

EMENDAS DE CABOS DE COBRE

Cezar Piedade Jr.*
Gertrudes C.R. Piedade**
Sérgio H. Benez**

RESUMO

As emendas de cabos condutores de energia elétrica devem oferecer resistência mecânica suficiente para suportar as cargas de montagem e as sobrecargas atuantes durante as operações normais da linha.

No Brasil, o uso de condutores de cobre nº 6 AWG para linhas curtas da classe 15 kV foi muito difundido, havendo linhas em operação com bitolas menores.

A emenda usual para esses condutores tem sido a do tipo compressão. No comércio existe uma falta de uniformidade no que tange às normas, aos critérios para uso de ferramentas e avaliação do efeito da mão-de-obra.

No presente trabalho foram executadas emendas de cabos, onde o número de compressões e as ferramentas variaram com o objetivo de se pesquisar o comportamento dessas uniões.

Pesquisou-se a função $P_r = f(N)$, onde P_r é a carga de ruptura e N o número de compressões na emenda, observando-se para os alicates e matrizes consideradas que a função quadrática representou melhor os ensaios.

SUMMARY

Accessories for transmission line, such as wire and his compression sleeve were tested with tension under usual condition in order to know the behavior.

The research analyse the function $P_r = f(N)$ to compression sleeve to copper wire. In this function P_r is the rupture stress and N the number of compression. The function $A + BN + CN^2$ was the best representative of the tests.

The sleeve with two compression supported 90% of rupture of the wire and presented the best results.

INTRODUÇÃO

A necessidade de emendar cabos de redes aéreas decorre das limitações impostas pelos comprimentos máximos de fabricação e dos serviços de manutenção, em casos de rompimento. Trata-se de operação que deve ser efetuada com técnica obedecendo as normas de execução e com ferramentas adequadas.

No mercado nacional há um grande número de emendas disponíveis que se diferenciam pelo tipo, procedência, preço e especificações para montagem. Algumas

(*) Professor Livre Docente do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - Campus de Botucatu - UNESP

(**) Professores Assistentes Doutores do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas - Campus de Botucatu - UNESP.

indústrias produzem ferramentas e emendas, outras são a emenda, utilizando, nesses casos, ferramentas de outras indústrias. As emendas tipo compressão são efetuadas com um alicate especial, produzido no Brasil por apenas duas firmas. Esses alicates utilizam um par de peças intercambiáveis denominadas matrizes, selecionadas por códigos, em função do cabo a ser emendado. Apesar das matrizes serem fabricadas por um alicate específico, elas podem ser usadas no alicate de outro fabricante, havendo, inclusive, coincidência nos números das mesmas.

A execução de linhas rurais no Brasil é efetuada por firmas empreiteiras de médio e pequeno porte, que geralmente fazem associação de ferramentas, levando em consideração, também, aspectos econômicos referentes a materiais de mão-de obra.

Diante desse quadro, a presente pesquisa buscou, mediante ensaios mecânicos de laboratório, onde emendas tipo compressão foram submetidas a ensaios de tração, avaliar o seu comportamento mecânico, o efeito de mão-de-obra e de ferramenta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os cabos condutores são produzidos em comprimentos padronizados, o que obriga a utilização de peças especiais para emendá-los em linhas extensas, ou em casos de reparações. STAN (1970), em estudo realizado para as Nações Unidas, na Europa, apresenta as principais formas de uniões empregadas naquele continente, com o objetivo de padronização desses materiais para eletrificação rural. Estudo semelhante está sendo realizado no Brasil pelo MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (em 1977) através do Comitê de Distribuição da Eletrobrás.

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1972) não permite emendas em vãos de travessias sobre rodovias, ferrovias, águas navegáveis, linhas elétricas ou de telecomunicações, funiculares ou teleféricas e edificações. Com relação às condições mínimas de segurança mecânica, para todos os condutores, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1971) recomenda emendas tipo compressão, sendo permitidos outros tipos, desde que resistam a pelo menos 90% da tensão de ruptura do condutor correspondente.

