



GRUPO III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHA DE TRANSMISSÃO - GLT

MONITORAMENTO DE VIBRAÇÕES EÓLICAS EM LT 500 KV EM FEIXE EXPANDIDO COM ESPAÇADORES MAIS AMORTECEDORES

Francisco R. Sabino Jr*
CHESF

Adelmo Tabosa Campos
CHESF

Sebastião J. Gusmão Cavalcanti
NORTRON

Milton Egas Diniz
FCI

Evandro S. Camêlo Cavalcanti
CEPEL

Carlos Frederico Trotta Matt
CEPEL

RESUMO

Apresentam-se neste informe técnico resultados de medições de vibrações eólicas realizadas em duas LT de 500 kV, com extensos sub-vãos em Feixes Expandidos 4x CAA *Rail* de mais de um metro nas fases laterais, com até dois espaçadores semi-rígidos e até três espaçadores-amortecedores na fase central. Realizaram-se diversas medições, em duplicidade, com vibrógrafos e anemógrafos, em vários sítios, que produziram resultados de vibrações junto a “grampos armados” e garras dos amortecedores Stockbridge e espaçadores-amortecedores. O objetivo principal do monitoramento foi validar a eficiência do sistema de amortecimento, apreciando sua atuação nas novas configurações de feixes sob clima pouco conhecido.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento, Vibração Eólica, Feixe Expandido.

1.0 - INTRODUÇÃO

O escasso conhecimento teórico e experimental sobre o comportamento dinâmico das linhas de transmissão com tecnologia de Feixe Expandido (FEX), motivou a realização de ensaios em campo que quantitativamente validassem a eficiência do sistema de amortecimento instalado. Experiências adquiridas a partir dos resultados dos monitoramentos nas três primeiras linhas de transmissão (LT) inteiramente nesta tecnologia (P. Dutra – Teresina – Sobral – Fortaleza) encorajaram a adoção de campanhas nos projetos seguintes, que atribuíssem ao fornecedor do sistema de amortecimento a responsabilidade pela realização dos ensaios de monitoramento (1).

Inicialmente foram previstos seis sítios de monitoramento no circuito II da LT Presidente Dutra / Teresina (PDT/TSD). No entanto, os três primeiros sítios foram instalados no Circuito I (paralelo) de idênticas características. O motivo pelo qual o monitoramento foi feito na LT paralela foi a não conclusão da etapa de grampeamento dos cabos no Circuito II ao aproximar-se o fim da estação de ventos, propícia à indução de níveis elevados de vibração eólica, desejável para melhor avaliar o desempenho do sistema de amortecimento da LT.

A versatilidade dos vibrógrafos empregados para medir e registrar os valores de amplitude e freqüência de cada evento de vibração possibilitou, também, avaliar as micro-deformações junto à garra dos amortecedores Stockbridge e às garras dos espaçadores-amortecedores instalados na LT. Nos ensaios de monitoramento foram medidas as amplitudes e freqüências de cada evento de vibração e, posteriormente, por ocasião do tratamento dos dados armazenados nos vibrógrafos, calculados os níveis das deformações mecânicas nos cabos, para então se avaliar a possibilidade de fadiga dos mesmos em tecnologia “FEX”.

Neste informe, apresentam-se em detalhe os resultados das medições nos pontos monitorados, bem como algumas conclusões com base nos valores de deformação mecânica calculados. Verificou-se que os níveis das micro-deformações de cada sítio dependem das características próprias do ponto monitorado.

