VALIDAÇÃO DE ENSAIOS DE CABOS CONDUTORES DE ENERGIA ELÉTRICA REALIZADOS EM MÁQUINAS DE TRAÇÃO VERTICAL[1]

Beline Quintino de Araújo Fonseca[2]
Alexandre Queiroz Bracarense[3]
Carlos Alberto Cimini Júnior[4]
Flaviano Lopes Pereira[5]

Resumo

Este trabalho tem por objetivo validar a execução de ensaios de cabos condutores em máquina de tração vertical, através da comparação dos resultados obtidos em ensaios de tração de amostras de cabo condutor CAA 336 MCM – Linnet de uma mesma Linha de Transmissão de energia, utilizando-se para isso, máquina de tração longitudinal e de tração vertical. A obtenção da carga de ruptura dos cabos condutores de energia elétrica é descrita na NBR-7272 com a utilização de máquinas de tração com distância entre garras de 8m, sendo o condutor disposto em posição longitudinal. A metodologia foi desenvolvida nas seguintes etapas: preparação das amostras para fixação na máquina; realização dos ensaios de tração longitudinal e vertical; verificação da validade do ponto de ruptura do cabo condutor, conforme descrito na NBR-7272; comparação dos resultados obtidos nos ensaios e validação do método do ensaio de tração utilizando máquina de tração vertical. Os seguintes resultados foram alcançados: facilidade e rapidez na montagem do conjunto cabo condutor/grampo de ancoragem passante, redução do comprimento da amostra, utilização do grampo de ancoragem passante em um grande número de ensaios e retirada de uma amostra menor de cabo condutor.

Palavras-chave: Linha aérea de subtransmissão de energia elétrica; Cabo condutor; Ensaio de tração do cabo condutor.

VALIDATION OF TESTS OF ELECTRICAL ENERGY CONDUCTOR CABLES REALIZED BY VERTICAL TESTING MACHINES

Abstract

This work has as objective validate the execution of tests in vertical testing machine, comparing the results obtained in tensile tests of samples of conductor cables ACSR 336 MCM – Linnet from the same Overhead Transmission Line, using vertical and longitudinal testing machines. The obtainment of the rupture load of the electrical energy conductor cables is described by NBR-7272 using testing machines with 8m distance between the gribs with the cable in longitudinal position. The methodology was developed in the steps: preparation of the samples to be fixed on the machine; execution of the tests of longitudinal and vertical tensile; verification of the validity of the rupture point of the conductor cable as described in NBR-7272; comparison of the results obtained in the tests and validation of the method of the tensile test using vertical testing machine. The following results were obtained: easiness and agility in the assembling of the set of conductor cable/snubbing type dead-end; reduction in the length of the sample; the use of the snubbing type dead-end in a large number of tests, and the withdrawal of the a smaller sample of the conductor cable.

Key words: Overhead transmission line; Conductor cable; Conductor cable tensile test.

[1] *Contribuição técnica ao 63° Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1° de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

[2] *Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica pela UFMG.*
[3] *Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia Aeronáutica e Astronáutica (Stanford University, EUA).*
[4] *Físico, Doutor em Engenharia Metalúrgica - Soldagem (Colorado School of Mines, EUA).*
[5] *Estudante de Engenharia Mecânica, UFMG*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Cabo Condutor de Energia Elétrica

O Cabo condutor é o principal elemento de uma Linha de Subtransmissão de energia elétrica – LT, definindo suas características elétricas (perdas por efeito Joule ou por efeito Corona e dimensionamento das estruturas) e mecânicas (aplicação das estruturas). Por isso, exige um cuidadoso trabalho de manutenção preditiva e preventiva, evitando-se a interrupção do fornecimento de energia elétrica aos diversos segmentos de clientes. Caso isso ocorra, a concessionária estará sujeita ao pagamento de multas devido a indisponibilidade da instalação, Fonseca(1) e Fuchs(2).
Os principais tipos de cabos condutores de Alumínio são: Cabo de Alumínio – CA, Cabo de Alumínio com alma de Aço – CAA, Cabo de Alumínio Liga – CAL e Cabo de Alumínio Reforçado com Alumínio Liga – CALA. A Figura 1 mostra um cabo condutor de Alumínio Liga.

Fonte: Furukawa Energia.
Figura 1. Cabo condutor.

