



A Experiência da CEMIG na Avaliação de Conexões e Emendas de Linhas Aéreas de Subtransmissão de Energia Elétrica

**Giovani Eduardo
Braga
CEMIG
Distribuição S. A.**

**Maria Teresa
Paulino Aguilar
UFMG
Universidade Federal
de Minas Gerais**

**Dagoberto Brandão
Santos
UFMG
Universidade Federal
de Minas Gerais**

**Edson Ueti
CEPEL
Centro de
Pesquisas de
Energia Elétrica**

gioedu@cemig.com.br

RESUMO

As conexões e emendas de linhas aéreas de transmissão, apesar de ter um custo reduzido em uma linha de transmissão, menos de 5% do custo final, têm uma importância fundamental na operacionalidade, manutenção e eficiência das linhas. Não são raros os relatos de falhas neste tipo de material com prejuízos não só financeiros, como também de segurança física, que muito preocupa as concessionárias. A redução de custos e facilidade de montagem e manutenção das conexões são também características requeridas destes componentes.

Este trabalho tem como objetivo divulgar o que a CEMIG, com a colaboração da UFMG e CEPEL, vêm investigando sobre conexões e emendas, baseado principalmente em ensaios de tipo e especiais realizados, e abordando os principais problemas, soluções e projetos propostos, além de atualizar e aproximar as áreas de projeto, construção, operação e manutenção de linhas de transmissão, através de uma pesquisa bibliográfica e relatos de ocorrências.

PALAVRAS-CHAVE

Conexão, Emenda, Grampo, Linha de Transmissão.

1. INTRODUÇÃO

As emendas e conexões das LTs (Linhas de Transmissão) são componentes importantes, apesar de o custo ser relativamente baixo em uma linha de transmissão, pois as conexões são responsáveis pela integridade elétrica e física das LTs. Com o desenvolvimento de novos tipos de cabos condutores e aumento de capacidade térmica e de transmissão, torna-se necessário uma reavaliação das características termoeletricas e mecânicas destes componentes que podem comprometer o desempenho e segurança das LTs. O objetivo principal é definir o risco de falha ao qual a LT está sujeita, principalmente, referente a uma faixa de temperatura segura, critérios de manutenção e montagem com alta confiabilidade.

Existe uma certa desatualização e distância da área de engenharia de LTs em relação a este assunto, sendo necessário a atualização de critérios técnicos e especificações, e este estudo contribui com

subsídios para isto. Inicialmente, é apresentada uma breve explanação sobre alguns conceitos e definições¹. Posteriormente, são apresentados os resultados de alguns ensaios e avaliações feitas em vários tipos de conexões e emendas de cabos. Por último, são apresentadas as conclusões e recomendações para otimização, eficiência e solução dos problemas ocorridos e iminentes.

2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Entende-se por conexões e emendas os mecanismos responsáveis por manter a integridade e sustentabilidade tanto elétrica como mecânica dos cabos das LTs. Neste contexto, definiram-se por conexões as emendas e reparos (a compressão, preformados, etc), os grampos (de suspensão, ancoragem, armados, etc) e as armaduras (preformadas e cônicas). Este conceito pode variar de autor para autor e por tipo de sistema. É comum o uso do termo acessório para condutores², neste caso, incluindo apenas as emendas e reparos, e ferragens de condutores e pára-raios³ onde se considera apenas as ferragens que estão em contato com o cabo condutor ou pára-raios. O termo conexão ou conector é utilizado para componentes menores e que interligam cabos e fios a tubos, chapas, etc, como em aterramentos, subestações e redes de distribuição, enquanto que para as LTs o termo mais usado é ferragem eletrotécnica.

As conexões e emendas são divididas basicamente em três tipos, de acordo com o método de instalação: a compressão, preformada, aparafusada e a combinação delas. Existem diferenças dos materiais e ferramentas utilizados, mas geralmente elas não fogem a esta classificação.

3. DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS

A engenharia de LTs da CEMIG, principalmente a manutenção, acredita que as conexões dos cabos condutores (grampos de ancoragem, emendas e reparos) são um ponto frágil para o sistema, partindo-se do princípio que o sistema elétrico está envelhecendo e deseja-se utilizar cada vez mais os ativos de transmissão, aumentando a sua capacidade térmica basicamente, já que está cada vez mais difícil a construção de novas LTs.

De uma maneira geral, as conexões que envolvem a junção de cabos, principalmente o condutor, sempre foi e será um problema e/ou uma polêmica para a engenharia, assim como a soldagem de peças em geral, já que é desejável que não haja qualquer descontinuidade, mudança de meio ou de forma. No entanto, nem sempre isto pode ser evitado.

