

**COMITÊ DE ESTUDOS 22
LINHAS AÉREAS**

**DETERMINAÇÃO DAS CARGAS DE VENTO SEGUNDO METODOLOGIAS
DIVERSAS E SUAS INFLUÊNCIAS NO PROJETO ESTRUTURAL**

**Aureo Pinheiro Ruffier *
João Ignácio da Silva Filho**

**CEPEL
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**

Luiz Felipe Estrella Jr.

Fundação Padre Leonel Franca

Érico Fagundes Anice t Lisboa

**Érico Lisboa Pesquisa e
Desenvolvimento**

RESUMO

O objetivo do Trabalho Técnico (TT) é comparar as normas técnicas IEC 60826 [1] e ASCE 74 [2] quanto aos carregamentos de vento aplicados às linhas de transmissão de energia elétrica (LT's).

Além disso, o TT quantifica a variação de peso de estruturas de LT's quando se acrescentam outras hipóteses de vento àquelas normalmente praticadas ou recomendadas pelas normas. Hipóteses adicionais, tais como, o efeito de torção provocado pelo movimento ciclônico do vento ou pela ação plena de fortes rajadas ocasionadas por tempestades severas, podem aumentar de 5% a 10% o peso das estruturas, dependendo do vento básico de projeto.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de transmissão, velocidade do vento, dimensionamento estrutural, hipóteses de cálculo.

1.0 - INTRODUÇÃO

No dimensionamento das estruturas de LT's, os esforços decorrentes da pressão do vento sobre os componentes da LT (condutores, ferragens, isoladores, estrutura, etc.) são calculados utilizando-se fatores multiplicativos que consideram a intensidade da turbulência do vento e a resposta dinâmica dos componentes. Geralmente, esses fatores são definidos em normas técnicas nacionais e representam o consenso da atual prática de engenharia de um país.

Na IEC 60826, esses fatores são definidos como *fatores combinados do vento* e são considerados separadamente para cada tipo de componente da LT. Todos esses fatores, todavia, têm como referência a velocidade média de 10 minutos.

Em medições de velocidades de ventos fortes, realizadas em diversas regiões do território brasileiro,

têm-se encontrado fatores de rajada com valores superiores aos indicados na IEC 60826. Entenda-se como fator de rajada a relação entre as velocidades medidas com tempos de médias de 2 a 3 segundos e 10 minutos. Uma vez que o fator de rajada é um indicativo da intensidade de turbulência do vento, é questionável o uso dos fatores combinados do vento, tal como apresentados na IEC 60826, sem uma discussão aprofundada das diferenças entre as intensidades das turbulências dos ventos que ocorrem no Brasil e os que serviram de base para o desenvolvimento da IEC 60826. Um dos objetivos desse TT é promover essa discussão e, ainda, comparar os fatores combinados dos ventos propostos pela IEC 60826 com os da ASCE 74.

Dentre as fontes de ventos fortes no Brasil, as tempestades severas têm sido apontadas como uma das causadoras de quedas de estruturas de LT's, o que tem levado alguns projetistas a considerar os efeitos dessas tempestades como hipóteses de cálculo, além da metodologia sugerida pela IEC 60826. Essas hipóteses têm sido consideradas em recentes projetos de LT's, inclusive para empreendimentos implantados em regiões onde sabidamente não há registro histórico de queda de estruturas pela ação do vento.

Uma vez que as hipóteses adicionais atribuídas às ocorrências das tempestades severas podem levar a reforços na estrutura, o que aumenta o seu peso em aço e, conseqüentemente, o seu custo, o TT faz uma avaliação do aumento do peso de alguns padrões estruturais submetidos a regimes de vento que ocorrem no Brasil.

2.0 - ANÁLISE DAS NORMAS TÉCNICAS

Este item cuida da comparação entre as cargas de vento calculadas segundo as normas IEC 60826 e ASCE 74. Nas formulações apresentadas neste item,

as unidades estão no sistema internacional. Os valores dos coeficientes e dos fatores de cada formulação encontram-se em suas respectivas referências bibliográficas. Como essas normas têm diferenças de abordagem, a comparação deve ser feita com certa cautela. Inicialmente estabelece-se uma fórmula geral para todas elas e, a seguir, o coeficiente ϕ é individualizado para cada norma. A formulação geral se escreve:

$$P_{vt} = \frac{1}{2} \rho V_{10\text{min}}^2 \phi_t C_{xt} \tag{1}$$

$$P_{vc} = \frac{1}{2} \rho V_{10\text{min}}^2 \phi_c C_{xc} \tag{2}$$

para as pressões de vento sobre a torre e o cabo, respectivamente, onde:

- r - densidade do ar (1,225 kg/m³);
- $V_{10\text{min}}$ - velocidade média do vento de 10 minutos, terreno de categoria B e altura de 10 m;
- C_{xc} - coeficiente de arrasto do cabo;
- C_{xt} - coeficiente de arrasto da torre.