1.2 Ensaio de Tração

O ensaio consiste em submeter o material a um esforço que tende a esticá-lo ou alongá-lo, geralmente é realizado em um corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou reproduzidos. Este corpo de prova é fixado numa máquina de ensaio que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as deformações correspondentes, os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio e o corpo de prova é levado até a sua ruptura.
A ABNT(3) descreve que:

> "6.4.2.1 O ensaio de ruptura do cabo completo deve ser executado, conforme NBR 7272, considerando:
> a) Carga de ruptura,
> - a carga de ruptura do cabo completo, quando ensaiado conforme NBR 7272, não deve ser menor que a Resistência Mecânica Calculada – RMC, desde que a ruptura se verifique a mais de 25mm dos terminais de fixação;

- se a ruptura se verificar nos terminais de fixação ou a uma distância menor ou igual a 25mm destes, a carga de ruptura não pode ser menor que 95% da RMC.
Nota: considera-se o cabo rompido quando qualquer de seus fios romper.

Conforme ABNT[4] a máquina para ensaio de tração deve ter como característica a distância mínima de 8m entre garras.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção das Amostras do Cabo Condutor da Linha de Transmissão

As amostras foram retiradas da LT Pirapora – Montes Claros 2, 138 kV, que foi construída com cabo condutor CAA 170,5 mm2, Linnet, 26/7.
A data de energização da LT foi em 03/04/1979 e a retirada das amostras no período de 22 à 25/05/2003, sendo todas as amostras retiradas no mesmo local e no mesmo período. A Tabela 1 mostra as características do cabo condutor da LT.

Tabela 1. Características do cabo condutor Linnet, 2008.[2]

Descrição	Resistência Mecânica calculada (RMC)	Limite mínimo de resistência à tração
CAA 170,5 mm2, Linnet, 26/7	6.181 daN	
Fio de Alumínio 1350 H19, Ø 2,89mm		117,4 daN
Fio de aço galvanizado Ø 2,25mm		576,51 daN

2.2 Metodologia Desenvolvida

A metodologia desenvolvida foi elaborada considerando as normas ABNT.[3,5,6,7,8] A seguir, são apresentadas as etapas do desenvolvimento da metodologia para validação dos ensaios de tração para cabos condutores utilizando máquina de tração vertical.

2.2.1 Preparação das amostras – ensaio longitudinal

As amostras utilizadas no ensaio de tração longitudinal foram preparadas utilizando-se grampos de ancoragem à compressão para fixação na máquina, conforme mostrado na Figura 2.

2.2.2 Preparação das amostras – ensaio vertical

As amostras utilizadas na máquina de tração vertical foram preparadas utilizadas grampos de ancoragem passante para fixação, conforme mostrado na Figura 3.

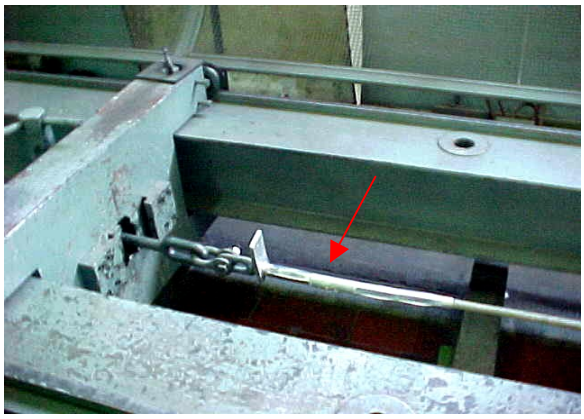

Figura 2. Fixação da amostra na máquina horizontal.[2]

Figura 3. Amostra para ensaio de tração vertical.[5]

2.2.3 Realização dos ensaios de tração longitudinal

A Figura 4 mostra a realização do ensaio de tração do cabo condutor em uma máquina de tração longitudinal, ensaio realizado conforme ABNT.[8].

Figura 4. Máquina de tração longitudinal.[2]

2.2.4 Realização dos ensaios de tração vertical

A Figura 5 mostra a realização do ensaio de tração do cabo condutor em uma máquina de tração vertical.

Figura 5. Máquina de tração vertical.[5]

2.2.5 Verificação da validade do ponto de ruptura do cabo condutor, conforme descrito na NBR-7272.

A Figura 6 mostra o grampo de ancoragem passante indicando a distância entre o ponto de fixação do cabo condutor e o ponto de saída do cabo no grampo (x), cujo valor é 190mm.

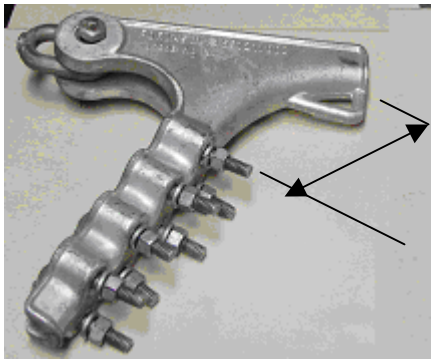

Figura 6. Grampo de ancoragem passante utilizado no ensaio.[5]

A Figura 7 mostra o ponto comum de ruptura do cabo condutor nas amostras de cabo condutor utilizadas na máquina de tração vertical. Este ponto em geral estava a uma distância superior a 25mm do início da fixação do condutor no grampo de ancoragem passante e a concordância externa do berço do grampo de ancoragem passante. A Figura 8 mostra um conjunto de grampos e a amostra de cabo rompida.