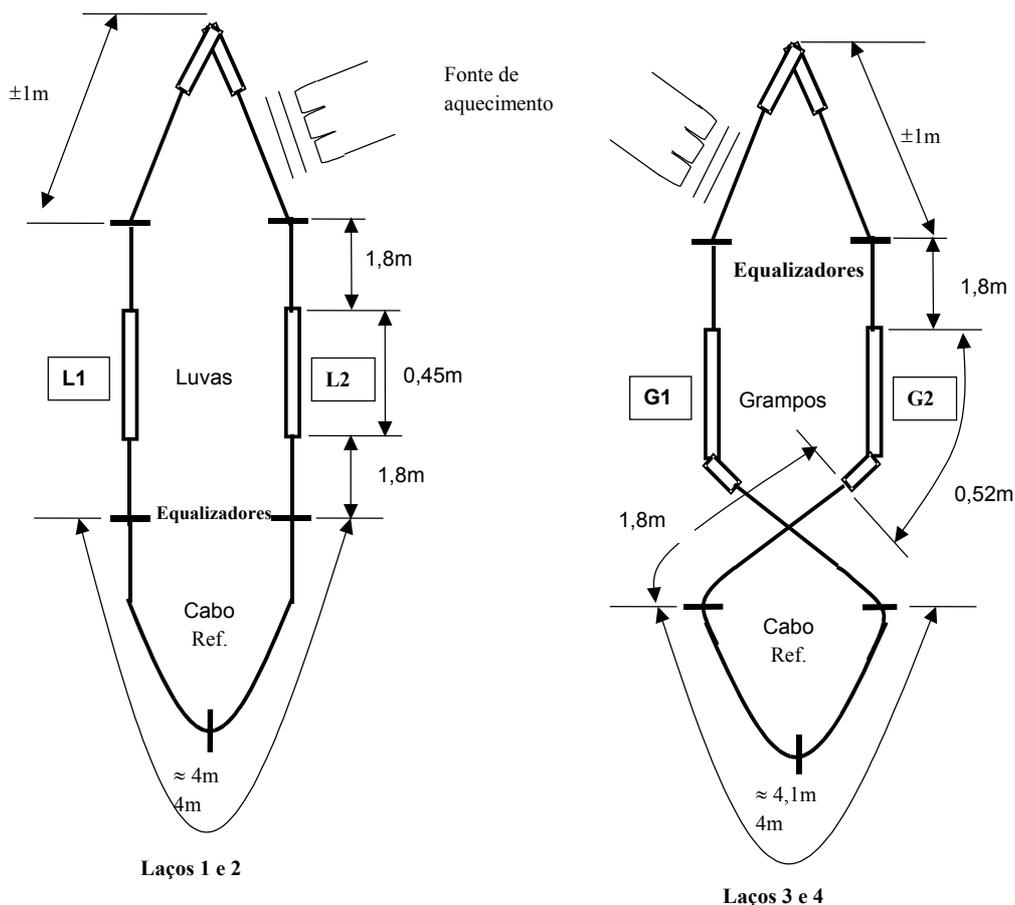
A engenharia de ferragens está partindo para desenvolvimentos mais caros sem estudar mais profundamente a questão, principalmente, em termos de propriedades, processamento e desempenho.

Desta forma a Gerência de Engenharia de LTs da CEMIG propôs a realização de ensaios termoeletricos⁴ e caracterização microestrutural⁵ para avaliação da perda das características elétricas, mecânicas, corrosão dos componentes e análise da microestrutura interna dos materiais das conexões, comparando-se com as propriedades requeridas para as mesmas.

3.1. Ensaios Termoeletricos

Foram realizados no CEPTEL ensaios de aquecimento elétrico, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado por ciclos térmicos e resistência à corrosão, com base na NBR 7095 “Ferragens Eletrotécnicas para Linhas de Transmissão e Subestações de Alta e Extra Alta Tensão”, em conexões de luvas de emenda e grampos de ancoragem a compressão para cabo condutor Linnet (336 MCM).

Foram ensaiados quatro laços e três segmentos de cabos conforme ilustrado na Figura 1 e identificados na Tabela 1, preparados pela CEMIG em cabos ACSR (CAA) Linnet (336,4 MCM) de 18,3 mm de diâmetro.



Segmentos de cabos 1, 2 e 3
com luva de emenda ou grampo a compressão

Figura 1 – Esquema das amostras utilizadas nos ensaios no CEPEL

Tabela 1 – Identificação das amostras ensaiadas

Conexões	Ident. laço	Ident. conexões	Observações	Ensaio Elétrico
Luvas de emenda	Laço 1	L1 e L2	Nenhuma	Aquecimento, condutividade e envelhecimento acelerado
	Laço 2	L3 e L4	Nenhuma	
	Segmento 1	S1	Sem antioxidante	Condutividade e névoa salina
	Segmento 2	S2	Com antioxidante	
Grampos de ancoragem	Laço 3	G1 e G2	Sem escovação	Aquecimento, condutividade e envelhecimento acelerado
	Laço 4	G3 e G4	Com escovação	
	Segmento 3	S3	Sem escovação	Condutividade e névoa salina

Nos segmentos de cabos com conexões tipo luva de emenda, uma das amostras foi montada com pasta antioxidante e a outra sem pasta antioxidante (Figura 10). Em um dos laços com grampos de ancoragem foi feita uma escovação das superfícies de interconexão entre o grampo e o jumper,

conforme apresenta a Figura 2 e o torque utilizado para aperto dos parafusos foi de 35 N.m, conforme padrão da CEMIG.

