



**GRUPO III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO – GLT**

**RESPOSTA DE ESTRUTURAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO A AÇÃO DO VENTO**

**Afonso de Oliveira e Silva\***  
**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

**Carlos Roberto Gontijo**  
**C.R.Gontijo Engenharia**

**Acir Mércio Loredo-Souza    Ruy Carlos Ramos de Menezes**  
**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**RESUMO**

Após tecer alguns comentários sobre os dados necessários para o cálculo da ação do vento sobre estruturas de linhas de transmissão e sobre as deficiências dos mesmos no Brasil, são apresentados os conceitos básicos do método do fator de resposta de rajada, de Davenport [1]. Em seguida, é apresentado de forma resumida e analisado o método de cálculo desenvolvido por Loredo-Souza [2,3] que utiliza o conceito de linhas de influência. Finalmente é apresentada uma aplicação deste método à uma estrutura autoportante de 750 kV, para suas alturas máxima e mínima, sendo os resultados comparados com os obtidos com a utilização da norma IEC 60 826 [4] e feita uma análise de sensibilidade com relação aos parâmetros que caracterizam a rugosidade do terreno.

**PALAVRAS-CHAVE**

Linhas de transmissão, estruturas; vento, linhas de influência

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A correta determinação da resposta das estruturas de uma linha de transmissão a ação do vento, depende do conhecimento de diversos fatores, nomeadamente:

- a) climatologia do vento – que permite estimar os ventos extremos que poderão afetar a linha de transmissão durante a sua vida útil, a partir de medições passadas;
- b) influência da topografia sobre o escoamento médio e sobre a turbulência;
- c) transformação das velocidades do vento em forças atuantes sobre a estrutura;
- d) determinação da resposta da estrutura à ação destas forças (cálculo das forças atuantes sobre seus componentes, momentos, deslocamentos).

Analisando friamente os requisitos acima podemos, concluir que ainda existe espaço para seu aperfeiçoamento, o que pode ser comprovado pelo fato que as estruturas das linhas de transmissão continuam a falhar sob a ação do vento, com frequência ainda discutível em algumas regiões.

No Brasil, nos últimos anos, o cálculo das forças exercidas pelo vento sobre os cabos e estruturas de LTs, , passou a ser feito de acordo com as recomendações da IEC 60826 [4]. Infelizmente, apesar do significativo avanço na metodologia introduzida por esses procedimentos, a origem dos coeficientes e fórmulas apresentados nesta norma não são de domínio público o que dificulta a sua aplicação em situações como as que ocorrem no Brasil.

Conforme será visto ao longo do presente IT, o cálculos das forças exercidas pelo vento sobre as estruturas é bastante sensível à turbulência do vento, que é caracterizada pela sua intensidade, espectro e distribuição espacial (lateral e vertical). Muito se tem escrito e falado sobre o fato que os ventos, no Brasil, têm maior turbulência que aqueles nos quais as normas em uso foram baseados. Entretanto, não existe um esforço concentrado em obter dados que melhor caracterizem a turbulência do vento nas diversas regiões do Brasil e para diferentes tipos de tormentas. Assim sendo, para este aspecto não vemos solução a curto ou médio prazo, ou até longo prazo, se nada for feito num prazo curto. Esta falta de dados, juntamente com a falta de conhecimento sobre os fundamentos da norma IEC 60826, tem acarretado dúvidas sobre a correção dos procedimentos atuais para cálculo das cargas de vento sobre os elementos de uma linha de transmissão.

Uma tese de doutorado e alguns trabalhos publicados recentemente [2,3] apontam para a possibilidade de aprimoramento dos métodos de cálculo destas forças utilizando o conceito de linhas de influência, de uso comum em vários ramos da engenharia civil. Este método é uma extensão dos trabalhos originais de Davenport [1] e que são empregados no guia 74 da ASCE [5] de forma simplificada.