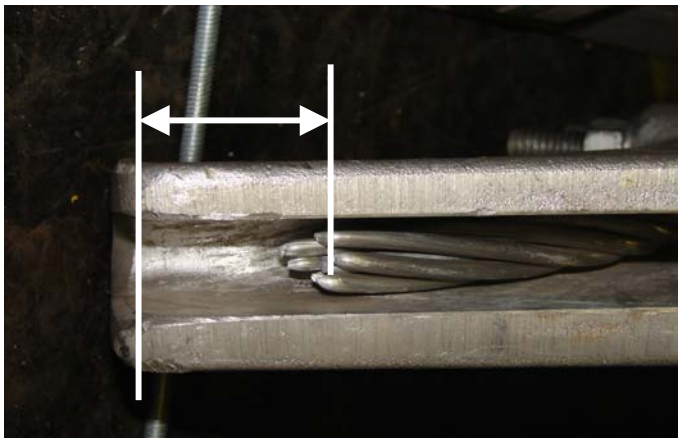

Figura 7. Ponto de ruptura do condutor na amostra de tração vertical.[5]

Figura 8. Amostra de cabo condutor rompida.[5]

2.2.6 Comparação dos resultados obtidos nos ensaios

É feita a comparação dos resultados obtidos na máquina de tração vertical e de tração longitudinal.

2.2.7 Validação do método do ensaio de tração utilizando máquina de tração vertical

Através da comparação dos resultados obtidos nos dois tipos de ensaio e da verificação de conformidade com a ABNT[8] é feita a validação do ensaio à tração vertical.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaios de Tração Longitudinal

Data de realização de ensaio: 09/05/2003.
Local de realização dos ensaios: Laboratório Cemig-MS/QL.
As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados dos ensaios do cabo completo, fios de Alumínio e fios de aço, respectivamente.

Tabela 2. Ensaios do cabo condutor realizados na Cemig.[2]

Tipo da amostra	Carga de Ruptura (daN)		Ponto de ruptura
	Cabo	Alma de Aço	
1 - Cabo com emenda preformada total	6.913,7	---	Grampo
2 – Cabo com emenda preformada total	6.884,3	4.314,9	Grampo
3 – Cabo sem emenda	6.188,0	---	Escorregamento grampo (Alma de aço)
4 – Cabo com emenda à compressão	6.492,0	---	Escorregamento grampo (Alma de aço)
5 – Cabo sem emenda	6.845,0	4.511,1	Grampo
Média	**6.664,60**		
Desv. Padrão	**316,15**		

Tabela 3. Ensaios dos fios de Alumínio e aço realizados na Cemig.[2]

Fio de Alumínio	Carga de Ruptura (daN)
1 – Cabo LT – camada externa	117,7
2 – Cabo LT – camada externa	128,5
3 – Cabo LT – camada externa	128,5
Média – camada externa	**124,9**
4 – Cabo LT – camada interna	119,6
5 – Cabo LT – camada interna	124,5
6 – Cabo LT – camada interna	116,7
Média – camada interna	**120,3**
Média Fio de Alumínio	**122,6**
Desv. Padrão	**3,3**
Fio de aço	**Carga de Ruptura (daN)**
1 – Cabo LT	691,4
2 – Cabo LT	634,5
3 – Cabo LT	634,5
Média Fio de Aço	**653,5**
Desv. Padrão	**32,9**

3.2 Ensaios de Tração Vertical

Data de realização dos ensaios: setembro/2007.
Local de realização dos ensaios: Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação-LRSS - DEMEC/Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.
As Tabelas 4, 5 e 6 mostram os resultados dos ensaios do cabo completo, fios de Alumínio e fios de aço, respectivamente.

Tabela 4. Ensaios do cabo completo realizados na UFMG.[5]

Cabo condutor	
Nome	**Carga Máx. (daN)**
Amostra 1	6.854,96
Amostra 2	7.006,64
Amostra 3	7.020,72
Média	**6.960,78**
Desv. Padrão	**91,9**

Tabela 5. Ensaios dos fios de Alumínio realizados na UFMG.[5]

Amostra 1	
Camada Externa	
Nome	**Carga Máx. (daN)**
Al3-1-E2	110,07
Al3-1-E3	120,00
Média	**115,04**
Desv. Padrão	**7,02**
Camada Interna	
Al3-1-I2	129,21
Al3-1-I4	128,28
Média	**128,75**
Desv. Padrão	**0,66**
Amostra 2	
Camada Externa	
Al3-2-E2	115,62
Al3-2-E4	118,18
Média	**116,99**
Desv. Padrão	**1,81**
Camada Interna	
Al3-2-I1	123,21
Al3-2-I2	112,03
Média	**117,62**
Desv. Padrão	**7,9**
Média Geral	**119,57**

