



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

GLT 27
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO – GLT

A EXPERIÊNCIA NACIONAL NA APLICAÇÃO E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FERRAGENS CONDUTORAS DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO

Giovani Eduardo Braga *	Thadeu Antônio Furtado	Sidnei Massami Ueda	Ricardo Nakamura
Cemig Distribuição S.A.	Cigré Brasil	Nexans Brasil S.A.	ABB Ltda

RESUMO

A Engenharia de Linhas de Transmissão Aérea tem estado envolvida, por décadas, em uma constante busca de confiabilidade, disponibilidade, redução de falhas e segurança de terceiros, questões que estão sendo atualmente agravadas pelo fato de que as linhas de transmissão estão cada vez mais próximas de áreas urbanas.

Um componente de importância fundamental na segurança, operacionalidade, manutenção e eficiência das linhas aéreas são as ferragens condutoras, mais especificamente grampos e emendas de cabos. Infelizmente, não são tão raros os relatos de falhas neste tipo de material, com prejuízos não só financeiros, como também de segurança física, que muito preocupam as concessionárias e gera desconfianças e questionamentos por parte dos profissionais da área.

A importância desses componentes se torna muito maior comparavelmente ao seu custo, que é relativamente pequeno em relação ao custo total de uma linha de transmissão (inferior a 5%). Portanto, além da questão financeira, devem ser exigidos dessas ferragens elevados padrões de qualidade e confiabilidade, além de outros requisitos importantes, tais como a facilidade de montagem e de manutenção.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo divulgar os resultados da pesquisa feita a nível nacional pelo CIGRÉ Brasil, focando principalmente nos aspectos de problemas e soluções técnicas apresentadas pelas concessionárias, fabricantes e centros de pesquisa no que tange a grampos de ancoragem, suspensão e emendas para cabos condutores de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Pretende-se também compará-los com os resultados de outras pesquisas e estudos realizados em outros países, principalmente com os do WG B2.25 “Mechanical Behaviour of Conductors and Fittings” da CIGRE Internacional.

PALAVRAS-CHAVE

Ferragens, condutores, grampos, emendas, linhas de transmissão.

1.0 - INTRODUÇÃO

No ano de 2005 foi criada uma força tarefa dentro do Grupo de Trabalho B2-11 – Comportamento mecânico de condutores e acessórios de linhas de transmissão, contando com a parceria do Grupo de Trabalho B2-12 – Aspectos elétricos de linhas de transmissão, com o intuito de estar divulgando e promovendo o intercâmbio de soluções técnicas e problemas relacionados a ferragens condutoras de LTs, mais especificamente grampos e emendas, principal razão de ser do Cigré Brasil.

No início de 2006, foi elaborado um questionário, para busca e identificação do estado da arte deste assunto nas diversas entidades, sejam como usuários, fabricantes ou centros de pesquisa. Os objetivos principais deste questionário foram:

- Conhecer melhor os problemas – falhas e defeitos - envolvendo ferragens condutoras (grampos, emendas e reparos) e as soluções encontradas para estes problemas;
- Avaliar novas tecnologias de montagem e inspeção;
- Avaliar os riscos do sistema em relação ao comportamento destes materiais;
- Relacionar temperatura com envelhecimento;
- Propor novas metodologias, materiais e critérios termoelétricos e mecânicos;
- Identificar possíveis propostas de projeto de P&D.

Foram recebidas 17 respostas das mais variadas empresas, como concessionárias de transmissão, distribuição, fabricantes de ferragens e centros de pesquisa.

O questionário tem a seguinte organização e tópicos principais:

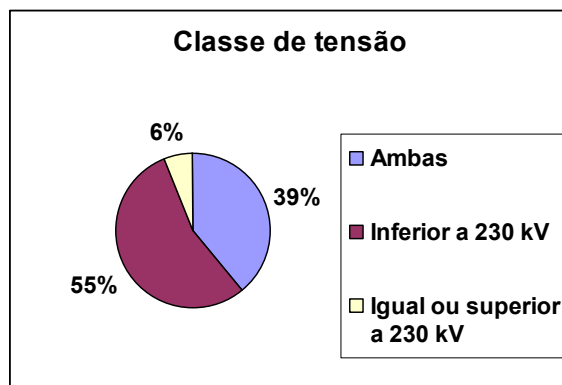
- Dados do responsável pela área: resposta do questionário ou responsável pelo assunto;
- Identificação da empresa: distribuição, transmissão, centro de pesquisa ou fabricante;
- Tipo das ferragens mais usadas, fabricadas ou testadas;
- Problemas mais comuns;
- Critérios e soluções adotadas;
- Critérios para ampacidade: estatístico, determinístico, recapacitações, etc ;
- Comentários gerais.

