



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

Versão 1.0
XXX.YY
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO III
LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

**CABO ÓPTICO AUTO – SUSTENTADO(ADSS) UTILIZADO EM LINHA DE TRANSMISSÃO DE
EXTRA ALTA TENSÃO - EXPERIÊNCIA DE FURNAS**

**Maria das Graças Alvim*
Sergio Cardinali
FURNAS**

**Jorge Manuel V. Viana
Ricardo Perez Correa**

**Hidelbrando Coelho
João A. Brentan
ELETRONET**

**Elilson Eustáquio Ribeiro
NSA Cons. e Inf. LTDA**

RESUMO

Este trabalho descreve a experiência de FURNAS na instalação de cabo óptico dielétrico auto-sustentado (ADSS – All Dielectric Self Supporting) em uma LT de EAT, apresentando os resultados de ensaios, os tipos de ferragens e acessórios utilizados, o método de instalação empregado, os problemas ocorridos durante a instalação e os estudos de campo elétrico.

PALAVRAS CHAVE

Linha de Transmissão, Cabo Óptico ADSS, Trilhamento, Banda Seca, Campo Elétrico.

1.0. INTRODUÇÃO

A ELETRONET, empresa de telecomunicações que adquiriu em 1999, em leilão público, o direito de acesso às infra-estruturas de transmissão das empresas do grupo ELETROBRÁS para implantação da sua rede óptica, instalou na linha de transmissão de 345kV Pimenta – Barreiro, de FURNAS, cerca de 200km de cabo óptico dielétrico auto – sustentado, em substituição à opção de instalação do cabo pára – raios metálico OPGW.

O cabo ADSS tem sido utilizado em grande escala no Brasil em sistemas próprios de telecomunicações ou em linhas de distribuição. No âmbito mundial a aplicação do cabo ADSS em linhas de transmissão tem sido nas tensões de 138kV e 230kV, em tensões mais elevadas o uso é ainda raro. No Brasil esta instalação foi pioneira.

Nas linhas de transmissão são comumente utilizados cabos OPGW (Optical Ground Wire) por apresentarem em sua composição materiais similares aos utilizados nos cabos convencionais, cuja vida útil é conhecida.

A utilização de cabo ADSS em LT's é recente. A experiência adquirida não permite uma estimativa confiável do seu tempo de vida útil, requerendo o desenvolvimento de ensaios de envelhecimento que correspondam à sua aplicabilidade em condições reais de operação. Sendo totalmente dielétrico, apresenta a vantagem de minimizar os riscos de acidentes elétricos durante a sua instalação.

No caso da LT 345kV Pimenta - Barreiro, a sua aplicação se deveu excepcionalmente à indisponibilidade no mercado do cabo OPGW. A aplicação do cabo ADSS foi validada:

- pelo levantamento favorável dos desafios técnicos e dos recursos disponíveis para enfrentá-los como normas técnicas, especialistas e laboratórios;
- pela vantagem de mercado de introduzir uma nova opção de cabo óptico;
- pela possibilidade de viabilizar o lançamento de cabo óptico em linhas energizadas .

2.0. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO CABO ADSS

O cabo ADSS é constituído em sua totalidade de material polimérico. Neste projeto específico o cabo é composto de 5 unidades básicas na forma de tubos, sendo 4 tubos com 12 fibras ópticas em cada um, preenchidos com geléia.

As unidades básicas são encordoadas ao redor de um elemento central de plástico reforçado com fibra de vidro, apresentando dois cordões de material hidro-expansivo aplicados em ambos.

Sobre as unidades básicas são aplicados dois cordões hidro-expansivos cruzados formando o núcleo do cabo.

Sobre este conjunto é aplicada uma capa interna de polietileno e sobre esta o elemento de tração, o qual é composto de filamentos de aramida, material que apresenta alta resistência à tração, baixa fluência, coeficiente de expansão linear próximo de zero e baixo peso específico.

Externamente a todos esses elementos é aplicado um revestimento de polietileno.