Tabela 6. Ensaios do fios de aço realizados na UFMG.[5]

Amostra 1	
Nome	**Carga Máx. (daN)**
Aco3Am1Ex1	655,61
Aco3Am1Ex2	664,75
Aco3Am1Central	669,13
Média	**663,16**
Desv. Padrão	**6,9**
Amostra 2	
Aco3Am2Ex1	658,17
Aco3Am2Ex2	638,77
Aco3Am2Central	666,61
Média	**654,52**
Desv. Padrão	**14,28**
Média Geral	**658,84**

4 DISCUSSÃO

No Quadro 1 estão apresentados os resultados dos valores de resistência mecânica calculada para cabo o condutor completo, fios de Alumínio e de aço conforme valores padronizados por ABNT[3], ABNT[6] e ABNT[7]. Também são apresentados os valores médios dos ensaios realizados nas máquinas de tração longitudinal e vertical.

Quadro 1. Comparação dos ensaios realizados.[2]

Material	Resistência Mecânica Calculada (daN)	Valor médio (daN)		Relação EV/EL
		Ensaio Longitudinal - EL	Ensaio Vertical - EV	
Cabo condutor	6.181,00	6.664,60	6.960,78	**4,44**
Fio de Alumínio	117,42	122,60	119,57	**2,47**
Fio de aço	576,51	653,50	658,84	**0,82**

Importante ressaltar que existe diferença entre os valores nominais do cabo condutor, fio de Alumínio e fio de aço em relação aos valores ensaiados para um cabo condutor novo e para o cabo condutor da LT, conforme Tabela 8. As diferenças entre o cabo condutor novo, fabricado em 2005, e o cabo da LT, fabricado em 1979, podem estar relacionadas ao processo de controle de qualidade de produção do cabo e de seus materiais (Alumínio e aço) praticados em períodos diferentes.

Quadro 2. Diferenças entre ensaios de cabo condutor novo e da LT.[2]

Material	Resistência Mecânica Calculada (daN)	Valor médio (daN)		Relação EV/EL
		Ensaio Vertical - EV Condutor novo	Ensaio Vertical - EV Condutor da LT	
Cabo condutor	6.181,00	6.694,30	6.960,78	**3,98**
Fio de Alumínio	117,42	113,00	119,57	**5,81**
Fio de aço	576,51	640,00	658,84	**2,94**

5 CONCLUSÃO

As diferenças encontradas entre os ensaios longitudinais e verticais são perfeitamente admissíveis se considerarmos as incertezas dos equipamentos utilizados e a quantidade de ensaios realizados na máquina de tração vertical, cujo método será aperfeiçoado ao longo do tempo, reduzindo esta diferença. Por isso, consideramos o método aceitável para ensaios de tração de cabos condutores.
Os seguintes resultados foram alcançados: facilidade e rapidez na montagem do conjunto cabo condutor/grampo de ancoragem passante em relação ao conjunto utilizado no ensaio de tração longitudinal; redução do comprimento da amostra, de 8 para 2m; utilização do grampo de ancoragem passante em um grande número de ensaios, ao contrário do grampo à compressão que pode ser utilizado em um único ensaio; e retirada de uma amostra menor na Linha de Transmissão para ensaio vertical, podendo ser utilizado os cabos utilizados nos jumpers das estruturas de ancoragem. Outro passo importante a ser dado após o aperfeiçoamento do método é a revisão da NBR-7272 para inclusão do ensaio de tração vertical como alternativa para obtenção da carga de ruptura de cabos condutores.

REFERÊNCIAS

1 Fonseca, B.Q.A. Vida Útil de Cabos Condutores. Dissertação de Mestrado UFMG. Belo Horizonte, dez/2002.
2 Fuchs, R.D., Labegalini, P.R., Labegalini, J.A. e Almeida, M.T. Projetos mecânicos de linhas aéreas de transmissão. Editora Edgard Blucher Ltda, 2a Edição, 1992.
3 ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7270 – Cabos de Alumínio com alma de aço para linhas aéreas, 1988.
4 ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7302 – Condutores elétricos de Alumínio – Tensão-Deformação em condutores de Alumínio – Método de ensaio, 1982.
5 ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5422 - Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de energia elétrica, 1985.
6 ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5118 – Fios de Alumínio nus de seção circular para fins elétricos, 1985.
7 ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6756 – Fios de aço zincados para alma de aço de Alumínio e Alumínio liga, 1987.
8 ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7272 – Condutores elétricos de Alumínio – Ruptura e característica dimensional – Método de ensaio, 1985.