Nos Estados Unidos, a ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES ELÉTRICOS (em 1962) estabeleceu, para os conectores de redes aéreas, a seguinte classificação:

- Classe 1 - tração total: 95% da resistência nominal do condutor
- Classe 2 - tração parcial: 40% da resistência nominal do condutor
- Classe 3 - tração mínima: 5% da resistência nominal do condutor

Para os ensaios de tração, as emendas de cobre foram montadas com um par de matrizes nº 161, para unir condutores nº 6 AWG. Foram efetuadas emendas com 1, 2 e 3 compressões, e cada ensaio foi executado com 3 repetições. As emendas de cabos sem emendas ensaiadas apresentaram a carga da ruptura média de 550 kgf.

Todos os corpos de prova foram executados na Companhia Paulista de Força e Luz, em Botucatu. A aquisição dos materiais, tais como cabos, emendas e pasta anti-oxidante foram providenciadas pela Faculdade de Ciências Agrônomicas, mediante concorrência normal de compra de materiais de consumo.

As ferramentas e matrizes utilizadas foram fornecidas pelo Departamento de Engenharia Rural e pela Companhia Paulista de Força e Luz.

Os ensaios de tração das emendas foram executados no Laboratório de Controle de Qualidade da Burndy do Brasil Conectores S.A., em Santo Amaro, cujos equipamentos são periodicamente aferidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e onde é realizada a maioria dos ensaios de conectores para as principais empresas de eletricidade do Brasil.

A máquina empregada nos ensaios é do tipo tração horizontal, com um curso de 7 metros e capacidade de carga de 30 toneladas. A ancoragem dos cabos foi efetuada com grampos de dimensões suficientes para evitar a concentração de tensões. Esses grampos tinham os seus parafusos apertados com um torquímetro marca

Belzer, de capacidade 20 kgf.m e obedecendo aos torques especificados no Quadro 1 da ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES ELÉTRICOS (1962).

Além do registro do painel de controle da máquina foi instalado um dinamômetro, marca Dillon, de procedência americana, com 5.000 libras de capacidade de cargas e divisões de 50 libras. Nas extremidades das emendas e nos pontos de ancoragem foram instaladas marcas de referência, com fita isolante branca, que permitiram estabelecer a carga que ocasionava o escorregamento entre as extremidades do cabo, a emenda e a ancoragem. As emendas foram ensaiadas até a ruptura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com as cargas de ruptura (P_r) com os dois tipos de alicates foram anotados no Quadro 1.

QUADRO 1 - Bitolas e Esforços para os Ensaio de Tração de Fios de Cobre com Emendas tipo Compressão, Efetuadas com dois Tipos de Alicates e um Número Variável de Compressão.

Condutor - Nº	Compressão - Nº	Alicate A (kgf) P_r	Alicate B (kgf) P_r
6	1	190,51	254,02
		199,58	272,16
		199,58	272,16
6	2	408,24	567,00
		408,24	567,00
		408,24	567,00
6	3	453,60	453,60
		476,28	453,60
		453,28	453,60

Esses valores foram pesquisados para se estabelecer a função $P_r = f(N)$, onde N é o número de compressões, mediante quatro tipos de regressões r conforme abaixo relacionadas:

$$\text{Exponencial: } Y = A \cdot B^X \quad (1)$$

$$\text{Linear: } Y = A + Bx \quad (2)$$

$$\text{Hiperbólica: } Y = A/x^B \quad (3)$$

$$\text{Quadrática: } Y = A + Bx + Cx^2 \quad (4)$$

As equações obtidas constam no Quadro 2, onde foram consideradas as seguintes abreviações:

CV = coeficiente de variação

r^2 = coeficiente de determinação

t_D = teste t para os parâmetros das regressões lineares, hiperbólicas e exponenciais

t_B e t_C = teste t para os parâmetros das regressões quadráticas.