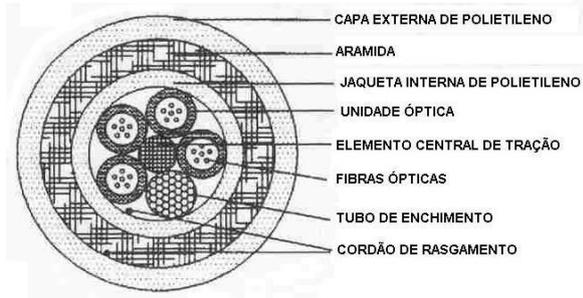


FIGURA 1 – Cabo ADSS

3.0. PROBLEMAS OPERACIONAIS NOS CABOS ADSS

De acordo com a referência [1], os danos elétricos mais frequentes nos cabos ADSS instalados na Europa e nos Estados Unidos são devidos às descargas provocadas pelo efeito corona nas terminações das armaduras preformadas dos grampos de suspensão e ancoragem e pela ocorrência de centelhamento em banda seca (dry-band arcing).

3.1. Corona

O conjunto de fixação dos cabos ADSS às torres (Figura 2), por ser metálico e possuir uma geometria de pequeno raio de curvatura nas pontas das varetas de proteção, intensifica o campo elétrico gerado pela LT.

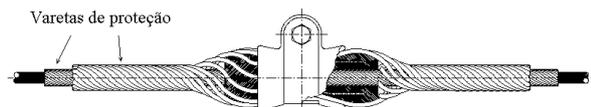


FIGURA 2 - Conjunto de fixação (de suspensão) de um cabo ADSS

Quando o campo elétrico na ponta das varetas de proteção atinge valores acima de 20 kV/cm há a ocorrência do corona, que é uma disrupção parcial do ar. A intensificação do campo elétrico nas pontas das varetas de proteção conjugada com a poluição na superfície do cabo também provoca a ocorrência de microcentelhamentos entre as varetas e a capa do cabo (Figura 3). A instalação irregular das varetas de proteção faz com que o problema se agrave.

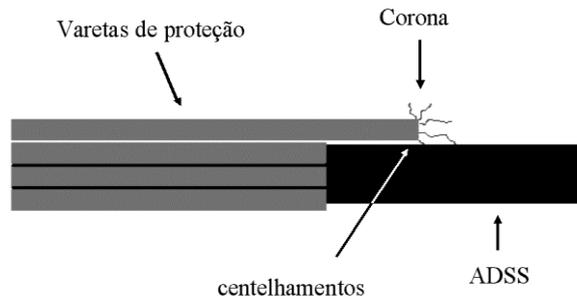


Figura 3 – Ocorrência de corona e microcentelhamentos próximos às extremidades das varetas de proteção [3].

O corona ocorrendo próximo à capa do cabo ADSS danifica a mesma. Também os microcentelhamentos danificam a capa do cabo.

A Arizona State University realizou vários ensaios por um longo período e verificou que a descarga por corona gerado por campos elétricos entre 32kV/cm e 37kV/cm em varetas de proteção de 3mm perfuram a capa do cabo ADSS.

Para evitar a ocorrência de corona e de microcentelhamentos é necessário reduzir o nível de campo elétrico próximo às pontas das varetas de proteção a um valor inferior a 20 kV/cm.

Uma forma de se obter tal redução é através da instalação do Corona Coil (Figura 4). Este dispositivo, como mostra a Figura 5, reduz significativamente o nível de campo elétrico próximo às pontas das varetas de proteção (na parte interna do Corona Coil).



Figura 4 – Corona Coil da PLP

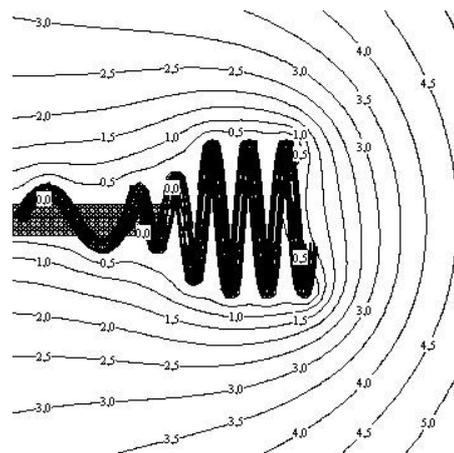


FIGURA 5 - Curvas equipotenciais (em kV) obtidas via simulação em computador. Geometria aproximada, utilizada apenas para ilustração da forma de atuação do Corona Coil.

A redução do campo elétrico é da ordem de 6 vezes em relação ao valor do campo elétrico pré-existente [3].

Deve-se observar que o Corona Coil reduz o campo elétrico, mas o valor final do campo elétrico nas pontas das varetas de proteção dependerá do campo elétrico existente antes da instalação do mesmo.

Nos pontos onde os cabos ADSS têm sido instalados (locais especificados obedecendo a um critério para se evitar o trilhamento; ver Item 3.2), a utilização do Corona Coil tem se mostrado muito eficiente.

3.2. Centelhamento em banda seca

Outro problema relacionado à imposição de campo elétrico nos cabos ADSS diz respeito à ocorrência de centelhamentos ao longo de sua capa, por um processo conhecido como Dry Band Arcing (centelhamento em banda seca). Tais centelhamentos danificam o cabo.

A danificação de cabos devido ao centelhamento em banda seca tem sido observada em regiões de elevada poluição e principalmente em regiões salinas.

A resistência elétrica superficial da capa do cabo ADSS, longitudinalmente ao mesmo, é bastante elevada quando o cabo está limpo. Com a poluição e umidade esta resistência diminui consideravelmente. Como o cabo ADSS está acoplado capacitivamente com a linha de transmissão e tem as extremidades de cada vão aterradas (em termos elétricos), via conjunto de fixação nas torres, correntes elétricas circularão pelo cabo, como é mostrado na Figura 6. Quanto maior a poluição e a umidade, menor será esta resistência e maiores serão as correntes que circularão.

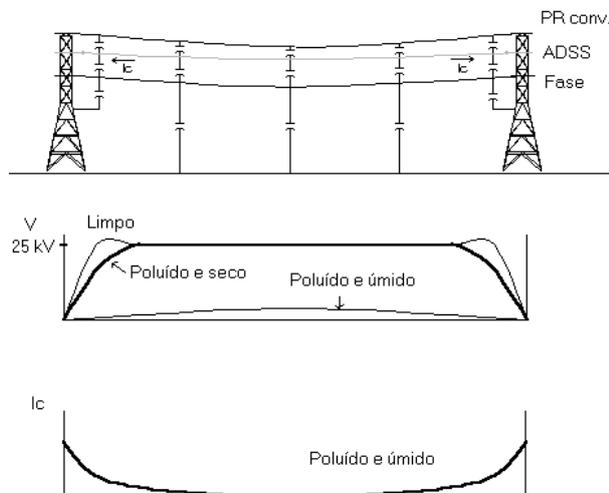


FIGURA 6 - Tensão e corrente no cabo ADSS em um vão da LT [4,6].

A resistência longitudinal do cabo ADSS, quando poluído e úmido, varia de 100 k Ω /m a 10 M Ω /m. A corrente máxima no cabo ADSS, nestas mesmas condições, varia de 0,5 mA a 5 mA (quanto maior a resistência longitudinal menor é a corrente circulante).

A circulação não uniforme de corrente pelo cabo provoca o secamento irregular do mesmo, formando regiões (ou bandas) secas. Como as correntes circulantes são mais intensas próximas aos conjuntos de fixação, neste local é que começarão a surgir as regiões ou bandas secas primeiro.

Com a formação de uma banda seca, há uma redução drástica da corrente no cabo. Ao gap formado (banda

seca) é imposta uma tensão (Figura 7) que é função de parâmetros tais como:

- potencial elétrico onde o cabo foi instalado;
- capacitâncias entre cabos ADSS, fase e pára-raios;
- posição do cabo ADSS em relação ao solo;
- posição do gap em relação aos conjuntos de fixação do cabo ADSS;
- resistência superficial do cabo ADSS (função da poluição e umidade do cabo).

Caso a tensão na banda seca formada exceda um valor da ordem de 5 kV, ocorrerá um centelhamento entre as extremidades da mesma.

O efeito térmico do arco se estende ao longo da banda seca. A manutenção deste arco depende das condições atmosféricas e seu efeito contínuo pode deteriorar a capa do cabo por erosão do material dielétrico ou por trilhamento, que são caminhos parcialmente condutores, formados pela deterioração do material dielétrico.

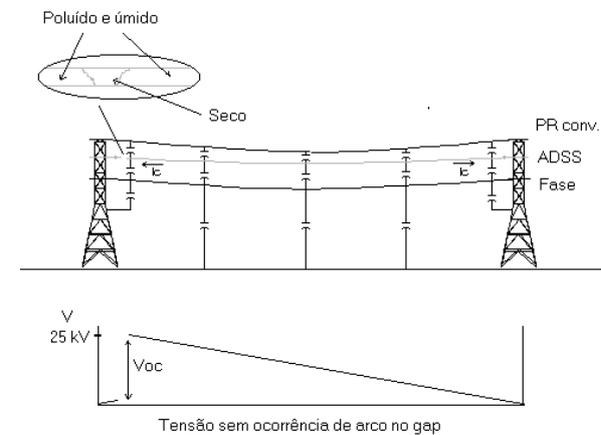


FIGURA 7 - Tensão e corrente no cabo ADSS em um vão da LT após a formação de uma banda seca (gap).

A tensão e a corrente no gap (banda seca) formado podem ser analisadas em laboratório utilizando-se um circuito equivalente de Thevenin, como o mostrado na Figura 8. Inclusive, este tipo de circuito é utilizado em ensaios com névoa salina, para se avaliar o nível de danificação dos cabos por erosão e trilhamento (tracking) do material dielétrico.

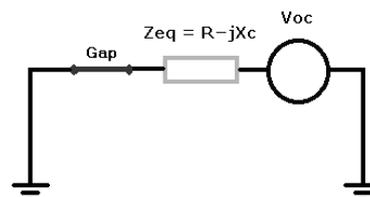


FIGURA 8 – Equivalente de Thevenin.

A tensão V_{oc} (tensão no gap) variará em função dos diversos parâmetros citados anteriormente. Para ser conservativo, pode-se utilizar um valor para V_{oc} igual ao potencial elétrico onde o cabo ADSS for instalado. Este potencial é calculado utilizando-se a disposição dos cabos próximos às torres, porém sem considerar o

efeito das mesmas (como são estruturas metálicas aterradas, elas reduzem o potencial em suas proximidades; daí se falar em processo conservativo). Este é o chamado potencial elétrico não perturbado (pelas torres).

A impedância Z_{eq} também varia em função dos diversos parâmetros já citados (capacitâncias, poluição, etc.). A BPA – Bonneville Power Administration, após vários estudos, sugeriu valores específicos para esta impedância de forma a se obter correntes no circuito compatíveis com os valores esperados em função da poluição (correntes de 0,5 mA a 5 mA).

No caso da LT Pimenta-Barreiro de 345 kV, o critério utilizado para se evitar a danificação dos cabos ADSS pelo fenômeno de centelhamento em banda seca foi instalar os cabos em locais onde o potencial elétrico não perturbado fosse inferior ao valor de tensão de 25 kV, garantido pelo fabricante deste cabo.

Este valor deverá ser objeto de confirmação, com ensaios a serem desenvolvidos e realizados em laboratórios do Brasil. Este valor também foi utilizado pela BPA – Bonneville Power Administration que tem a maior quantidade de cabo ADSS instalada em suas linhas de transmissão.

4.0. POSIÇÃO DO CABO ADSS NA TORRE

Conforme já citado anteriormente, no caso da LT Pimenta-Barreiro de 345 kV, o critério utilizado para se evitar a danificação do cabo pelo fenômeno de centelhamento em banda seca foi a instalação do mesmo em pontos onde o potencial não perturbado fosse inferior a 25 kV (potencial calculado considerando-se apenas os cabos, ou seja, sem considerar as torres), valor este garantido pelo fabricante do cabo.

A Tabela 1, a seguir, apresenta os valores dos potenciais não perturbados calculados na posição de instalação do cabo ADSS para as várias torres existentes na LT.

Tabela 1
Potencial não perturbado calculado
na posição de instalação do cabo ADSS

Tipo de Torre ⁽¹⁾	Potencial (kV) ⁽²⁾
A (Suspensão)	24,3
B (Suspensão)	24,9
C (Suspensão)	24,9
D (Ancoragem)	24,7
E (Ancoragem)	22,5
AX1 (Suspensão)	21,0
DX (Ancoragem)	23,8
EX (Ancoragem)	19,8
A31 (Suspensão)	19,3
A32 (Suspensão)	19,6
B3 (Suspensão)	20,8
DX (Ancoragem)	23,8
EX (Ancoragem)	19,8
A31 (Suspensão)	19,3
A32 (Suspensão)	19,6
B3 (Suspensão)	20,8
Bt1 (Transposição)	20,0
Bt2 (Transposição)	13,2

- (1) De forma conservativa, foram utilizadas as dimensões máximas das torres;
- (2) Potencial não perturbado, ou seja, calculado sem considerar a influência das torres.
- (3) O potencial foi calculado para a posição dos cabos (ADSS, fase e pára-raios) nas torres, ou seja, sem considerar flechas.

As Figuras 9 e 10 apresentam o mapeamento de equipotenciais (potenciais não perturbados pela presença das torres) e a posição do cabo ADSS nas torres tipo A e BT, respectivamente. Na torre tipo A foi instalada uma mísula para sustentar o cabo ADSS (mísula não mostrada na Figura 9).

Para as várias torres existentes na LT de 345 kV Pimenta-Barreiro foram realizados mapeamentos como estes para se analisar a melhor posição, em termos de potencial não perturbado, para a instalação do cabo ADSS.

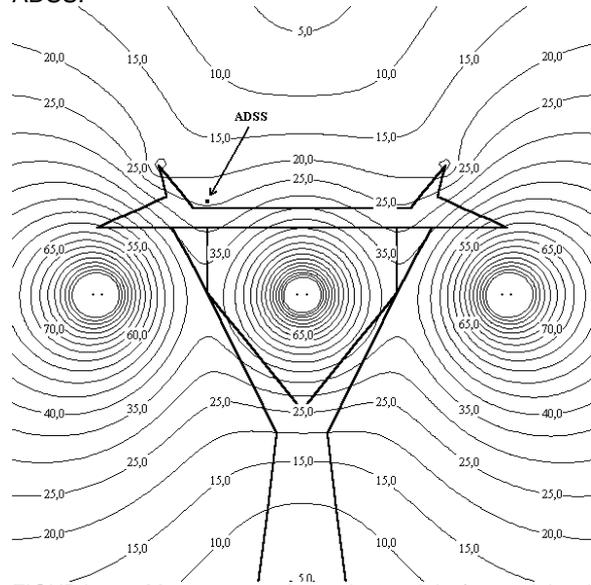


FIGURA 9 – Mapeamento de equipotenciais (potenciais não perturbados e em kV) nas proximidades da torre tipo A.

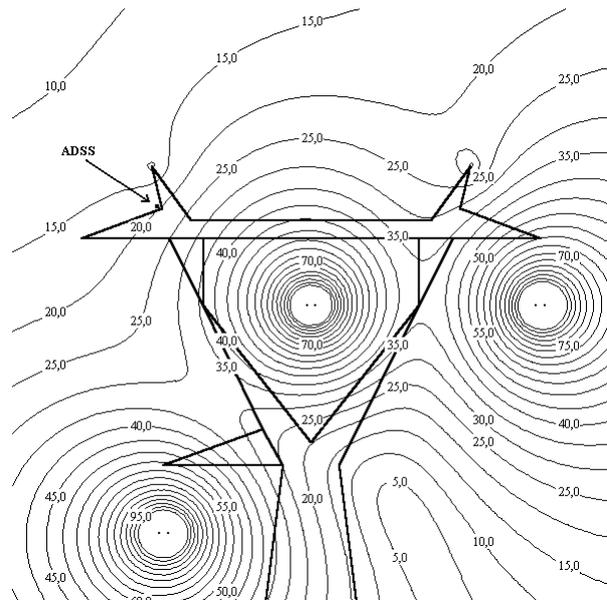


FIGURA 10 – Mapeamento de equipotenciais (potenciais não perturbados e em kV) nas proximidades da torre tipo BT.

5.0. ENSAIOS REALIZADOS NO CABO ADSS

Os ensaios realizados foram os prescritos no projeto de norma brasileira 03:086. 01-020, acrescidos dos ensaios de módulo de elasticidade, coeficiente de expansão linear, fluência para diversas temperaturas, carga de ruptura e puxamento pela polia.

Todos os ensaios foram realizados no CPQD exceto o ensaio de trilhamento que foi realizado no LACTEC.

