. 213-240, 1971.
- [13] DAGHER, H.J, LU, Q., PEYROT, A.H, F. **Reliability of Transmission Structures Including Nonlinear Effect**. Journal of Structure Engineering;, Pages 966-973. August, 1998.
- [14] DA SILVA, J.G.S, DA S. VELLASCO, P.C.G., DE ANDRADE S.A.L., DE OLIVEIRA, M.I.R. **Structural assesment of current steel design models for transmission line and telecommunication towers**, Journal of Constructional Steel Research, 2005.
- [15] DAVENPORT, A.G., **How Can We Simplify and Generalize Wind Loads**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 54/55 pp. 657-669, 1995.
- [16] DAVENPORT, A.G., **The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading on Structures**. Proceedings, The Institution of Civil Engineers, 19, pp. 449-472, 1961.
- [17] DE OLIVEIRA, R.N.; SILVA, E.D.M.; DE SOUZA, R.M.; DA ROSA, J.P.N.; AMADOR, S.D.R.; **A Ação do Vento Sobre Torres de Linhas de Transmissão**; Simpósio Internacional de Iniciação Científica; São Paulo, (2005)
- [18] DE CROYLAAN, W. **System Identification and Damage Detection in Civil Engineering**. Thesis, Katholieke Universiteit Leuven; Belgium, December 2000.

- [19] De LIMA, A.M.G, RADE, D.A., **Estudo Analítico e Experimental de um Absorvedor Dinâmico de Vibrações Pendulares**. Universidade Federal de Uberlândia. Relatório interno, 2001
- [20] DO ROSÁRIO, A. P. L.; SILVA, E.D.M; DE SOUZA, R.M.;NETO L.S.F.; **Análise dinâmica de torres de linhas de transmissão**; Simpósio Internacional de Iniciação Científica; São Paulo, 2005.
- [21] DUTTA, P.K., GHOSH, A.K., AGARWAL, B.L., **Dynamic Response of Structures Subjected to Tornado Loads by FEM**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90, pp. 55-69, 2002.
- [22] GABRIELLI, T.V, **Análise do Comportamento Estrutural de Torres de Transmissão Tubulares via Simulação Computacional**. Universidade Federal de Ouro Preto; Dissertação de Mestrado, Maio, 2004.
- [23] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC-826 **Loading and Strenght of Overhead Transmission Lines**. 1993.
- [24] JU, F., CHOO, Y.S., F. ASCE. **Dynamic Analysis of Tower Cranes**. Journal of Engineering Mechanics; January, Pages 88-96, 2005.
- [25] KANG, C.C.; LO, C.Y. **An Inverse Vibration Analysis of a Tower Subjected to Wind Drags on a Shaking Ground**. Applied Mathematical Modelling. 2001.
- [26] KNIGHT, G.M.S, SANTHAKUMAR, A.R. **Joints Effects on Behavior of Transmission Towers**. Journal of Structure Engineering; Pages 698-712.
- [27] LABEGALINI, P. R.; LABEGALINI, J.A.; FUCHS, R.D.;ALMEIDA, M.T. **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. 2 Edição, Edgard Blücher, São Paulo, 1992.
- [28] LOREDO-SOUZA, A.M, DAVENPORT, A.G. **The Influence of the Design Methodology in the Response of Transmission Towers to Wind Loading**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 91, pp. 995-1005, 2003.