2.0 - IDENTIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS RECEBIDAS

A Figura 1 abaixo mostra a classe de tensão e os cabos mais mencionados nas respostas. Estas vieram em sua maior parte de empresas concessionárias de distribuição, ou seja, a maior parte dos problemas referentes a ferragens condutoras ocorre nas linhas de distribuição (tensão inferior a 230 kV). Evidentemente que o comprimento total das linhas de distribuição e, conseqüentemente, a quantidade de conexões e ferragens é muito maior que na transmissão. Além disso, há uma maior quantidade de linhas curtas, ramais e interligações.

Não foi possível fazer uma comparação quantitativa do número de falhas e defeitos por km de linha, mas é de se esperar que a quantidade de falhas e defeitos nas linhas de distribuição seja influenciada pelas maiores temperaturas dos cabos condutores, conseqüência de cargas mais elevadas na distribuição, mesmo por que é crescente a aplicação de condutores termorresistentes (TAL).

Não parece haver qualquer ligação dos problemas com ferragens com a bitola dos condutores. Na Figura 2 mostra que as empresas, em sua maior parte, possuem bitolas de cabos condutores acima do 336 MCM (Linnet).



Cabo condutor	Empresas que mencionaram
CAA igual ou inferior a 170 mm ²	11
CAA superior a 170 mm ²	16
CAL	3
CA	4
CALA	1
Outros (inclui TAL)	5

FIGURA 1 – Identificação da classe de tensão e cabo condutor

3.0 - TIPOS DE FERRAGENS CONDUTORAS

Existe uma variedade de alternativas de ferragens usadas pelas empresas com as mais variadas tecnologias. Trata-se de materiais, formas construtivas e formas de fixação diferentes, que tem por objetivo otimizar aspectos de confiabilidade elétrica e mecânica, manutenção e instalação. A Tabela 1 mostra os vários tipos de ferragens utilizadas pelas empresas. Uma tendência que ficou evidenciada foi o uso crescente das emendas e reparos preformados, fato que pode ser atribuído à sua facilidade de instalação. Outra observação importante está relacionada ao uso de grampos de suspensão com armaduras, combinação utilizada na maioria das respostas, quando se tem um condutor por fase.

Tabela 1 – Tipos de ferragens

Tipo de emenda ou reparo	Respostas	Grampos de suspensão	Respostas	Grampos de ancoragem	Respostas
Emenda/reparo a compressão	11	Aparafusado sem armadura	4	Compressão	14
Emenda/reparo preformado	9	Aparafusado com armadura	12	Passante	5
Tipo cunha	0	Armado	4		
Outros	0	Outro	0		

4.0 - PROBLEMAS RELACIONADOS E SOLUÇÕES ADOTADAS

Nesta seção foram colocadas questões referentes a existência, tipo, classificação, forma de detecção, nível de tensão e frequência dos problemas (Figura 2 e Tabela 2). Ficou constatado que os problemas existem, são medianamente graves e pouco frequentes. Os defeitos são mais frequentes nas linhas de distribuição (tensão menor que 230 kV), e o problema mais observado é o ponto quente, e a termografia ou termocâmara infravermelho é o método mais utilizado para detecção dos problemas. Um destaque deve ser dado ao problema de fadiga que foi observado em várias respostas como sendo o problema mais grave, pois pode levar ao rompimento e queda do cabo.

Vários foram os critérios e soluções adotadas para os problemas. O mais comum, talvez pela sua facilidade, é a troca da ferragem por outra.

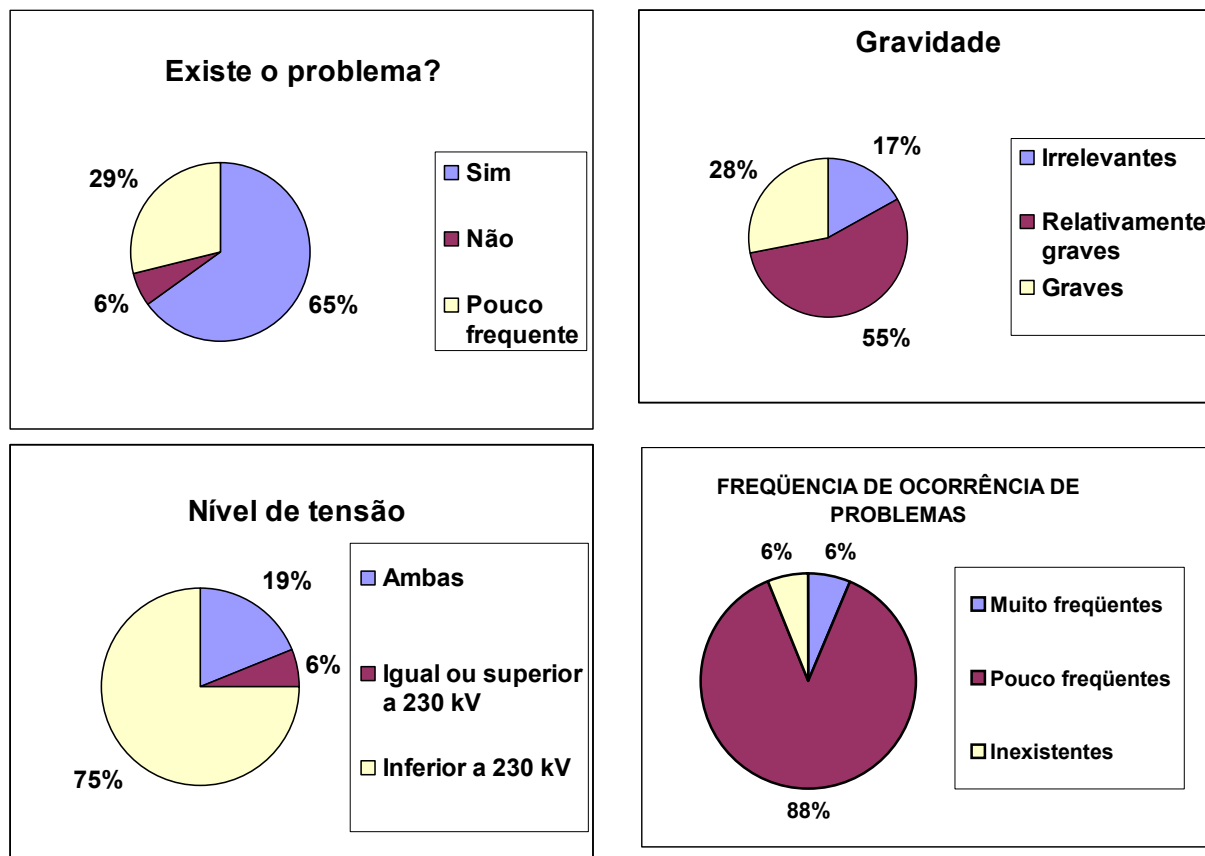


Figura 2 - Caracterização dos problemas

Tabela 2 - Tipos de problemas e métodos de inspeção

Tipo	Respostas	Forma de inspeção	Respostas	Solução	Respostas
Ponto quente	11	Termografia/infravermelho	14	Troca	13
Fadiga	4	Termopar/Termômetro de contato	1	Aumento do tamanho	0
Corrosão	2	Radiografia	1	Reparo da ferragem	3
Corona	1	Célula de carga	1	Mudança do procedimento de instalação	2
Rompimento total	4	Outros	14	Mudança do ferramental de instalação	2
				Outros	3

5.0 - AMPACIDADE E CRITÉRIOS DE PROJETO

A Tabela 3 mostra as respostas às questões sobre os principais critérios utilizados no projeto que tem influência no carregamento elétrico e mecânico das linhas, quais sejam a temperatura máxima e a resistência mecânica mínima das ferragens. A questão da temperatura é cada vez mais importante, tendo em vista a adoção de maiores correntes nas linhas de transmissão, com base em técnicas como a ampacidade estatística e o monitoramento contínuo das linhas. Observou-se também uma ampla aceitação dos critérios propostos na norma ABNT NBR 7095.