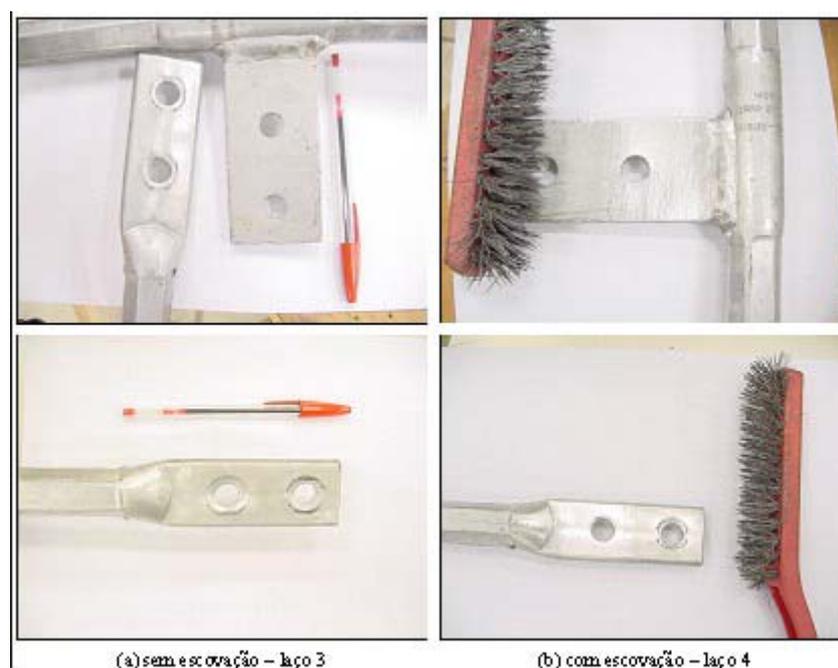


Figura 2 – Diferenças na preparação e limpeza das superfícies entre o grampo e o jumper de conexões do tipo grampo de ancoragem a compressão

3.1.1. Procedimentos

O ensaio de envelhecimento acelerado por ciclos térmicos com corrente elétrica foi realizado conforme a NBR 7095. Em cada laço foram realizados 20 ciclos de aproximadamente 2h de duração, com 1,5 h para sobrelevação e estabilização da temperatura do condutor de referência a 100 K acima da temperatura ambiente; 0,5 h para resfriamento do cabo à temperatura ambiente através de ventilação forçada.

O ensaio de aquecimento elétrico foi feito com aplicação gradual de corrente elétrica com intensidade de 450 A por 1 h. Em seguida, a corrente aplicada foi incrementada em 10% por mais 1h. Em ambos os ensaios as temperaturas do cabo ou condutor de referência, e das conexões, foram monitorados por um sistema de aquisição de dados, em intervalos de um minuto, durante todo o decorrer dos ensaios.

No ensaio de corrosão, foi adotada a norma NBR 8049, com exposição contínua por 168 h (7 dias) em névoa salina com concentração de 5% em peso de NaCl na temperatura de 35°C. Em todos os casos, antes e após os ensaios, foram medidas as resistências elétricas das conexões sob avaliação.

3.1.2. Resultados

Os resultados mais importantes referem-se ao aquecimento elétrico e envelhecimento acelerado por ciclos térmicos dos laços com grampos de ancoragem, resistência à corrosão e condutividade elétrica das amostras de segmentos de cabos com luvas de emenda montadas com e sem pasta antioxidante.

Os laços 1 e 2 contendo conexões do tipo luva de emenda não apresentaram diferenças significativas tanto nas medições de resistência elétrica, como também nas medições de temperatura das conexões durante aquecimento elétrico e ciclos térmicos.

Os laços 3 e 4 contendo conexões do tipo grampo de ancoragem a compressão, montadas sem preparação (laço 3) e com preparação e limpeza das conexões (laço 4), apresentaram diferenças significativas nas medições de resistência elétrica e temperatura das conexões durante os ensaios de aquecimento elétrico e ciclos térmicos, conforme é apresentado nas Figuras 4 a 8 a seguir.

