



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO III**

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

**ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO PARA AUMENTO DA CARGA DE TRAÇÃO DOS CABOS  
CONDUTORES DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

**Afonso de Oliveira e Silva\***  
**Humberto Avellar Magalhães Filho**  
**FURNAS Centrais Elétricas S.A.**

**Nelson Henrique Costa Santiago**  
**Rodrigo Gonçalves Noel**  
**Fluxo Engenharia**

**Geraldo M. Tavares**  
**Universidade Federal Fluminense**

**Alexandre S. Rigueira**  
**A. Rigueira Consultoria**

**RESUMO**

O IT apresenta os resultados principais de um projeto de P&D desenvolvido por FURNAS e seus parceiros, com objetivo de avaliar, técnica e economicamente, a possibilidade de aumentar a carga de tração de maior duração (EDS) dos condutores de suas LTs. O projeto considerou, especificamente, uma LT de 500 kV, com um feixe expandido de cinco cabos, projetada para uma potência natural de 1200 MW, que já havia sido objeto de um projeto anterior.

O projeto consistiu, basicamente, de duas partes:

- cálculo do custo de implantação da LT para valores de EDS entre 18% e 26% da carga de ruptura;
- estudo do comportamento dinâmico do feixe de condutores e definição do sistema de proteção contra oscilações de sub-vão e vibrações eólicas, estas últimas, também, para os cabos pára-raios.

**PALAVRAS-CHAVE**

Linhas de transmissão, otimização, feixe expandido, EDS

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Um projeto de P&D recentemente concluído por Furnas abordou a otimização de linhas de transmissão de 500 kV, para potências naturais de até 1200 MW. Para os parâmetros considerados, a solução mais econômica seria com a utilização de um feixe expandido de cinco cabos CAA 636 kCM, 24/7, Rook, espaçados de 800 mm.

Neste projeto, para os cabos de todos os feixes considerados foi adotada a carga de tração de maior duração de 18% da carga de ruptura, final, conforme usado tradicionalmente por Furnas.

Diversas pesquisas em linhas experimentais [1] mostram que os feixes de condutores, com espaçamentos convencionais, são menos propensos à vibrações eólicas e, também, que o aumento da carga de tração reduz a ocorrência de oscilações de sub-vão. Os estudos para definição do sistema de amortecimento para a primeira linha de 500 kV de Furnas com feixe de quatro cabos espaçados de 1,2 m, e alguns trabalhos publicados recentemente sobre o comportamento dinâmico de feixes de condutores, despertaram o interesse de estender tais estudos ao feixe de cinco cabos acima referido, motivando a contratação de um novo projeto de P&D.

Este novo projeto teve por objetivo investigar a possibilidade de aumentar a carga de tração de maior duração dos condutores.

Neste IT é apresentado um resumo deste projeto e de suas conclusões.

Inicialmente são tecidas algumas considerações sobre o conceito de carga de tração de maior duração (EDS), uma vez que, na linguagem corrente, o aumento da carga de tração dos condutores, analisada neste IT, é referida como “aumento do EDS”.

## 2.0 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONCEITO DE EDS

A partir de estudos realizados pelo CIGRÉ na década de 50, os projetos de linhas de transmissão passaram a adotar o conceito de EDS (“everyday stress”) ou carga de tração de maior duração, como um critério para evitar danos aos cabos singelos por vibrações eólicas. Como resultado destes estudos, muitos projetos no Brasil adotaram, ao longo dos anos, o valor de 18% da carga de ruptura, independentemente do número e tipo de condutores por fase. Mais recentemente, nas linhas com condutores em feixe, tem sido adotado o valor de 20%, como carga de tração de maior duração.

Entretanto, desde a década de 60 o conceito de EDS como critério seguro para proteção contra vibrações eólicas e os valores recomendados, vem sendo questionados. Em resumo, o que se questiona é que o valor de EDS deveria ser estabelecido para cada tipo e formação de cabo e também que ele não leva em conta as características do vão (comprimento, topografia, rugosidade superficial).

Mais recentemente, depois de vários anos de discussões e estudos, o CIGRÉ [1] adotou o parâmetro da catenária,  $H/w$ , como um dos critérios para avaliação da proteção contra vibrações eólicas. No caso de feixes de quatro cabos com espaçadores amortecedores, foi estabelecido, como único critério, um valor máximo de 2500 m, válido para qualquer tipo de cabo.

Embora recente, este critério já foi questionado [2] considerando sua aplicação a condutores singelos, tendo sido proposta a utilização da tensão média dos fios de alumínio como critério, para os cabos CAA. Tal critério já era adotada, há anos, na URSS [3].