## 2.0 O MÉTODO DO FATOR DE RESPOSTA DE RAJADA, DE DAVENPORT [1]

A Figura 1a mostra a forma típica de uma resposta, em função do tempo, de uma estrutura sob a ação de um vento turbulento. Esta resposta pode corresponder a uma ampla gama de ações estruturais, como forças resultantes, momentos, deslocamentos, etc. Nesta figura podemos destacar:

$\hat{r}$  - valor de pico;  $\bar{r}$  : resposta média,  $\tilde{r}$  : valor médio quadrático ou valor eficaz da resposta flutuante. Observamos que o valor médio quadrático corresponde ao desvio padrão das flutuações em torno da média. Para fins de cálculo, o valor de pico da resposta dinâmica pode ser expresso como:

$$\hat{r} = \bar{r} + g \cdot \tilde{r} \quad (1)$$

onde g é um fator estatístico.

A figura 1b mostra a forma típica do espectro da resposta flutuante, que mostra como a energia desta resposta é distribuída com a frequência. Uma característica do espectro é que a área correspondente a uma certa faixa de frequências corresponde ao quadrado do desvio padrão, ou variância, das flutuações em torno do valor médio, nesta faixa de frequências. Ou seja, o valor médio quadrático é a raiz quadrada desta área. Conforme pode ser visto nesta figura, a resposta flutuante pode ser dividida em duas componentes distintas:

- resposta quase-estática, cuja energia está distribuída em uma ampla banda na faixa de baixas frequências, tendo valor médio quadrático  $\tilde{r}_B$  ;
- resposta ressonante, que consiste em uma série de picos de energia centrados nas frequências naturais da estrutura, cada pico tendo valor médio quadrático  $\tilde{r}_{Rj}$  .

Por definição, a resposta quase-estática ocorre para frequências abaixo daquelas nas quais ocorrem ampliações significativas. Ela pode, portanto, ser tratada como uma ação quase-estática em resposta à cargas de vento que variam lentamente.

O valor médio quadrático total será então:

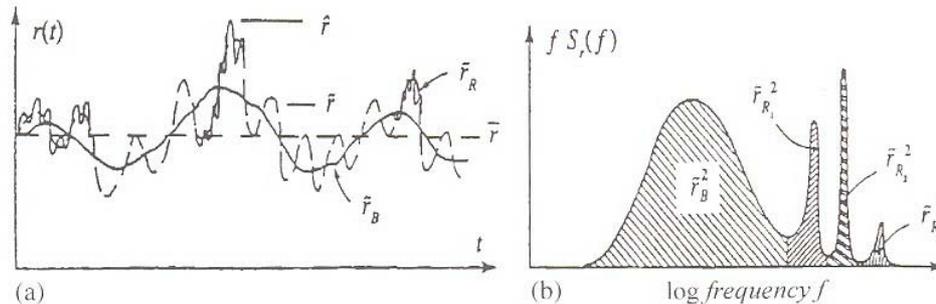
$$\tilde{r} = \sqrt{\tilde{r}_B^2 + \sum_j \tilde{r}_{Rj}^2} \quad (2)$$


FIGURA 1 Resposta de uma estrutura à ação do vento: a) variação no tempo; b) espectro

No apêndice G do guia 74 da ASCE [5], são apresentadas as fórmulas desenvolvidas por Davenport, para o cálculo (dos valores médio quadráticos) das respostas quase-estáticas e ressonantes, para o vento agindo sobre os cabos e sobre as estruturas. Entretanto, o guia recomenda desprezar a resposta ressonante nos cálculos. Uma publicação recente do CIGRÉ [6], comparou as cargas transmitidas pelo vento às estruturas e aos cabos, calculadas pelas normas IEC, Européias e ASCE e mostrou que as cargas calculadas pela ASCE [5] são sempre menores que as calculadas pelas outras, motivo pelo qual ela não foi considerada na análise apresentada no IT.