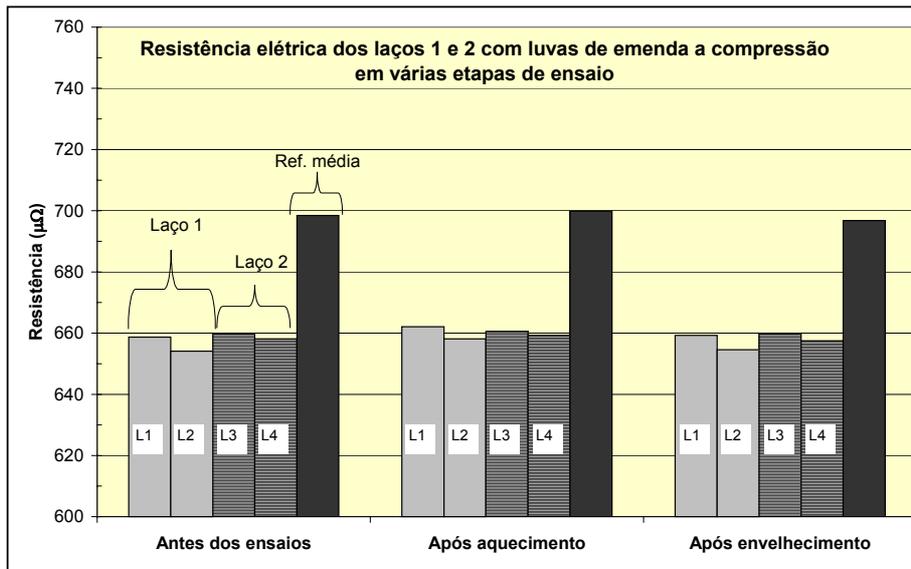


Figura 3 – Resistência elétrica das luvas durante a realização dos ensaios

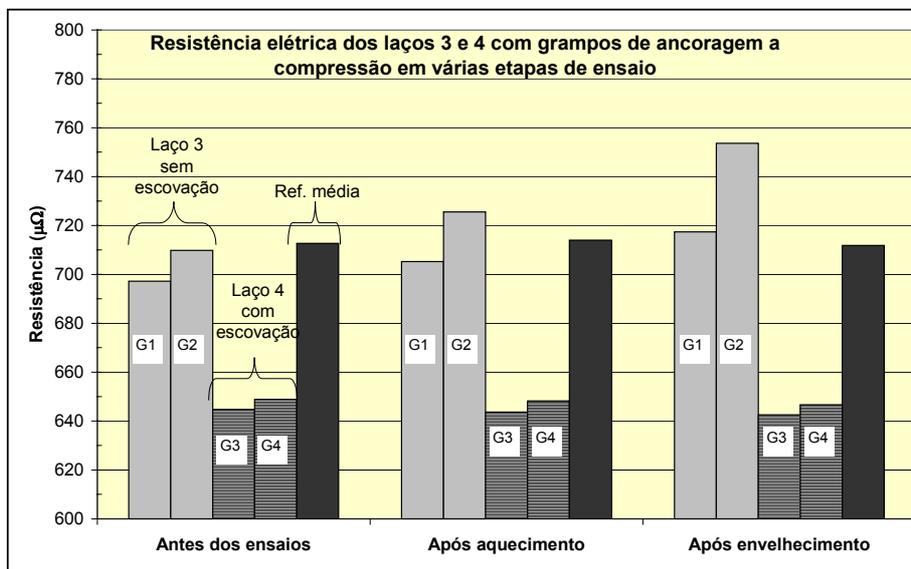


Figura 4 – Resistência elétrica dos grampos durante a realização dos ensaios

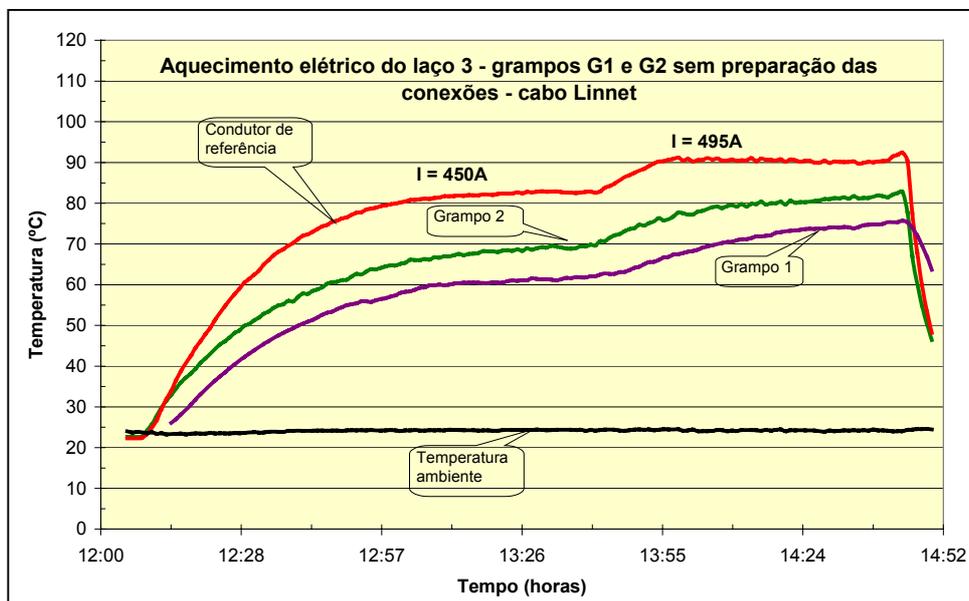


Figura 5 – Temperaturas dos grampos G1 e G2 (laço 3) durante ensaio de aquecimento elétrico

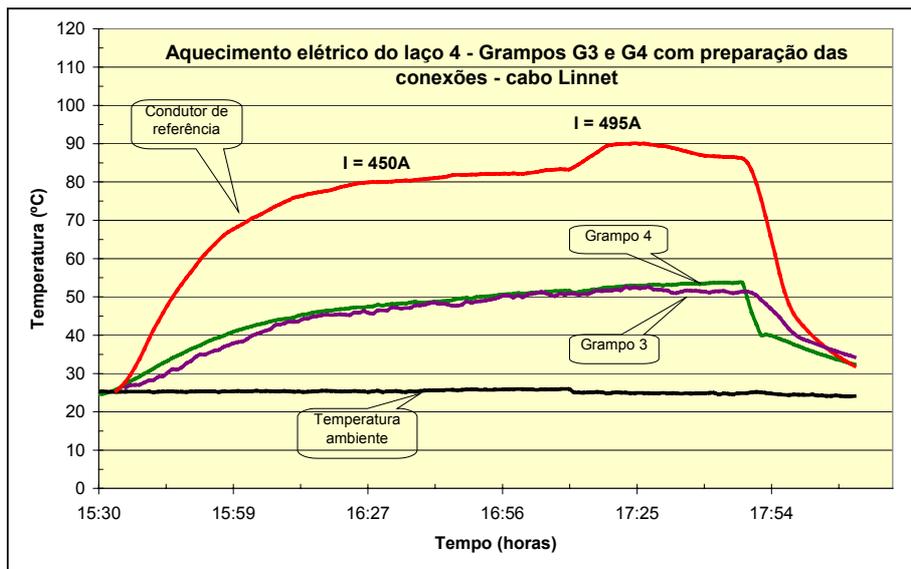


Figura 6 – Temperaturas dos grampos G3 e G4 (laço 4) durante ensaio de aquecimento elétrico