O objetivo de tais comentários é deixar claro que os valores de EDS referidos no presente trabalho e as conclusões do mesmo são específicos para o cabo considerado, não devendo ser consideradas, sem maiores análises, como aplicáveis a outros tipos de cabos.

## 3.0 - METODOLOGIA ADOTADA

O objetivo principal do projeto foi o de investigar a possibilidade de aumentar a carga de tração de maior duração do feixe expandido de cinco cabos em questão e também os limites para este aumento. O projeto foi desenvolvido considerando as implicações técnicas econômicas deste aumento, tendo sido dividido em duas partes.

A primeira consistiu da definição do custo de implantação de uma linha de transmissão, para cada um dos valores de EDS considerados, em função das características do terreno.

A segunda consistiu no estudo do comportamento aeroelástico do feixe considerado e definição das proteções contra vibrações eólicas e de oscilação de sub-vão.

A configuração da LT de 500 kV, considerada no projeto de P&D anterior, que considerava um EDS de 18%, foi utilizada como caso base para os estudos desenvolvidos no novo projeto de P&D. Para o cálculo dos custos foram considerados, então, os valores de EDS iguais a 18%, 20%, 23% e 26%, enquanto que para o estudo do comportamento dinâmico do feixe foram considerados apenas os três últimos valores.

## 4.0 - CÁLCULO DOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Este cálculo foi desenvolvido segundo as etapas descritas a seguir.

### 4.1 - Projeto das estruturas

Para cada um dos valores de EDS, foi projetada uma série completa de estruturas de acordo com a Tabela 1.

Para todos os valores de EDS foi adotada a mesma silhueta básica, conforme o projeto de P&D inicial, tendo sido feitas as necessárias adaptações em cada caso. A figura 1 mostra a silhueta da estrutura estaiada típica.

Para todas as estruturas foi adotada a fundação em tubulão.

Para manter a mesma distância entre os cabos condutor e pára-raios, para todos os valores de EDS, optou-se por aumentar o EDS do cabo pára-raios, visto que esta solução se mostrou mais econômica que aumentar a distância entre estes cabos na estrutura. Para os valores de EDS considerados para os condutores, foram adotados os valores de 11,5%, 13,8% e 15,6%, respectivamente.

TABELA 1 – Características das estruturas

Tipo	Aplicação	Vão médio m	Vão peso m	Ang. Máx. graus	Altura	
					Min. m	Max. m
GSE1	Suspensão estaiada	450 (0°)	650	3	24,0	43,5
GSE2		600 (0°)	900	3	24,0	49,5
GS1	Suspensão autoportante	450 (0°)	650	3	24,0	43,5
GS2		600 (0°)	900	3	24,0	49,5
GS3		750 (0°)	1200	8	24,0	57,0
AD1	Ancoragem	450 (15°)	1200	15	19,5	46,5
AD2		450 (30°)	1200	30	19,5	46,5
AD3		450 (60°)	1200	60	19,5	42,0

A Tabela 2 apresenta os pesos das estruturas para os diversos valores de EDS.

**TABELA 2 – Faixa de pesos das estruturas**

Tipo	Pesos (kgf)							
	18%		20%		23%		26%	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
GSE1	7230	9513	7307	9590	7630	9911	7856	10272
GSE2	7978	11817	8328	12163	8548	12380	8930	12757
GS1	7951	13090	8013	13160	8440	13609	8893	14161
GS2	8696	16586	8758	16741	9172	17237	9759	18038
GS3	10629	25743	10680	25807	10978	26088	11475	26557
AD1	13163	26413	13710	26976	13845	27306	14313	28279
AD2	14853	30279	15187	30626	15924	31611	16235	32519
AD3	19194	32427	19194	32427	19642	33140	21142	36068

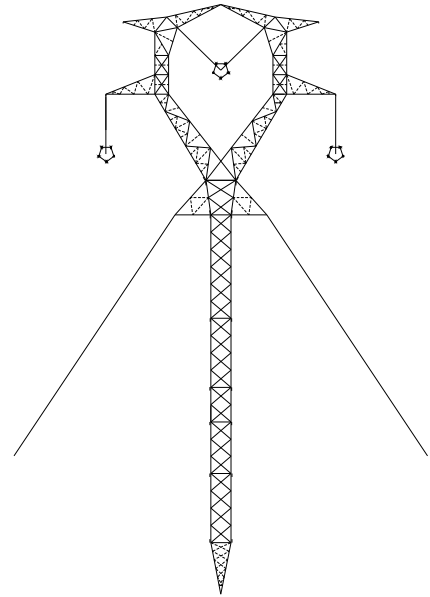


FIGURA 1  
Silhueta da estrutura estaiada típica

#### 4.2 - Plotação em Planta e Perfil

Para definição do custo de cada alternativa de EDS, foram efetuadas diversas plotações com auxílio do programa PLS-CADD. Nestas plotações foram considerados os seguintes critérios:

- Foram considerados os custos unitários médios de todos os materiais e serviços vinculados a uma estrutura: aço, ferragens, isoladores, contrapeso, locação, escavação, reaterro, concreto, montagem, etc. Estes custos foram objeto de um levantamento entre fabricantes e montadoras.
- As plotações foram feitas em trechos de perfis reais, com 51 km de comprimento, sendo um perfil plano, um ondulado e um acidentado.
- Para avaliar o efeito do EDS sobre as estruturas em ângulo, para cada um dos trechos, foram consideradas duas situações: uma sem nenhum ângulo de deflexão e outra com uma deflexão a cada cinco quilômetros, variando de  $2^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ .

#### 4.3 - Resultados

As Figuras 2 e 3 apresentam os custos obtidos nas plotações efetuadas, sem e com ângulo de deflexão, respectivamente, já incluindo o custo do sistema de amortecimento para os cabos condutor e pára-raios. O custo dos cabos não foi considerado por ser o mesmo para todas as alternativas.

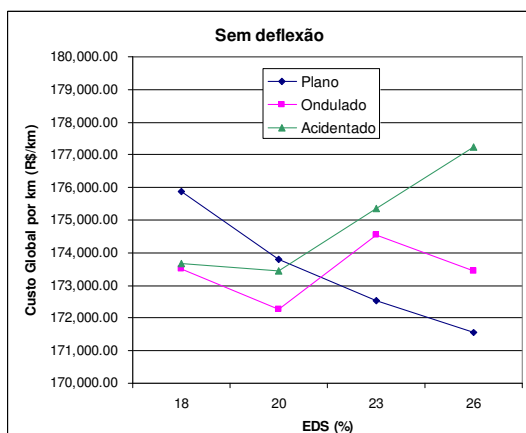


FIGURA 2

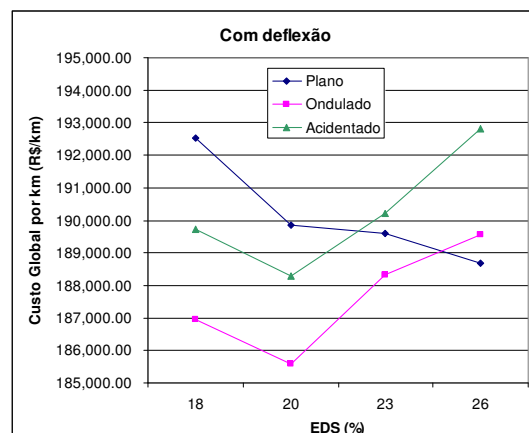


FIGURA 3

As figuras mostram a grande influência que tem a ocorrência ou não de ângulos de deflexão no traçado da linha. A Tabela 3 permite uma visualização mais completa dos resultados das plotações.

TABELA 3 - Resumo das Plotações

Terreno	EDS	Sem deflexão					Com deflexão				
		No. de estr.	Vão médio m	Peso t/km	Custo R\$/km %		No. de estr.	Vão médio m	Peso t/km	Custo R\$/km %	
	%										
Plano	18	92	548,4	19,15	175.875	100	103	490,7	20,72	192.534	100
	20	89	566,0	19,08	173.805	98,82	99	510,2	20,52	189.847	98,60
	23	86	585,3	18,65	172.521	98,09	91	553,7	20,35	189.595	98,47
	26	86	585,5	18,67	171.563	97,55	91	553,8	20,40	188.689	98,00
Ondulado	18	99	510,0	18,78	173.522	100	103	490,4	20,00	186.951	100
	20	99	509,0	18,89	172.267	99,28	102	494,5	20,16	185.597	99,28
	23	94	536,0	19,05	174.542	100,6	97	518,8	20,37	188.325	100,7
	26	91	552,3	19,39	173.441	99,95	95	528,5	20,87	189.566	101,4
Acidentado	18	100	505,0	18,89	173.657	100	103	485,7	20,38	189.707	100
	20	98	510,0	19,17	173.444	99,88	100	500,0	20,62	188.297	99,26
	23	91	548,4	19,60	175.364	101,0	92	542,6	20,98	190.226	100,3
	26	90	554,4	20,51	177.239	102,1	91	548,4	21,90	192.806	101,6

A análise da Tabela 3 mostra que, embora em muitos casos, a redução do custo total com o aumento do EDS possa ser pequeno ou mesmo haver um aumento deste custo, podemos ver que a redução do número de estruturas é considerável (da ordem de 10%). Se forem computados os custos de abertura e manutenção de estradas de acesso (que são específicos para cada projeto) e o custo do impacto ambiental decorrente da utilização do maior ou menor número de torres, a redução obtida deverá ser maior e os aumentos poderão ser convertidos em reduções.