2.0 – CONCEITO DA LPNE - FEX

Os fundamentos da Linha de Potência Natural Elevada – LPNE - residem na busca de uma equalização e maximização dos campos elétricos superficiais de todos os sub-condutores, a fim de obter a otimização da potência natural da LT, ou seja, a sua transferência de potência auto-regulada adequada, nos critérios de fluxos no sistema, níveis de isolamento e interferência ambiental do horizonte estudado. Tal vantagem se consegue com o posicionamento de cada sub-condutor, em número e seção ideais nos feixes e destes entre si, bem como aos pára-raios e ao solo. Os graus de liberdade que o conceito da LPNE oferece são vastos e permitem uma grande variedade de configurações (2). O processo elementar de LPNE é ajustar a geometria de feixes com sub-condutores e torres padrão, apelidado FEX, que, em nosso clima, implica no alargamento do feixe. Este feixe permite grandes sub-vãos entre os espaçadores, até dispensando-os em vãos medianos, desde que acrescentados amortecedores individuais aos sub-condutores.

Os amortecedores Stockbridge, hoje os mais indicados, muito pouco foram usados em feixes de 500 kV.

Desta forma, para certificar a confiabilidade da nova tecnologia FEX, decidiu-se investigar o comportamento dinâmico da LT pelo monitoramento e cálculo das micro-deformações nos pontos mais críticos dos cabos, tais como junto aos grampos de suspensão, às garras dos amortecedores Stockbridge e às garras dos espaçadores-amortecedores.

3.0 – INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS

Os instrumentos empregados para a realização do monitoramento de vibração eólica no campo foram cinco vibrógrafos e duas estações anemográficas. Cada campanha de monitoramento perdurou por um período de duas semanas no Circuito I, três no C II e cinco no “sítio de análise”. Foram monitorados os pontos próximos aos grampos armados do cabo condutor, às garras dos amortecedores Stockbridge, aos espaçadores-amortecedores e aos grampos convencionais dos cabos pára-raios, conforme pode ser visto nas Figuras 1, 2, 3 e 4 respectivamente.



FIGURA 1 – Vibrógrafo instalado junto a grampo armado



FIGURA 2 – Vibrógrafo instalado junto a amortecedor



FIGURA 3 – Vibrógrafo junto a espaçador-amortecedor



FIGURA 4 – Vibrógrafo junto a grampo do pára-raios

3.1 VIBRÓGRAFOS

De acordo com a recomendação do IEEE (3), a severidade a vibração eólica pode ser avaliada em função do valor da amplitude de flexão do cabo medida a 89 mm de qualquer ponto de fixação da ferragem, sejam grampos de suspensão, garras do amortecedor Stockbridge ou garras dos espaçadores-amortecedores, entre outros. Nos ensaios de monitoramento, as amplitudes a 89 mm foram medidas com vibrógrafos modelo Pavica, de fabricação da empresa Roctest. A grande vantagem do sistema deste vibrógrafo é que ele pode ser instalado diretamente no próprio cabo, tornando-o versátil para qualquer ferragem, não obstante as interferências de varetas pré-formadas.

O vibrógrafo PAVICA é composto de: um corpo principal com braçadeira de fixação ao cabo; uma lâmina de 89 mm de comprimento com uma extremidade dotada de extensômetros engastada ao corpo do vibrógrafo e uma outra extremidade livre dotada de rolete que fica em contato com o cabo. A distância entre o contato do rolete e o ponto a ser monitorado é denominada pelo fabricante pelo termo “*offset*” (4). As distâncias de “*offset*” utilizadas nos ensaios foram definidas em função do ponto a ser monitorado, conforme a Tabela 1 abaixo, devendo ser mantidas o menor possível, abaixo de 100 mm para os instrumentos usados. Como se considera o engaste do cabo condutor no centro de grampos armados, dentro de certos limites de amplitude de flexão, foi imperativo cortar a borracha e as armaduras do lado monitorado, conveniência que não prejudica o resultado.

TABELA 1: Distâncias de *offset* dos vibrógrafos.

Ponto Monitorado	Grampo Armado	Amortecedor	Espaçador-Amortecedor	Grampo Convencional
Distância de <i>Offset</i>	84 a 99 mm (*)	14 a 24 mm	40 a 45 mm	30 a 40 mm

(*) esta distância foi obtida após remoção das varetas e borracha adjacente ao vão de instalação do vibrógrafo.

Dentro do corpo do vibrógrafo PAVICA está todo o circuito eletrônico destinado à aquisição e ao armazenamento do sinal de flexão. Ele mede a amplitude de vibração relativa entre seu ponto de fixação ao cabo e o ponto de contato de sua roda com o mesmo. Com base na distância de “*offset*” fornecida pelo usuário na programação do instrumento, a amplitude de vibração relativa é automaticamente convertida pelo instrumento para a amplitude de vibração direta a 89 mm do ponto de engastamento do cabo, de acordo com o padrão IEEE (4).

Os valores de amplitudes de deslocamento a 89 mm são usadas para o cálculo dos valores de micro-deformações (5) no ponto de monitoramento. Os valores de micro-deformações foram usados para comparação com os limites definidos nas Condições Específicas de Fornecimento (CEF) da CHESF.

3.2 Anemômetros

As estações anemográficas foram do modelo MAWS301, fabricação Vaisala, e utilizaram-se para registrar as velocidades e direções médias de “s” segundos a cada “m” minutos, com seus desvios padrão e temperaturas. Os procedimentos para sua montagem – ver Figura 5 - no topo das torres e suas programações foram desenvolvidas na CHESF com apoio do representante, que publicou artigo no jornal do fabricante devido a seu pioneirismo (6).



FIGURA 5 – Sensores de anemógrafo sobre a torre



FIGURA 6 – Sinalizadores de oscilação dos condutores

O instrumento permite que diversas programações sejam feitas (7), aquisitando médias e máximas a cada minuto, ou dez minutos, horárias e diárias. A programação principal adotou registrar a velocidade média em dez segundos do vento a cada dez minutos, associada a sua direção com desvios-padrão, entre outros valores.

O número de horas mínimo definido na campanha foi de 150 horas por sítio de 15 dias, distribuídas entre componentes transversais de velocidades de 1 a 9 m/s. Os valores das velocidades de vento medidos, também, permitem verificar a presença de vento laminar ou turbulento em função de sua variância.

As componentes do vento transversal à LT são utilizadas na confirmação de que houve excitação de vento laminar suficiente para que as medições de vibração sejam representativas das condições operacionais, sendo os dados cotejados com a meteorologia local para extrapolação à vida útil da LT.

3.3 Registros de Oscilações dos Sub-Condutores

A exemplo da campanha anterior, filmadora digital operada por sensores de balanço da cadeia e vento foi tentada nos primeiros sítios. Falhas nos relés levaram ao seu abandono. Esferas frágeis (ver Figura 6) e linhas, instaladas nos condutores, também foram abandonadas devido ao reduzido tempo de intervenção na LT energizada.

4.0 - CAMPANHAS DE MONITORAMENTO

4.1 Primeiro Sítio

Foram monitorados neste sítio quatro pontos. Utilizou-se para tal quatro vibrógrafos e uma estação anemográfica.

Os valores das micro-deformações calculados nos pontos de fixação do condutor foram consideravelmente baixos. No amortecedor Stockbridge o valor da máxima micro-deformação foi de 53 $\mu\text{m/m}$ para a faixa de frequências entre 21 e 60 Hz. No espaçador-amortecedor o maior valor de micro-deformação encontrado foi de 25 $\mu\text{m/m}$. A frequência de vibração não superou 10 Hz. No vibrógrafo instalado no grampo do condutor não houve registros.

Em contraste, o cabo pára-raios apresentou valor máximo de micro-deformação calculado em 918 $\mu\text{m/m}$. Porém este valor foi obtido com o pára-raios desprotegido e as armaduras retiradas. Foi feita a medição no cabo pára-raios desprotegido e sem armaduras para avaliação da energia eólica média no vão e para avaliação da atenuação das vibrações nos cabos protegidos.

No cabo pára-raios, que tem diâmetro e amortecimento próprio menores do que os do cabo condutor, é razoável esperar que as amplitudes de vibração sejam maiores, servindo de indicador qualitativo da energia eólica no vão.

4.2 Segundo Sítio

Este segundo sítio foi realizado em outro vão bem distante do primeiro, buscando uma alteração do micro clima da linha de transmissão. Foram instalados cinco vibrógrafos e uma estação anemográfica.

Neste sítio monitoraram-se dois pontos distintos na garra do amortecedor. O valor máximo calculado foi 53 $\mu\text{m/m}$. Na garra do espaçador-amortecedor calcularam-se no máximo 25 $\mu\text{m/m}$ em frequências baixíssimas de 3 Hz. Os cálculos no grampo armado não ultrapassaram o valor de 55 $\mu\text{m/m}$ em uma frequências inferiores a 60 Hz.

Foi de 92 $\mu\text{m/m}$ o valor máximo da micro-deformação registrada no cabo pára-raios nas mesmas condições do primeiro sítio. Mesmo no cabo pára-raios desprotegido, os valores das micro-deformações foram mais baixos que no primeiro sítio. Foi assumida como causa da baixa vibração a quantidade inferior de ventos transversais à LT registrada neste vão, indicado pelas equipes de manutenção em função de vibrações sentidas nas torres.

4.3 Terceiro Sítio

Neste terceiro sítio foram instalados cinco vibrógrafos e uma estação anemográfica. O vão escolhido ficou bem próximo do definido para o primeiro sítio.

As vibrações registradas junto à garra do amortecedor Stockbridge correspondem a valores de micro-deformação de 486 $\mu\text{m/m}$ na frequência de 25 Hz. Entretanto estes valores representam menos de 0,05% do número total de eventos registrados, que se concentraram entre 29 e 63 Hz com micro-deformações máximas de 61 $\mu\text{m/m}$.

Neste sítio a micro-deformação na garra do espaçador-amortecedor apresentou um valor considerável de 246 $\mu\text{m/m}$ com frequência de 4 Hz. Não houve registros para frequências superiores a 19 Hz. Setenta e cinco por cento dos eventos concentraram-se na frequência de 1 Hz.

Os níveis de vibração no cabo pára-raios junto ao grampo convencional sem armaduras e amortecedores causaram micro-deformação máxima de 92 $\mu\text{m/m}$ no intervalo de frequências de 30 a 39 Hz.

O vento transversal registrado após 360 horas, mostrado na Tabela 2 abaixo, é compatível com esta vibração.

TABELA 2: Velocidades de componentes de vento transversais à LT (V_t), em porcento do Tempo, no terceiro sítio.

V_t (m/s)	0 a 1	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	6 a 7	7 a 8	8 a 9	> 9	Total de 1 a 9
Tempo (%)	25,7	32,5	25,4	11,9	3,4	0,8	0,15	0,10	0,05	0,00	74,3

4.4 Quarto Sítio

O quarto sítio foi o primeiro a ser realizado no Circuito II da LT PDT / TSD, por três semanas. Foram instalados cinco vibrógrafos e duas estações anemográficas, em vão vizinho ao do Circuito I escolhido para o terceiro sítio.

Neste sítio o vibrógrafo instalado junto à garra do amortecedor não apresentou registros. As micro-deformações calculadas junto ao espaçador-amortecedor foram inferiores a $26 \mu\text{m/m}$ com freqüências abaixo de 3 Hz. No grampo armado a deformação dinâmica de maior ocorrência foi $67 \mu\text{m/m}$ com freqüências extremamente baixas.

Neste sítio foram instalados dois vibrógrafos nos cabos pára-raios, um no cabo com amortecedor e o outro no cabo sem amortecedor e armaduras. Os valores das máximas micro-deformações no cabo protegido foram de $168 \mu\text{m/m}$ com freqüências variando entre 0 e 65 Hz. Apesar destes valores ultrapassarem os limites das CEF, o número de ocorrências foi inferior a 0,39% do número total de eventos registrados que foi de 20.851.

No cabo desprotegido a maior deformação dinâmica foi de $212 \mu\text{m/m}$ com os registros se concentrando na faixa de freqüência de 32 a 49 Hz e com um número total de registros de 112.363.

4.5 Quinto Sítio

O local escolhido para a instalação do sítio foi definido com base em características semelhantes às do terceiro sítio. Foram instalados quatro vibrógrafos e duas estações anemográficas.

Mais uma vez, não houve registros na garra do amortecedor *Stockbridge*. Os maiores níveis de micro deformação no espaçador-amortecedor foram de $26 \mu\text{m/m}$ com freqüência em 9 Hz.

Neste sítio, os registros de vibração junto ao grampo armado do condutor causaram uma micro-deformação de $247 \mu\text{m/m}$ na freqüência de 13 Hz. Este valor de micro-deformação está abaixo do definido nas CEF e representa 0,07% da quantidade de eventos registrados.

A exemplo do que se fez no quarto sítio, foram instalados dois vibrógrafos no cabo pára-raios. Neste sítio, ocorreram eventos que provocaram no cabo protegido uma micro-deformação máxima de $712 \mu\text{m/m}$. Este valor ocorreu em 3 Hz e representa menos de 0,01% do número total de eventos.

Conforme pode ser visto na Tabela 3, entre 0 e 100 Hz apenas 0,7% do total de eventos registrados causaram micro-deformações no cabo pára-raios com valores iguais ou superiores a $150 \mu\text{m/m}$. No cabo pára-raios desprotegido, o valor da máxima micro-deformação foi de $381 \mu\text{m/m}$. O número total de registros no cabo protegido foi de 71.108 enquanto que no cabo desprotegido foi de 167.908.

TABELA 3: Percentual de distribuição das micro-deformações no cabo pára-raios protegido do quinto sítio

Micro-deformação menor do que $150 \mu\text{m/m}$	99,3 %
Micro-deformação igual ou maior do que $150 \mu\text{m/m}$	0,7 %

4.6 Sexto Sítio

Este sítio foi escolhido bem distante do quinto sítio. Foram instalados quatro vibrógrafos e duas estações anemográficas. A máxima micro deformação calculada na garra do amortecedor foi de $27 \mu\text{m/m}$ com freqüências variando entre 0 e 7 Hz.

Para as deformações dinâmicas no grampo armado, o maior valor calculado foi de $67 \mu\text{m/m}$ com freqüência entre 0 e 9 Hz. Não se realizaram medições nos espaçadores-amortecedores devido às baixas amplitudes encontradas nos sítios anteriores, cujos valores estão dentro dos limites especificados pela CHESF nas CEF.

Neste sítio os valores máximos das micro-deformações foram praticamente iguais entre o cabo desprotegido e o cabo protegido ($168 \mu\text{m/m}$). No cabo pára-raios protegido, o percentual das micro-deformações entre $114 \mu\text{m/m}$ e $168 \mu\text{m/m}$ foi de 0,4% do número total de 197.706 eventos, e apenas de 88.936 no cabo desprotegido, o que pode ser justificado se admitirmos que o vibrógrafo computou as reações do amortecedor no cabo como possíveis sinais de vibrações eólicas, mas isto que é correto como número de micro-flexões no grampo.

5.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

As micro-deformações registradas nos pontos de fixação do cabo condutor, no grampo de suspensão e no espaçador-amortecedor, nunca superaram o limite máximo definido pela CHESF. A razão para este resultado é creditada ao sistema de amortecimento, bem como a algumas propriedades das ferragens nestes pontos. No grampo de suspensão a presença da borracha do grampo armado é considerada como um fator de atenuação dos níveis de vibração. Deve-se lembrar que foram removidas partes das varetas e da borracha adjacente ao vão de instalação dos instrumentos. Desta forma, a parte restante ainda contribuiu para atenuar as vibrações.

No espaçador-amortecedor o movimento relativo assíncrono dos sub-condutores foi parcialmente atenuado pelas borrachas e varetas, o restante refletindo vibrações fora de fase que perturbariam o “batimento” fundamental. Os movimentos dos sub-condutores em sincronismo não produzem flexões sensíveis devido à pequena massa do espaçador entrar em vibração síncrona, quando não sintonizar “nós” no ponto de fixação, o que permitiu às vibrações passarem pelo ponto sem provocarem grande deflexão.

No entanto, na garra do amortecedor Stockbridge, a escassez de dados motivou à necessidade de análise mais detalhada. Dos cinco sítios realizados, dois sítios não apresentaram resultados. Três mostraram valores dentro dos limites especificados e um apresentou uma alta micro-deformação, ainda que com uma baixa ocorrência.

A necessidade de uma análise mais detalhada também se justifica para uma melhor avaliação no cabo pára-raios, devido aos níveis de vibração registrados. O fato dos níveis de vibração no cabo pára-raios protegido estarem próximos ou, mesmo que por poucas vezes, superiores aos registrados no cabo desprotegido também motivou a realização de mais um monitoramento em campo, no sítio de análise, a fim de dirimir dúvidas.

Apresentam-se nas Tabelas 4 e 5 resumos dos valores das micro-deformações nos vários pontos de fixação do vibrógrafo, respectivamente no cabo condutor e no pára-raios. Para cada sítio são apresentadas, também, as quantidades de eventos para a micro-deformação máxima e a de maior ocorrência (moda).

TABELA 4: Micro-deformações no cabo condutor *Rail*

Posição monitorada	Referência CEF/CHESF	Valores Registrados	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Sítio 4	Sítio 5	Sítio 6	Sítio de análise
Amortecedor Stockbridge	150 $\mu\text{m}/\text{m}$ p - p	Máximos (eventos)	53 (11)	53 (47)	486 (1)	--- (---)	--- (---)	27 (753)	40 (1 684)
		Modais (eventos)	35 (70 004)	35 (124 070)	24 (80 531)	--- (---)	--- (---)	27 (753)	27 (19 801)
“Grampo armado”	300 $\mu\text{m}/\text{m}$ p - p	Máximos (eventos)	25 (5)	25 (646)	246 (1)	26 (129)	26 (8)	--- (---)	--- (---)
		Modais (eventos)	16 (3 833)	16 (3 908)	25 (918)	26 (129)	13 (17)	--- (---)	--- (---)
Espaçador-amortecedor	300 $\mu\text{m}/\text{m}$ p - p	Máximos (eventos)	--- (---)	55 (15)	--- (---)	67 (144)	247 (1)	67 (3)	--- (---)
		Modais (eventos)	--- (---)	27 (323 435)	--- (---)	45 (799)	45 (935)	45 (2 541)	--- (---)

TABELA 5: Micro-deformações no cabo pára-raios EAR – 3/8”

Proteção no vão de cabo	Referência CEF/CHESF	Valores Registrados	Sítio 1	Sítio 2	Sítio 3	Sítio 4	Sítio 5	Sítio 6	Sítio de análise
Com varetas e com amortecedor	150 $\mu\text{m}/\text{m}$ p - p	Máximos (eventos)	--- (---)	--- (---)	--- (---)	168 (81)	712 (1)	168 (866)	168 (186)
		Modais (eventos)	--- (---)	--- (---)	--- (---)	83 (9 592)	82 (31 680)	83 (90 204)	83 (47 353)
Sem varetas e sem amortecedor	---	Máximos (eventos)	918 (4)	92 (1)	92 (30)	212 (78)	381 (2)	168 (42)	--- (---)
		Modais (eventos)	845 (12 417)	37 (14 783)	37 (14 960)	85 (77 779)	84 (124 724)	84 (76 809)	--- (---)

5.1 Sítio de Análise

No sítio de análise foram instalados no Circuito II, durante trinta dias, oito vibrógrafos e duas estações anemográficas. Quatro vibrógrafos nos cabos pára-raios e quatro nas garras de amortecedor Stockbridge.

Apenas três vibrógrafos instalados no amortecedor apresentaram resultados. Os valores obtidos nas garras dos amortecedores foram todos inferiores a 40 $\mu\text{m}/\text{m}$ e estiveram distribuídos em frequências de até 13 Hz.

Os valores das micro-deformações registradas nos cabos pára-raios apresentaram perdas de dados em dois vibrógrafos e leituras apenas nos outros dois.

Um vibrógrafo apresentou medidas de micro-deformações máximas de 168 $\mu\text{m/m}$. Todavia, mais uma vez, estes valores representam apenas 0,1% do número total de eventos.

Para o outro vibrógrafo instalado no cabo pára-raios protegido, foi calculado grande número de micro-deformações extremamente elevadas na faixa de frequência de 126 a 127 Hz. No entanto, chegou-se à conclusão de que o registro de eventos na faixa de frequência de 126 a 127 Hz se deveu a falha no vibrógrafo e não à vibração eólica.

6.0 - CONCLUSÕES

Os monitoramentos realizados indicam que o sistema de amortecimento instalado no cabo condutor está atuando de maneira satisfatória. Os níveis de vibração registrados nos diversos pontos apresentam valores inferiores aos definidos nas CEF da CHESF. Houve registros de micro-deformação na garra do amortecedor Stockbridge acima do limite de 150 $\mu\text{m/m}$, mas com poucas ocorrências, o que não motiva preocupação para causar fadiga no cabo.

No cabo pára-raios o sistema de amortecimento está absorvendo a maioria dos níveis de vibração. No entanto, ocorreram micro-deformações que ultrapassaram os limites de vibração. Para efeito de fadiga no cabo estas não são preocupantes, mas podem causar danos às ferragens e folgas nos parafusos das torres, que deverão ser vistoriadas em médio prazo pela manutenção, eventualmente necessitando complementar a proteção.

Também foi comprovada a expectativa de inexistência sensível de micro-deformações nas fixações pré-formadas dos espaçadores semi-rígidos dos feixes expandidos nos grandes sub-vãos, em função do auto-amortecimento do feixe e da atuação das varetas e dos coxins de borracha.

A partir dos resultados obtidos, podemos dizer que os "FEX" possuem dinâmica vibratória previsível e que os procedimentos utilizados para o estudo do comportamento dinâmico em condutor singelo podem ser aplicados para cabos em feixe com bons resultados.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CAVALCANTI, S. G. et alii. IT GLT 24. Monitoramentos elétricos e dinâmicos de condutores em linhas de feixe expandido – experiência, dificuldades e resultados – validação tecnológica e confiabilidade operacional; XVII SNPTEE (2003), Brasil.
- (2) RÉGIS JR. O. et alii. Linha de potência natural elevada (LPNE): adaptação do conceito para a recapacitação de linhas existentes; VII ERLAC (1997), Argentina.
- (3) IEEE. Committee report: standardization of conductor vibration measurements; IEEE Transactions PAS-85, N° 1, 1966, pp 10-20, USA.
- (4) ROCTEST. Instruction manual - transmission line vibration recorder and analyzer - Pavica 2000; Canada.
- (5) POFFENBERGER, J. C.; SWART, R. L. Differential displacement and dynamic conductor strain; IEEE Transactions PAS-84, 1965, pp. 281-9, USA.
- (6) RITVA SIIKAMÄKI, MA. Vaisala automatic weather stations Maws101 monitoring transmission lines; Vaisala News 166, 2004, Finlândia.
- (7) VAISALA. User's guide. Lizard setup software MAWS - Vaisala 2002; Finlândia.