Observando-se os valores do teste "t", de " r^2 " e de "CV", pode-se admitir que para os dois conjuntos ensaiados, as funções quadráticas estão melhor representando o efeito da carga de ruptura contra o número de compressões $P_r = f(N)$.

Na Figura 1 estão representadas as funções ajustadas, podendo-se observar que o alicate B resultou nas duas primeiras compressões numa nítida superior

ridade em relação ao alicate A. Essa superioridade talvez decorra da maior força de compressão que o alicate B deve ter aplicado na emenda devido aos detalhes de ajuste e acabamento próprios de sua fabricação.

QUADRO 2 - Equações de Regressão para o Confronto dos Ensaio de Emendas de Cabo de Cobre nº 6 AWG com Luvas tipo Compressão e várias compressões.

Tipo de Ensaio	Equações de Regressão	C.V.	r ²	t _D	t _B	t _C
(36a)	$\ln P_r = \ln 142,01 + N \ln 1,53$	0,05	0,85	6,36*		
	$P_r = 90,72 + 132,30 N$	12,13	0,89	7,52**		
(36b)	$\ln P_r = 205,85 + 0,81 \ln N$	0,29	0,94	10,53**		
	$P_r = 173,89 + 449,83N - 79,38 N^2$	2,29	0,99		19,33**	13,79**
(36b)	$\ln P_r = \ln 239,81 + N \ln 1,31$	0,06	0,47	2,49*		
	$P_r = 241,42 + 93,74 N$	25,85	0,38	2,07*		
(36b)	$\ln P_r = \ln 294,26 + 0,55 \ln N$	0,05	0,62	3,36*		
	$P_r = -449,06 + 449,83N - 207,14 N^2$	1,41	0,99		5,34**	4,84**