## 5.0 - ESTUDO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DO FEIXE DE CONDUTORES

### 5.1 - Oscilações de sub-vão

#### 5.1.1 - Respostas dos feixes de condutores tradicionais à ação do vento

Num feixe de condutores tradicional o vento pode, normalmente, excitar os seguintes tipos de movimentos, que são bastante conhecidos:

- vibrações eólicas, causadas pelo desprendimento de vórtices na esteira de cada sub-condutor;
- oscilações de sub-vão, que são um fenômeno de instabilidade do tipo drapejamento ("flutter").

O estudo das oscilações de sub-vão é feito considerando o vento com velocidade constante, tendo em vista que, sendo a distância entre espaçadores da ordem de 70 m, o movimento relativo entre os subcondutores causado pela turbulência do vento é pequeno e o efeito da turbulência pode ser desprezado.

#### 5.1.2 - Oscilações de sub-vão dos feixes expandidos

No caso de um feixe expandido, se o vento for considerado com velocidade constante, as oscilações de sub-vão não serão excitadas porque, sendo grande a separação entre os subcondutores, o condutor a sotavento estará sempre fora da esteira gerada pelo sub-condutor a barlavento.

Entretanto, como os sub-vãos são mais longos, da ordem 100 a 200 metros, eles são menos rígidos e os movimentos excitados pela turbulência do vento tornam-se importantes. Assim sendo, a movimentação dos condutores devido à turbulência pode excitar movimentos relativos entre os subcondutores. Estes movimentos relativos reduzem o espaçamento entre os sub-condutores e podem excitar oscilações de sub-vão sendo, entretanto, a frequência de oscilação menor que no caso dos feixes tradicionais.

Com base nestas observações, foi contratado o Departamento de Mecânica do Politécnico de Milão, que já vinha desenvolvendo estudos nesta direção (4), para realizar os estudos necessários para definir o sistema de proteção necessário para o feixe em estudo, sob a direção do Prof. Giorgio Diana.

Este tipo de oscilação requer, para a sua simulação, um modelo estrutural e aero-elástico capaz de representar o campo de forças aerodinâmicas gerado na esteira do condutor a barlavento, uma vez que as forças agindo sobre cada sub-condutor dependem do fluxo incidente e do movimento relativo entre sub-condutores.

No modelo matemático utilizado, as forças aerodinâmicas foram definidas com base em ensaios em túnel de vento, realizados com a configuração específica do feixe de 5 condutores em questão, conforme descrito no item 5.1.4.

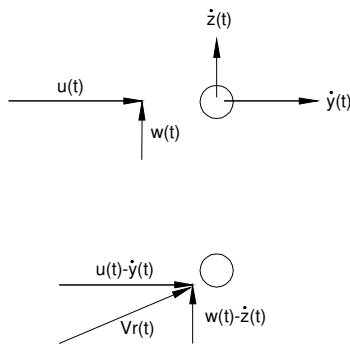
### 5.1.3 - Modelo matemático do feixe expandido

O estudo do comportamento dinâmico do feixe de 5 condutores e definição do número e posição dos espaçadores foi feito com auxílio de um modelo aeroelástico definido, conjuntamente, pelo modelo estrutural do feixe e pelo modelo das forças aerodinâmicas, levando em consideração a turbulência do vento.

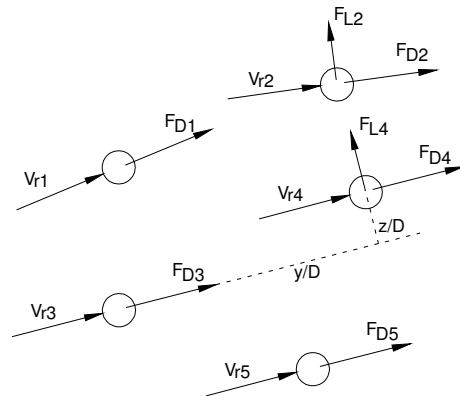
Os condutores são modelados por elementos finitos de vigas encordoadas, cuja rigidez leva em conta as forças de flexão, torção e tração. O efeito das cadeias de suspensão em I e V e das cadeias de ancoragem, que restringem o movimento do feixe nas extremidades do vão, foi levado em consideração. Os espaçadores são levados em consideração através de suas matrizes de massa, rigidez e amortecimento. Os espaçadores transmitem aos condutores forças e momentos, que dependem dos deslocamentos relativos e rotações dos subcondutores, no seu ponto de instalação.