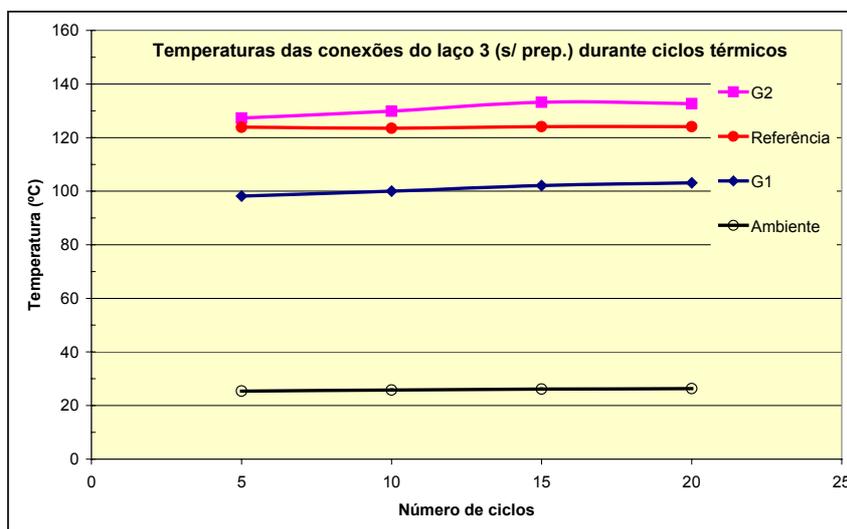


Figura 7 – Temperaturas dos grampos G1 e G2 (laço 3) durante ensaio de envelhecimento acelerado por ciclos térmicos

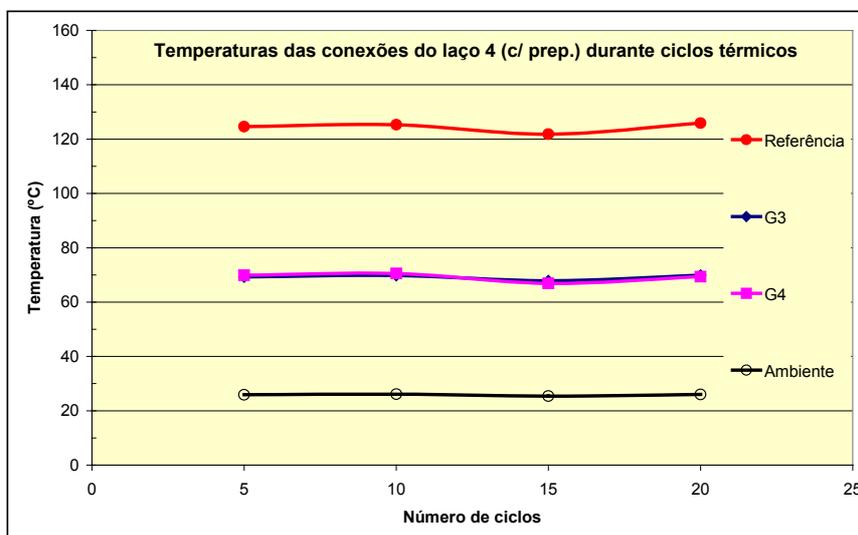


Figura 8 – Temperaturas dos grampos G3 e G4 (laço 4) durante ensaio de envelhecimento

A resistência elétrica das conexões dos segmentos de cabos medidas depois do ensaio de corrosão ficou em média, 3,5% maior para o caso das emendas e 9,3% maior no caso do grampo. Com relação à montagem das emendas com e sem antioxidante, a primeira ficou com resistência elétrica em média, 4,5% maior, tanto antes como depois do ensaio de névoa salina, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência Elétrica das conexões de segmentos de cabos antes e após névoa salina

Ensaio elétrico		Antes da névoa salina			Após névoa salina		
Identificação		Resistência	Temperaturas (°C)		Resistência	Temperaturas (°C)	
Segmentos	Conexões	($\mu\Omega$)	Conexões	Ambiente	($\mu\Omega$)	Conexões	Ambiente
Luvas	S1 (sem)	217,2	24,4	24,4	224,7	24,3	24,3
	S2 (com)	227,2			234,7		
Grampo	S3	219,7			240,2		

Observações: valores de resistência elétrica não referidos à temperatura de 20°C

Na Figura 9 a seguir, são mostradas, em detalhes, amostras de luvas de emenda e grampo de ancoragem a compressão, antes e depois de submetidos ao ensaio de névoa salina.



Figura 9 – Detalhes das amostras submetidas ao ensaio de resistência à corrosão

3.2. Caracterização Metalográfica das Conexões

Os exames metalográficos foram feitos pelo Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Engenharia da UFMG, onde foram utilizadas as seguintes amostras:

- Amostra C – Emenda com pasta antioxidante;
- Amostra LT – Emenda da LT Arcos-Divinópolis 2, 138 kV, que rompeu no ano de 1998;
- Amostra S – Emenda sem pasta antioxidante.

3.2.1. Procedimento experimental e retirada das amostras

As amostras para as análises metalográficas foram retiradas após o ensaio de resistência à corrosão em névoa salina, conforme o esquema da Figura 10, com exceção da amostra da LT Arcos-Divinópolis 2.