Os coeficientes de arrasto não foram considerados nesta comparação.

No caso da IEC60826, os coeficientes ϕ para vento sobre a torre e sobre o cabo são dados, respectivamente, por:

$$\phi_t^{IEC} = k_r^2 G_t^{IEC} \tag{3}$$

$$\phi_c^{IEC} = k_r^2 G_c^{IEC} G_L^{IEC} \tag{4}$$

onde,

- k_r - coeficiente de rugosidade do terreno;
- G_c^{IEC} - fator combinado de vento para cabo;
- G_t^{IEC} - fator combinado de vento para torre;
- G_L^{IEC} - fator de efetividade do vão de vento.

Os valores dos fatores combinados G_t e G_c são expressos através de curvas, em função da altura h sobre o solo e da categoria do terreno. Ajustaram-se modelos de correlação linear múltipla a essas curvas, expressos, genericamente, pela seguinte equação:

$$G^{IEC} = c_1 h + c_2 \ln(h) + c_3 \tag{5}$$

Os valores dos coeficientes encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes para obtenção de G_t^{IEC} e G_c^{IEC} .

terreno	G_t^{IEC}			G_c^{IEC}		
	c_1	c_2	c_3	c_1	c_2	c_3
A	3,44e-03	0,213	1,178	1,18e-03	0,249	1,146
B	1,61e-03	0,316	1,187	2,44e-03	0,305	1,122
C	5,54e-03	0,294	1,817	2,06e-03	0,442	1,018
D	1,59e-02	0,236	2,587	-1,55e-03	0,643	7,741

O fator de efetividade G_L^{IEC} , que varia com o comprimento do vão de vento (L), é expresso por uma curva, à qual foi ajustada a seguinte equação:

$$G_L^{IEC} = 1,067 - 3,57 \cdot 10^{-4} L + 1,19 \cdot 10^{-7} L^2 \tag{6}$$

A ASCE 74 define o coeficiente ϕ para a pressão de vento na torre e nos cabos, a uma altura h , respectivamente pelas fórmulas:

$$\phi_t^{ASCE} = z_v^2 G_t^{Dave} \tag{7}$$

$$\phi_c^{ASCE} = z_v^2 G_c^{Dave} \tag{8}$$

sendo:

$$z_v = 1,61 \left(\frac{h}{z_g} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \tag{9}$$

$$G_t^{Dave} = 1 + 2,7E\sqrt{B_t} \tag{10}$$

$$G_c^{Dave} = 1 + 2,7E\sqrt{B_c}$$

$$E = 4,9\sqrt{k} \left(\frac{10}{h} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \tag{11}$$

$$B_t = \frac{1}{1 + 0,375 H/L_S} \tag{12}$$

$$B_c = \frac{1}{1 + 0,8 L/L_S}$$

onde,

- α - coeficiente para correção da velocidade de vento com a altura h ;
- z_g - altura gradiente, a partir da qual a velocidade do vento é considerada constante;
- G_c^{Dave} - equação de Davenport que considera a resposta dinâmica do cabo na amplificação de esforços devido a rajada de vento;
- G_t^{Dave} - idem para a estrutura;
- κ - coeficiente de arrasto de superfície;
- L_S - escala de turbulência;
- H - altura total da torre;
- L - vão de vento.

Os coeficientes das equações da ASCE 74 dependem da rugosidade do terreno.

Existem algumas diferenças entre a ASCE 74 e a IEC60826 que devem, ainda, ser consideradas:

- A classificação do tipo de terreno da ASCE 74 é diferente da IEC60826. Numa primeira aproximação, a classificação dos terrenos tipo D, C e B pela ASCE 74 equivale à classificação A, B e C da IEC60826. Neste TT a classificação da rugosidade segue a nomenclatura da IEC 60828.
- A ASCE 74 considera um único painel de vento para o cálculo da carga de vento atuando diretamente na torre. A altura h , do ponto de aplicação da força resultante deste painel, é dois terços da altura total da torre, H . Para comparar as normas, neste TT foi considerado que H , altura da torre em (12), é 1,5 h .
- Na ASCE 74, o fator de efetividade do cabo está considerado implicitamente na equação de B_c , que depende do vão de vento L .

A comparação da pressão do vento no cabo entre as três normas só pode ser feita para um determinado valor de vão de vento conhecido por causa da consideração da efetividade da frente de vento ao longo do vão. Adotou-se, então, um vão de vento igual a 400m.

A Figura1 apresenta a variação do coeficiente ϕ para pressão de vento na torre com a altura h , para todas as categorias de terreno e para as duas normas em

questão. Do mesmo modo, a Figura 2 apresenta variação do coeficiente ϕ_c para pressão de vento no cabo com a altura h para um vão de vento igual a 400m. Ressalta-se que os coeficientes de arrasto não estão incluídos nesta comparação entre as normas.

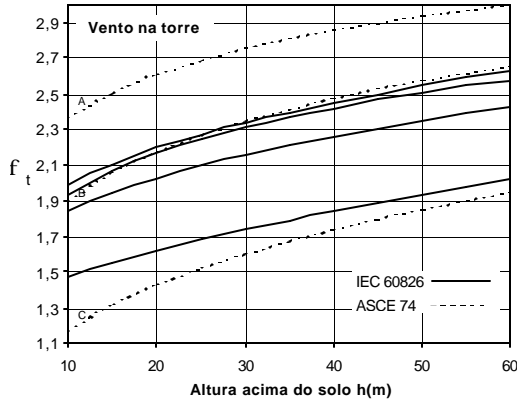


FIGURA 1 – Comparação dos coeficientes ϕ_t .

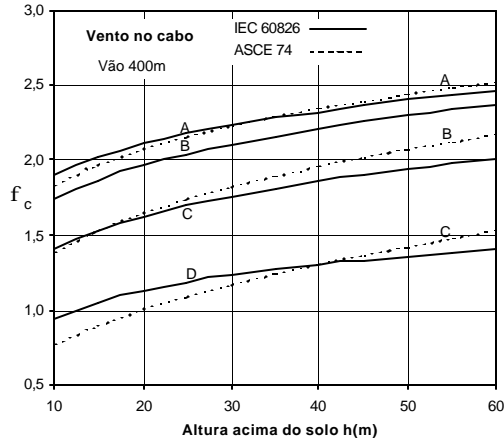


FIGURA 2 – Comparação dos coeficientes ϕ_c para vento no cabo com vão de vento igual a 400 m.

A Figura 1 mostra que a pressão de vento na torre para a IEC 60826, segundo as categorias de terreno A e B são muito próximas, havendo pouca diferença entre elas. No que tange a norma ASCE 74, a sua curva B é muito próxima das respectivas curvas da IEC 60826, ao passo que as curvas A e C destoam das mesmas. A curva A da ASCE 74 fornece pressões de vento na torre 17% mais elevadas que as outras, enquanto que a sua curva C fornece valores de pressão de vento inferiores, da ordem de 40%, às das outras normas.

Analogamente, a Figura 2 mostra uma comparação entre as normas para pressão de vento nos cabos. Novamente, observa-se uma boa proximidade entre as curvas A e B da IEC 60826. Comparando a ASCE 74 com a IEC 60826, nota-se que ambas são muito próximas para a curva A, enquanto que as curvas B e C da ASCE 74 resultam em pressões de vento nos cabos bem inferiores às da IEC 60826.

No caso de o projetista possuir a velocidade referida à outra base de tempo, a IEC 60826 fornece um ábaco para mudança da base de tempo da velocidade.

Uma vez que a excitação do vento é um carregamento dinâmico sobre a LT, a resposta dos diversos componentes é sensível ao tempo de integração da média da velocidade do vento. Como os diversos componentes de uma LT possuem características dinâmicas distintas, devido às diferenças de inércia e rigidez que apresentam, resulta a necessidade de se conhecerem as velocidades do vento referidas a diferentes tempos de integração da média que sejam compatíveis com o tempo da resposta dinâmica de cada componente.

Os fatores combinados para cálculo da carga de vento na torre e no cabo preconizados pela IEC 60826 já consideram implicitamente esta mudança do tempo de integração da média, característico de cada componente. O ábaco apresentado na IEC 60826 para conversão de base de tempo foi desenvolvido com base em medições de vento realizadas no hemisfério norte. A comparação dos valores do ábaco, com os obtidos nas medições anemográficas realizadas no país, apresenta discrepâncias [3]. Esse ábaco fornece o fator de 1,4 para mudança de base de tempo de 10 minutos para 3 segundos, em terreno de categoria B, enquanto que o tratamento estatístico de ventos fortes medidos no Brasil leva a valores entre 1,8 a 2,1 nas latitudes menores que 16° , e entre 1,5 a 1,9 nas demais [3]. Conseqüentemente, o uso da IEC 60826 deve ser feito com certa cautela, conforme pode ser visto a seguir.

Vamos tomar como exemplo um local com rugosidade do terreno B, onde as velocidades foram medidas com períodos de integração de 10 minutos e 3 segundos e que a relação entre essas velocidade é de $k_{Br}^{3s} = 1,9$.

Para um mesmo período de retorno, é bem provável que o vento de projeto prognosticado com as medições de 10 minutos seja menor que o prognosticado com as medições de 3 segundos, corrigidos para 10 minutos utilizando a IEC 60826. A velocidade de 10 minutos adotada pelo projetista, segundo a IEC 60826, seria igual a:

$$v_{10min}^{IEC} = \frac{v_{3s}}{1,4} = \frac{1,9 v_{10min}^{real}}{1,4} \quad (13)$$

onde v_{10min}^{real} é a velocidade de 10 minutos real da região em questão. A pressão de vento, segundo a IEC 60826, será então dada por:

$$p_v = \frac{1}{2} r (v_{10min}^{IEC})^2 G^{IEC} C_x \quad (14)$$

Substituindo a equação (13) na equação (14), obtém-se:

$$p_v = \frac{1}{2} r (v_{10min}^{real})^2 \left(\frac{1,9}{1,4}\right)^2 G^{IEC} C_x \quad (15)$$

o que sugere um valor de fator combinado adaptado para as condições brasileiras dado por:

$$G^{Br} = \left(\frac{k_{Br}^{3s}}{k_{IEC}^{3s}} \right)^2 G^{IEC} \quad (16)$$

Sendo assim, a equação a seguir forneceria a pressão de vento na sua forma final:

$$p_v = \frac{1}{2} \rho (v_{10min}^{real})^2 G^{Br} C_x \quad (17)$$

Dependendo do valor do fator de rajada os valores de G^{Br} podem ser consideravelmente superiores aos valores de G^{IEC} .

Como o assunto ainda se encontra em discussão, o uso das equações (16) e (17) ou dos valores de medições de 3 segundos deve ser tratado criteriosamente ao se adotar a IEC 60826.

3.0 - QUANTIFICAÇÃO DO VENTO

Para avaliar a mudança no peso total da estrutura ao considerar as duas hipóteses adicionais de cargas de ventos de tempestades severas, foram definidos valores máximos de velocidades compatíveis com medições realizadas no país.

Os valores adotados no estudo para a velocidade de 10 minutos foram de 80 km/h, 110 km/h e 130 km/h, que dependendo da região do Brasil têm períodos de retorno da ordem de 100 a 500 anos. Por exemplo, a velocidade de 80 km/h tem um período de retorno de 100 anos em alguns locais da região sudeste e de 500 anos no nordeste.

Com base em fatores de rajadas medidos em tempestades locais, as velocidades das rajadas nas tempestades severas devem variar entre 160 km/h a 230 km/h, da mesma forma dependendo da região do país. Uma vez que o objetivo do TT é uma análise de sensibilidade da variação do peso da estrutura com essas velocidades, o estudo considerou rajadas de até 260 km/h.

4.0 - AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

4.1 Estrutura analisada

A Figura 3 apresenta a silhueta da estrutura analisada neste TT, que possui as seguintes características: tensão de 500 kV CA, circuito simples, 4 condutores Grosbeak e pára-raios de 3/8 EHS. Os vãos de peso, de vento e básico considerados no dimensionamento estrutural foram de 400 m, 500 m e 450 m, respectivamente.

4.2 Hipóteses de carregamentos

Os carregamentos aplicados à estrutura podem ser agrupados em 3 categorias: de vento, de ruptura dos cabos e de construção e manutenção [4].

4.2.1 Carregamentos de vento

Três casos de carregamento foram considerados e são denominados de vento básico, vento torsional e vento de rajada plena.

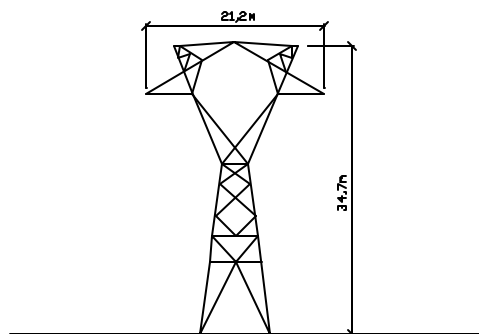


FIGURA 3 – Esquema da estrutura analisada.

As velocidades de vento têm como referências a altura de 10 metros e rugosidade do terreno compatível com a categoria B da IEC 60826. O vento básico tem um período de integração da média de 10 minutos e os outros dois são rajadas.

O carregamento de vento básico têm ângulos de ataque do vento de 0°, 45° e 90°, atuando sobre os cabos e a estrutura, calculado segundo a IEC 60826.

O efeito do vento torsional foi modelado por um binário de forças paralelas ao eixo longitudinal da LT, atuando diretamente na estrutura e resultando numa torção aplicada à torre, sem consideração de carga horizontal nos cabos.

O esforço do vento de rajada plena é provocado por rajadas localizadas, tendo uma pequena frente de atuação. Para esse tipo de vento adotaram-se as hipóteses e critérios descritos em [5], onde a frente de atuação do vento engloba a estrutura e 90 m dos cabos, com ângulos de ataque de 0°, 45° e 90°.

Nas duas últimas hipóteses, considerou-se que a velocidade de vento não varia com a altura sobre o solo. No caso específico do vento de rajada plena há ainda a consideração do fator de efetividade do cabo igual a 1,0.

4.2.2 Carregamentos de ruptura de cabos

Estes carregamentos têm como finalidade a prevenção do efeito de queda em cascata na LT e consideram o rompimento alternado dos cabos pára-raios e dos feixes de cabos condutores de cada fase. No rompimento, a carga longitudinal transmitida por cada condutor ou pára-raios é de 70% da sua tração EDS, que neste estudo é de 18% da tração de ruptura do cabo.

4.2.3 Carregamentos de construção e manutenção

Estes carregamentos agrupam, aqui, as hipóteses de construção e manutenção usualmente adotados em prática corrente de projeto de LT's.

4.3 Resultados do dimensionamento estrutural

Para consecução dos objetivos deste TT, a avaliação do acréscimo do peso da estrutura pelas hipóteses adicionais de carregamento de vento seguiu as seguintes etapas:

- Inicialmente, a estrutura foi dimensionada considerando o carregamento devido ao vento básico e os demais carregamentos que independem do vento. O carregamento do vento foi calculado segundo a EC 60826, para as velocidades de 80, 110 e 130 km/h.
- Essa estrutura foi redimensionada com a inclusão das outras duas hipóteses de carregamento do vento de tempestades severas, com velocidades variando entre 160 e 230 km/h.

Os pesos estruturais obtidos estão apresentados na Figura 4. Essa figura tem as seguintes notações, onde xxx é a velocidade do vento de 10 minutos:

- CMxxx - peso dos elementos dimensionados pelas hipóteses de construção e manutenção (kgf);
- Vxxx - peso dos elementos dimensionados pelas hipóteses de ventos (kgf);
- Rxxx - total de peso dimensionado pela hipótese de rompimentos dos cabos (kgf);
- Txxx - peso total da estrutura (kgf).

No eixo das abscissas, têm-se as velocidades dos ventos de tempestades severas. O valor 0 km/h corresponde ao projeto da torre somente com o vento básico (10 minutos).

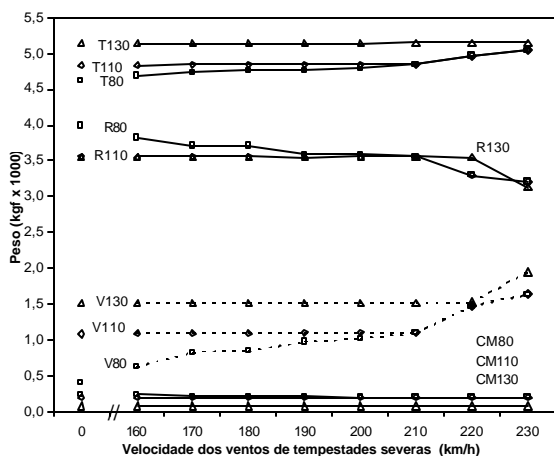


FIGURA 4 – Variação dos pesos estruturais em função dos ventos de tempestades severas.

Os resultados da Figura 4 permitem as seguintes observações quanto aos pesos dos elementos estruturais quando as hipóteses adicionais de carregamento são introduzidas, sempre em função da variação dos ventos de tempestades severas:

- Os pesos dos elementos dimensionados pelos carregamentos de construção e manutenção praticamente não se alteram.
- Os pesos dos elementos dimensionados pelas hipóteses de ruptura decaem com as velocidades de tempestades.
- O efeito inverso é observado no caso das hipóteses dos ventos de tempestades, propriamente dito.

Análises similares foram feitas para outros modelos estruturais, estando apresentados em [6]. Verificou-se

que, dependendo do tipo de estrutura, esse efeito de troca, nos elementos dimensionados por ruptura e ventos de tempestade, resulta em variações modestas no peso total da estrutura, sendo os maiores acréscimos relacionados às velocidades básicas mais baixas.

Para se obter uma melhor sensibilidade de cada efeito dos carregamentos adicionais do vento, foi efetuada uma análise, onde para cada vento básico foram desenvolvidos projetos considerando três hipóteses de carga atuando na estrutura:

- Apenas vento básico mais vento torsional.
- Apenas vento básico mais vento de rajada plena.
- Vento básico mais os dois ventos de tempestades severas.

Nessa análise estendeu-se a velocidade dos ventos de tempestades severas até 260 km/h.

A Figura 5 apresenta a variação do peso total da torre em função da velocidade dos ventos de tempestades severas, onde pode ser visto que:

- A hipótese associada ao vento torsional não tem efeito no dimensionamento desse padrão estrutural. Como consequência, a hipótese do vento de rajada plena leva ao mesmo resultado ao considerar conjuntamente as duas hipóteses adicionais do vento.
- Existe nitidamente uma velocidade limite para o vento de tempestades severas acima da qual a mesma passa a ser dominante no dimensionamento estrutural. Este limite é tão mais elevado quanto maior for a velocidade do vento básico de projeto.

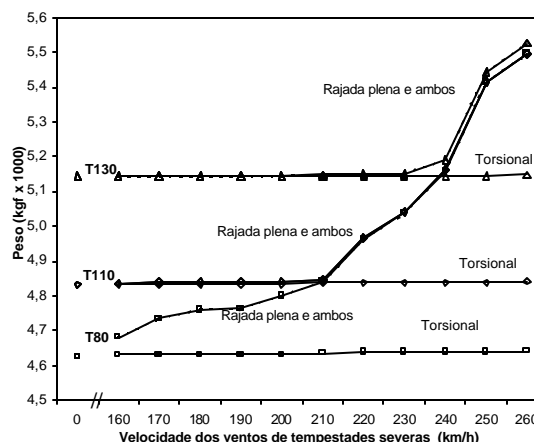


FIGURA 5 – Variação dos pesos estruturais de cada hipótese de carga em função da velocidade dos ventos torsional e de rajada plena para a torre.

Foram também efetuadas análises variando a frente de atuação do vento de rajada plena, de 90 m a 210 m de cabo.

Na Figura 6 são apresentados os resultados para o vento básico de projeto de 80 km/h, com frentes de atuação de 90 m, 120 m, 150 m, 180 m e 210 m. O crescimento não monotônico das curvas nesta figura,

deve-se à utilização de perfis metálicos padrões nos elementos estruturais, que ora apresentam-se com reserva de resistência, ora encontram-se no seu limite.

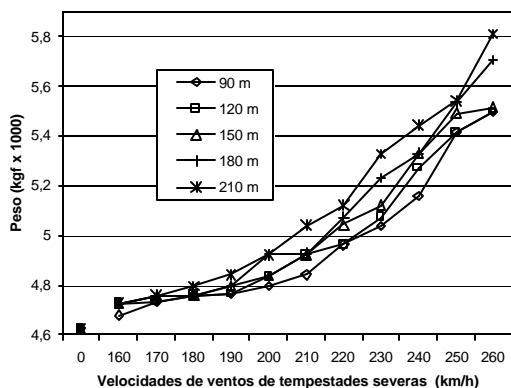


FIGURA 6 – Variação do peso da torre em função da velocidade dos ventos torsional e de rajada plena e da largura da frente da rajada plena para um vento base igual 80 km/h.