O cálculo das forças aerodinâmicas foi feito com base na teoria quase-estática (5), usando um perfil de vento, variável no tempo e no espaço, através das componentes horizontal,  $u(\xi, t)$ , e vertical,  $w(\xi, t)$  da velocidade. Estas componentes são calculadas a partir do espectro da turbulência, definido com base na velocidade média e no índice de turbulência. A variação ao longo do vão leva em conta a correlação espacial, definida pelas respectivas escalas de turbulência.

De acordo com este procedimento, os condutores a barlavento estão submetidos a forças de arrasto, que dependem da distribuição do vento ao longo do vão e, também, do seu movimento. As forças sobre os condutores a sotavento dependem, também, da distribuição do vento e ainda de sua posição relativa com relação aos condutores a barlavento. Considerando um par de subcondutores, num ponto e instante genéricos, conforme a Figura 4, sendo  $u(t)$  e  $w(t)$  as componentes da velocidade do vento e  $\dot{y}(t)$  e  $\dot{z}(t)$  as componentes da velocidade do condutor nas direções dos eixos de coordenadas, a direção da velocidade relativa do vento,  $\vec{V}_r$ , determina a direção da esteira. Os condutores a sotavento estarão, então, sujeitos a forças de arrasto ( $F_D$ ) e de sustentação ( $F_L$ ), dirigidas na direção do vetor  $\vec{V}_r$  e perpendicular a ele, respectivamente. Estas forças dependem da posição do subcondutor com relação aos condutores a barlavento, conforme mostrado na figura 5.



Definição da velocidade relativa  
FIGURA 4



Definição do campo de forças aeroelásticas nos subcondutores do feixe  
FIGURA 5

Estas forças são calculadas pelas expressões:

$$F_D = 0,5 \rho V_r^2 D C_D \quad (1)$$

$$F_L = 0,5 \rho V_r^2 D C_L \quad (2)$$

sendo  $\rho$  a massa específica do ar ( $\text{kg/m}^3$ ),  $D$  o diâmetro do cabo (m),  $C_D$  e  $C_L$  os coeficientes de arrasto e sustentação, respectivamente (adimensionais).

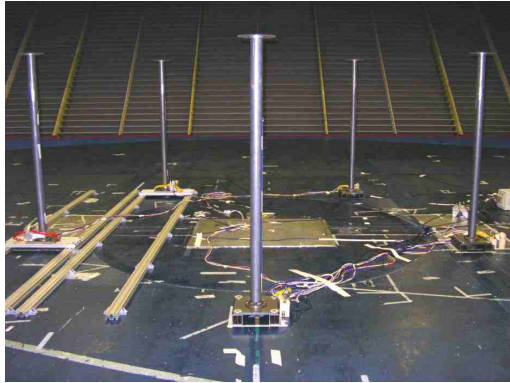
### 5.1.4 - Medições no túnel de vento

Devido à configuração do feixe, existe a possibilidade que, com a rotação do feixe por ação do vento, tenhamos uma situação onde um subcondutor ficará na esteira de outros dois subcondutores a barlavento, configuração para a qual não existiam dados dos coeficientes  $C_D$  e  $C_L$ . Foram então feitas medições no túnel de vento do Politécnico de Milão para determinação dos coeficientes de arrasto e de sustentação dos diversos subcondutores, para diversas posições relativas dos mesmos, utilizando um modelo rígido do feixe, na escala 2,19/1.

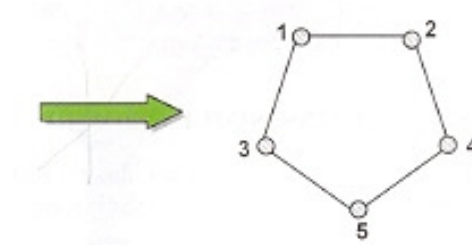
O feixe foi modelado por 5 tubos rígidos de aço, com 55 mm de diâmetro. O diâmetro foi definido de modo a permitir a instalação do sistema de medição de pressão, constituído por 16 tomadas de pressão. O comprimento foi definido de modo a evitar vibrações induzidas por esteira relacionadas ao primeiro e segundo modo próprio do cilindro e, também, para afastar as tomadas de pressão da camada limite do túnel. As tomadas foram instaladas a

1,07 m do piso. Três tubos foram fixados rigidamente e dois tubos montados sobre trilhos que permitiam o deslocamento em duas direções perpendiculares, de modo a variar a sua posição relativa. O túnel de vento permitia a rotação do feixe para variar o ângulo de incidência do vento.