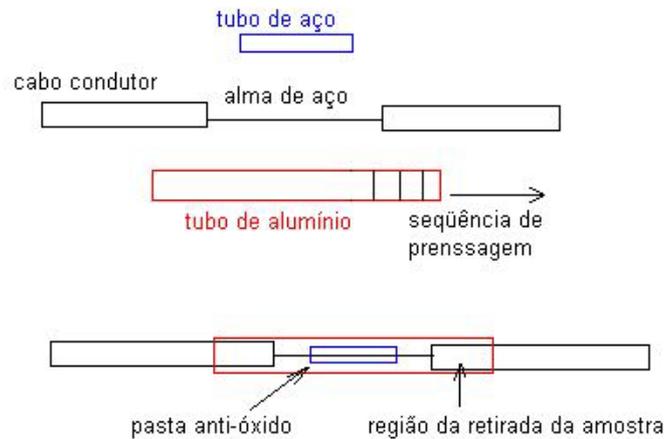


Figura 10 – Detalhe de retirada das amostras submetidas a ensaio de corrosão em névoa salina para análise metalográfica

As amostras foram devidamente cortadas, polidas, embutidas e atacadas com reativo próprio. Após exames metalográficos as amostras foram fotografadas, usando lupa e microscópio metalográfico, para documentar a constituição microestrutural.

3.2.2. Resultados

Os resultados dos exames metalográficos são apresentados nas fotomicrografias ópticas das Figuras 11 a 15.

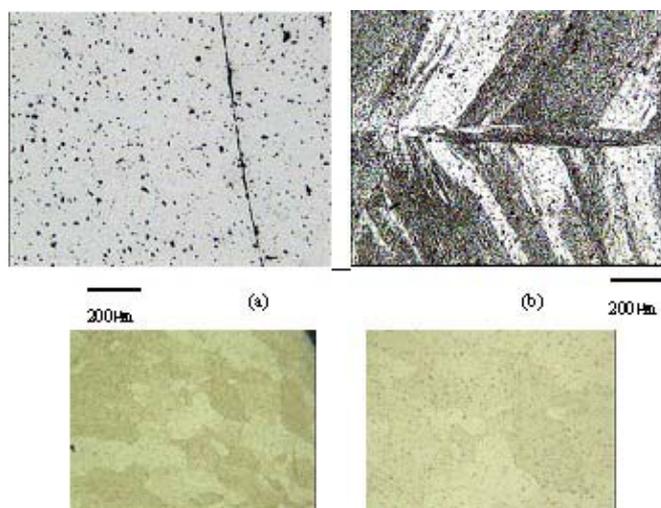


Figura 11 – Amostra C: detalhe do fio de alumínio na emenda sem ataque (acima) e da liga externa do tubo (abaixo). Observam-se grãos colunares(b) e precipitados(a)

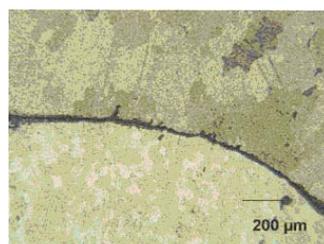


Figura 12 – Amostra LT Arcos-Divinópolis 2: detalhe da diferença de microestruturas do fio do condutor e do tubo da luva de emenda, e a separação entre eles

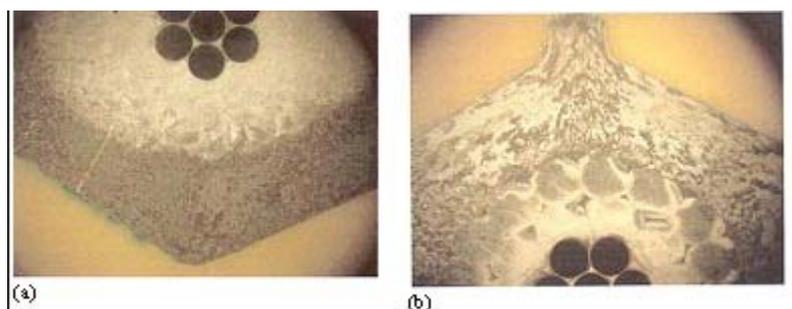


Figura 13 – Seção polida da amostra C(a) e amostra LT(b) – fotos obtidas em lupa

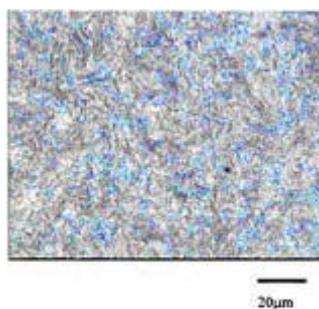


Figura 14 – Amostra C: microscopia ótica do fio do cabo de aço. Observa-se o ¹encruamento e presença de perlita, constituinte que aparece nos aços ABNT 1080

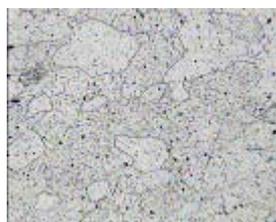


Figura 15 – Amostra S: Observa-se grãos colunares

4. NOVAS TECNOLOGIAS

Novas tecnologias de conexões e emendas vêm sendo desenvolvidas e aplicadas. A principal delas, no caso da linha de transmissão, são as conexões a implosão. Na verdade, não se trata de um novo tipo de conexão, mas de uma nova forma de se fazer a conexão à compressão, onde é usado um produto químico para fazer a compressão ao invés do uso de matrizes e prensas hidráulicas, o que as tornam vantajosas em relação ao tempo de montagem e a eliminação de variáveis, tais como: torque, lixamento, preparação e limpeza, uso de ferramentas, etc., introduzidas pelo montador na sua execução. A CEMIG já tem algumas experiências com estas conexões⁷ e os resultados até então são satisfatórios, porém, alguns obstáculos ainda precisam ser superados (como o ruído gerado) , e avaliações e ensaios adicionais devem ser realizados.

