



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

CB/GLT/10

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

**AValiação DO DESEMPENHO DE EMENDAS PREFORMADAS INSTALADAS
HÁ MAIS DE 40 ANOS EM UMA LINHA DE TRANSMISSÃO**

Freddy Rudi Möllhoff (*)
Copel GeT

Ilmar da Silva Moreira
Copel GeT

Anselmo de Oliveira Antunes
PLP – Brasil

Ivo Pinto Cavalcante
PLP – Brasil

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo demonstrar o desempenho de emendas totais preformadas retiradas de campo pela Copel, após operação por um período superior a quarenta anos. As emendas citadas são provenientes da interligação Uberaba – Capanema em 69 kV, a qual foi construída no final da década de 50 para escoar a energia gerada na Usina de Guaricana (usina de propriedade da Copel Geração e Transmissão S.A., no Paraná).

As emendas foram retiradas de um trecho aéreo que foi alterado para subterrâneo em virtude da construção de uma ponte estaiada na Avenida Comendador Franco (Avenida das Torres), próximo à Vila Torres. Os ensaios de resistência a ruptura (tração), aquecimento e ciclo térmico foram realizados sobre as amostras (originais) aplicadas em condutor HAWK 477 MCM, de diâmetro 21,80mm, formação 26 x 7 fios. Serviram como parâmetros para estes ensaios as normas NBR-7095 e ANSI C 119.4 item 6.0.

PALAVRAS-CHAVE

Emendas, preformadas, tração, envelhecimento, construção

1.0 - INTRODUÇÃO

As conexões oferecem grande potencial de falhas dentro do Sistema Elétrico Potência, sobretudo as emendas. O sucesso do fornecimento de energia elétrica está diretamente associado à disponibilidade do sistema. A busca pela competitividade nos últimos anos gerou a necessidade de empregar métodos construtivos mais ágeis, haja visto os exíguos prazos para a construção das LTs. Desta forma, as emendas preformadas vêm representando um ganho considerável de tempo durante as atividades de lançamento e instalação de condutores aéreos.

A má aplicação de emendas, o aumento de resistência elétrica, bem como os fatores como ação dos ventos e correntes de curto podem elevar a temperatura das emendas, gerando o rompimento do condutor com consequente desligamento da linha e prejuízos tais como perda de receita e risco à vida. Frente a um setor elétrico que está gradativamente “envelhecendo”, os setores de manutenção das concessionárias defrontam-se com a preocupação em manter suas linhas operando em condições seguras.

Em algumas empresas de energia e, até mesmo na Copel, o uso de emendas preformadas foi evitado durante longos anos, justamente pelos problemas acima citados. Ao longo deste trabalho demonstraremos que as emendas preformadas, ainda que envelhecidas, podem representar uma solução segura para a construção de LTs.

2.0 - ENSAIOS

Os ensaios foram realizados em 02 amostras da Emenda Total Preformada com Pasta Antioxido, FTS-15117 da PLP, desenho 4C-9233 rev. -, aplicadas em condutor Hawk 477MCM Ø21,80mm – 26 x 7 fios, com referência a NBR-7095, para ensaios Resistência a Ruptura item 6.3.1, Aquecimento item 6.3.5 e Ciclo Térmico conforme a ANSI C 119.4 item 6.0.

2.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A RUPTURA

- Retirar duas amostras de condutores que contenham emenda (Figura 1), cada amostra deverá ter um comprimento mínimo de 5 metros (Figura 3);
- Com um marcador permanente ou fita adesiva, efetuar marcações nas extremidades das varetas da emenda, para verificar a ocorrência de escorregamento;
- Através de um dispositivo resinado na extremidade de cada pedaço de condutor (Figura 2), fixar um dos lados ao cabeçote móvel, vinculado ao sistema hidráulico, e o outro lado no cabeçote fixo da máquina de tração (Figura 4);
- Uma carga lenta e gradual deve ser aplicada até atingir o primeiro patamar de carga e manter por um minuto;
- Repetir o passo acima para cada patamar sem reduzir a carga aplicada no patamar anterior, até encontrar 90% da carga mínima de escorregamento ou ruptura especificada;
- Em seguida a carga deve ser aliviada e a amostra analisada visualmente a procura de defeitos;



FIGURA 1 – Amostras retiradas de campo



FIGURA 2 – Dispositivo resinado que possibilita ancoragem do condutor ao equipamento de ensaios.



FIGURA 3 – Amostras prontas para o ensaio de tração.



FIGURA 4 – Detalhe de ancoragem do conjunto no equipamento de ensaios.