A Figura 6 mostra o arranjo do modelo no túnel de vento e a Figura 7 mostra a identificação dos subcondutores.



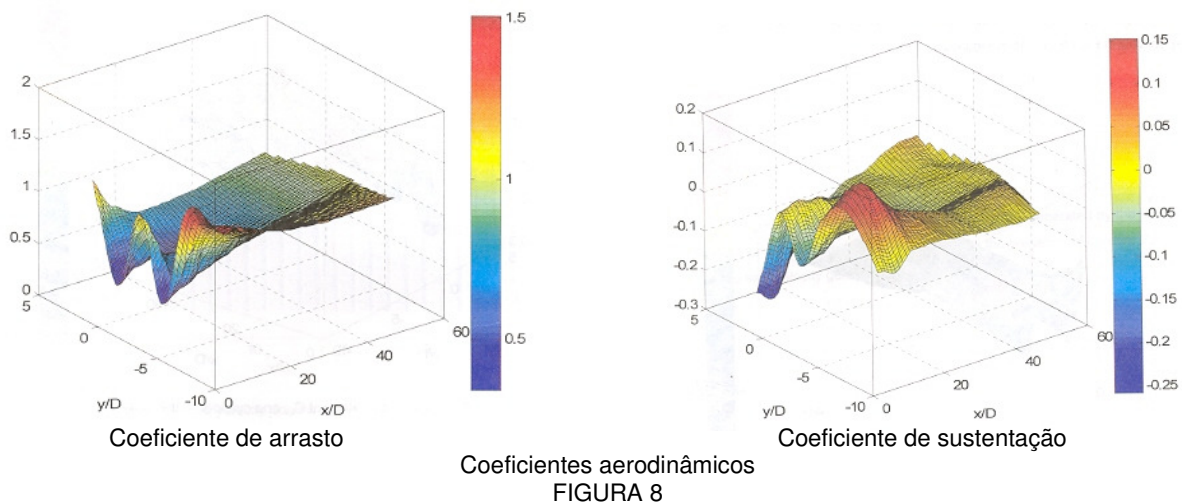
Vista do modelo no túnel de vento  
FIGURA 6



Identificação adotada para os subcondutores  
FIGURA 7

As medições foram feitas em 67 diferentes posições relativas, tanto para o caso de um cilindro na esteira de outro, como no caso de um cilindro na esteira de dois. A integração das medidas de pressão ao longo da superfície do cilindro permitiu a obtenção das forças seccionais.

A Figura 8 mostra os coeficientes de arrasto e sustentação obtidos para um cilindro na esteira de outros dois. Nela, os eixos  $x$  e  $y$  definem o plano horizontal, sendo o eixo  $y$  na direção do vento e o eixo  $x$  normal à ela.



Coeficiente de arrasto

Coeficientes aerodinâmicos  
FIGURA 8

Foi feita, também, uma verificação para definir as interferências de dois cilindros movendo-se na mesma esteira do condutor a barlavento. Para as posições relativas possíveis de serem alcançadas devido ao movimento do feixe, foi observado que não haveria nenhuma interferência.

#### 5.1.5 - Integração das equações do movimento

A equação do movimento do feixe é da forma:

$$[M][\ddot{x}] + [R][\dot{x}] + [K][x] = [f([x], [\dot{x}], t)] \quad (3)$$

onde  $[M]$ ,  $[R]$  e  $[K]$  são as matrizes de massa, rigidez e amortecimento do conjunto feixe/espaçadores. As forças  $[f]$  dependem do vento turbulento incidente e do movimento do feixe. Os valores de  $[x]$  definem a posição dos subcondutores ao longo do vão e, portanto, os coeficientes de arrasto e sustentação para os condutores a sotavento. Os valores de  $[\dot{x}]$  definem a velocidade dos subcondutores que, por sua vez, define a a velocidade relativa. O tempo  $t$  define a história do fluxo incidente,  $V(\xi, t)$  em cada seção do feixe. A equação 3 é não linear e foi integrada, numericamente, por um processo de Newmark modificado.

### 5.1.6 - Resultados das simulações

O movimento dos subcondutores, induzido pela turbulência do vento, torna-se mais crítico quando, devido à variação do ângulo de ataque do vento, combinada com o movimento relativo dos subcondutores, um condutor a sotavento começa a se movimentar para dentro e para fora da esteira do subcondutor a barlavento. Esta situação torna-se mais crítica:

- aumentando a velocidade do vento, devido ao aumento das forças aerodinâmicas;
- aumentando a turbulência, devido ao aumento da variação do ângulo de ataque do vento.