Os conectores tipo cunha já são uma realidade no setor elétrico nacional. Apresentam grandes vantagens em relação aos conectores aparafusados, mas sua aplicação se restringe às baixas tensões e cabos finos, o que é raro em LTs atuais.

¹ Encruamento é um desarranjo na rede cristalográfica dos metais em função de uma deformação mecânica que provoca mudanças significativas das propriedades dos materiais.

Grampos de suspensão preformados, apesar de não serem recentes, tem tido grande aplicação nas LTs atuais, devido à idéia de que aumenta o amortecimento da suspensão e reduz o risco de fadiga do cabo. Entretanto, não existe na literatura dados que provem e quantifiquem isto, e nas experiências práticas da CEMIG⁸, notou-se que eles não dispensam o uso de amortecedores. De qualquer forma, eles apresentam vantagens em relação aos grampos de suspensão aparafusados com armadura preformada se o seu custo for igual ou inferior.

O uso de armaduras preformadas representa hoje uma vantagem comprovada, já que aumenta o amortecimento da suspensão, protege o cabo do arco elétrico e de qualquer dano devido a técnicas inadequadas de montagem. Entretanto, é um material caro e já existe desenvolvimento de grampos que dispensam a armadura preformada, mas que ainda não tem desempenho comprovado⁹.

5. CONCLUSÕES

Levando em consideração os resultados apresentados, verificou-se que todas as conexões do tipo luva de emenda a compressão apresentaram bom desempenho em todos os ensaios realizados, conforme critérios de aprovação da NBR 7095.

Com relação ao uso de pastas antioxidante, estas não mostraram eficiência nenhuma com relação às conexões a compressão, já que não foi observado nenhum benefício conforme resultados de ensaios de resistência elétrica, à corrosão e metalográfico. Ao contrário, a amostra com a pasta antioxidante especificada apresentou desempenho inferior no ensaio, fato que já foi verificado em outros trabalhos similares⁶.

O uso de parafusos de aço inoxidável é recomendável, devido a sua maior eficiência em relação a resistência à corrosão e redução de perdas magnéticas.

As conexões do tipo grampo de ancoragem G3 e G4, do laço 4, com escovação das superfícies de interconexões do grampo com o jumper, apresentaram desempenho satisfatório em relação aos critérios exigidos na NBR 7095, enquanto as amostras G1 e G2, do laço 3, sem preparação das conexões, não cumpriram com os requisitos dispostos na NBR 7095, conforme ficou evidenciado nos gráficos das Figuras 4 a 8, onde são observados valores de temperatura e resistência elétrica das conexões bem superiores aos valores de temperatura e resistência elétrica do condutor de referência.

Com relação à análise metalográfica, pode-se chegar a algumas importantes conclusões:

- a amostra da LT Arcos-Divinópolis 2 apresentou um tamanho de grão maior que as demais, o que implica em menor resistência mecânica à tração, maior ductilidade e menor resistência elétrica, entre outras propriedades;
- a amostra da LT apresentou uma fusão parcial nos contatos dos fios de alumínio, provavelmente, originado por efeito Joule, conforme pode ser visto na Figura 13b;
- nos fios de alumínio das amostras C e S foram observados grãos colunares, diferente da amostra de LT, onde apareceu granulação equiaxial, conforme pode ser visto na Figura 11. Isto mostra que a amostra de LT apresentou recristalização dos grãos, reduzindo as tensões internas da rede cristalina e diminuindo o risco de fratura frágil do material;
- a amostra de aço do cabo apresentou perlita fina, característica de aços eutetóides e encruados, como pode ser visto na Figura 14.

Contudo, não conseguimos chegar a uma conclusão sobre o motivo da falha da emenda da LT Arcos-Divinópolis 2, 138 kV. É provável que a falha tenha sido devido a um defeito interno do material, como uma pequena trinca que se propagou até a sua falha total, ou até mesmo um vazio, precipitado ou pite podem ter desencadeado a falha.

De uma maneira geral, as conexões a compressão não representam uma ameaça aos sistemas de transmissão, desde que sejam bem executadas, mesmo porque são poucas as ocorrências envolvendo falhas das ferragens nas LTs em relação ao universo existente, e elas são especificadas para que a carga de tração axial não exceda 50% da carga nominal de ruptura do cabo, muito inferior à carga de

escorregamento que a conexão deve suportar por norma, de 90% da carga de ruptura do cabo utilizado³.

O fato de se encontrar pontos quentes nas conexões a compressão não quer dizer necessariamente um problema. A presença de pontos quentes são devidos, provavelmente, ao mau contato entre as superfícies de interconexão, por falta de preparação adequada (lixamento e limpeza) durante a montagem, ou também devido a falhas de prensagem, por utilização incorreta das matrizes, etc., e podem levar a falhas. Por outro lado, a deformação a frio das conexões a compressão, também chamada encruamento, induz ao aparecimento de tensões internas na rede cristalina, e conseqüentemente, favorece o aparecimento de falhas. O aumento de temperatura pode eliminar estas tensões internas, organizar a rede cristalina e aumentar o tamanho do grão, que favorece o aparecimento da fratura dúctil, que geralmente é visível e perceptível nas inspeções.

