



GLT/015

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

### GRUPO III

#### ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

#### CONDUTORES NUS EM FEIXES PARA LT EAT / UAT:

#### ADEQUAÇÃO E OTIMIZAÇÃO INTEGRADA AO SISTEMA, DO PROJETO À OPERAÇÃO, UTILIZANDO-SE NOVAS TÉCNICAS NO ATENDIMENTO AOS PROCESSOS LICITATÓRIOS

Sebastião J. Gusmão Cavalcanti (\*)

NORTRON

Fernando Chaves Dart

CEPEL

Sidnei Massami Ueda

FURUKAWA

Antônio Pessoa Neto

CHESF

Oswaldo Régis Júnior

CHESF

José Sarmiento Sobrinho

CHESF

### RESUMO

Apoiados nos desenvolvimentos com a tecnologia de LPNE e sua adequação brasileira, Feixe Expandido – FEX, os autores vem estudando nos últimos anos materiais e geometria adequados aos condutores dos feixes, em recapacitações e nos empreendimentos em licitação pela ANEEL.

O Informe enfoca resultados elétricos e dinâmicos nos cabos em feixe e na potência das LT. Monitoramento, ocorrências operacionais e medidas para aumento da confiabilidade também são comentados. Para as LT da ANEEL, coteja cabos com alma em liga ou menos aço. Termina sugerindo pesquisas com novos cabos.

### PALAVRAS CHAVE

Linha de Potência Natural Elevada, Feixe Expandido, Cabo de Alumínio com Alma de Liga, Adequação.

### 1.0 – INTRODUÇÃO

Na experiência com padronização de condutores e ferragens na década de 80, e empreendimentos nas LT FEX brasileiras nos anos 90, os autores evoluíram conceitos modernizadores dos condutores, aplicados em recapacitações pioneiras, vistas em IT anteriores. Particularmente onde foi acoplado ao CAA original um segundo cabo em seção menor e/ou material diferente (CA e CAL Termo), surgiram novas técnicas, como a tração compatível com sua menor resistência ao vento máximo e com flechas de sub- vãos adequadas a espaçadores pré- formados e à largura calculada para o feixe em cada fase.

Posteriormente foram feitas alterações no primeiro projeto de recapacitação de LT em 230kV de circuito simples, chamado DuFEX, para maior tranquilidade da manutenção, reduzindo o número de conexões em série com o uso da técnica de “Jumper Esticado”. É de fato ancoragem de peça de cabo novo paralela ao

Linnet nivelado, a ele amarrado para ajuste da tração e largura do feixe nos vãos antes em suspensão.

Estas novas idéias geraram questionamentos aos conceitos tradicionais de escolha dos cabos e exigiram desenvolvimentos nos métodos de cálculo, construção e operação, suscitando problemas de verificação de resultados por medidas mais exatas nas SE e LT, com instrumentos de monitoramento mais adequados e campanhas melhor conduzidas.

Aplicados a projetos de novas LT, os revolucionários conceitos de escolha e emprego de cabos condutores resultaram em importantes reduções de custo total, mostradas em dois exemplos neste IT. Porém o maior ganho econômico mostrou-se função do fomento da Engenharia de Linhas, que, usada com bom senso, permite inúmeras adequações a critérios, outros materiais como torres “cross-rope”, cadeias de feixe expandido com projeto “torre- número”, espaçadores flexíveis mais amortecedores junto às cadeias, etc.

O Informe discute então possibilidades e limitações de uso dos feixes mais adequados, e até propõe novos materiais para cabos de alumínio. Não sofrendo a criatividade após os bons resultados, nossa equipe LPNE integrada, enquanto consolida as posições alcançadas, estuda desenvolvimentos em condutores, conforme a atual política do setor, com o apoio científico do CEPEL e com a visão empresarial de industriais de cabos e ferragens.

### 2.0 – NOVO CABO ACOPLADO EM LT 230 kV

Nas recapacitações de LT existentes que tinham só um condutor por fase, a modelagem do FEX foi possível com o acréscimo de novo cabo, limitado pelas torres existentes, só reforçadas em casos esporádicos, já que o cálculo torre – a – torre permitiu uma utilização integral dos suportes e “clearances”.

Dentre os oito tipos de feixe duplo estudados, os dois casos apresentados foram os aplicados pela Empresa de Transmissão por serem a única alternativa para atender a tempo o mercado, sem licenciar novas LT, e

se mostraram mais eficientes que LT convencionais. No enfoque deste IT mostram as seguintes inovações.

## 2.1 – Super – festão

Assim chamado por ter lembrado ao autor os antigos sistemas anti- vibratórios “breteille”, utilizou um cabo CA 4/0 AWG ( 1/3 da seção do CAA Grosbeak ), a este diretamente fixado por varetas preformadas nas amarrações e suspensões [1]. Usou-se o CALT na LT experimental por não se ter cálculo da distribuição das correntes nos cabos heterogêneos, mas as medições (precárias, com alicate em bastão isolante) mostraram menos de 40% do total no “Beetle” que permitem o CA suportar os 3,5 A/mm<sup>2</sup> para 1,6 pu. do SIL de 204 MW calculados, sem envelhecer a liga ASTM 1350.

Dificuldades gerenciais no contrato de construção, que outro IT relata ao descrever esta montagem insólita, nos impediram de obter as medidas com “power-donnuts” então pretendidas. Com o acompanhamento do “creep” do feixe misto e a redução de alturas, estas medidas permitirão extrapolar as correções de flechas necessárias para a plena potência prevista ocorrer no fim deste ano, durante a retirada da LT Transformável paralela (duplo 230kV em FEX de 5m SIL = 506MW ), que será reisolada em FEX 500kV, 1168MW [2].

### 2.1.1 - Do ponto de vista do novo cabo CA no feixe

O comportamento termo- mecânico é “sui-generis”: o CA quanto mais aquecido, maior a largura do FEX, menor a reatância, maior a parcela de corrente, maior a temperatura. Na construção a falta de interligação em vãos maiores que 500m (devolver a LT no fim do dia) fizeram o “Beetle” descer até tocar o Grosbeak da fase 6m abaixo, causando três desligamentos na hora da ponta. Sub- vãos e tamanho de espaçadores foram calculados para evitar o risco (a resistividade térmica satura este efeito), porém corona e abaixamento da fase são prováveis com mais de 250MW (espera-se até 330 MW / circuito!) e os processos de cálculo hoje disponíveis não confiabilizam esta extrapolação, sem os monitoramentos agora em contratação junto com as correções previstas.

### 2.1.2 – Correções do “cabo- baixo”

Certo de ocorrer nos vãos maiores e em travessias críticas, mas sem se poder precisar que casos seriam ainda toleráveis, a contratação em curso prevê até setembro o estrangulamento de 60 sub-vãos (conexão sem espaçador), a semi-ancoragem de 60 cadeias ora em suspensão (doze delas com aumento da tração) e, para casos extremos, inserção de 3 torres tipo “monopole” de circuito duplo em vãos acima de 750m. Junto com a instalação de 6 duplas transposições em “line-post” (no “jumper” que cruza o nível intermediário) e 36 amarrações anti- balanço de fase abaixo citadas, o custo previsto é de menos de 1 milhão de reais.

### 2.1.3 – Quanto a efeitos dinâmicos no cabo fino

O emprego de cabo sem alma de aço e em pequenas seções era inviável tanto por não suportarem as cargas de vento máximo quanto por apresentarem em flechas usuais tensões de EDS críticas para fadiga.

Na aplicação em questão o “Beetle” pouco aumenta a tração sob pressão de 0,65 kN/m<sup>2</sup> (de ~3 kN inicial para ~4 kN final com vento máximo) por descarregá-la nas muitas amarrações ao Grosbeak (mais de 10 por vão). A tensão no alumínio de ambos, entretanto, excede em EDS os 60 N/mm<sup>2</sup> que admitem alguma vibração; mesmo retirando-se os “Stokbridge”, não se registrou, qualquer vibração, até com vento laminar de 8 m/s. Isto se explica por terem natureza vibratória diferente, estarem em diversos comprimentos de sub-vãos e se fixarem com preformados, tudo gerando auto- amortecimento suficiente para impedir batimento harmônico vibratório, como já antecipado no projeto.

O efeito que prejudicou a operação foi o de balanço lateral do feixe em vãos com mais de 500m e estruturas de concreto (16 m de largura) defasadas na LT paralela. Em quase um ano registraram-se apenas dois desligamentos (se ainda surgissem as rajadas do “el niño” seriam mais de 20 ocorrências), pois apesar de já haver casos de desligamento só com o Grosbeak balançando 35°, o feixe 7% mais pesado e com 53% mais área exposta balançaria 47° (>3,7 m além em vão > 500 m), na mesma condição climática.

A correção adotada (além da inserção de torres) foi o estaiamento isolado do meio do vão nas fases inferior (e até média), já testado na LT Transformável num caso de balanços assíncronos. Ver Figura 1 abaixo.

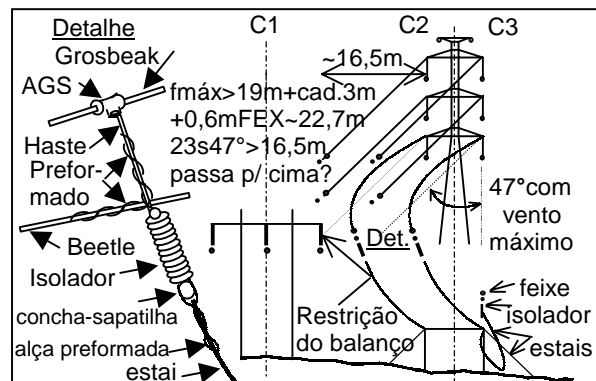


FIGURA 1 - Estaiamento a meio- vão do super- festão

### 2.1.4 – Benefício / custo da adição do cabo CA fino

Com a energização diária dos tramos recapitados foi possível aos autores ter medidas preliminares, com instrumentos portáteis em apenas um dos circuitos com o 4/0 instalado, ainda sem controle preciso do feixe. Sub-vãos exagerados se corrigiram interpolando alças, e embora não correspondendo exatamente à concepção do projeto, até o momento a operação tem sido satisfatória, com as medidas nas SE de Milagres, Banabuiú e Fortaleza dando cálculos aproximados de aumentos na potência transmissível entre 35% e 40% de acréscimo. Como o contrato foi encerrado sem as medidas mais precisas diretamente nos cabos, o cálculo de perdas ainda não foi feito, aguardando-se a contratação destas com “power donuts” (ora em prioridade nas LT DuFEX, ver item 2.2) antes do fim do ano, para validar a obra complementar e definir a corrente de controle do despacho de carga.

Ultrapassando pouco a expectativa de projeto ( US\$ 7 mil / km) o custo será ainda onerado em R\$ 2 mil /

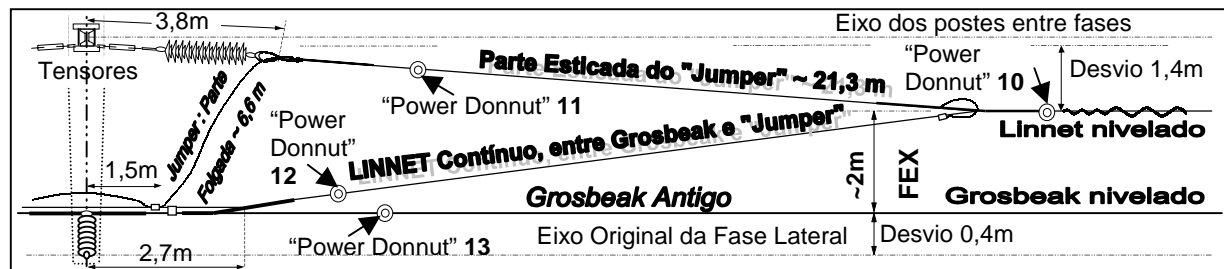
km em média, para os complementos já citados e o monitoramento. Comparando o aumento de 23% em peso de cabo com 36% de potência, a eficiência do feixe é 11% superior ao do cabo original. Ao custo de R\$500 / km por 1% de potência, a recapacitação alcança 1/3 do custo por MW das LT do tipo. Ainda que estimando a vida remanescente na metade da de uma LT nova (as do caso têm 22 e 28 anos e estão em perfeito estado, exceto por corrosão marinha próximo a Fortaleza, corrigida na obra), a eficácia da recapacitação foi 50% superior à da construção de nova LT convencional com capacidade eqüivalente.

A efetividade da repotenciação, a maior expectativa da operação após a fase temporária – reisolamento da LT Transformável paralela e contingência da interligação em 500 kV – está na confiabilidade / manutenibilidade de conexões e amarrações do pioneiro Super- festão. Também o comportamento da fluência conjunta, da distribuição de correntes interativa com aquecimento e enflechamento, balanços nos vários modos dinâmicos do material heterogêneo e que mais efeitos ainda não detectados, pedem longo monitoramento e medições precisas, enriquecendo a interação projeto– operação. Sem essas comprovações e decorrentes aferições de cálculos, esta inovação ainda não deve ser estendida a recapacitações que já poderiam beneficiar-se da simbiose entre as vantagens elétricas do CA com as mecânicas do CAA, neste feixe insólito.

## 2.2 – Novo CAA ancorado em FEX com suspensão

Inédita e ainda mal avaliada é a versão do DuFEX [3] chamada “jumper esticado”, adotada quase ao início das obras, para conciliar solicitações do planejamento do sistema à viabilidade construtiva e ao temor de “ponto quente” da manutenção. Ainda sem projeto testado, o método de cálculo foi empiricamente estabelecido com ábacos gerados a partir dos feixes em 3 tamanhos de enxerto instalados preliminarmente em alguns vãos, como visto na Figura 2, projeção da fase lateral (a outra é similar, vertical). Os tensores de cadeia do CAA 26/7 Linnet, lateralmente amarrado ao velho Grosbeak, serão ajustados com várias trações.

FIGURA – 2: “FEX Jumper Esticado”, na fase lateral



Nas 4 LT P. Afonso/ Bom Nome/ Milagres C2 e C3, de duas épocas (68 e 76), sem “como construído” ou topografia precisa, este ajuste dá a impedância de feixe necessária sem corona, sem cabo baixo nem próximo dos para- raios. Com temperaturas de 10°C a 70°C, “creep” de 1 mês a 20 anos, ventos... Sabendo a dificuldade para desligar a LT, os autores aguardam ao fim de maio medidas de distribuição de correntes no feixe para comprovar a confiabilidade requerida ou implementar, até através da manutenção, os reajustes da tração nos cabos (sem desligamento).

### 2.2.1 – Razão de amarrar o novo CAA ao velho

Embora estudado em 1994, como alternativa para recapacitação FEX 230kV circuito simples horizontal, a solução DuFEX pareceu menos problemática que o “balanção” e o “gangorrão”, por não solicitar cruzetas, descarregando além do peso as cargas de vento na forma de reação de estai no poste concreto. As poucas torres treliçadas ofereciam resistência (viável com reforços localizados no nó de ancoragem) para condutor não maior que o Linnet e o Planejamento do Sistema sinalizava a máxima potência neste tronco.

Só ao fazer a LT Piloto se viu o risco do poste romper em torção ao nivelar o Linnet em feixe de 3,4m, e já se sabia (lá foi comprovado) que ancorando junto ao poste o novo CAA produzia muito corona, só evitado deslocando-se o Grosbeak para perto dele com mais um isolador. Então, já em fase de contratações, a Operação fechou questão em não cortar o cabo nivelado para apor o “jumper”, pois se deu conta de que os 10 000 novos conectores em série, apesar de quase perfeitos (tipo cunha, importados) aumentavam risco de ponto quente e em todas as torres. Ensaios e experiências posteriores mostraram ser nulo tal risco com a duplicação em paralelo destas conexões, mas a solução proposta implicava em voltar torre - a - torre o cabo já nivelado para folgar os 8m de contorno do poste, com risco de quebra por acidente de movimentação, segundo o pessoal de construção, onerando o prazo com estai longitudinal provisório.

A solução foi testada por Empreiteiras, manutenção e fiscais; os diversos resultados mostraram o que fazer. Daí parametrizados os comprimentos, distâncias e trações em função dos vãos de vante ou ré e de peso, o cabo foi nivelado ao existente sem tabela de flechas e trações; as manobras de pega e folga para engate tornaram-se praxe para fiscais e mestres, as variações

reduzindo a dispersão e tenderam à média de 2 m nas fases laterais e 1,8 m na central. Todas as distâncias de segurança foram satisfatórias e prumos de cadeia ( $\pm 10^\circ$ ) como esperado. O projeto empírico funciona (mesmo sem cálculos) porque a interação de trações leva o feixe ao ponto de equilíbrio entre a livre suspensão do Grosbeak e a ancoragem do Linnet.

### 2.2.2 – Resultados observados e complementações

Dinâmica complexa ainda não modelada exigiu o uso de SVD (que dispensa conhecer o nó das reflexões), porém a almejada interação dos cabos de massa e trações diferentes mostrou-se eficaz para, até sem amortecedor, não apresentar vibrações perceptíveis.

O ruído é moderado, deve reduzir-se à medida que o “creep” do cabo novo o aproxime do antigo, na fase central. Extrapolação a partir de casos limite mostra ainda dimensões satisfatórias, exceto em vãos acima de 500m, após o “creep” ou em balanços assíncronos. Amarração preformada foi feita a meio vão do feixe, igualando o pêndulo médio entre fases; e monitorando o “creep” de 6 meses pode-se ajustar as trações antes de desligar a LT Transformável para reisolamento.

O efeito preocupante de interferência na teleproteção, devido às dez mil diferentes amarrações capacitivas sem corrente, deixou de ocorrer com o prolongamento do “jumper esticado” de um lado a outro da estrutura, ficando mais 20% de cabo em paralelo, garantindo as conexões e ampliando os ganhos no transporte.

Medida do campo elétrico e avaliação do corona estão previstas para maio de 2001, bem como das correntes nos cabos dos feixes. Resultados iniciais são 50% a 52% no Linnet na fase lateral e 45% a 48% na central, ambas com 28% a 30% na ponta de amarração do “jumper esticado”, função da geometria e temperatura dos cabos do feixe. A Figura 2 mostra as posições dos 4 “power donnuts” em fase lateral. Estatística de mais medidas, ora em andamento, permitirá estimar as perdas de energia; aguardam-se as medidas nos vãos maiores que 500m para avaliação do limite térmico. Os ganhos nas LT já podem ser calculados com os valores obtidos nas SE., como mostrado na Tabela 1.

TABELA – 1 : Ganhos na transmissão com o DuFEX \*

Medida LT \	Data 00/01	$I/\chi$ (A)	Participação (%)	Relação (p. u.)	P. Natural (MW)
C1	31.08	244,5	33,72	1	133,9
C2	31.08	243,2	33,54	0,9947	133,5
C3	31.08	237,4	32,74	0,9709	130,0
C1	30.03	192,0	23,33	1	133,9
C2 R *	30.03	321,3	39,04	1,6734	224,1
C3 R *	30.03	309,7	37,63	1,6130	216,0

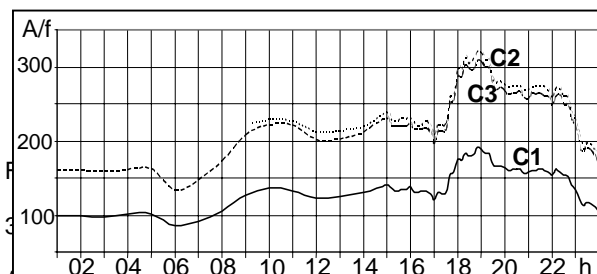
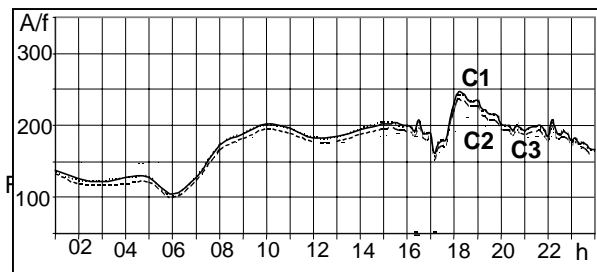
As correntes são da ponta (18h10) de um dia típico antes da obra e de outro (18h50) após concluir, cujas curvas de carga estão respectivamente nas Figuras - 3 e - 4). As pequenas diferenças de carga entre os circuitos, relativamente iguais em todas as medidas, são devido a estruturas mais compactas no C1 (7,5m entre fases) e na maioria do C2, do que no C3 (8m), além de maiores vãos de peso naquelas e maior altura no C3; este está ligado à barra de entrada da SE (não foi considerada pequena diferença de tensões) tendo

comprimento 0,5% maior. Cálculos mais exatos serão feitos em junho, após a conclusão das medições nas outras LT, que são 65% do trecho.

### 2.2.3 – Benefício / custo da adição do CAA menor

As medidas nas SE, embora preliminares e parciais, já sinalizam que as quatro LT apresentarão mais de 60% de aumento do SIL, valor planejado para se desligar a LT Transformável e garantir contingências no 500kV do intercâmbio no final do tronco. O acréscimo no SIL de 176MW corresponde a 70% do de um dos circuitos a reisolado, garantindo o próximo “upgrading” sem ônus de licenciamento de nova LT.

O feixe de 2 cabos CAA 26/7, com 53% em acréscimo de cabo resultando no DuFEX em 67% de aumento no SIL, corresponde a 9% mais eficácia no uso do cabo. O custo total da reforma alcançou R\$24.290/km de LT, dos quais mais de 10% em substituição completa de aterramento, contrapeso e estai e parcial de isolador, grampo, e até dos cabos CAA muito baixos nos vãos de travessia de reservatório (instalados equivalentes CAL). Em relação a uma LT nova de SIL 132MW que custa R\$100.000/km, a eficiência desta recapitação foi de  $(884132) / (24,294100) = 2,75$ . Considerando a extensão de vida útil prevista para metade da LT nova, a recapitação custou, para a mesma potência e vida, menos 27% no DuFEX que em LT tradicional.



A expansão dos feixes convencionais em 500kV para quadrados de 1m ou mais já está largamente difundida no setor, porém há resistência aos chamados feixes assimétricos, e o conceito primário de que quanto maior o número de cabos no feixe, maior a eficiência da “LPNEE” [4] sem considerar os demais custos. Já no ano 2000 fizemos dois estudos básicos para os editais da ANEEL em que cotejamos as vantagens de FEX triangulares pouco maiores que os quadriláteros para a mesma seção de alumínio. O valor fixado da

resistência ôhmica, função da seção e resistividade da liga dos fios, pretende o mesmo valor da perda (difícil de estimar, pois envolve a dissipação); favorece cabos formados por maior número de camadas, o tipo CAAL, e maiores diâmetros. Como a política de manter cabos e torres para só otimizar o FEX foi boa, pode ser ainda mais adequado interar novos condutores e suportes. A torre estaiada de mastros separados (sem viga) oferta o padrão comparativo ideal, mas outros tipos também são vistos nos cotejos preliminares. A adequação total a cada LT envolve decisivamente clima, topografia, solo, uso da terra, ambiente e requisitos peculiares. Mas as vantagens oferecidas por um estudo amplo são inegáveis, para qualquer caso.

### 3.1 – Menos cabos de mais alumínio, menor carga

Avaliando limites práticos da potência em função do número de cabos, para a “cesta de alternativas” do planejamento do sistema 500kV da ELETROBRAS, o grupo LPNE encontrou, em 1997, interessante relação que, aplicada à prevista LT Lajeado – Sobradinho, gerou um FEX “tri-Bittern”, que com mesma formação, peso e seção do “quadri-Rail”, oferecia área de vento 13,3% menor que este. Considerando cabos guarda, a economia das torre mais cadeias seria 10%, cerca de 4% no custo total. Entretanto, o SIL de 1200 MW pede um FEX de 2x2,2m (1x1,2 com cadeia “V” na fase B), ainda compatível com as torres estaiadas padrão ou transformáveis, usando mais 1,5m de altura de torre, compensados pela menor quantidade de espaçadores. Tentando o uso de cadeias “I” na fase central em mais de 80% das locações, o que economiza mais 2% do custo total, verificou-se que torres tipo “cross-rope” mais leves, também compactam feixes e faixa.

O grande salto qualitativo veio ao se compensar a perda de altura do FEX com um maior esticamento do cabo. Então verificou-se que o critério tradicional no setor de EDS a 20% da carga de ruptura, oriundo na formação 26/7 da tensão de 60N/mm<sup>●</sup> no alumínio por risco de fadiga, estavam super- dimensionando as flechas dos cabos 45/7. Nestes, o maior número de camadas, menor carga de ruptura e sem haver contato da 2ª camada com o aço permitem até 23% em EDS com menos de 55N/mm<sup>●</sup> .

A outra constatação foi que isto também se aplica aos cabos CAAL (alma em liga AL) 48/13 e 54/7, que além disso custam menos por metro e pesam menos nas torres. Sua desvantagem de falta de peso se reflete, entretanto, num maior ângulo de balanço que pode onerar a largura da torre e a faixa. Além disso, o vento máximo passa a governar o esticamento.

Apenas em caráter ilustrativo, a Tabela – 2 apresenta índices de carregamento para alguns feixes de cabos usuais e flechas no vão de 500m a 60°C final definidas com governo do vento 620N/m<sup>●</sup> < 40% da ruptura, por “EDS” a 20% ou a 55N/mm<sup>●</sup> de tensão estática no Al.

TABELA – 2 : Flecha de cabos por critério, Vb=500m

Condutores	Seç.Al	Peso	Vento	Flecha máx.final(m)
tipo	form.	n.mm <sup>●</sup>	N/m	40% eds20% tensão
CAA	26/7	6. 170	41,34	68,03 18,2 <u>20,26</u> 21,21
CAA	26/7	5. 322	65,11	77,95 14,5 <u>19,48</u> 20,20
CAA	45/7	4. 483	63,99	73,39 17,1 <u>22,78</u> <u>19,29*</u>

CAAL	12/7	6. 180	30,76	64,54 <u>25,5</u> 21,34 ~17,7
CAAL	15/4	5. 331	45,61	72,99 <u>22,5</u> 24,50 ~17,7
CAAL	24/13	4. 432	47,68	66,96 <u>20,8</u> 22,50 ~17,7
CAAL	30/7	4. 498	54,94	71,87 <u>20,0</u> 21,34 ~17,7
CAAL	30/7	3. 649	53,62	61,51 <u>19,5</u> 20,80 ~17,7

Observando que o critério que resulte na maior flecha final é o que governa, nota-se que 20% da CR tem até risco de fadiga para os CAA 26/7, mas que no 30/7 de 3 camadas, o auto- amortecimento e a menor CR não implicam neste risco, permitindo (com 22,5% CR nas EDS)\* torres 3m mais baixas. Os cabos CAAL tem o esticamento governado pelo vento máximo (por norma menos de 50%CR, com as flechas acima para 77N/m<sup>●</sup> efetivo), menos 1 a 2m de altura comparadas com o critério antigo, exceto para o cabo mais fino, sem risco de fadiga (invés do que sugere a norma).

### 3.2 – FEX “trinato” em lugar de “quadro” 500kV

Os feixes da Tabela 3 permitem SIL de 1200MW, em função da geometria, com perdas altas nos de menor seção, que são mais adequados para 700 a 1000MW de transporte firme ou fatores de carga baixos (como em LT de contingência). Apenas o CAA 4.“Rail” e os CAAL 4.“~Rail” e 3.“~Bunting” alcançam a resistência ôhmica mínima pedida na ANEEL para LT de 1,2GW. O trinato solicita 14% menos carga de vento às torres que o 4.CAAL ~Rail, para o mesmo peso de feixes, na mesma altura e vão, e 16% menos de peso e vento que o clássico 4.CAA Rail, no mesmo SIL e perdas. A relação de peso/ vento do 3.CAAL (que dimensiona a faixa) é igual à do 4.CAA (o 4.CAAL é 20% maior) e a possibilidade de corrosão é menor.

Devido às inúmeras condicionantes de critérios que governam a adequação caso a caso, a economicidade da LT não é simples a formular, mas a tendência do menor custo do FEX com menos cabos ACAR é clara na Tabela 3 adiante, para a qual foi tomada como referência a torre estaiada padrão da Empresa e seus preços atuais, na maior altura útil em terreno plano de cada feixe para 1,2GW e mesma resistência ôhmica. Os custos foram informados em março 2001 por Fabricantes e Montadores, em R\$1000 / km de LT.

TABELA - 3: Custo R\$1000/km LT 1,2GW em FEX IVI

Condutores	R 75°C	Cabos	Torres	Fer+Is.	Outros	Total
Nº x código	Ω / km	Material	+ Mão de Obra	%4Rail		
11xLinnet	189E-7	156,5	114,1	79,28	48,21	139,8
6xGrosbeak	184E-7	150,8	88,34	48,10	42,95	115,1
4xRail	186E-7	122,9	81,79	39,59	40,81	100,0
11x~Linnet	183E-7	147,4	107,6	73,35	45,00	130,9
6x~Dove	180E-7	131,4	88,03	42,49	41,69	111,8
5x~Tern	166E-7	141,7	83,93	42,12	41,98	108,6
4x~Rail	182E-7	128,8	82,79	37,03	41,71	101,6
3x~Bunting	189E-7	123,0	73,08	32,66	40,03	94,28

Em climas de vento máximo menor ou admitindo-se neste maior percentual da carga de ruptura, os cabos CAAL aumentam a vantagem em relação aos CAA. Os preços dos cabos CAAL podem ser algo abaixo do informado, porém a vantagem do menor número de sub- condutores no feixe está evidente. Também a otimização conjunta feixe- condutor favorece os CAAL, já que foram usadas torres dimensionadas para CAA.

Ressalva-se sempre que a otimização conjunta só é aplicável partindo dos parâmetros elétricos planejados e considerando as condicionantes específicas de cada LT e Empresa. A versatilidade das torres “cross-ropes” permite então maior adequação a cada caso com mastros modulados e estais padrão. Estimou-se que no exemplo acima, torres deste tipo otimizadas para 4xCAA Rail ou 3xCAAL equivalentes a Bunting com isoladores “I-I” trazem cerca de 3% a 4% de redução ao custo total.

#### 4.0 – FUTUROS CONDUTORES EM LPNE

A expectativa de novos condutores para aplicação em LPNE/ FEX voltou-se para três possibilidades:

- Ligas termo- resistentes, já disponíveis, para adição de cabos finos em recapacitações de média tensão;
- Cabo de baixa pressão no vento, ora em estudo de mercado para restrição de balanço de cabos leves;
- Cabo com fios externos anodizados na cor de maior relação emissividade / absorção de infra- vermelho, e maior coeficiente superficial/suportabilidade de corona, objeto de convênio de pesquisa ora em negociação pelas Empresas dos autores, sem previsão de disponibilidade.

Apesar da intenção governamental de investir em pesquisa e desenvolvimento, as recentes dificuldades conjunturais no setor retardaram os primeiros resultados com novos materiais, a ponto de impedir a pretendida inclusão no presente IT:

#### 5.0 – CONCLUSÕES

##### 5.1 – Re- Exame dos Condutores Atuais para LPNE

As características dos cabos (maior elemento de custo na LT), estudadas em função das novas aplicações FEX em conjunto com os outros componentes de materiais, permitem inovações de grandes resultados econômicos.

Aspectos peculiares nestas novas soluções carecem estudos mais aprofundados para adequação às características operacionais de cada empreendimento,

como o número de sub- condutores ótimo para os parâmetros pretendidos em conjunto com os suportes modernos, como as torres “cross-ropes”.

Resultados aplicáveis também a LT convencionais, como maior esticamento de cabos CAA de muitas camadas e/ou CAAL, merecem ser mais estudados pelo setor, pelas inegáveis vantagens econômicas.

##### 5.1 – Pesquisa e Desenvolvimento de Condutores

Embora se mostrem promissores, os resultados esperados só poderão ser alcançados a médio prazo se houver um esforço conjunto entre as Empresas de Transmissão e os Fabricantes de Cabos; o mercado atual inseguro quanto aos objetivos empresariais não estimula as necessárias ações de cunho técnico-econômico em prioridade sobre as metas comerciais. A pretensão dos autores em ver o convênio de P&D a respeito implementado em 2001 conta com o apoio de destacados expoentes nas CIGRÉ e a aura resultante dos projetos FEX/ LPNE, mas parece essencial um patrocínio concreto dos atores no setor.

#### 5.0 – BIBLIOGRAFIA

- [1] CAVALCANTI, S. G. e outros: LPNE – A Técnica e a Cultura da Adequação; XIV SNPTEE, Belém, Br.
- [2] RÉGIS JÚNIOR, O. e outros: Transformação de Linha 2x230kV para 500kV: Dimensionamento dos Parâmetros Elétricos com o Feixe Expandido, em Função de Estudos de Sistemas, IX ERLAC, Foz do Iguaçu, Br.
- [3] PESSOA NETO, A. e outros: Novos Métodos para Aumento de Potência de LT até 230kV - Estudos, Projeto e Implantação Comercial XVSNPTEE, Foz, Br.
- [4] PORTELA, C. : Linhas Não Convencionais com Elevada Capacidade de Transmissão: XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, Br.

#### 6.0 – DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR

Sebastião José Gusmão Cavalcanti nasceu a 15/01/43 no Rio de Janeiro/RJ, tendo-se formado como Eng<sup>o</sup>. Eletricista em 16/12/69 na FEUEG. Estagiou na Fáb. de Lâmpadas da GE e foi Aux. de Eng<sup>o</sup>. na SOTEL. Trabalhou em inspeção de materiais na BERKENDON e projeto e consultoria de Distribuição na Berenhauser. Foi projetista- consultor de LT na ELECTRA em 74-83. Foi Eng<sup>o</sup> de Projeto de LT na DEPL-CHESF em 84-98. Sócio individual CIGRÉ, hoje atua como Consultor de LPNE e na direção Técnica da NORTRON.