2.1.1 RESULTADOS

Resultados das amostras após ensaio de carga de resistência à ruptura conforme tabela abaixo:

Amostra #1

Tabela 1 – Valores de carga para a amostra #1

Carga Esp.	Carga Encontrada	Ocorrência
8.820kgf(100%) 7.938kgf (90%)	1.190kgf/1min. (14%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	2.280kgf/1min. (26%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	3.090kgf/1min. (35%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	4.150kgf/1min. (47%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	5.180kgf/1min. (59%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	8.050kgf/1min. (91%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	8.850kgf/1min. (103%)	Tracionado com ruptura da coroa de alumínio no ponto de ancoragem (resina).



FIGURA 5 – Detalhe da ruptura da coroa de alumínio do cabo junto ao ponto de ancoragem.



FIGURA 6 – Carga de ruptura da coroa de alumínio (em toneladas-força)



FIGURA 7 – Sem evidências de escorregamento da emenda no lado esquerdo.

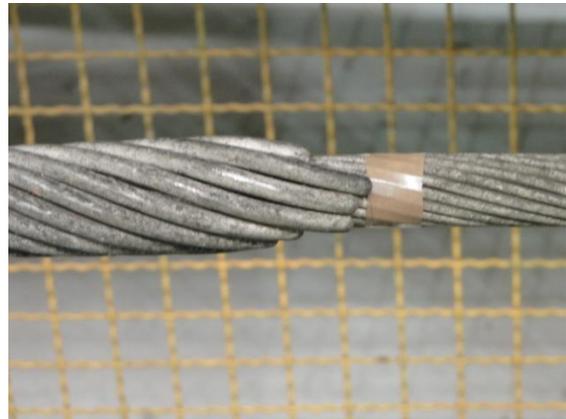


FIGURA 8 - Sem evidências de escorregamento da emenda no lado direito.

Amostra #2

Tabela 2 – Valores de carga para a amostra #2

Carga Esp.	Carga Encontrada	Ocorrência
8.820kgf(100%) 7.938kgf (90%)	1.460kgf/1min. (17%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	3.240kgf/1min. (37%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	4.210kgf/1min. (48%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	5.200kgf/1min. (59%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	7.940kgf/1min. (90%)	Tracionado sem escorregamento ou ruptura.
	8.590kgf/1min. (97%)	Tracionado com ruptura da coroa interna de alumínio no ponto de ancoragem (resina).



FIGURA 9 – Carga de ruptura da coroa de alumínio (em toneladas-força)

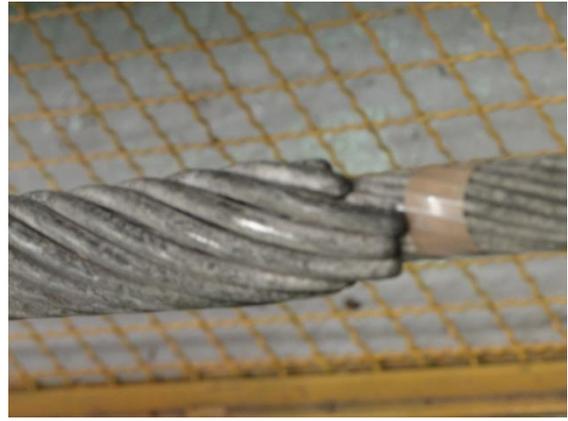


FIGURA 10 - Sem evidências de escorregamento da emenda.

2.2. ENSAIO DE AQUECIMENTO

Procedimento de ensaio:

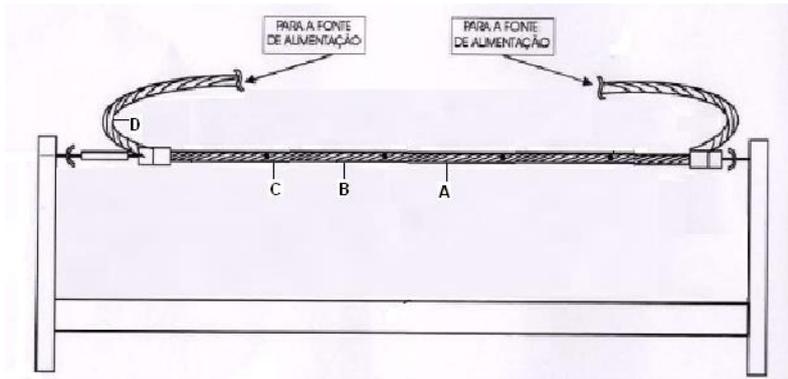
- Um comprimento de condutor maior que duas vezes o comprimento da emenda preformada deve ser utilizado;
- Cortar o condutor em um ponto que possibilite um comprimento livre, com no mínimo o mesmo comprimento da emenda, para medição da resistência elétrica de referência;
- A emenda preformada deve ser instalada nestes dois pedaços de condutores conforme instrução de montagem;
- Termopares com cabos multifilares para medição da temperatura devem ser instalados sobre a emenda preformada e sobre o condutor de referência;
- Três termopares devem ser instalados na emenda, sendo: um no meio da emenda, um a 3/4 de seu comprimento total e um a aproximadamente 50 mm da ponta. Um quarto termopar deve ser instalado no condutor;
- corpo de prova (condutor e emenda) deve ser instalado no equipamento de ensaio, conectando as extremidades ao barramento de cobre do equipamento;
- A medição da resistência elétrica deve ser feita em um comprimento de condutor de referência, entre duas conexões de cabos multifilares e um comprimento de condutor que compreenda a emenda em ensaio. Deve ser utilizado o mesmo comprimento do condutor de referência para comparação da diferença de resistências entre condutor e emenda no início e no final do ensaio;
- Medições de temperatura devem ser feitas em intervalos de 60 minutos;
- Para garantir que houve a estabilização da corrente, três medidas com variação inferior a $\pm 3^{\circ}\text{C}$, para cabo e emenda, devem ser registradas.



FIGURA 11 – Vista geral do arranjo.



FIGURA 12 – Executando medições com miliohmímetro.



A – Meio da emenda (canal 01);
 B – 3/4 da emenda (canal 02);
 C – Ponta da emenda (canal 03);
 D – Cabo (canal 04);

FIGURA 13 – Posição dos termopares

2.2.1 RESULTADOS

Resultados das amostras após ensaio de Aquecimento conforme tabelas abaixo:

Amostra #1

Tabela 3 – Resultados da amostra #1

Tempo (h)	Elevação de Temperatura (°C)				Temp. ambiente (°C)	Corrente (A)
	A	B	C	D		
13:40	26	26	26	26	26	901
14:40	121	93	105	125	28	927
15:40	127	100	106	132	30	934
16:40	129	103	110	136	29	934

Resistência Elétrica			
	Cabo (micro ohms)	Emenda (micro ohms)	Corrente (A)
Início	773	726	900
Final	848	788	934

Amostra #2

Tabela 4 – Resultados da amostra #2

Tempo (h)	Elevação de Temperatura (°C)				Temp. ambiente (°C)	Corrente (A)
	A	B	C	D		
12:05	31	31	31	31	31	680
13:05	100	85	78	77	33	683
14:05	109	93	83	87	34	696
15:05	106	90	78	79	34	690

Resistência Elétrica			
	Cabo (micro ohms)	Emenda (micro ohms)	Corrente (A)
Início	764	923	680
Final	420	473	690



FIGURA 14 – Vista geral do arranjo.



FIGURA 15 – Medição de corrente.

Nota: Foi realizada medição de corrente após a estabilização da temperatura do conjunto. A corrente de ensaio para amostra #1 foi 32% acima da especificada pela NBR-7095 para a seção elétrica do condutor Hawk.

2.3 ENSAIO DE CICLO TÉRMICO

Procedimento de ensaio:

- Um comprimento de condutor maior que duas vezes o comprimento da emenda preformada deve ser utilizado;
- Cortar o condutor em um ponto que possibilite um comprimento livre, com no mínimo o mesmo comprimento da emenda, para medição da resistência elétrica de referência;
- A emenda preformada deve ser instalada nestes dois pedaços de condutores conforme instrução de montagem;
- Termopares com cabos multifilares para medição da temperatura devem ser instalados sobre a emenda preformada e sobre o condutor de referência;
- Três termopares devem ser instalados na emenda, sendo: um no meio da emenda, um a 3/4 de seu comprimento total e um a aproximadamente 50mm da ponta. Um quarto termopar deve ser instalado no condutor.
- corpo de prova (condutor e emenda) deve ser instalado no equipamento de ensaio, conectando as extremidades ao barramento de cobre do equipamento.
- A medição da resistência elétrica é feita em um comprimento de condutor de referência, entre duas conexões de cabos multifilares e um comprimento de condutor, o qual deve compreender a emenda em ensaio. todavia, com o mesmo comprimento do condutor de referência, para comparação da diferença de resistências entre condutor e emenda, a aproximadamente cada 25 ciclos. É chamado de ciclo o processo em que a emenda sofre um aquecimento, a fim de variar sua resistência ôhmica, regressando ao seu estado natural ao final deste processo.