6. RECOMENDAÇÕES

Considerando os resultados obtidos nos ensaios das conexões de grampos de ancoragem, onde ficou evidente a superioridade de desempenho apresentado pelo laço 4 com as conexões G3 e G4, com a preparação das conexões antes da montagem, recomenda-se que a montagem em campo seja realizada com escovação e/ou lixamento das superfícies de interconexão entre o grampo e o jumper, para remoção da camada de óxido de alumínio presente nas superfícies de contato. Recomenda-se ainda, cuidados para a aplicação do torque recomendado pelo fabricante no aperto dos parafusos, pois pode influir no desempenho elétrico e mecânico do grampo.

A utilização da correta matriz de compressão para a conexão e o cabo a que se destinam é imprescindível para uma conexão bem feita, assim como a localização e seqüência de prensagem da conexão.

O uso de pasta antioxidante pode ser dispensado para as conexões e emendas a compressão, mas ressalta-se que as orientações do fabricante devem ser fielmente seguidas para evitar problemas posteriores.

O uso de novas tecnologias para as conexões de LTs, como as conexões a implosão, passa-emenda e radiografia portátil é bastante interessante. Porém, deve-se analisar bem a viabilidade, custos e tecnologia envolvida para evitar outros problemas futuros.

Ao mesmo tempo em que a engenharia de manutenção de LT está muito desenvolvida em termo de inspeção (termovisão, radiografia, etc), não está sendo estudado o comportamento dos materiais das conexões. Da mesma forma, as ferragens para cabos a altas temperaturas estão sendo projetadas com elevados coeficientes de segurança, sem antes definirem bem as propriedades e características necessárias a esta aplicação. Em um desenvolvimento recente de ferragens para cabos a altas temperaturas¹⁰ (acima de 150°C), foi adotada uma solução diferente da convencional (aumento das dimensões dos grampos e emendas) e os resultados foram satisfatórios, a princípio. O estudo minucioso de engenharia de superfícies/contatos, avaliando o comportamento elétrico e mecânico a altas temperaturas, resistência de contato, corrosão e outros, são imprescindíveis para definição de métodos, critérios, procedimentos e especificações que garantam boa qualidade, confiabilidade e baixo custo.

Este trabalho não abrange o uso de emendas e reparos preformados ou aparafusados, mas um trabalho parecido poderia ser realizado de modo a avaliar o comportamento e riscos do uso deste tipo de conexão. No caso dos reparos e emendas preformados, existem estudos¹¹ consistentes que garantem seu bom desempenho, mesmo quando as mesmas são submetidas a condições severas de montagem. De uma maneira geral, os problemas novamente recaem na qualidade da montagem no campo, onde as instruções de execução nem sempre são obedecidas, levando a falhas posteriores. Já as conexões aparafusadas, onde a principal é o grampo de ancoragem passante, apresentam vantagens na montagem (redução de tempo e esforços) e pode evitar muitos problemas (como ponto quentes por

exemplo), já que não secciona o condutor. Mas a área de contato cabo/grampo e o torque de aperto dos parafusos devem ser muito bem projetados, calculados e medidos durante a montagem para que não ocorra o escorregamento.

É importante que haja maiores estudos e desenvolvimento de novos materiais, técnicas e ferramentas de montagem, de modo a evitar possíveis falhas futuras, reduzir custos e facilitar a construção e montagem das ferragens, principalmente em linha viva. Isto deve ser feito com vistas, principalmente, para o aumento da capacidade térmica, e conseqüentemente, de potência das LTs, já que é uma tendência o uso maior dos ativos de transmissão por dificuldades naturais e de custos de construção de novas LTs. Para isto, o ensaio e avaliação do comportamento das conexões e emendas de LTs a altas temperaturas é imprescindível.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 CEMIG: 30000-ER/LT-3393. *Avaliação de conexões e emendas de LTs. Relatório do estado da arte na CEMIG*. Belo Horizonte, 2003.

2 Pavlink, B. L. *Tecnologia da Ferragem para Linhas de AT e EAT*. 1ª Edição. São Paulo: Gente, Março/89, p. 238-262.

3 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.

4 UETI, Edson. *Relatório de Ensaio DVLF-32202/04C; Envelhecimento térmico de luvas de emenda e grampos de ancoragem a compressão-CEMIG*. CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2004.

5 Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. *Relatório Técnico 06-2004/09; Caracterização metalográfica em amostras de emendas de cabo de transmissão de energia elétrica*. UFMG, Belo Horizonte, 2004.

6 CIGRÉ Session –2002 22-201. *Evaluation Method of Aging Deterioration Characterisitics of Compressed Joint*. Paris, 2002.

7 MOURÃO, Miguel Augusto M. *Emenda a implosão – Teste e aplicação*. XIERIAC, Hermandarias-PY, Maio/2005.

8 CEMIG: 30793-CN/NT2-002. *LT Coromandel-Patos de Minas, 138 kV – Medição de vibração eólica nos cabos condutores*. Belo Horizonte-MG, Junho/1991.

9 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.

10 CEMIG: 30000-ER/LT-4274a. *Desenvolvimento de Acessórios para o cabo GZT-ACSR 240 mm²*. Belo Horizonte-MG, Agosto/2005.

11 PLP Brasil: *Relatório de ensaio – RE-045/01*. Cajamar-SP, Julho/2001.