## 3.0 MÉTODO ESTATÍSTICO USANDO LINHAS DE INFLUÊNCIA (MLI)

### 3.1 Linhas de Influência

Uma linha de influência é uma curva que fornece os valores de uma determinada resposta (força, momento, etc.) , em um determinado ponto para uma carga unitária aplicada ao longo da estrutura. A Figura 2 mostra, de forma esquemática a força exercida pelo vento ao longo de uma estrutura e as linhas de influência para o momento na base da torre e para o esforço cortante numa dada seção. Considerando a linha de influência para o momento na base, por exemplo, a resposta instantânea para a força  $F(z,t)$  , por unidade de comprimento, aplicada a uma altura z, será:

$$dr(t) = F(z,t) i_r(z) dz \quad (3)$$

A resposta total será então:

$$r(t) = \int_0^H F(z,t) i_r(z) dz \quad (4)$$

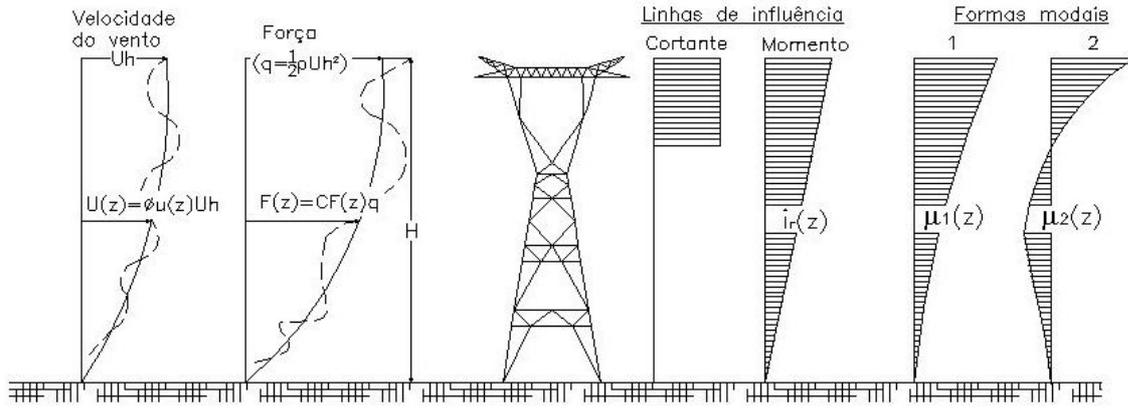


FIGURA 2 Carregamento devido ao vento

Nos itens a seguir, serão apresentadas, sem dedução, as expressões para cálculo das três respostas acima definidas, com objetivo de analisar alguns dos parâmetros que as definem. Maiores detalhes podem ser encontrados nas referências 2 e 3.

### 3.2 Resposta Média

Seja  $d\bar{F}(z)$  a força média, no tempo, atuante sobre uma superfície de área líquida  $\phi(z)D(z)dz$ , situada a uma altura  $z$ , sendo  $\phi(z)$  o índice de área exposta,  $D(z)$  a largura da estrutura e  $D(z)dz$  a área bruta. Temos:

$$d\bar{F}(z) = 1/2 \rho \bar{V}(z)^2 C_{XT}(z) \phi(z) D(z) dz \quad (5)$$

onde  $\rho$  é a massa específica do ar,  $\bar{V}(z)$  é a velocidade média do vento na altura  $z$ ,  $C_{XT}(z)$  é o coeficiente de arrasto na altura  $z$ . A velocidade média na altura  $z$  pode ser escrita, a partir da velocidade média na altura de referência  $h$  (geralmente igual a 10 m), como:

$$\bar{V}(z) = \bar{V}_h \left( \frac{z}{h} \right)^\alpha \quad (6)$$

A resposta média é então:

$$\bar{r} = 1/2 \rho \bar{V}_h^2 \int_0^H \left( \frac{z}{h} \right)^{2\alpha} C_{XT}(z) \phi(z) D(z) i(z) dz$$

ou

$$\bar{r} = q_h \int_0^H \left( \frac{z}{h} \right)^{2\alpha} C_{XT}(z) \phi(z) D(z) i(z) dz \quad (7)$$