Tabela 3 - Critérios para definição da temperatura máxima e resistência mínima a tração

Limite de temperatura	Respostas	Resistência mecânica mínima	Respostas	Determinação da temperatura do cabo	Respostas
Estabelecido em normas	11	A mesma do cabo	8	Determinístico	10
Sugestão de artigo técnico	4	Estabelecida pela NBR 7095	13	Estatístico	7
Orientação de fabricantes	7	Outra	1	Monitoramento	2
Outros	2			Outros	0

6.0 - EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Os trabalhos dos grupos de trabalho da CIGRE são priorizados de acordo com o interesse da comunidade internacional, sendo este interesse levantado pelos diversos Comitês Técnicos. No caso do Comitê de Linhas (SC B.2), foi constituído o WG B2.25, que tem como uma de suas metas o desenvolvimento de critérios para a avaliação do desempenho de ferragens e acessórios usados e o desenvolvimento de ensaios e critérios de aceitação para o reaproveitamento desses itens. Os estudos ainda estão no começo, com a preparação de um questionário que será brevemente distribuído aos interessados. Entretanto, um levantamento preliminar, levou a que fossem propostos para a apreciação do grupo os seguintes ensaios:

Para as ferragens:

- Inspeção visual (corrosão, danos mecânicos ou térmicos, desgastes);
- Proteção contra corrosão (zincagem);
- Ensaios mecânicos (ruptura/escorregamento);
- Ensaios elétricos; Aquecimento com corrente admissível em operação contínua, queda de tensão, resistência elétrica antes e depois do aquecimento para ferragens que transportam corrente, (como as emendas).

Para os condutores:

- Inspeção visual (fios com sinal de fadiga, "fretting", corrosão da alma de aço, danos térmicos ou mecânicos e desgastes);
- Proteção contra corrosão (zincagem da alma de aço/graxa);
- Carga de ruptura de fios retirados da parte do condutor influenciado pela ferragem.

Ainda no B2.25, foi apresentado um questionário sobre emendas respondido por 11 concessionárias de energia elétrica da Escandinávia. Algumas das respostas foram:

- Emendas são um problema significativo (9 respostas)
- Medidas tomadas:
 - Instruções escritas
 - Mais inspeções
 - Rotinas de inspeção melhoradas
 - Melhor controle da qualidade na instalação
- Emendas a implosão:
 - Maior facilidade de instalação;
 - Menor possibilidade de erro na instalação;
 - Uma falha observada, atribuída a instalação incorreta em condutor engraxado.
- Inspeção:
 - Termografia é o método de inspeção principal;
 - Alguns tem incerteza quanto a confiabilidade da termografia;
 - Tendência de que os não satisfeitos com a termografia em redes com corrente relativamente pequena. Alguns têm requisitos definindo que a corrente seja alta durante a execução da termografia;
 - O intervalo entre inspeções é de 5 a 10 anos, mas alguns não têm intervalo definido entre inspeções;
 - Medições de resistência são raramente utilizadas.
- Falhas:
 - Principalmente em emendas a compressão hidráulica;
 - Instalação incorreta é a causa principal;
 - Observados problemas em emendas novas instaladas em condutores velhos;
 - Taxa de falha: 0,05 falhas por 1000 km de linhas por ano (causando a queda do condutor).

7.0 - CONCLUSÕES

De acordo com as respostas do questionário, existem problemas com as ferragens de conexão elétrica. Estes problemas são mediamente graves, pouco frequentes e ocorrem principalmente em linhas de tensão inferiores a 230kV. O mais frequente é o ponto quente, seguido pela fadiga. Em alguns casos ocorreu o rompimento total.

Com relação a temperatura na qual a ferragem de conexão elétrica deve trabalhar, esta deve ser a menor possível, não só pelo aspecto de vida útil e/ou resistência mecânica, mas pelo simples fato de que aquecimento representa perda de energia, mesmo que seja pequena e concentrada.

Ficou claro na pesquisa que existe um problema em relação a instalação das ferragens em campo. Para solução deste problema, dois caminhos devem ser seguidos:

- Atuação no campo com fiscalização rígida, treinamento e exigência de inspetores e montadores qualificados por programas já conhecidos (como da ABRAMAM e ABENDE) ou que o próprio setor elétrico crie o seu através de entidades conhecidas e respeitadas, como ABINEE, CIGRÉ, etc;
- Atuação em projeto/especificações para obtenção das menores resistências elétricas possíveis nas ferragens, como utilização de materiais de melhor condutividade e técnicas de fixação mais adequadas.