$$R_{20} = R_m / [1 + \alpha (T_m - 20)]$$

Onde:

R₂₀ = resistência a ser encontrado a 20°C;

R_m = resistência medida durante o ensaio;

T_m = temperatura (°C) da emenda;

α = coeficiente de variação da resistência em função da temperatura;

$$\alpha = 3,6 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$$

A temperatura foi medida no início do ensaio e a cada 25 ciclos até completar 125 ciclos, sempre imediatamente após o término da aplicação de corrente, através de termopares permanentemente instalados sobre o cabo, disposto conforme segue:

A = no centro da emenda;

B = 3/4 da emenda;

C = extremidade da emenda;

D = no centro da parte exposta do condutor;

2.3.1 RESULTADOS

Apresentaremos o desempenho da amostra #1 após ensaio de ciclo térmico. Em virtude da aplicação de uma corrente elétrica 32% mais elevada que na amostra #2, julgamos essa a condição mais severa para o ensaio. Os resultados seguem conforme demonstrado a seguir:

Tabela 5 – Resultados após ensaio de ciclo térmico (Amostra #1)

Ciclo	Resistência elétrica cabo (μΩ)	Resistência elétrica emenda (μΩ)	Diferença entre Resistências (μΩ)	Corrente (A)
Início (*)	925	880	45	900
25	548	518	66	913
57	593	522	71	973
78	585	527	58	973
104	583	526	57	988
135	622	565	57	986

Corrente e temperatura conforme tabela abaixo:

Tabela 6 – Resultados após ensaio de ciclo térmico (Amostra #1)

Ciclo	Temperatura (°C) – emenda e cabo				Temperatura ambiente (°C)
	A	B	C	D	
Início (*)	27	27	27	27	27
25	107	96	94	125	34
57	100	91	94	132	28
78	103	92	91	133	28
104	113	101	99	138	32
135	126	112	109	154	31

Tabela 7 – Correção da resistência elétrica inicial e final para a temperatura de 20°C.

Temperatura	Resistência elétrica emenda	
	Rm (μΩ)	R20 (μΩ)
Tm (°C)		
101,9	531,6	410,5

Cálculos para R20 na emenda:

$$R_{20} = 531,6 / [1 + 0,0036 * (101,9 - 20)] \Rightarrow R_{20} = 531,6 / [1 + 0,295] \Rightarrow R_{20} = 531,6 / 1,295 \Rightarrow R_{20} = 410,5 (\mu\Omega);$$

Ciclo 25 - Medidas de temperatura em °C, nos diversos pontos da emenda, após realização de 25 ciclos térmicos:



FIGURA 16 – Temperatura no meio da emenda (canal 01).



FIGURA 17 – Temperatura em 3/4 da emenda (canal 02).



FIGURA 18 – Temperatura na ponta da emenda (canal 03).



FIGURA 19 – Temperatura no condutor (canal 04)



FIGURA 20 – Temperatura ambiente (canal 05).



FIGURA 21 – Corrente elétrica (A)

3.0 - CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, as amostras de emendas preformadas, aplicadas há mais de 40 anos, apresentaram desempenho satisfatório nos ensaios de resistência à ruptura, aquecimento e ciclo térmico, mantendo suas características mecânicas e elétricas apesar de seu envelhecimento.

Podemos concluir que as emendas preformadas, desde que adequadamente aplicadas, representam significativos ganhos de produtividade, performance e eficiência nas atividades de lançamento de cabos, sendo então largamente aplicadas nos empreendimentos de linhas de transmissão a nível mundial.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) PLP Brasil: RE-133-2014. *Relatório de ensaio de resistência a ruptura, aquecimento e ciclo térmico*. Laboratório da PLP Brasil – Cajamar-SP, Outubro/2014.

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

(3) 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.

(4) CIGRÉ Session – 2002 22-201. *Evaluation Method of Aging Deterioration Characteristics of Compressed Joint*. Paris, 2002.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Freddy Rudi Möllhoff nasceu na cidade de Curitiba – Paraná – Brasil, em 17 de setembro de 1977. Graduou-se em Engenharia Industrial Elétrica (ênfase em Eletrotécnica) pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR) no ano de 2001.

Trabalha desde janeiro/2006 na Copel Geração e Transmissão S.A. no Departamento de Engenharia de Linhas de Transmissão, onde atua como Engenheiro de Projetos Eletromecânicos Pleno, atuando na gestão de contratos de construção, análise de projetos, fiscalização de obras e inspeções de materiais de transmissão nacionais e internacionais.