- [29] LOREDO-SOUZA, A.M, DAVENPORT, A.G. **The Effects of High Wind on Transmission Lines.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 74-76, pp. 987-994, 1998.
- [30] MENIN, R. C. G. **Análise Estática e Dinâmica de Torres Metálicas Estaiadas.** Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado. 2002
- [31] ORLANDO, D. **Absorber Pendular para Controle de Vibrações de Torres Esbeltas.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Dissertação de mestrado, 2006.
- [32] PFEIL. W., **Estruturas de aço.** 2.Ed. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 508p. 1977.
- [33] PRZEMIENIECKI, J. S., **Theory of Matrix Structural Analysis,** Dover Publications, New York, 1968.
- [34] ROY, R. CRAIG, Jr. **Structural Dynamics an Introduction To computer Methods.** Editora John Wiley&sons, Pag.527. 1981.
- [35] SAVORY, E., PARKE, G.A.R., ZEINODDINI, M., TOY, N., DISNEY, P., 2001, **Modelling of Tornado and Microburst-Induced Wind Loading and Failure of a Lattice Transmission Tower.** Engineering Structures, 23, pp. 365-375.
- [36] SILVA, E.D.M; DO ROSÁRIO, A. P. L.; ROSA, M.B.C.; AMADOR, S.D.R.; VELOSO, L.A.C.M.; **Análise Numérica e Experimental de Tensões em Torres Autoportantes de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica;** Simpósio Internacional de Iniciação Científica; São Paulo, 2005.
- [37] SILVA, E.D.M.; ROSA, M.B.C. **Desenvolvimento de um pré-processador gráfico para geração de arquivos de entrada de dados do programa de análise estrutural OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation).** Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Usp; São Paulo, 2005.

- [38] SIMIU, E., SCANLAN, R.H. **Wind Effects on Structures.** Wiley Interscience, 589p. 1986.
- [39] WEN, Y.K.,1975, **Dynamic Tornadoic Wind Loads on Tall Buildings.** Journal of the Structural Division, pp. 169-185.

ANEXO A

Reproduzem-se algumas figuras e tabelas da NBR 6123, utilizadas para cálculo do carregamento do vento, no presente trabalho. É mantida a designação original.