Existem dúvidas sobre os critérios termoeletrônicos e mecânicos para os ensaios e inspeções. Isto no âmbito nacional, bem como no internacional, para ferragens novas e para ferragens usadas. A divergência entre as várias normas e a desatualização de algumas geram estas dúvidas. A necessidade de revisão da NBR que trata do assunto (2) é de fundamental importância para o setor, principalmente com vistas para as novas técnicas de capacitação e condutores para altas temperaturas (4).

Tem-se uma necessidade grande de estudos, pesquisas e desenvolvimento nesta área, como por exemplo nas técnicas de inspeção dos grampos e emendas. Na pesquisa feita, observamos que existe pouca evolução e/ou investimento na área e por isto a sua confiabilidade é questionável (5). Outros assuntos a serem abordados são: o problema da fadiga devido a vibração próximo às emendas, a corrosão, uso de conexões a implosão, passa-emenda, radiografia portátil e conexões por solda. Muitas empresas já vêm pesquisando e até aplicando estas tecnologias (6). Estas questões tornam-se cada vez mais evidentes com o envelhecimento das linhas de transmissão.

Outro aspecto observado na pesquisa está relacionado com a solução de ferragem a ser adotada; Existem muitas dúvidas sobre o desempenho das mesmas em função do que foi exposto acima, fazendo com que o conservadorismo domine as decisões. Como por exemplo, usar emenda a compressão ou preformada (7)? Grampo de suspensão com armadura, sem armadura ou armado (8)? Usar grampo de ancoragem passante (aparafusado) ou à compressão? Estas dúvidas advêm dos ensaios que não estão bem correlacionados com a realidade e da necessidade de reduzir custos e manter um padrão mínimo de desempenho e performance. Sem dúvida, trabalhos como este servem para elucidar e discutir estes assuntos neste importante fórum.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5422: projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. ABNT: Rio de Janeiro, março, 1985. 52 p.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7095; Ferragens Eletrotécnicas para Linhas de Transmissão e Subestações de Alta Tensão e Extra Alta Tensão. ABNT, Rio de Janeiro, 1981.
- (3) BRAGA, G.E., UETI, E., AGUILAR, M.T.P., SANTO, D.B. A Experiência da CEMIG na Avaliação de Conexões e Emendas de Linhas Aéreas de Subtransmissão de Energia Elétrica. XVII SENDI – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Belo Horizonte, Agosto/2006
- (4) CEMIG: 30000-ER/LT-4274a. Desenvolvimento de Acessórios para o cabo GZT-ACSR 240 mm². Belo Horizonte-MG, Agosto/2005.
- (5) SNELL, J., JOE RENOWDEN, P.E. Improving results of thermographic spection of electrical transmission and distribution lines. 28C-TPC-17. IEEE, 2000.
- (6) MOURÃO, M.A.M. Emenda a implosão – Teste e aplicação. XIERIAC, Hermandarias-PY, Maio/2005.
- (7) PLP Brasil: Relatório de ensaio – RE-045/01. Cajamar-SP, Julho/2001.
- (8) CAVALCANTI, S. J. G., BORGES, P. S. P., CABRAL, C. F., CAVALCANTE, I. P., DELGADO, J. A. & MACEDO, I. P. Novo conceito de grampo de suspensão e garra de espaçador para cabos de alumínio. XVIII SNPTEE, Curitiba-PR, Outubro/2005.

9.0 - DADOS BIBLIOGRÁFICOS



Giovani Eduardo Braga nasceu na cidade de Itabirito - Minas Gerais - Brasil, em 7 de abril de 1975. Gradou-se em Engenharia Industrial Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) em 12 de janeiro de 2000.

Atualmente cursa mestrado no Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (DEMEC/EEUFMG), e trabalha na Gerência de Engenharia de Linhas de Transmissão da CEMIG, desenvolvendo estudos e projetos mecânicos em linhas de transmissão, como projetos de amortecimento de cabos, avaliação de integridade estrutural, avaliação de vida útil de cabos e ferragens, avaliação e estudos de novos materiais, corrosão, projetos de sinalização de linhas de transmissão e coordenação de projetos de pesquisa e desenvolvimento.

Giovani participa ativamente de grupos de trabalho da ABNT e CIGRE e é autor de vários trabalhos nestas áreas em congressos e seminários nacionais e internacionais.