Ensaio	Requisitado	Resultados
Uniformidade de atenuação óptica	< 0,05dB/km	< 0,03dB/km
Comprimento de onda de corte	<1270nm	<1206nm
Contração do revestimento interno(RI) e externo (RE)	Contração ≤5%	RI (2,6±1,8)% RE (1,0,±0,9)%
Escoamento do composto de preenchimento	Não gotejamento	Não gotejamento
Ciclo térmico do cabo	< 0,05dB/km	< 0,04dB/km
Resistência ao intemperismo	< 25% no índice fudez	(21,7±0,2)%
Ciclo térmico da fibra óptica tingida	não variação coloração	não apresentou
Penetração de umidade	Não vazamento	não vazamento
Trilhamento	>2,75 kV cabo novo >2,5 kVcabo envelhecido	≥3 kV cabo novo ≥2,75 kV cabo envelhecido
Ataque químico na fibra óptica tingida	não variação coloração	não apresentou
Resistência à hidrólise	não trincas,fissuras e vincamentos	não apresentou
Resistência à fissuração	não fissuração	não apresentou
Dobramento à frio	não rachaduras	não apresentou rachaduras
Inflamabilidade	não propagação fogo	não apresentou
Tensão deformação	(*)	(*)
Deformação da fibra por tração do cabo	5Xpeso/km → ε= 0% ≤0,1dB 5,5Xpeso/km → ε≤0,6%	ε=0,007% 0,008 dB ε=0,042%
Compressão	≤ 0,1dB	0,002dB
Impacto	não rompimento fibra	não apresentou
Curvatura	≤ 0,1dB	sem variação α
Flexão alternada	≤ 0,1dB	sem variação α
Torção	≤ 0,1dB	sem variação α
Dobramento	≤ 0,1dB	sem variação α
Abrasão	≤ 1mm	< 1mm
Fluência	(*)	(*)
Vibração	≤ 0, 2dB/km	sem variação α
Puxamento pela polia	(*)	(*)
Carga de ruptura	(*)	(*)
Coeficiente de expansão linear	(*)	(*)
Módulo de elasticidade	(*)	(*)

(*) ensaio sem requisito e não constante do projeto de norma 03:086.01-020,exceto o de fluência.

Os ensaios de envelhecimento térmico do cabo, resistência ao intemperismo e trilhamento são ensaios que deverão ser estudados e modificados para as condições operacionais da linha de transmissão. Estes ensaios não representam as condições reais de instalação do cabo ADSS.

6.0. INSTALAÇÃO

A técnica de lançamento do cabo ADSS se assemelha à utilizada para o cabo OPGW no que se refere à necessidade do controle contínuo da tensão de puxamento.

6.1. Lançamento do cabo

O cabo piloto deve ser puxado por um “puller” (tracionador) ou guincho mecânico acionado a motor, constituído de um sistema de dinamômetro, engrenagens e tambores onde é enrolado o cabo – piloto.

O tensionamento durante o lançamento deve ser monitorado, mantido constante e em valor suficiente para manter o cabo-piloto e o cabo ADSS nivelados, sem formação de flechas excessivas.

O cabo piloto é um elemento importante para este tipo de lançamento.

A princípio foi estabelecido pelo instalador que o cabo ADSS seria puxado por outro cabo dielétrico com elementos de sustentação a base de aramida reunida, e recoberta por uma capa de polietileno. Este tipo de cabo não teve sucesso. As propriedades mecânicas da aramida sob determinadas condições de trabalho são desconhecidas. Nestas condições de trabalho a carga de ruptura decresceu cerca de 70% em relação à ensaiada devido a problemas de conexão com o destorcedor (laço de aramida).

O cabo piloto foi substituído por uma corda de nylon encapada com borracha com êxito no lançamento.

O cabo ADSS deverá permanecer em roldanas por pelo menos 10 horas com o tracionamento igual ao EDS (pré –tensionamento).

6.2. GRAMPEAMENTO DO CABO ADSS

As ferragens utilizadas para fixação dos cabos ADSS nas estruturas são as mesmas utilizadas nos cabos metálicos convencionais das linhas de transmissão.

Os grampos de suspensão utilizados são os do tipo armado, conforme mostrado na Figura 2. O cabo ADSS é circundado por um coxim de elastômero e recoberto por varetas preformadas.