### 3.3 Resposta quase-estática

O valor eficaz da resposta quase-estática é calculado a partir da expressão:

$$\tilde{r}_B^2 = (2q_h I_v)^2 \int_0^H \int_0^H \left( \frac{z}{h} \right)^\alpha \left( \frac{z'}{h} \right)^\alpha e^{-(\Delta z / z L_v)} C_{XT}(z) C_{XT}(z') \phi(z) \phi(z') D(z) D(z') i(z) i(z') dz dz' \quad (8)$$

onde  $I_v = \frac{\sigma_v}{\bar{V}_h}$  é a intensidade da turbulência, sendo  $\sigma_v$  o desvio padrão da turbulência do vento,  $\Delta z = |z - z'|$ ,

$z L_v$  é a escala vertical da turbulência,  $z$  e  $z'$  são as alturas de dois pontos da estrutura.

Com relação à expressão 8 observamos:

a) o valor eficaz da resposta quase-estática é diretamente proporcional à intensidade da turbulência e ao quadrado da velocidade do vento; b) esta resposta leva em conta a correlação entre as forças exercidas pelo vento nos diversos pontos ao longo da estrutura

### 3.4 Resposta ressonante

O valor eficaz da resposta ressonante para a frequência de ressonância de ordem  $j$ , é calculado pela expressão:

$$\tilde{r}_{Rj} = \frac{\int_0^H m(z) \mu_j(z) i(z) dz}{\sqrt{\frac{\pi f_j S_{Qj}(f_j)}{4 (\zeta_{aj} + \zeta_s)}} \int_0^H m(z) \mu_j^2(z) dz} \quad (9)$$

onde  $\zeta_{aj}$  é a razão de amortecimento aerodinâmico para a frequência  $f_j$ ,  $\zeta_s$  é a razão de amortecimento estrutural e  $\mu_j(z)$  é a forma modal. O espectro da força generalizada é calculado pela fórmula:

$$f_j S_{Q_j}(f) = (2q_h l_v)^2 \frac{f_j S_v(f)}{\sigma_v^2} \int_0^H \int_0^H \left(\frac{z}{h}\right)^\alpha \left(\frac{z'}{h}\right)^\alpha e^{-C_{\Delta z f / V_H / 2}} C_{xT}(z) C_{xT}(z') \phi(z) \phi(z') \mu_j(z) \mu_j(z') \times D(z) D(z') i(z) i(z') dz dz' \quad (10)$$

onde  $S_v(f)$  é o espectro das flutuações da velocidade do vento e  $\sigma_v^2$  é a variância destas flutuações.

Com relação às expressões 9 e 10 observamos: a) o valor eficaz da resposta ressonante é diretamente proporcional à intensidade da turbulência; b) devido à expressão para cálculo do espectro da velocidade do vento, esta resposta não é proporcional ao quadrado da mesma.

### 3.5 Resposta de pico

O valor de pico da resposta é calculado pela expressão 1 e o valor eficaz da resposta flutuante total pela expressão 2. O fator de pico estatístico é calculado pela expressão abaixo [2,3], sendo que o seu valor normalmente se situa entre 3,0 e 4,0, exceto quando a resposta ressonante é desprezável (ver expressão 12):

$$g = \sqrt{2 \ln(uT)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(uT)}} \quad (11)$$

onde T é o tempo de integração da velocidade média (geralmente igual a 600 s) e u é a chamada taxa de ultrapassagem cujo valor pode ser aproximado pela expressão abaixo [2]:

$$u^2 = \frac{\sum_j f_j^2 \tilde{r}_{Rj}^2}{\tilde{r}_B^2 + \sum_j \tilde{r}_{Rj}^2} \quad (12)$$

## 4.0 APLICAÇÃO PRÁTICA DO MÉTODO

### 4.1 Dados

Para exemplificar a aplicação da metodologia, foram calculadas as cargas transmitidas a um montante e a uma diagonal da perna na face transversal, de uma estrutura de suspensão autoportante para 750 kV, tipo A72. Para avaliar o efeito da altura da estrutura sobre a resposta, os cálculos foram feitos para a maior altura (60,5 m) e menor altura (36,5 m) disponíveis. Os valores foram obtidos considerando apenas a ação do vento sobre a estrutura. A consideração da massa dos condutores, de um modo geral, diminui as frequências de ressonância da torre, aumentando a resposta ressonante [2].

A Figura 3 apresenta a silhueta da torre mais baixa, indicando as barras consideradas nos cálculos.

A Tabela 1 apresenta os valores das linhas de influência para as cargas indicadas na Figura 3, ou seja, as cargas de compressão ou de tração nas respectivas barras, para uma carga de 1 N aplicada em uma dada posição.

TABELA 1 – Linha de influência para as barras consideradas

Carga	B106	p226	Carga	B106	P226
WT1	1,847	0,101	WT5	0,320	-0,452
WT2	1,758	0,068	WT6	0,178	-0,503
WT3	1,596	0,010	WT7	0,000	-0,568
WT4	1,064	-0,183			

A Figura 4 apresenta, como ilustração, a distribuição do índice de área exposta ( $\phi$ ) e do coeficiente de arrasto ( $C_{xT}$ ) com a altura. A Figura 5 apresenta a forma modal da primeira frequência de ressonância transversal, que é igual a 2,06 Hz. Para a torre de 60,5 m, a frequência do primeiro modo transversal é 1,653 Hz. A análise modal (determinação de modos e frequências) foi realizada com o conhecido pacote computacional ANSYS.

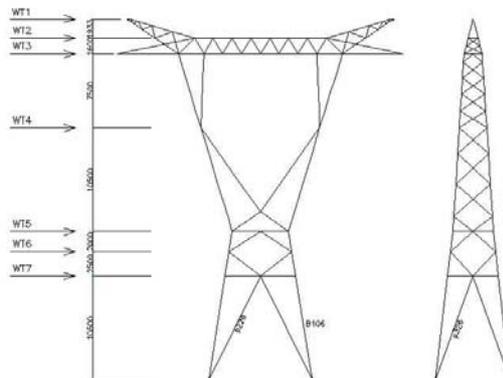
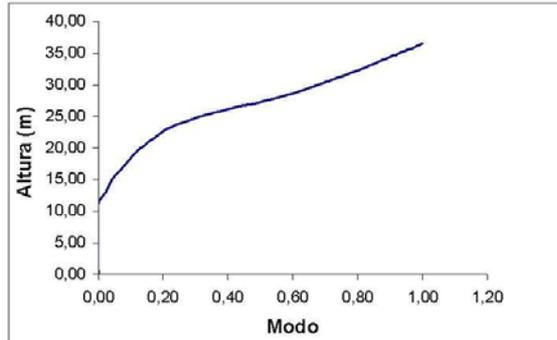
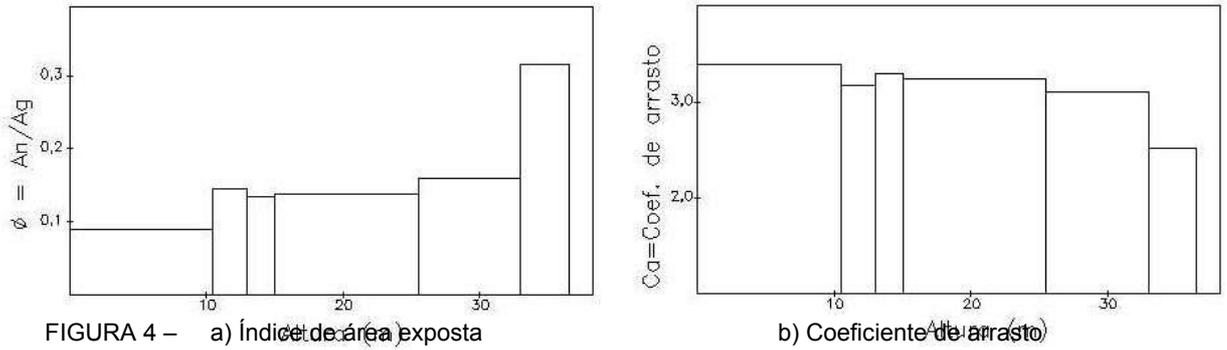


FIGURA 3 – Torre tipo A72 com extensão 0 (torre básica) com quatro pernas de 10,5 m



Os cálculos foram feitos para as velocidades do vento de 35 m/s e de 50 m/s, consideradas como típicas para ventos de tormentas dos tipos EPS e TS, respectivamente. Para a velocidade de 50 m/s, o cálculo foi feito considerando a prática corrente no Brasil, de não considerar a variação da velocidade do vento com a altura.