Para o feixe em questão, quando a velocidade média do vento atinge 20-25 m/s, a situação torna-se crítica pois, devido à rotação do feixe, o condutor 5 entra na esteira do condutor 3, conforme numeração indicada na Figura 7. Como exemplo, a figura 9 mostra as trajetórias de dois condutores a sotavento, com relação ao condutor a barlavento, num sistema de referência fixo com a direção do vento, durante um período de simulação de 10 minutos. A área em cor cinza corresponde à esteira induzida pelo condutor a barlavento e a área em azul a referida trajetória. Foram considerados os seguintes parâmetros: velocidade 20m/s, índice de turbulência 0,17, 5 espaçadores no vão, resultados para o meio de um subvão. Observa-se, claramente, na Figura 9-b, que existe contato entre os subcondutores 3 e 5, mas não entre os subcondutores 3 e 4. A Figura 9-a mostra que não existe contato entre o condutor 1 e os condutores 2 e 4.

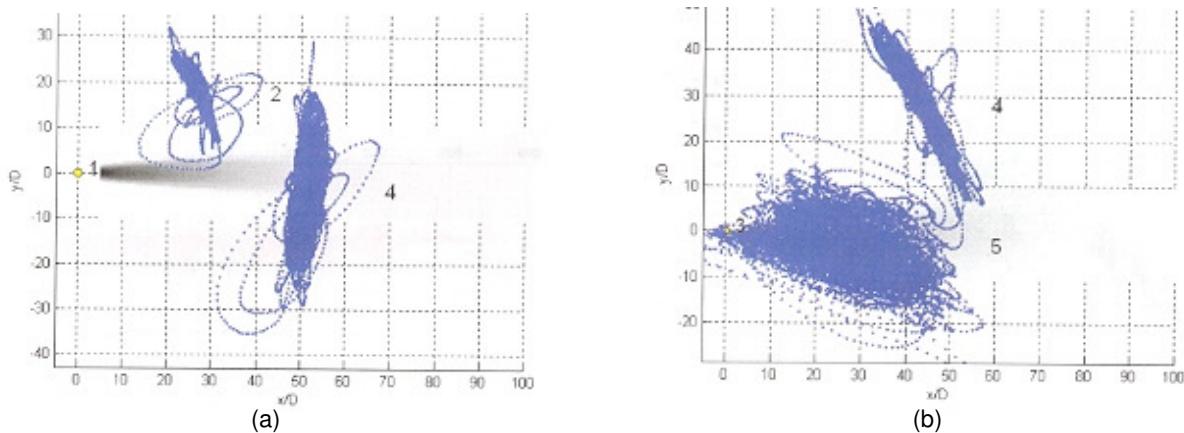


FIGURA 9

Para controlar o problema, é necessário aumentar a rigidez do feixe no meio do vão, o que pode ser obtido aumentando a carga de tração e/ou reduzindo o comprimento do subvão.

Como exemplo, para o EDS de 26%, foram feitas as seguintes recomendações:

- para velocidades médias inferiores a 16 m/s e índice de turbulência 13%, o comprimento do subvão pode ser 200 m, sendo reduzido para 133 m se o índice de turbulência for 23%;
- para velocidades médias de 16 a 20 m/s, o subvão máximo deve ser 114 m, independente do índice de turbulência

### 5.2 - Vibrações eólicas

O estudo do sistema de proteção contra vibrações eólicas foi feito considerando vãos de 500 m e 800 m. Para fins do estudo foram considerados 2 modelos de amortecedores stockbridge, da linha de produtos de um fabricante italiano, aplicáveis aos cabos considerados. Tendo em vista que os espaçadores considerados são flexíveis, com respeito às vibrações eólicas, não há necessidade de amortecedores nas proximidades dos mesmos.

Os cálculos foram feitos com auxílio de um programa computacional, baseado no princípio do balanço de energia considerando, conservativamente, um fluxo de baixa turbulência, para maximizar a energia fornecida pelo vento.

A Figura 10 mostra, como ilustração, o caso de um vão de 800 m, com um condutor singelo e EDS de 26%. São apresentadas as deformações dinâmicas para um condutor isolado, sem amortecedor e com um amortecedor em cada extremidade, onde podemos ver a redução nas deformações propiciada pelos amortecedores. Observamos, também, que as deformações mais significativas ocorrem de forma contínua abaixo de 12Hz e a partir de 23Hz, embora bastante abaixo do limite normalmente aceito de 150  $\mu\text{m}/\text{m}$ . A Figura 11 mostra o caso de um feixe de cinco cabos, com o mesmo vão e EDS, tendo 4 espaçadores e um amortecedor por subcondutor em cada extremidade. Por motivo de espaço, é mostrada apenas a parte inferior da figura. Neste caso observa-se uma sensível redução da amplitude das deformações e que estas somente ocorrem em determinadas frequências, o que confirma a redução das vibrações eólicas em feixe de condutores, mesmo expandidos. O estudo mostrou que a presença dos espaçadores, sem os amortecedores, reduz, um pouco, a amplitude das deformações, mas não evita o aparecimento de vibrações perigosas.