- **Velocidade Básica do vento**

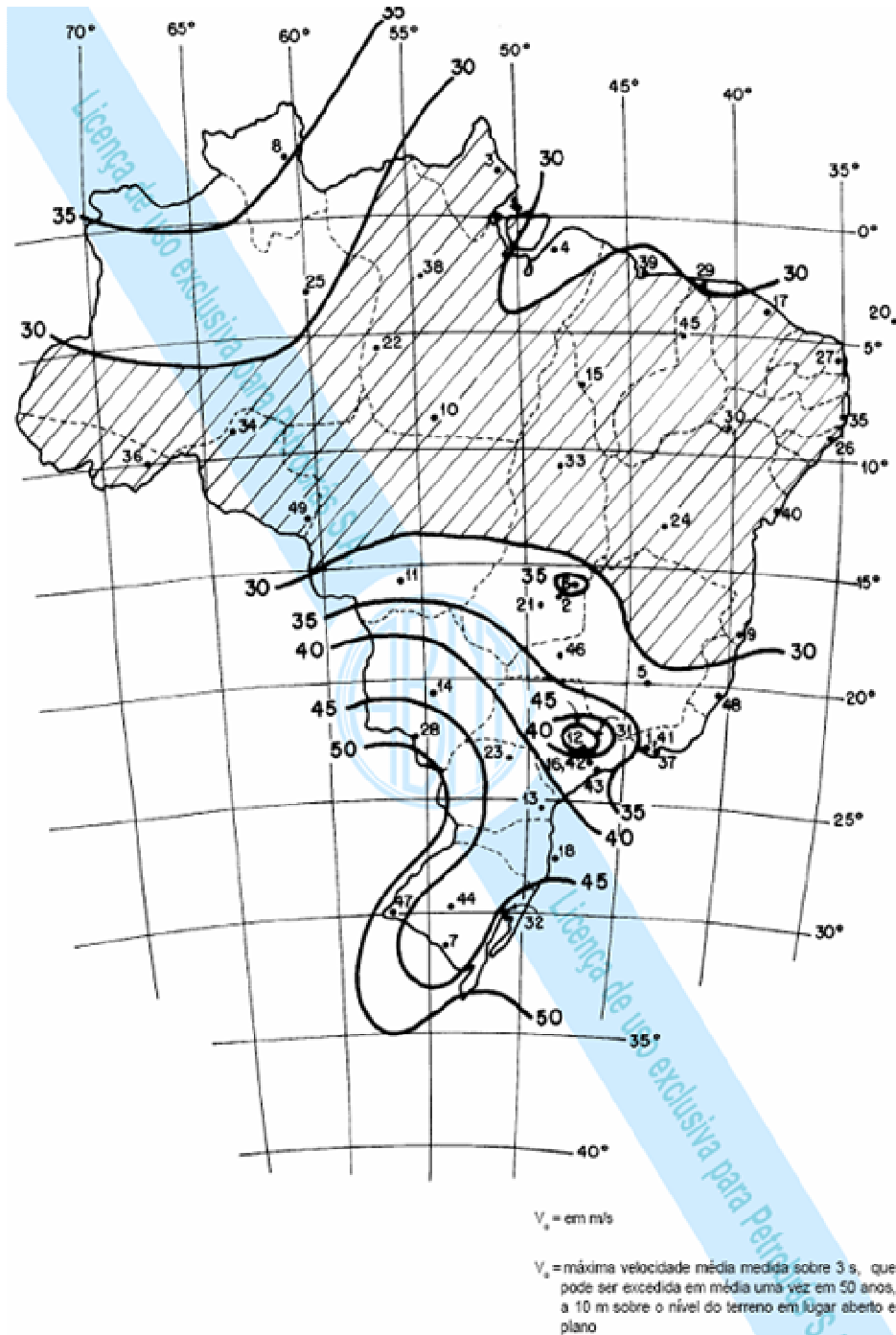


Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V_b (m/s)

- Fator topográfico**

Tabela 2 - Fator S_z

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
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
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	1,19	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
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

- Fator Estatístico**

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_e

Grupo	Descrição	S_e
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

- **Determinação do coeficiente de arrasto**

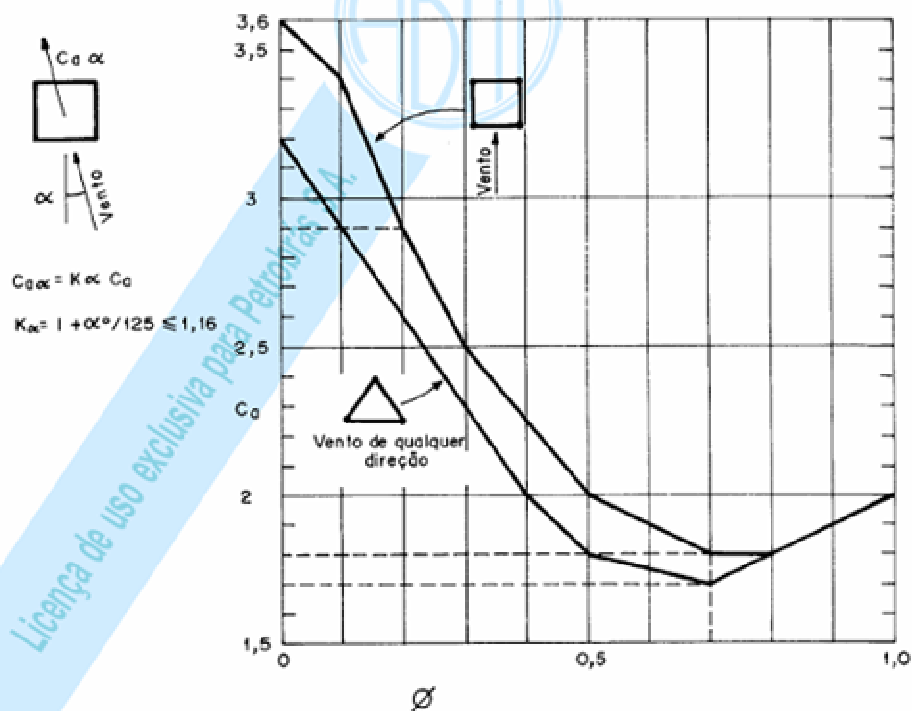


Figura 9 - Coeficiente de arrasto, C_d , para torres reticuladas de seção quadrada e triangular equilátera, formadas por barras prismáticas de cantos vivos ou levemente arredondados