Foi considerado um terreno da categoria B, para o qual foram adotados os seguintes parâmetros: expoente de variação da velocidade com a altura  $\alpha=0,16$ ; comprimento da escala de turbulência  $L_v=50$  m; intensidade da turbulência  $I_v=0,19$ ; expoente de decaimento para correlação em banda estreita, ou coerência,  $C=8$ . A razão de amortecimento total para a estrutura ( $\zeta = \zeta_{aj} + \zeta_s$ ) foi considerado igual a 0,01.

#### 4.2 Resultados

A Tabela 2 apresenta os resultados dos cálculos efetuados. Para se obter uma sensibilidade dos resultados com relação aos parâmetros que são função da rugosidade do terreno e que foram arbitrados, foram calculadas, para a velocidade de 35 m/s, as respostas para o montante B106 variando, de cada vez, o expoente  $\alpha$  para 0,20 e o comprimento da escala de turbulência para 80m. Estes resultados são apresentados nas duas últimas colunas.

TABELA 2 – Resultados dos cálculos –  $\zeta = 0,01$

Altura da torre	Respostas calculadas	Cargas calculadas (daN) para as velocidades indicadas					
		35 m/s		50 m/s		35 m/s	
		$\alpha = 0,16 \quad L_v = 50 \text{ m}$				$\alpha = 0,2$	$L_v = 80 \text{ m}$
		B106	P226	B106	P226	B106	B106
36,5m	Média ( $\bar{r}$ )	4217	1801	6300	3569	4564	4217
	Quase estática ( $\tilde{F}_B$ )	1282	625	2238	1264	1333	1314
	Ressonante ( $\tilde{F}_R$ )	1222	18	1993	20	1349	1222
	Flutuante ( $\tilde{r}$ )	1772	625	2996	1264	1897	1794
	de Pico ( $\hat{r}$ )	11002	3600	17750	7110	11846	11084
	(g)	3,83	2,88	3,82	2,80	3,84	3,83
60,5m	Média ( $\bar{r}$ )	7304	3137	9585	5427	8178	7304
	Quase estática ( $\tilde{F}_B$ )	1944	986	3174	1861	2057	2038
	Ressonante ( $\tilde{F}_R$ )	1555	6,2	2162	8,7	1805	1555
	Flutuante ( $\tilde{r}$ )	2490	987	3840	1861	2737	2564
	de Pico ( $\hat{r}$ )	16632	5323	23839	7290	18473	16889
	(g)	3,75	2,22	3,72	2,08	3,76	3,74

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que, para o montante B106, a resposta ressonante é da mesma ordem de grandeza da resposta quase-estática, não podendo ser desprezada, conforme considerado no guia ASCE [5]. Para a diagonal P226, esta prática é correta.

Como a razão de amortecimento, somente tem influência sobre a resposta ressonante, a Tabela 3 apresenta as respostas ressonante, flutuante e de pico para  $\zeta = 0,02$ . Apresenta, também, a relação entre os valores de pico calculados para  $\zeta = 0,02$  e  $\zeta = 0,01$  (dados na Tabela 2).