Na Figura 7 são apresentadas as curvas referentes a frentes de atuação de 90 m e 210 m para os ventos básicos de 80 km/h, 110 km/h e 130 km/h.

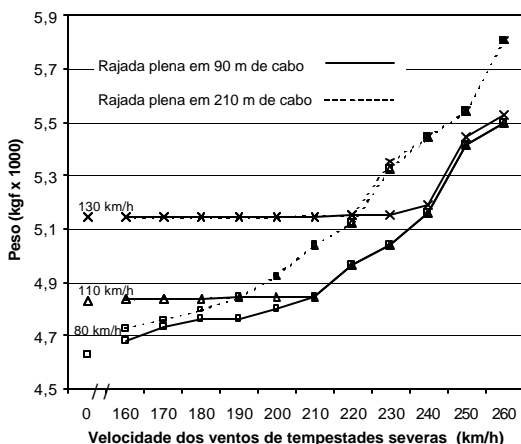


FIGURA 7 – Variação do peso da torre em função da velocidade dos ventos torsional e de rajada plena, dos valores extremos da largura da frente da rajada plena e de 3 velocidades de vento base, 80 km/h, 110 km/h e 130 km/h.

Novamente verifica-se a existência de uma velocidade limite, para o vento de tempestades severas, acima da qual, a mesma passa a ser dimensionante e este limite, conforme o esperado, é tão menor quanto maior for a extensão da frente de vento.

5.0 - CONCLUSÕES

Os carregamentos do vento atuando diretamente na estrutura calculados pelas normas IEC 60826, e ASCE 74 para terrenos com rugosidade equivalente a

locais abertos ou com poucos obstáculos são muito próximos. Para as demais categorias de terrenos existem discrepâncias acentuadas entre as normas.

No caso dos carregamentos nos cabos, a igualdade entre as normas IEC 60826 e ASCE 74 se dá para áreas planas e desobstruídas. Para os terrenos mais comuns ao longo de LT's, abertos com poucos obstáculos, a IEC 60826 conduz a um carregamento maior que a ASCE 74. O aumento é da ordem de 10% a 30%, dependendo da altura dos condutores.

Para o padrão estrutural e as hipóteses de carregamentos considerados no TT, os pesos dos elementos dimensionados pelas hipóteses de ruptura decaem com as velocidades de tempestades, enquanto que o inverso é observado com os carregamentos de ventos de tempestade severas propriamente ditos. No geral, dependendo do tipo de estrutura, esse efeito de troca, nos elementos dimensionados por ruptura e ventos de tempestade, resulta em variações modestas no peso total da estrutura, sendo os maiores acréscimos relacionados às velocidades básicas mais baixas. Os efeitos dos ventos de tempestades severas só começam a influenciar o peso total das estruturas quando o seu valor é duas vezes maior que o vento básico.

A hipótese associada ao vento torsional não tem efeito no dimensionamento do padrão estrutural analisado no TT. Como consequência, a hipótese do vento de rajada plena leva ao mesmo resultado ao considerar conjuntamente as duas hipóteses adicionais do vento.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] IEC – International Electro Technical Commission, "IEC 60826 - Design Criteria of Overhead Transmission Lines", Technical Committee n^o 11, Secretariats 27 & 28, Recommendations for Overhead Lines, 2000.

[2] ASCE – American Society of Civil Engineers, "ASCE 74 Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading", ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 1991.

[3] Silva Filho, J.I. et al., "Considerações Sobre o Vento no Projeto e Recapitação de Linhas de Transmissão", XVI SNPTEE, Campinas, Brasil, 2001.

[4] Ruffier, A.P. e Lisboa, E.F.A., "Critérios de Cálculo de Carregamentos para Torres de Linhas de Transmissão", Relatório Técnico CEPEL, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

[5] Silva, A.O. et al., "Reforço das Estruturas do Sistema de Transmissão em 765kV de Itaipu", International Seminar on Transmission Line Innovations, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

[6] Ruffier, A.P. et al., "Uma Avaliação da Influência do Método de Cálculo da Carga de Vento para o Dimensionamento de Estruturas de Linhas de Transmissão", trabalho proposto ao XVII SNPTEE, Uberlândia, Brasil, 2003.