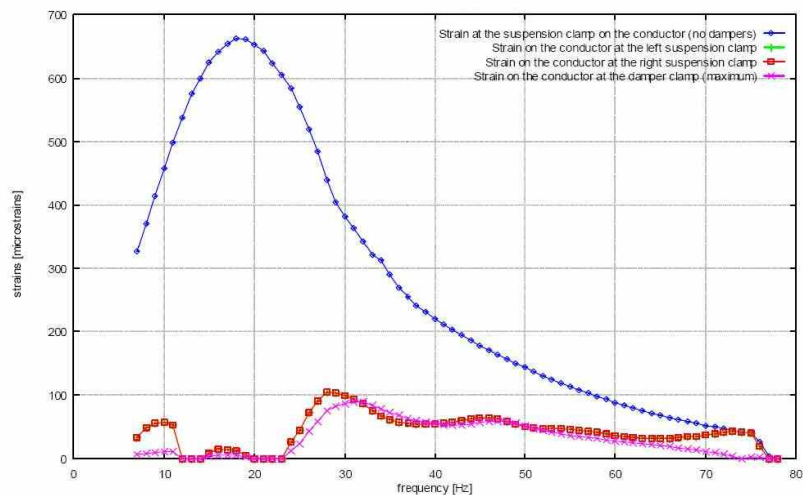


FIGURA 10

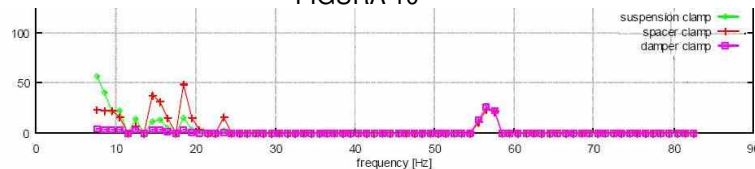


FIGURA 11

As recomendações do estudo foram:

- para o condutor, usar apenas um amortecedor em cada extremidade do vão, além dos espaçadores já definidos para as oscilações de sub-vão, para os três valores de EDS considerados e qualquer comprimento de vão;
- para o cabo pára-raios, independente do valor de EDS, usar um amortecedor em cada extremidade do vão, para vão até 500m e dois amortecedores em cada extremidade, para vão até 800 m.

Estes resultados, embora válidos para os amortecedores considerados no estudo, mostram a viabilidade de utilizar valores de EDS de até 26% para o condutor Rook e 15,6% para o cabo pára-raios 3/8" EAR.

## 6.0 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos para este projeto específico, podemos concluir:

- a) pode haver uma economia significativa em se aumentar a carga de tração de maior duração do condutor, principalmente se for computada a economia decorrente do menor número de estruturas utilizadas. Esta economia diminui com o aumento do número de deflexões;
- b) no caso de terreno plano, esta carga se situa em torno de 26% da carga de ruptura do condutor;
- c) no caso de terreno ondulado e acidentado, embora os dados da Tabela 3 indiquem um EDS ótimo em torno de 20%, se for considerada a economia decorrente da redução do número de estruturas, este valor certamente ficará entre 20% e 23%.
- e) a carga de tração de maior duração deve ser escolhida em função da morfologia do terreno e do número de deflexões da diretriz da LT.

Embora as conclusões acima, a rigor, sejam válidas para o projeto em questão, este IT mostrou a viabilidade, técnica e econômica, de aumentar a carga de tração de maior duração dos condutores e, também aspectos que devem ser considerados em futuros estudos.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - CIGRÉ Task Force B2.11.04 "Overhead conductor safe design tension with respect to aeolian vibration", Brochure 273, June 2005
- 2 - BARRET,J.S., MOTLIS,Y "Allowable tension levels for overhead-line conductors", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., vol 148, No. 1, jan 2001, pp 54-59
- 3 - LIBERMAN,A.J., KRUKOV,K.P. "Vibration of overhead line conductors and protection against it in the USSR, CIGRÉ General Session, 10-20, June, 1968
- 4 - DIANA,G. et al. "The aeroelastic behaviour of the OHTL expanded bundles", 3rd. Int. Symp. on Cable Dynamics, Trondheim (Norway), August 1999
- 5 - NAUSDASCHER,E; ROCKWELL,D "Flow induced vibrations. An engineering guide" Dover Publications , Inc, Mineola, New York, 1994