TABELA 3 – Resultados dos cálculos –  $\zeta = 0,02$

Altura da torre	Respostas Calculadas	Cargas calculadas (daN) para as velocidades indicadas					
		35 m/s		50 m/s		35 m/s	
		$\alpha = 0,16$ $L_V = 50$ m				$\alpha = 0,2$	$L_V = 80$ m
		B106	P226	B106	P226	B106	B106
36,5m	Ressonante ( $\tilde{r}_R$ )	864	12	1409	20	954	864
	Flutuante ( $\tilde{r}$ )	1546	625	2645	1264	1640	1572
	de Pico ( $\hat{r}$ )	10054	3524	16251	6951	10772	10146
	$\hat{r}_{0,02} / \hat{r}_{0,01}$	0,914	0,979	0,916	0,978	0,909	0,915
60,5m	Ressonante ( $\tilde{r}_R$ )	1010	4,4	1529	6,1	1277	1010
	Flutuante ( $\tilde{r}$ )	2234	986	3523	1861	2421	2316
	de Pico ( $\hat{r}$ )	15530	5168	22410	8982	17140	15809
	$\hat{r}_{0,02} / \hat{r}_{0,01}$	0,934	0,971	0,940	0,967	0,928	0,936

Nos casos analisados, a redução da resposta de pico, para uma variação do valor de  $\zeta$  de 0,01 para 0,02, foi da ordem de 6 a 7%, para o montante B106, e da ordem de 3%, para a diagonal P226.

Conforme já observado, as respostas quase estática e ressonante são diretamente proporcionais à intensidade da turbulência. Pelas expressões 7, 12 e 11 podemos concluir que a resposta média, a taxa de ultrapassagem e o fator estatístico não dependem da intensidade da turbulência. Assim sendo, para avaliar o efeito da variação da intensidade da turbulência sobre os valores calculados, basta multiplicar a resposta flutuante calculada, pela relação entre o valor desejado da intensidade da turbulência e 0,19, que é a intensidade utilizada nos cálculos, e aplicar a expressão 1. A Tabela 4 apresenta as respostas de pico  $r_{1V}$  calculadas para os índices de turbulência 0,19 e 0,30 e a relação entre os mesmos, para  $\zeta=0,01$ .

TABELA 4 – Influência da intensidade da turbulência sobre as respostas de pico dadas na Tabela 2

Altura da torre	Respostas de pico	Cargas calculadas (daN) para as velocidades indicadas					
		35 m/s		50 m/s		35 m/s	
		$\alpha = 0,16$ $L_V = 50$ m				$\alpha = 0,2$	$L_V = 80$ m
		B106	P226	B106	P226	B106	B106
36,5m	$\hat{r}_{0,19}$	11002	3600	17750	7110	11846	11084
	$\hat{r}_{0,30}$	14929	4642	28327	9565	16061	15059
	$\hat{r}_{0,30} / \hat{r}_{0,19}$	1,36	1,29	1,60	1,35	1,36	1,36
60,5m	$\hat{r}_{0,19}$	16632	5323	23839	9290	18473	16889
	$\hat{r}_{0,30}$	22032	6589	32107	11530	24433	22438
	$\hat{r}_{0,30} / \hat{r}_{0,19}$	1,32	1,24	1,35	1,24	1,32	1,33

Pela Tabela 4, vemos que o acréscimo na resposta de pico para um aumento de 58% no índice de turbulência varia entre 32% e 37%, para o montante B106, e entre 24% e 29%, para a diagonal P226, dependendo da altura da estrutura e da velocidade média do vento, o que mostra que o efeito da intensidade da turbulência não pode ser levado em conta por um mero fator multiplicativo aplicado à velocidade média.

A análise dos valores apresentados nas Tabelas 2 a 4 permite concluir que: a) para as forças exercidas sobre as estruturas, para uma dada velocidade média do vento, o valor de pico da resposta sofre grande influência do expoente de correção da velocidade com a altura ( $\alpha$ ) e da intensidade da turbulência ( $I_V$ ), sendo a influência da escala vertical da turbulência ( $L_V$ ) desprezável; b) a influência do amortecimento ( $\zeta$ ) é sensível na resposta ressonante, mas o seu efeito na resposta de pico depende da participação da resposta ressonante neste valor. Convém lembrar que a intensidade da turbulência está associada à rugosidade do terreno. Assim, quanto maior a rugosidade, maior será a turbulência mas, por outro lado, normalmente será menor a velocidade média.

#### 4.3 Comparação com os valores calculados pela IEC 60826

A Tabela 5 compara os valores de pico calculadas de acordo com o método das linhas de influência (MLI), dados na Tabela 2, com os valores calculados por um programa computacional convencional, para cálculo e dimensionamento de estruturas para linhas de transmissão, utilizando cargas de vento calculadas pela norma IEC 60826 [4].

TABELA 5 – Comparação com a Norma IEC 60826

Fator de amortec.	Altura da torre	Resposta de pico	Cargas calculadas (daN)			
			35 m/s		50 m/s	
			B106	P226	B106	P226
0,01	36,5m	MLI	11002	3524	17750	6951
		IEC	10426	2610	18150	4805
		MLI/IEC	1,055	1,350	0,978	1,447
	60,5m	MLI	16632	6253	23839	10252
		IEC	16687	7163	26174	13111
		MLI/IEC	0,997	0,873	0,911	0,782

Para o montante B106, a diferença entre os resultados obtidos pelas duas metodologias, para o vento de 35 m/s, são pequenas. Para o vento de 50m/s, as diferenças são maiores. Para a diagonal P226, os valores calculados pelo MLI são da ordem de 35 a 45% maiores para a altura de 36,5 m e da ordem de 13 a 18% menores, para a altura de 60,5 m. Entretanto, lembramos que, a rigor, os procedimentos que vem sendo usados no Brasil, para calcular as cargas devido a ventos de tormentas TS, não têm respaldo em nenhuma norma, sendo uma mera convenção que vem sendo adotada para atender aos editais dos recentes leilões da ANEEL. A não consideração da variação da velocidade do vento com a altura, para ventos de tormentas do tipo TS é questionável, tendo em vista os modelos matemáticos utilizados para estes ventos [7]

#### 5.0 CONCLUSÃO

Os casos analisados não permitem uma conclusão segura sobre qual procedimento (MLI ou IEC) é mais conservativo. Entretanto, o MLI tem a vantagem de proporcionar ao usuário uma visão completa da metodologia, permitindo também a avaliação da influência de parâmetros cujos valores são desconhecidos na metodologia da IEC, tais como a frequência de ressonância, a razão de amortecimento e a forma do modo de oscilação da estrutura e ainda do espectro da turbulência.

Os resultados apresentados mostraram que, nem sempre, a resposta ressonante é desprezável em presença da resposta quase-estática, o que contraria a hipótese básica do Guia ASCE 74 [5].

Conforme pode ser concluído dos resultados apresentados no IT, é necessário que sejam melhor caracterizados os parâmetros que definem a influência da topografia e da turbulência do vento sobre as forças transmitidas aos elementos de uma linha de transmissão, ou seja, o expoente  $\alpha$  e a intensidade da turbulência. Embora não abordado no IT por falta de espaço, seria oportuno, também, levantar a forma do espectro da turbulência para os ventos que ocorrem no Brasil, tendo em vista que a resposta ressonante pode ser importante para algumas barras das torres. A metodologia tem premissas sobre o tipo de evento, tanto no aspecto do espectro, como também na distribuição espacial e temporal que sabidamente não são válidas para alguns tipos de tormentas. Entretanto, mesmo assim, conhecendo melhor tais eventos, a metodologia seguramente se constituirá numa poderosa ferramenta para avaliar os seus efeitos nas estruturas.

#### 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] DAVENPORT, A.G. Gust response factors for transmission line loading Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Wind Engineering, Colorado State University, July, Pergamon, New York, 2, 1979, pp 899-909

[2] LOREDO-SOUZA, A.M. The behaviour of transmission lines under high winds, Ph.D. Thesis, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, 1996

[3] 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, 2003, 995-1003

[4] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION Design criteria of overhead transmission lines, IEC 60826

[5] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS Guidelines for electrical transmission line structural loading, ASCE Manuals of Engineering Practice No. 74, New York, 1991

[6] CIGRÉ WG B2.16 Reliability based design methods for overhead transmission lines. Advantages, applications and comparisons – Section III Comparisons, Technical Brochure 289

[7] MENEZES, R.C. et al. Resposta dinâmica de feixes de cabos submetidos à excitação do vento, In XVIII SNPTEE, 2005, Curitiba, GLT 15