(36a) = Alicate A

(36b) = Alicate B

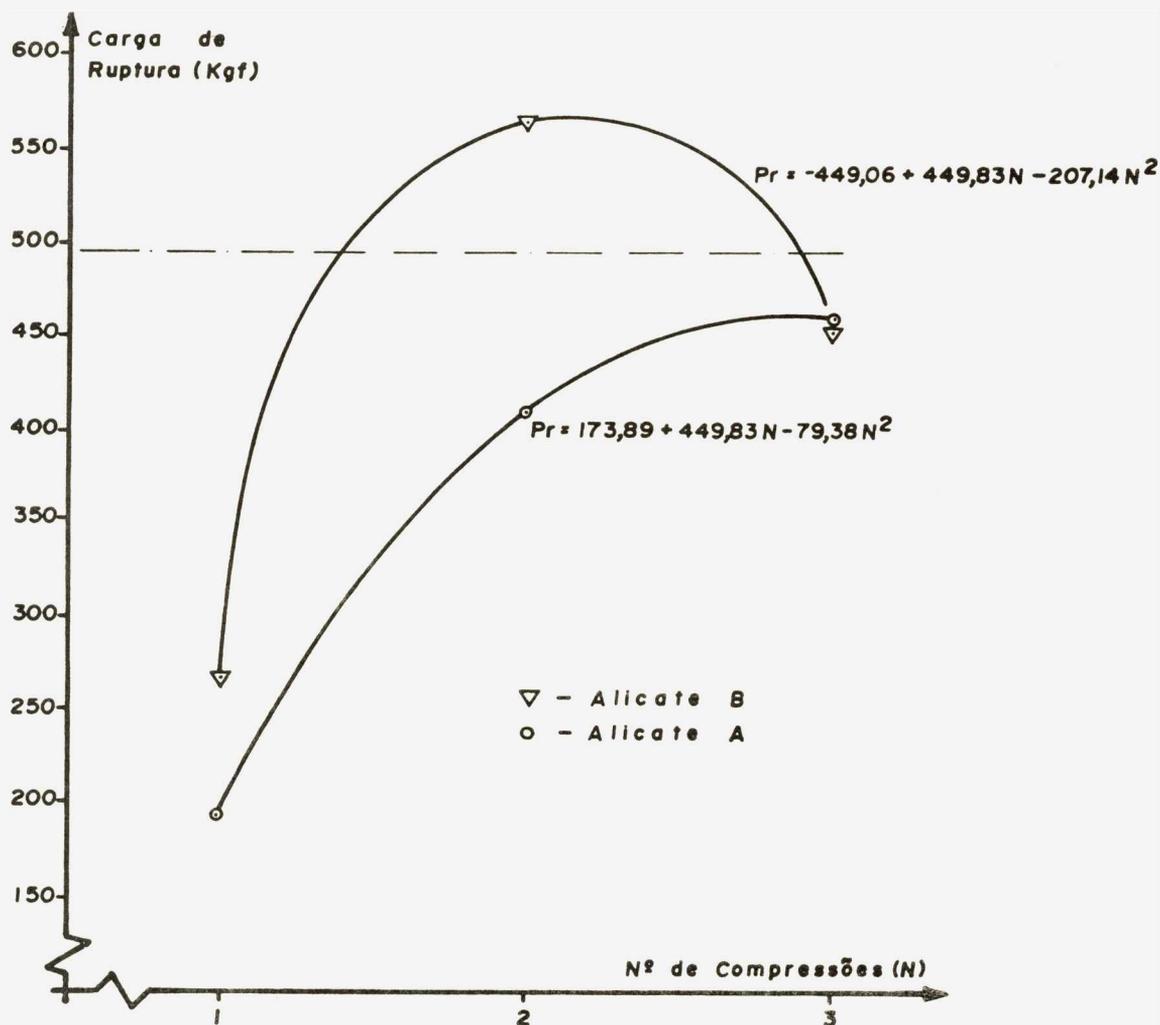


FIGURA 1 - Funções ajustadas para $P_r = f(N)$

Para a emenda montada com três compressões, pode-se constatar uma convergência das curvas evidenciando um comportamento, onde, provavelmente, passam a prevalecer os efeitos de localização da compressão e da espessura da luva. Na região onde foi aplicada a terceira compressão, a parede da luva exibiu um adelgamento responsável pelas rupturas do fio nesse local.

Observou-se, também, que as luvas ensaiadas possuem espaços reservados para cada compressão que melhor se ajustam a matrizes do tipo conjugadas que são próprias de alicates importados.

As emendas não apresentaram carga de escorregamento e suportaram quando comprimidas duas vezes carga superior a 90% do valor nominal do condutor correspondente.

CONCLUSÕES

Os ensaios das emendas de cobre tipo compressão mostraram que a função $P_r = f(N)$ onde P_r é a carga de ruptura e N o número de compressões, segue uma equação quadrática do tipo $P_r = A + BN + CN^2$.

Para os dois alicates ensaiados, o melhor resultado foi conseguido com duas compressões, que suportaram carga superior a 90% da ruptura nominal do condutor correspondente.

A terceira compressão conduziu a uma carga de ruptura intermediária, de notando que as matrizes empregadas não se adaptaram ao espaço reservado para as compressões sobre a luva. Esse espaço coincide com as dimensões de matrizes importadas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com auxílio financeiro fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Processo FAPESP 75/887.

LITERATURA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, *NB-182*: Projeto de linhas aéreas de transmissão e subtransmissão de energia elétrica. Rio de Janeiro 1972 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. *PB-46*: redes aéreas de distribuição de energia elétrica; tensão primária da classe 15 kV. Rio de Janeiro, 1971. 27 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES ELÉTRICOS, New York. *Norma NEMA SG 14 - 10-1962*: conetores elétricos para subestações. New York, 1962. 11 p. (Publicação E.E.-T.D.J., 1962).

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Brasília. *Normas do Comitê de Distribuição da Eletricidade*. Rio de Janeiro, 1977. 120 p.

STAN, M.P. Normalisation des elements entrant dans la construction des reseaux electriques pour l'electrification rurale, en tant que moyen de reduire les couts d'investissement et les delais de construction. In: NATIONS UNIES. Commission Economique pour l'Europa, New York. *Electrification Rurale*. New York, 1970. v. 12, 49 p. tab.