

# Redes de Distribuição com Cabo Coberto para Operação em Ambientes Agressivos da Orla Marinha

Fernando H. Molina, Gil F. Vasconcelos, Marco A A Menezes, Paulo C B Guimarães, Sergio L. S. Cabral e Walter Pinheiro.

**Resumo** – Este documento apresenta um resumo de trabalho de pesquisa e desenvolvimento realizado pela CELESC, objetivando dotar sua engenharia com subsídios para elaboração de uma Diretriz de Engenharia para suas unidades Regionais, quanto ao uso de redes compactas em regiões arborizadas situadas próximas da orla marinha, com destaque as metodologias de ensaio empregadas, que conseguiram reproduzir em laboratório (ambiente controlado) as agressividades e os defeitos típicos observados em campo em materiais de rede compacta (cabo, espaçador e amarração) instalados em locais de poluição pesada e os resultados obtidos em ensaios realizados com diferentes tipos de espaçadores disponíveis no mercado nacional e técnicas selecionadas e testadas para minimização do efeito das descargas corona que ocorrem na região da amarração do cabo coberto ao espaçador. Resultados esses que serviu de base para elaboração de recomendações quanto ao uso de redes compactas em locais próximos da orla marinha.

**Palavras-chave** – Rede Compacta com Cabo Coberto, