



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

GLT - 03
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO III
GRUPO DE ESTUDO DE LINHA DE TRANSMISSÃO - GLT**

NOVO CONCEITO DE GRAMPO DE SUSPENSÃO E GARRA DE ESPAÇADOR PARA CABOS DE ALUMÍNIO

**Paulo Sérgio P. Borges
PLP**

**Sebastião J. Gusmão Cavalcanti (*)
NORTRON**

**Carlos Fernando Cabral
CHESF**

**Ivo Pinto Cavalcante
PLP**

**José Arnaldo Delgado
CONSTRUTORA QUEIROZ GALVÃO**

**Irany Paschoal de Macedo
CELPE**

RESUMO

O Informe Técnico reporta desenvolvimentos para as fixações de sustentação vertical e de interconexão de sub-condutores de alumínio nas Linhas de Transmissão.

Vivência em monitoramento justifica vantagens da articulação ao nível do cabo e do coxim sem armaduras.

Restrições das especificações e solicitações reais são tabuladas para os grampos em duas versões de coxins.

Aspectos dinâmicos, elétricos e econômicos de grampos e garras das concepções atuais são cotejados industrial, construtiva e operacionalmente, como componente e pelo desempenho nas LT.

Estimativas de desempenho previstas em aplicações monitoradas são apresentadas junto com pareceres de especialistas em montagem e manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Grampo de Suspensão, Coxim de Borracha, Gripagem por Cunha.

1.0 - INTRODUÇÃO

1.1 – Justificativas do tema e abordagem do Informe Técnico

Motivado para rever os conceitos de fixações passantes de cabos de linhas aéreas de transmissão (LT) pelo desempenho dos tipos e modelos atuais e seu reflexo nas questões de esticamento, fadiga por vibração e garantia de montagem segura, o autor vem procurando uma alternativa moderna para os bons sistemas de grampos de suspensão e garras de espaçadores que conquistaram o setor devido às características superiores de fixação com varetas pré-formadas e coxins de borracha.

Criado há mais de quarenta anos para os grampos de “suspensão de agarramento armado” (sigla AGS® em inglês), o sistema foi bem aproveitado para garras de espaçadores há quase dezoito anos, após o autor confirmar em ensaios de campo as vantagens do processo. Apesar de mono-articulado em eixo bastante superior ao nível do cabo, seu apoio central abaulado cercado de material flexível facultava pequeno grau de articulação em vibração de baixa amplitude e/ou frequência. O efeito registrado em linha piloto é quase equivalente ao dos esquecidos bons grampos rígidos aparafusados com articulação perfeita ao nível do cabo, que além de não se fletir na fixação, tem a vibração de um vão transferida para o seguinte, quebrando o batimento desta, quase sempre assíncrona. A decantada vantagem de substituir o grande aperto dos parafusos, que impeça o escorregamento do cabo, pelo efeito de gavinha das varetas helicoidais temperadas é a eliminação da tensão estática de aperto, o que facultava maior tensão dinâmica de vibração sem atingir o limite de fadiga do cabo de alumínio. Porém estas varetas exigem prática para a montagem e dificultam a manutenção em linha energizada, inclusive ao potencial, principalmente de espaçadores; as armaduras apresentam o maior índice de danos entre seus componentes, na construção e manutenção, e correspondem a mais da metade do custo no preço do grampo ou garra.

A maior desvantagem recente é o sistema de aquisição pelo menor preço, que leva os atuais dez fabricantes licenciados ou de similares a competir com redução de custos e conseqüente perda de qualidade. A melhor solução parece estar na novidade tecnológica, que pode aperfeiçoar o produto e reduzir seu custo.

1.2 – Antecedentes e experiência acumulada em atuações correlatas

Quatro desenvolvimentos bem sucedidos destacam-se do acervo profissional vivenciado pelo autor: o uso de garras com coxim e varetas pré-formadas em espaçadores-amortecedores, a aplicação de AGS em protótipos de espaçadores rígidos para “feixe expandido” (FEX) (1), o uso de conectores cunha com função secundária de amarração de cabo CA ao CAA original e o corte das varetas de AGS de FEX 550kV em monitoramentos (2).

Há dezesseis anos, durante a concepção conjunta com fabricante de espaçador-amortecedor, que apresentava falhas e problemas contumazes nas garras aparafusadas, verificou-se que a redução do número e comprimento das varetas pré-formadas apresentava função não linear para a resistência ao escorregamento, sem duplo zero. Isto é, o coxim, quando confinado, produzia atrito estático marginal notável, tão maior quanto mais macio e apertado; face à baixa resistência ao escorregamento especificada para o espaçador e à dificuldade do confinamento do coxim, padronizaram-se as varetas reduzidas a um terço da quantidade e à metade do comprimento usado no AGS, com desempenho plenamente satisfatório a ponto de hoje ser o sistema exigido.

Há treze anos três protótipos de espaçadores manufaturados pelo autor foram instalados em linha de ligação UHE – SE; pela pouca experiência e grande responsabilidade, optou-se por AGS que operam experimentalmente, articulados nos grandes quadros FEX, sem se verificar até o momento desgastes ou falhas nas conexões.

Há sete anos, ao instalar um cabo CA 4/0 AWG em feixe sob o CAA 636 MCM nas recapacitações chamadas “superfestão”, muitas das amarrações em alças pré-formadas foram instaladas (em intervenções com regime de urgência e horário restrito) com folga entre a amarração e o conector cunha. Este então passou a suportar 90% da tração do cabo #4/0, apesar da contra-indicação do fabricante, em mais de vinte casos (no total de onze mil).

Nos últimos cinco anos, para facilitar a instalação de vibrógrafos reversos em distância inferior a 99mm do centro do AGS, o autor orientou o corte de varetas e extremidade da borracha em um dos lados; a posterior substituição do grampo foi postergada para intervenção despriorizada, que após mais de ano não mostrou qualquer evidência de dano ou alteração posicional. A análise dos resultados também não apresentou diferença evidente dos para os grampos completos, a ponto de o Fabricante ignorar a influência das varetas no cálculo de micro-flexões.

Estas, além de outras experiências menos explícitas, reforçaram a percepção do autor quanto à relatividade dos paradigmas de grampos e garras sacramentados pela padronização das Empresas de Energia.

1.3 – Compartilhamento do desenvolvimento dos novos grampos de suspensão e garras “SGC”.

Pretende-se que a otimização destas ferragens de LT seja mais eficaz ao levar em conta três aspectos:

- tecnologia de materiais e processos,
- benefícios e riscos para o empreendimento como um todo e
- cultura estabelecida no setor para projeto / especificação, aquisição / montagem e operação / manutenção.

Além dos aspectos éticos da geração de sucedâneo do AGS, o autor buscou o “know-how” dos seus criadores, assim como dos “experts” mais bem sucedidos em ferragens com o princípio de cunha. Seu suporte industrial mostra-se imprescindível para a boa concepção, seja pelo domínio de processos de produção e materiais modernos, seja pela disponibilidade de oficinas e técnicos. O seu investimento nesta busca de novidade será justificado, em curto prazo pelo fomento da criatividade das equipes e em médio prazo pelo controle tecnológico de ponta, em particular, do novo conceito de “Suspensão Grampeada em Cunha (SGC)”.

A participação das empresas usuárias é vital para evitarem-se xenofobia e “teeth-troubles”, compartilhando-se a concepção com quem instala e com quem usa, pelo que a instalação operacional experimental deverá trazer ajustes ao modelo e servirá de referência para o setor.

Simultaneamente, a discussão ampla no setor, neste fórum do SNPTEE em particular, expõe as facetas menos palatáveis e questiona tabus anacrônicos, como o escorregamento por diferencial de tração em condições normais e excepcionais e a manutenibilidade em linha energizada.

2.0 – SUPRESSÃO DAS ARMADURAS

2.1 – Resistência ao escorregamento estático

A mais valorizada característica de trabalho da armadura pré-formada é a de agarrar sem esmagar o cabo. Sem aprofundar seu reconhecido mérito técnico de espira de mola justa, como uma gavinha, pode-se dizer que o princípio de impedir o início do escorregamento do cabo é atendido pela armadura pré-formada dada sua elasticidade que transforma a distensão longitudinal em redução de diâmetro, apertando-a contra a superfície do cabo. A força de atrito é produto desta força normal, relativamente baixa antes da deformação do hélice das varetas, pelo coeficiente de atrito que é pequeno na superfície lisa dos fios do cabo, antes da gripagem dos pontos de contato no cruzamento de varetas e fios. Para totalizar uma resistência ao escorregamento satisfatória sem tensões e deformações excessivas nos fios do cabo, os pontos de contato têm de ser obtidos num grande comprimento do máximo número de varetas. Este é limitado pelo perímetro do cabo dividido pelo diâmetro das varetas (função da rigidez de mola necessária). O comprimento é limitado pela facilidade de instalação e pela interferência com outras ferragens no cabo. Número, diâmetro e comprimento das varetas são fatores de custo.

A solução de aumentar o coeficiente de atrito superficial com aplicação de grãos abrasivos (“grit”) nas varetas foi válida para cabos de aço, porém mostrou risco de nucleação de trincas frágeis nos cabos de alumínio.

As alternativas para manter a resistência ao escorregamento sem armaduras mostraram-se inicialmente em três técnicas:

- coxins de borracha colados aos cabos;
- cunhas de alumínio macio, com caneluras correspondentes ao encordoamento do cabo;
- coxins em forma de cunhas, com caneluras ou amoldando-se aos fios do cabo.

A busca de colas compatíveis com a borracha do coxim e o alumínio do cabo não apresentou resultados até o momento. Embora estudadas colas estáveis até altas temperaturas do cabo e para agressões do ambiente, suas resistências a cisalhamento exigem áreas grandes e, principalmente, apresentam dificuldades preocupantes para a montagem nas torres. Chegou-se a ensaiar fitas dupla-face de espuma acrílica e adesivo transferível, que exigem limpeza completa das superfícies e que se arrancaram dos coxins em formato de bulbos confinados, na metade da tração esperada. Seriam satisfatórias em cadeias de suspensão de vãos curtos, onde é baixa a tração diferencial e elevada a redução em rompimento do cabo, ou em cadeias de pontes elétricas. A procura da cola ideal ainda não foi abandonada, porém não se mostra promissora nem tranquiliza a montagem.

As cunhas de alumínio macio apresentam algumas vantagens de tecnologia de material, mas preocupam quanto a deformações e tensões de fios do cabo encordoado com passo sensivelmente diferente do nominal, adotado nas caneluras. Estas caneluras, com gornes alargados junto aos pontos de entrada do cabo no grampo, teriam alguma tolerância às variações de passo, ao custo de redução da área de pressão no cabo. Inversamente, a área de contato entre a cunha e corpo do grampo (em forma de cápsula) deve ser o mais lisa e escorregadia quanto possível, para não dissipar as reações de atrito fora da face de agarramento. Outro aspecto é garantir a instalação com prensagem adequada ao efeito cunha, sem resultar em esmagamento dos fios. Tudo isto se traduz em esmero do projeto e precisão rigorosa de fabricação. Evidentemente, cada cunha seria produzida para cada série de fabricação de cabo, devido à estreita margem de tolerância, resultando em explosão no número de sub-tipos e conseqüente aumento de custos de produção e estoque. No momento, esta alternativa está dependendo de avaliações industriais e demais aspectos de desempenho adiante abordados.

A idéia de fazer cunhas de borracha tem muitos pontos a serem ajustados, porém é instigante, passando a ser priorizada no momento. A grande dificuldade teórica consiste na determinação do ângulo de cunhagem ideal para cada tipo de cabo, bem como o comprimento da área de contato. É que a distribuição de pressões nas seções da borracha encapsulada depende da rigidez e da forma do coxim, e se altera com as trações axiais, o atrito no cabo e no corpo, de forma interativa. As determinações de rigidez, forma e pressão de fechamento da borracha são então tentadas "a priori", e as estimativas de resistência ao escorregamento devem ser experimentalmente confirmadas na procura de um binômio custo / desempenho satisfatório. Além disso, as alternativas de coxim canelurado (com ranhuras de encaixe dos tentos do cabo) e de coxim amoldável aos fios do cabo só poderão ser cotejadas por ensaios comparativos e desenvolvimento do processo produtivo. Em princípio, caneluras no coxim exigem menor precisão que as da cunha metálica, e a borracha amoldável aos fios permite a padronização para cabos de mesmo diâmetro.

Para cada alternativa de grampo e tipo de cabo ocorre um nível ideal e um limite garantido da resistência ao escorregamento, o que sugere a viabilidade de concepções diferentes para as diversas aplicações do setor.

2.2 – Rigidez da armadura pré-formada

As armaduras em liga de alumínio temperado aumentam a rigidez a micro-flexões no ponto de suspensão, o que é favorável a menor risco de fadiga do cabo junto ao grampo. A comprovação desta propriedade em cálculos não é segura em função da forma imprecisa da "gaiola" de varetas contornar o coxim; os poucos ensaios feitos não definem quantitativamente esta contribuição, que pode ser anulada pelo risco de fadiga da própria vareta.

A opção de desprezar a rigidez adicional nos cálculos de vibração, feitos pelos próprios inventores dos AGS, de certo modo avaliza a despreocupação do autor em abrir mão desta contribuição no novo grampo, até porque a articulação ao nível do cabo contribui nitidamente mais para a redução de micro-flexões (1).

2.3 – Defesa contra arcos de potência

A histórica preocupação com arcos de potência é tradição dos primitivos sistemas de proteção eletromecânicos de demorada interrupção. Os modernos relés eletrônicos limitam a duração de curto a menos de 100ms (6ci) e anéis de proteção dos isoladores não permitem a radiação do arco sobre o cabo, que dissipa o aquecimento puntual bem mais inócua que o aço galvanizado das ferragens e isoladores. Ainda assim, o dano produzido é desprezível, consoante a experiência do autor em testes e vistorias de ocorrências. Num exemplo, correntes de 30kA foram localizadas a 4km de usinas em mais de 20 arcos diretos entre um cabo de alumínio e tronco de torre de 500kV montada indevidamente junto ao meio de vão de FEX 230kV: a ponta de cantoneira na treliça estava arredondada pela fusão do aço, com muitos pontos próximos decapados do zinco, enquanto o cabo mostrou mal visíveis manchas escuras, removidas por polimento e dispensando reparos...

A potência do arco é proporcional ao quadrado da corrente de curto, que decai rápido a partir das extremidades de LT's médias e longas, o que dispensa até as proteções de isoladores em mais de 80% das cadeias, nas torres intermediárias. Caso o temor se justifique, principalmente em LT's curtas de sistemas em malha, os grampos sem varetas pré-formadas podem ser ladeados de luvas de proteção em varetas ou fitas finas de alumínio, apenas nas torres de corrente de curto elevado, onde se instalam também os anéis de proteção das cadeias.

2.4 – Escoamento de correntes de fuga dos isoladores

Cadeias de isoladores apresentam correntes de fuga de até 100mA sob alta poluição e umidade; o escoamento através das ferragens de engate se faz pelas varetas contornando o coxim dos AGS. Sua dispensa exigiria borrachas semicondutoras, geralmente feitas para espaçadores-amortecedores com adição de negro de fumo, mas sua elasticidade fica diminuída. A alternativa será feita com o emprego de fita de alumínio aplicada internamente à borracha, no apoio do cabo e fazendo contato com o corpo do grampo no outro lado do coxim.

3.0 – ESCORREGAMENTO DE CABOS EM GRAMPOS DE SUSPENSÃO E GARRAS DE ESPAÇADORES

3.1 – Causas do escorregamento

A mais severa solicitação ao escorregamento decorre de rompimento de cabo em vão adjacente ao grampo, com consecutivos vãos longos em suspensão antes da amarração seguinte. A mobilização pendular das cadeias de suspensão do lado intacto se comporta como um sistema dinâmico atenuado, cujo cálculo específico depende do conhecimento preciso de vãos remanescentes, comprimento de cadeias, módulo de elasticidade, massa e tração de esticamento do cabo.

Outros diferenciais de tração (vento máximo apenas no lado do vão maior, variações de temperatura e “creep” em cadeias curtas separando vãos muito desuniformes, erros de “off-set”, etc) não produzem escorregamento em grampos que resistam à metade da tração por ruptura de cabo, ainda que em maior probabilidade de ocorrência.

O escorregamento em garra de espaçador, na hipótese de rompimento de um sub-condutor, é semelhante ao do grampo de suspensão, sem a mobilização de cadeia para atenuar, porém com o desalinhamento angular do braço articulado favorecendo o travamento do cabo.

Demais hipóteses de causa de escorregamento de cabo em espaçadores também são de cálculo mais complexo, devido à interação dinâmica entre sub-condutores e diversidade de concepção das garras. Por outro lado, desde que não continuado, o desalinhamento relativo de uma das garras, ou não progressivo de todas, pouco altera o desempenho do espaçador nem danifica o cabo, exceto se ocorrer afrouxamento permanente da garra.

Embora escorregamentos causados por falhas do material ou deficiências de instalação devam ser previstos e evitados na sua concepção ou mesmo, se reportados, corrigidos no seu aperfeiçoamento, seu exame é por demais particularizado para cada situação. Casos sérios de “apagão” seriam evitados no maior sistema do país caso tais ocorrências tivessem sido valorizadas pelo fabricante ou o usuário.

Inversamente, a opção de ignorar o escorregamento por riscos excepcionais catastróficos, como o devido à queda de árvores sobre cabos, deve também ser ponderada pelo usuário, face ao dano maior na quebra de torres, geralmente pouco acessíveis em matas montanhosas. Permitir o escorregamento resultaria apenas em emendas, reparos e re-nivelamento de dois ou três vãos.

3.2 – Limites de resistência ao escorregamento

Internacionalmente se recomenda estimar a tração resultante estabilizada em 70% da normal de maior duração (“EDS”), para o pré-dimensionamento de torres. Como a ABNT limita a EDS a 25% da ruptura do cabo CAA, estabeleceu-se, “conservativa” e generalizadamente, este máximo de esticamento da LT como mínimo de escorregamento do grampo (geralmente dimensionado pelo maior cabo da faixa atendida). Daí veio o aperto excessivo dos grampos antigos ocasionar fadiga dos cabos, risco mal remediado com armaduras de alumínio e amortecedores e, finalmente, com a redução da tração de lançamento. Atualmente, nos cabos de LT com vãos acima de 300m (onde a tração após ruptura é menos atenuada pela inclinação das cadeias e a energia eólica agrava o risco de fadiga do cabo), a tração de EDS não é ousada acima de 20% da ruptura dos cabos CAA 26/7 ou 19% dos cabos CAL, pois é limitada a 60MPa devido ao risco de fadiga. Então a solicitação a escorregamento, por pico de tensão excepcional, não ultrapassaria 80% da tração de lançamento do cabo sob vento de ocorrência anual ou, excepcionalmente, até 20% da carga de ruptura dos cabos CAA 26/7.

De fato, a filosofia sacramentada impede o escorregamento até mesmo se a diferencial de tração, quando o cabo romper, quebrar o braço das torres (concebidas para menos de 19% da ruptura do cabo). Ocorrências deste tipo levaram o autor a desenvolver em conjunto com o fabricante o “AGS-Fusível”, solução final para matas cacauzeiras a qual é reconhecida até na revisão de norma que “conserva” os 25% da ruptura de qualquer cabo e aplicação.

Sem polemizar as filosofias de risco e coeficientes de segurança, que deveriam ter um tratamento probabilístico integrado com as estruturas, a solução “conservativa” passaria pelo desdobramento da norma em especificações por classes de resistência ao escorregamento. Estas classes, calculadas para aplicações tradicionais dos usuários em LT's rurais de alta tensão, resultam nos valores da Tabela 1. Admitiram-se EDS praticados nas LT, por classe de cabos, em tramos não governados pela tração inicial com vento (cabos de menor “creep” e de maior diâmetro).

TABELA 1 - Resistência a escorregamento (RE) em função da tração EDS e tensão média no alumínio a 25%CR.

Tipo do cabo	CAA 26/7	CAA 30/7	CAA 45/7	CAA 54/7	CA 19f	CA 37f	CA 61f	CAL 19f	CAL 37f
RE de Norma / EDS (p.u.)	25% / (19% a 23%) = 1,19 ± 0,11				25/(18±1) = 1,39±0,08		25/17 = 1,47		
Tensão da RE no Al (MPa)	30,7±0,9	35,1±1,4	22,5±0,5	27,9±0,6	39,9	39,5	40,2	75,2	73,5

Observa-se que 25% para escorregamento vem de 1,08 vez o EDS de antigas LT em CAA 26/7 que não previam atenuação por balanço das cadeias, porém é 1,47 vezes o EDS atual nas LT em CAL, portanto desnecessário mesmo para ruptura sob vento máximo inicial; por outro lado, a tensão nos fios de alumínio (aceitável até 60 MPa incluindo aperto e vibração) seria folgada a 25% da carga de ruptura dos cabos 26/7, mas inconcebível nos CAL.

Quanto ao escorregamento do cabo em garras de espaçadores, as exigências eram ainda mais incongruentes, adotando-se testes de tração axial mesmo em garras de mobilidade cônica elevada, em hipótese de cabo rompido com trações de 65% do EDS. Como exemplo, em testes de linha piloto feitos há dezoito anos com espaçador-amortecedor de garra aparafusada, o autor confirmou que garras que escorregavam axialmente a partir de 1,5kN em laboratório travaram o sub-condutor destensionado com diferencial de 2,5kN.

Ainda sem coerção de norma mesmo em recentes trabalhos do IEC, a prática em uso pelo autor recomendava que espaçadores rígidos e espaçadores-amortecedores com articulação cônica de garra suportassem 12% da carga de ruptura dos cabos, contando com um coeficiente de segurança esperado da ordem de 2. Este limite mais baixo não tem dimensionado a maioria dos tipos de garra em uso, mesmo não atendendo a hipótese de rompimento de cabo, o que, na prática, não onera a manutenção nem prejudica a operação.

Entretanto, racionalizando a otimização de garras, a resistência a escorregamento poderia considerar apenas as cargas diferenciais dinâmicas nos sub-vãos do feixe, permitindo que sejam concebidas para suas funções mais nobres. Dispensando-se preocupações polêmicas, o limite de escorregamento de 6% da carga de ruptura do cabo seria perfeitamente seguro nas condições climáticas brasileiras, mesmo para espaçadores rígidos de FEX.

3.3 – Resistência ao escorregamento nos grampos SGC tipo “M / W”

No escopo do Informe Técnico discute-se a viabilidade de garantir o escorregamento mínimo dos grampos em dois patamares, dependendo da alternativa e da conceituação de hipótese de cabo rompido ser considerada ou não. No caso de garras de espaçadores, as solicitações dinâmicas dos feixes, em hipóteses normais definem uma resistência única, não se considerando o rompimento de sub-condutor. Na análise do nível de tensionamento dos cabos da LT a adequação de cada alternativa deverá ser verificada para atendimento dos critérios específicos.

É sabido que a força de atrito estático do grampo ou garra é igual ao coeficiente de atrito vezes a força de aperto no cabo, limitada pelas tensões de deformação do material. Estas deformações aumentam o coeficiente de atrito, resultando na gripagem, ao custo de fadiga no cabo ou cisalhamento no coxim. Considerando que a distribuição do aperto dentro da borracha resulte em pressão concêntrica no cabo, com o travamento de sua coroa externa na borracha a ela amoldada ou em caneluras ajustadas às espulas, o esforço longitudinal de extração do coxim para fora do grampo se converte em atrito nestas superfícies e em pressões nas cápsulas por cunhagem, suportadas pelos dispositivos de fechamento, como ilustra a Figura 1 adiante.

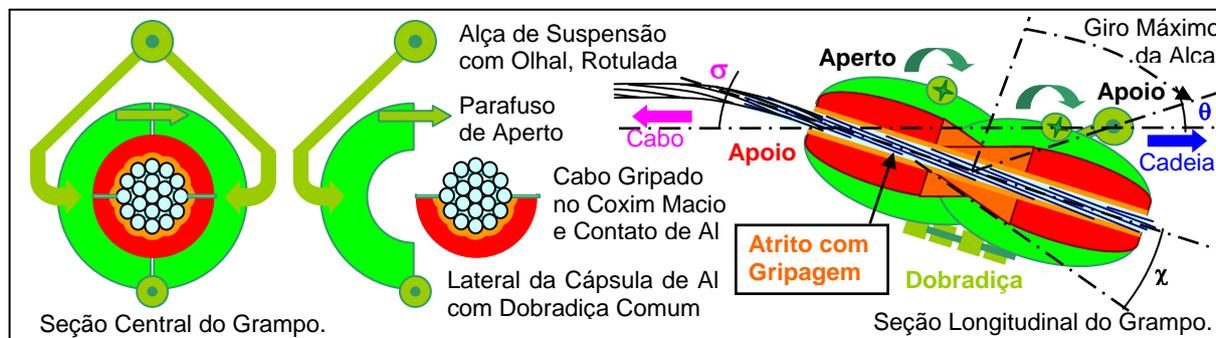


FIGURA 1 – Forças geradas na resistência ao escorregamento de cabo em grampo SGC com gripagem no coxim

Considerando um giro máximo da alça do 1º Protótipo tipo “M / W”, os ângulos σ (direção do cabo na saída do grampo) e θ (direção da cadeia de suspensão) são aproximadamente iguais a 30°. Considerou-se o arqueamento do cabo com raio próximo a 2m e um grau de liberdade de 10° no engate dos isoladores. Estes seriam submetidos a 45° na flexão concentrada nos primeiros cinco isoladores, em função do giro máximo de 15° após a concha-garfo de engate ao isolador se apoiar na parte superior das cápsulas. O ângulo χ (responsável pela cunhagem e pressão do coxim sobre o cabo e as paredes das cápsulas) é muito variável neste protótipo, indo de zero a 29° no lado interno e de zero a 38° nas bordas, causando forte retenção do coxim pelas cápsulas e baixa gripagem do cabo no coxim.

Na geometria deste protótipo, a pressão obtida com o aperto de norma dos parafusos M12, resulta em forças de 26,5% da Tração de Escorregamento (TE) aplicada, restando 47% dessa TE para a reação da dobradiça.

Ainda em processo de otimização, a geometria não é definitiva, mas ilustrativamente informam-se as dimensões do 1º protótipo do tipo “M / W” como segue, em centímetros.

- Cápsula em alumínio ASTM – A305 de 22 de comprimento por 13 de altura e 12 de largura, após fechada.
- Parafusos de aço SAE 4140 M12, Allen interno, porca prisioneira; dobradiça ϕ 0,8 de alumínio 6061 T6.
- Alças de aço forjado ASTM – 1045 de ϕ 1,9 com olhal ϕ 1,8 na largura total 18,5 e passo 8,8.
- Coxins em *Neoprene* dupla vulcanização *Shore A 75* a 35, nos diâmetros 3,5 a 7,2 a 5 no centro, interno 2,5.

As fotos das Figuras 2 e 3 melhor visualizam este protótipo.



FIGURA 2 – Foto do 1º Protótipo do grampo SGC tipo “M / W”.

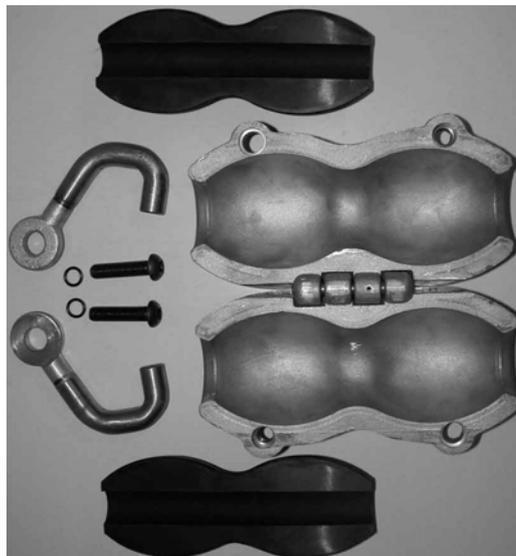


FIGURA 3 – 1º Protótipo do tipo “M / W” aberto.

3.4 – Ensaios de escorregamento nos grampos SGC tipo “M / W”

No primeiro ensaio, realizado com coxins de dureza 75 shore -A sobre cabo *Grosbeak* envolvido em fita de 2mm de espessura (tipo VHB® dupla-face de espuma acrílica), a TE obtida mal atingiu 8,5kN, devido à baixa pressão de cunhagem e pequena resistência ao cisalhamento da fita. Um segundo ensaio foi realizado com novos coxins, feitos com a mesma matriz porém com dupla vulcanização, que resultou em dureza 35 shore -A nos 2mm a 4mm a partir do diâmetro interno de 25mm, visando à maior gripagem sobre o cabo (*Rail* para compensar a falta da fita). Neste ensaio, considerado satisfatório, a TE alcançou 23,8kN (isto é, 20,23% de sua TR). Esta TR, por correlação de perímetros, corresponderia a 20,24kN no *Grosbeak*, isto é, 17,7% de sua TR.

Enquanto a tração que produz o escorregamento na hipótese de rompimento é proporcional ao quadrado do diâmetro (para cada tipo e formação de cabo, nas mesmas condições de esticamento, considerando-se o mesmo fator de atenuação da carga no tramo de suspensão remanescente), neste projeto de grampo a TE pode ser estimada em função do perímetro do cabo, desconsiderando-se diâmetro dos fios, folgas do encordoamento padrão, etc, com coxins de diâmetros internos 15% a 20% menores que os dos respectivos cabos.

A serem ratificadas por ensaios posteriores em protótipos de produção seriada, as TE em percentual das TR de alguns cabos, a partir deste primeiro teste com coxim dupla vulcanização, estão estimadas na Tabela 2.

TABELA 2 – Tração de escorregamento em percentual da tração de ruptura para SGC tipo M / W borracha dupla.

D	Tipo do cabo	CA 19f	CA 37f	CA 61f	CAL 19f	CAL 37f	CAA 26/7	CAA 30/7	CAA 45/7	CAA 54/7
I Â M E	~ 16mm	51,6%	(*)	(*)	27,5%	(*)	25,6%	(*)	(*)	(*)
	~ 18mm	45,8%	(*)	(*)	24,5%	(*)	23,0%	18,8%	(*)	(*)
	~ 20mm	42,7%	41,2%	(*)	22,5%	(*)	21,6%	17,8%	(*)	(*)
	~ 22mm	39,5%	38,9%	(*)	20,6%	(*)	17,9%	16,7%	(*)	(*)
T R O S	~ 25mm	(*)	34,2%	33,2%	(*)	18,3%	17,7%	15,1%	(*)	18,8%
	~ 28mm	(*)	31,8%	30,9%	(*)	16,4%	(*)	(*)	21,7%	17,5%
	~ 30mm	(*)	29,7%	28,8%	(*)	(*)	(*)	(*)	20,2%	15,9%
	~ 32mm	(*)	(*)	26,9%	(*)	(*)	(*)	(*)	19,0%	15,3%

Notas: TR dos cabos CAA na Classe A; (*) indica diâmetro não padronizado na formação dos tipos exemplificados.

Os tipos de formação pouco usual não foram incluídos, por simplicidade, mas teriam resultados similares. Os diâmetros menores que 16mm atendem em todos os tipos a TE acima de 25% da TR, (inclusive o CAA 6/1 com 14mm *Penguin* a 30,4%), assim como os CA61f até 35mm de diâmetro com 25,5%. Acima deste, e acima de 17mm nos CAL e 16mm nos CAA, este 1º protótipo “M / W” apenas atenderia o critério proposto pelo autor de 75% do EDS em 20% para a TR. Em que pese a imprecisão da extrapolação de um único teste, acredita-se que com otimizações na geometria e na dupla vulcanização dos coxins se alcancem resultados ainda melhores.

A versão de garra para amortecedor deve ter dimensões mais reduzidas, em função de critério de escorregamento a 12% da TR e cargas muito menores que as de suspensão do cabo (60% da TR em norma e testada a 78kN no 1º protótipo). Em segunda etapa, função dos resultados com os grampos, o detalhamento das garras será feito no próximo semestre, mantendo os mesmos conceitos de desenvolvimento e desempenho, com resultados similares.

3.4 – Resistência ao escorregamento nos grampos SGC tipo “W / M”

Após o fraco resultado do ensaio preliminar do 1º protótipo com o coxim de dureza única sobre fita aderente, o conceito de “cunhagem” da borracha suscitou re-exame do projeto, resultando em alternativa de coxim com menor ângulo cônico. Favorecendo a compressão da borracha sobre o cabo, que produz a gripagem dos seus tentos, valorizando a maior espessura de borracha nas extremidades para acomodar flexões com menor vinculação e detando desvincular o aperto às incertezas do aperto de parafusos no alto das LT, o projeto desta alternativa chegou atrasado para a produção de matriz dos coxins. Ainda assim, em manufatura amadora do autor, a geração do modelo progrediu a duras penas, a ponto de ainda não ter resultados de testes. Concebida para as duas versões de coxins, o amoldável ao cabo e o filetado em caneluras específicas de cada encordoamento, a forma de duplo-fusos bipartidos, em comparação aos justapostos, explica a designação das letras que se assemelham às geratrizes das superfícies de atrito dos coxins.

A indisponibilidade de fundição e vulcanização para produzir os protótipos, essenciais para se obterem parâmetros empíricos de resistência ao escorregamento e de distribuição de pressões internas, aliou-se ao temperamento improvisador na criação do pré-protótipo para testes desta forma básica. Adaptado de sapatas de AGS menores soldadas e re-articuladas, contendo coxins de AGS com neoprene torneado ou recoberto com solado macio de borracheiro, esta versão pobre é apresentada por seus méritos de materialização de idéias e primeiros resultados, adiante detalhada no desenho da Figura 4.

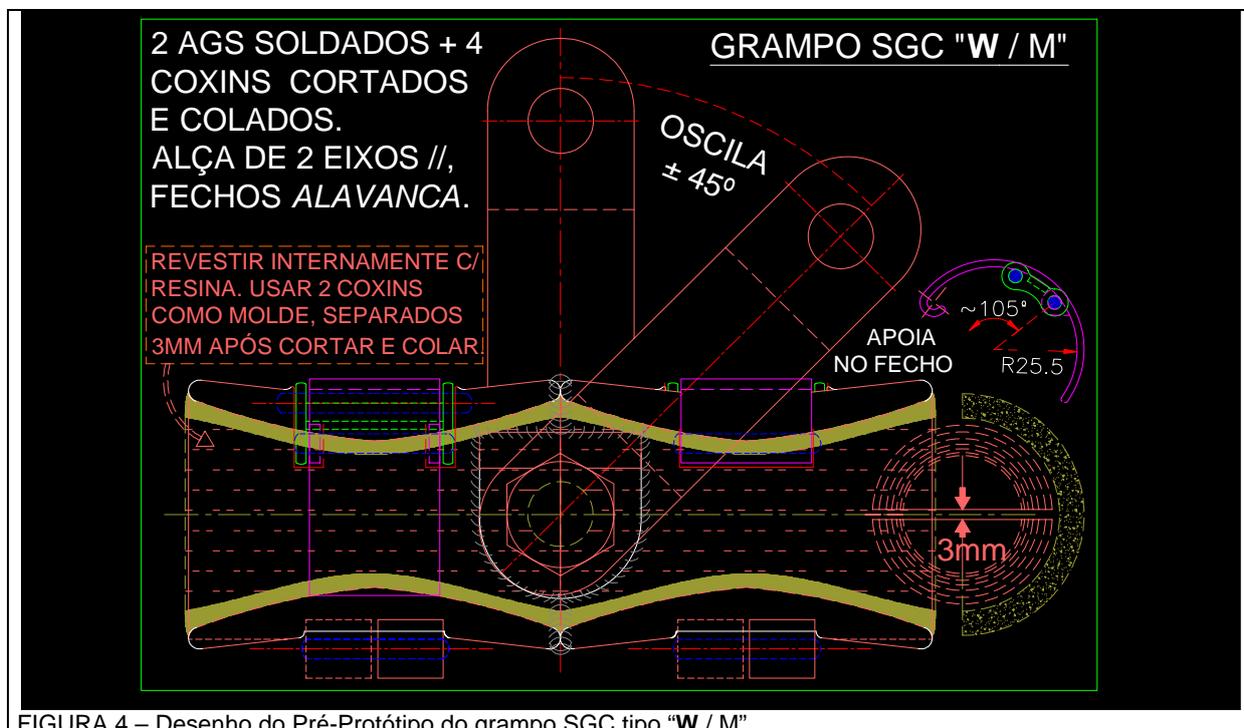


FIGURA 4 – Desenho do Pré-Protótipo do grampo SGC tipo “W / M”.

O giro máximo da alça do pré-protótipo tipo “W / M” trava o fecho. O ângulo σ (direção do cabo na saída do grampo) será de 13° e θ resulta em 32° (direção da cadeia de suspensão). Vide Figura 1. O ângulo χ (responsável pela cunhagem e pressão do coxim sobre o cabo e as paredes das cápsulas) varia neste pré-protótipo de zero a $14,5^\circ$ em todos os sentidos, causando forte gripagem do cabo no coxim, que foi revestido internamente por lâmina de borracha de 2mm de espessura, vulcanizada em borracheiro, no canal de 25mm.

Na geometria deste protótipo, a pressão obtida com o aperto dos fechos-alavanca de chapa de aço inox de 2mm resulta em cada chapa força de 27% da Tração de Escorregamento (TE) aplicada, restando 46% dessa TE para o cisalhamento da dobradiça.

Apesar da forma preliminar, informam-se as dimensões em milímetros do pré-protótipo do tipo “W / M” seguintes.

- Cápsula em alumínio ASTM – A305 de 228 de comprimento por 92 de altura e 166 de largura, após fechada.
- Alças de aço ASTM-263 galvanizado 6 por 45 por 200 dobradas a 45° para passo de 122, em parafusos ϕ 19.
- Fechos de chapas de aço inox 2 com 142 por 60 e 65 por 35 (incluindo orelhas furadas dobradas) em pinos de aço inox ϕ 6; a chapa maior é dobrada em raio de 39 e semi-canal de 6,5, produzindo contração de 60.
- Coxins em *Neoprene shore-A 75 a 80*, recortados de dois pares de AGS colados pelas extremidades e com mias luvas internas de borracha de câmaras automotivas.

Foi testado com cabo *Grosbeak*, não se atingindo a TE devido a ruptura em solda da cápsula, acima de 25kN.

4.0 – COTEJO TÉCNICO-ECONÔMICO DOS GRAMPOS SGC

O autor considera mais promissora a alternativa “W / M” apesar do estágio atual carente de protótipo industrial. A expectativa de maior facilidade de instalação e confiabilidade de fechamento, aliada a menor constrição do cabo já justificam o investimento em matrizes, que alcançou sessenta e seis mil reais no 1º protótipo M / W. Este teve um custo unitário estimado em cento e quarenta reais a unidade, que deve baixar muito na escala de produção em série, tornando-o bem mais acessível que o AGS equivalente. Evidentemente, custos de ensaios de qualificação, de instalações piloto e demais indiretos podem absorver a redução do custo de produção, caso o mercado não ofereça perspectiva para volumes de produção compensadores.

O SGC tipo “W / M” ainda não teve orçamento industrial. Entretanto, processos de fabricação similares e quantidades de material equivalentes permitem coloca-lo na mesma faixa de preço, não considerando pequenas otimizações ou correções a que ambos os tipos estão sujeitos após ensaios e avaliações de campo, em especial as oriundas dos times de construção e manutenção, cujos representantes co-autores se mostraram confiantes. As garras GCE só poderão ser avaliadas dentro de seis meses, mas por analogia espera-se sejam competitivas.

5.0 – CONTINUIDADE DOS DESENVOLVIMENTOS DOS GRAMPOS SGC E GARRAS GCE

Dois novos protótipos para o tipo W / M serão produzidos artesanalmente, para acomodar coxins tronco-cônicos de borracha forte canelurada e de borracha duplo-vulcanizada, amoldáveis a dois ou três diâmetros de cabos. A dificuldade de produzir os onerosos moldes pode ser contornada torneando-se coxins antes já vulcanizados, até em duas durezas, em razão dos menores diâmetros externos que requer.

O novo protótipo do tipo M / W só terá alterações de maior monta nos diâmetros de calha para cabos menores, com que serão ensaiados a trações bem como a vibrações em laboratório para avaliar desempenho e desgastes.

A previsão de conclusão dos testes mecânicos de ambos os tipos é para final de junho, quando uma ou duas pré-séries serão testadas em LT piloto com avaliações de montagem e monitoradas na eficiência antivibratória em condições reais. Os ensaios em linha real são imprescindíveis pela característica dos grampos SGC perturbarem o batimento das vibrações de um vão transferindo para este as vibrações quase sempre assíncronas do vão vizinho. Os resultados também permitirão estabelecer critérios e parâmetros para testes de laboratório e especificações.

Estão sendo agendadas, em função dos resultados dos testes e da disponibilidade de pré-séries, instalações operacionais experimentais em LT em Paulo Afonso e LD em Recife, pré-agendadas para setembro vindouro.

Nesta ocasião se espera instalar no “Link” PA IV protótipos de garras GCE.

Relatórios dos testes e resultados obtidos serão veiculados no setor até meados de outubro.

6.0 - CONCLUSÕES

Apesar do trabalho de desenvolvimento dos grampos SGC e garras GCE não estar concluído, o estado da arte já permite três importantes conclusões.

- É útil para todo o setor de LT que o conceito de tração de ruptura do cabo sem escorregamento do grampo seja revisado e incorporado às normas, adequando a resistência do grampo às cargas praticadas de fato. O IT sugere a vinculação às trações de EDS atenuadas pelo balanço das cadeias. Também os critérios de escorregamento das garras de espaçadores merecem ser estudados. Já o conceito de “grampo fusível” que libere o cabo antes do colapso das estruturas, admitido apenas na nomenclatura da revisão da norma NBR-7095, necessita definição de características.
- Grampos e garras utilizando borracha na fixação de cabos de alumínio podem trazer benefícios, ainda mal quantificados, na redução de flexões vibratórias e riscos de fadiga. O antigo princípio de articulação ao nível do cabo deve ser melhor estudado e aproveitado, enquanto novos processos de fechamento e aperto dos grampos, a exemplo dos AGS, podem trazer benefícios ao uso dos coxins de borracha e devem ser desenvolvidos.
- Desenvolvimentos de ferragens eletromecânicas de LT, por muitos anos pouco incentivados, são vitais para a competitividade e eficiência dos novos empreendimentos. Ênfase técnico-econômica nos acessórios de fixação do mais importante elemento de LT – os condutores – deve ser priorizada a bem de sua maior segurança e de melhor uso dos suportes. Entretanto, novidades tecnológicas como os grampos SGC e as garras GCE exigem recursos geralmente indisponíveis nas Empresas de Transmissão e nem sempre investidos pelos fornecedores, aliados a experimentação e avaliação na prática junto com os usuários

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) RÉGIS JR. O. et alii. Linha de potência natural elevada (LPNE): adaptação do conceito para a recapacitação de linhas existentes; VII ERLAC (1997), Argentina.
- (2) 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.
- (3) IEEE. Committee report: standardization of conductor vibration measurements; IEEE Transactions PAS-85, N° 1, 1966, pp 10-20, USA.