O arranjo de ancoragem utilizou a tecnologia das alças preformadas , conforme mostrado na figura 11.



FIGURA 11- Arranjo de Ancoragem

6.2.3. Amortecedores de Vibração

Os amortecedores de vibração utilizados são os de impacto (preformados) conforme mostrado na figura 12.



FIGURA 12

Cuidados especiais devem ser tomados na utilização dos amortecedores de impacto. Em grandes vãos onde são necessários dois ou mais amortecedores nas proximidades da estrutura, não se recomenda a sobreposição dos mesmos devida a imposição de pressão excessiva na capa do cabo ADSS, deformando - a, conforme mostrado nas figuras 13 e 14.



FIGURA 13



FIGURA 14

O amortecedor de impacto deve ser utilizado a uma distância de 4,5m dos grampos de ancoragem e suspensão para evitar o arco provocado pela banda seca com conseqüente queima da capa externa do cabo.

Devido a distância (4,5m) em relação à extremidade das varetas preformadas do grampo e a impossibilidade de submeter o cabo ADSS a esforços localizados desenvolveu -se um carrinho (bicicleta) especialmente para ser utilizado neste trabalho, conforme mostrado na figura 15.



FIGURA 15

Com todos esses cuidados, a implantação do cabo e dos acessórios se mostrou problemática, e com freqüência o trabalho de implantação ocasionou danos na capa do cabo ADSS. Uma vistoria realizada após o término da implantação detectou cerca de 200 pontos onde a capa do cabo havia sido danificada e onde foi

necessária a aplicação de kit de reparo especial para cabo ADSS.

6.2.4. Corona Coil

Conforme já mencionado, para se evitar a ocorrência de corona e de microcentelhamentos são instalados corona coil próximo às pontas das varetas dos conjuntos de fixação dos cabos, conforme mostrado na Figura 4.

7.0. CONCLUSÕES

- A análise realizada neste trabalho deve contribuir para a evolução do projeto de norma brasileira 03:086. 01-020 para Cabo Óptico Dielétrico Auto-Sustentado para Longos Vãos.
- Deverão ser desenvolvidos ensaios de envelhecimento, no Brasil, que representem as condições reais de operação dos cabos ADSS.
- As características técnicas da aramida são pouco conhecidas no setor elétrico, deverão ser desenvolvidos e realizados ensaios para que seja adquirida a confiança neste material.
- A instalação do cabo ADSS da LT 345kV Pimenta – Barreiro representa um ensaio real onde poderá ser analisado efetivamente o fenômeno de trilhamento, fornecendo assim subsídios para futuras instalações deste tipo de cabo no Brasil.

8.0. REFERÊNCIAS

- [1] Karady, G. ; Tuominen, M. W. & Torgeson, D. – Fast –Track Project Beats the Heat – Transmission & Distribution World.
- [2] Coutinho, R. M.; Rocha, P. S. A.; Ribeiro, E. E.; Alves, M. F. & Nacif, L. F. - Cálculo e Medição de Campos Elétricos em Subestações - XIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Florianópolis, SC - Out./1995.
- [3] Karady, G. G. ; Beszterccy, G. & Tuominen, M. W. – Corona Caused Deterioration of ADSS Fiber-optic Cables on High Voltage – IEEE Trans. on PD.
- [4] Karady, G. ; Reta-Hernandez, M. ; Tuominen, M. W. ; Torgeson, D. & Han, B. – A Mitigation Method For Dry-Band Arcing Caused Deterioration of ADSS Fiber-Optic Cables.
- [5] Fiber Optic Cable Evaluation of the All Dielectric Self Supporting Cable Under Electrical Stress – Fitel Lucent Technologies.
- [6] Karady, G.; Devarajan, S., Tuominen, M. W. & Han, B. – Computer Simulation of Fiber-Optic Cable Failures due to Dry-Band Arcing – Proceedings of the 1999 Power Engineering Society Summer Meeting, July 1999, 99SM-127. Transmission & Distribution World.
- [7] Projeto de Norma 03:086.01-020 – Cabo Óptico Dielétrico Auto – Sustentado para Longos Vãos-Especificação.

9.0. Agradecimentos

- EQUIPE Técnica do CPQD
- Marcello Giacaglia – OFS Brasil