Figura 10 - Coeficiente de arrasto, C_d , para torres reticuladas de seção quadrada, formadas por barras de seção circular - Vento incidindo perpendicularmente a duas faces paralelas

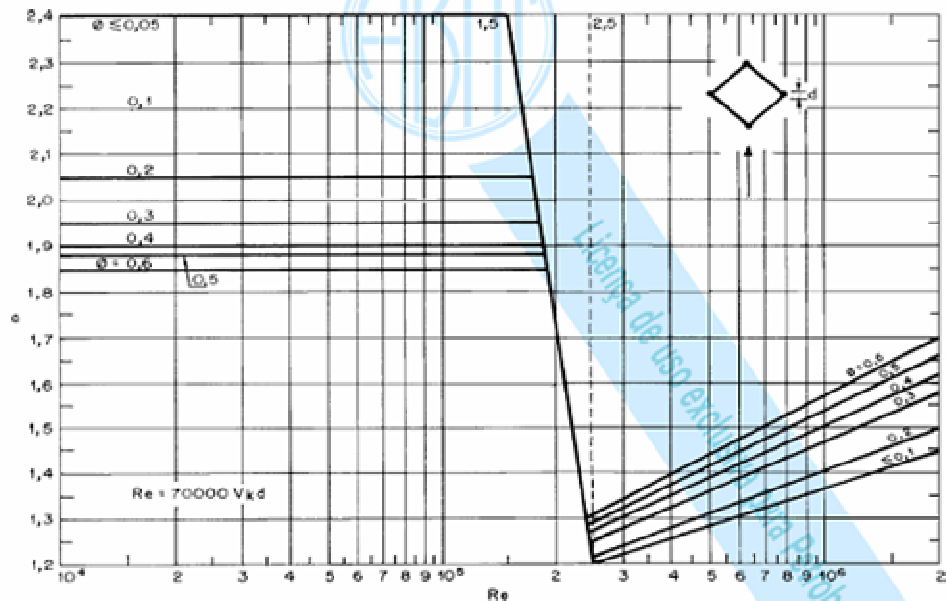


Figura 11 - Coeficiente de arrasto, C_d , para torres reticuladas de seção quadrada, formadas por barras de seção circular - Vento incidindo segundo uma diagonal

- **Determinação dos parâmetros para efeito dinâmico**

Tabela 19 - Parâmetros para a determinação de efeitos dinâmicos

Tipo de edificação	γ	ζ	$T_1 = 1 / f_1$
Edifícios com estrutura aporticada de concreto, sem cortinas	1,2	0,020	$0,05h + 0,015h$ (h em metros)
Edifícios com estrutura de concreto, com cortinas para a absorção de forças horizontais	1,6	0,015	$0,05h + 0,012h$
Torres e chaminés de concreto, seção variável	2,7	0,015	$0,02h$
Torres, mastros e chaminés de concreto, seção uniforme	1,7	0,010	$0,015h$
Edifícios com estrutura de aço soldada	1,2	0,010	$0,29 \sqrt{h} - 0,4$
Torres e chaminés de aço, seção uniforme	1,7	0,008	
Estruturas de madeira	--	0,030	

Tabela 20 - Expoente p e parâmetro b

Categoria de rugosidade	I	II	III	IV	V
p	0,095	0,15	0,185	0,23	0,31
b	1,23	1,00	0,86	0,71	0,50

ANEXO BTabela B1 – Cálculo das forças de arrasto na torre de TV, devido ao efeito dinâmico do vento na direção x , conforme a NBR 6123.

L (m)	z _r (m)	Velocidade		p	b	V _p	q _o	h	l _l	l _l /h	f (Hz)	V _p / (L.f)	ζ	ξ	F _H	x _{i_max}	
1800	10	5		1	0.15	3.795	8.83	192.00	20.00	0.104	0.35	0.005	0.010	0.76	1474	0.3172	
				Tabela 20										Tabela 19	Figura 15		
Módulo	z _i (m)	SAP	z _i /z _r	m _i (kg)	ψ _i (m _i /m ₀)	A _i (m ²)	C _a x A _i	x _i (módulo)	X _{med_i} (N)	(β _i) . (x _i)	ψ _i . (x _i) ²	X _{flut_i} (N)	X _{tot} (N)				
15	217	192	21.7	4101.25	0.006	1.371	4.39	1.000	410.37	2.3010	0.005685	8.38	418.75				
14	207	182	20.7	6201.07	0.009	1.709	5.30	0.938	450.93	2.6506	0.007560	11.88	462.81				
13	195	170	19.5	5725.92	0.008	1.285	4.50	0.864	339.71	2.1197	0.005927	10.11	349.82				
12	182	157	18.2	5669.64	0.008	1.21	4.30	0.785	282.63	1.8895	0.004848	9.10	291.73				
11	171	146	17.1	7410.25	0.010	1.34	4.76	0.720	276.31	1.9661	0.005323	10.90	287.20				
10	159	134	15.9	10543.26	0.015	1.567	5.56	0.649	279.36	2.1378	0.006165	13.99	293.35				
9	147	122	14.7	48734.64	0.068	2.38	5.95	0.580	255.40	2.1140	0.022750	57.78	313.18				
8	135	110	13.5	45305.43	0.063	2.061	5.15	0.513	186.53	1.6812	0.016496	47.44	233.97				
7	125	100	12.5	45948.41	0.064	2.135	5.34	0.457	165.66	1.6126	0.013309	42.91	208.57				
6	115	90	11.5	69968.70	0.097	3.393	8.48	0.403	222.84	2.3577	0.015739	57.58	280.42				
5	100	75	10	46981.90	0.065	2.215	5.54	0.324	110.00	1.3384	0.006823	31.07	141.06				
4	90	65	9	95858.78	0.133	4.327	10.82	0.273	174.05	2.3531	0.009874	53.38	227.44				
3	75	50	7.5	64927.15	0.090	3.184	7.96	0.199	88.94	1.4429	0.003563	26.39	115.33				
2	65	40	6.5	99936.78	0.139	5.313	13.28	0.152	111.47	2.0867	0.003210	31.08	142.55				
1	50	25	5	164116.03	0.227	7.884	19.71	0.087	97.88	2.3819	0.001706	29.04	126.92				
Σ=				721429.21	Σ=	41.374					30.4334	0.128979	3893.09				

Tabela B2 – Forças de arrasto devido ao vento nas antenas, efeito estático, conforme a NBR 6123.

Cota(SAP)	z (m)	A _{módulo}	Ca	S ₂	V _k (m/s)	q (N/m ²)	Fa (N)
182	207.65	4.16	1.6	1.05	5.78	20.44	136.07
176.65	201.65	4.16	1.6	1.05	5.78	20.44	136.07
170	195	4.16	1.6	1.04	5.72	20.06	133.50
162	187	7.68	1.6	1.04	5.72	20.06	246.45
157	182	7.68	1.6	1.03	5.66	19.67	241.74
152	177	7.68	1.6	1.03	5.66	19.67	241.74
146	171	7.68	1.6	1.02	5.61	19.29	237.06
140	165	2	1.6	1.015	5.58	19.10	61.13
134	159	4.5	1.6	1.01	5.56	18.92	136.19
128	153	4.5	1.6	1	5.5	18.54	133.51
110	135	1.86	1.6	0.985	5.42	17.99	53.50
105	130	1.65	1.6	0.98	5.39	17.81	47.02
100	125	2.19	1.6	0.975	5.36	17.63	61.85
95	120	3.04	1.6	0.97	5.335	17.45	84.84
90	115	0.56	1.6	0.965	5.31	17.27	15.53
85	110	3.25	1.6	0.96	5.28	17.09	88.87
80	105	4.52	1.6	0.95	5.22	16.74	121.11
75	100	0.51	1.6	0.94	5.17	16.38	13.40
70	95	2.85	1.6	0.93	5.11	16.04	73.01
65	90	3.12	1.6	0.92	5.06	15.70	78.35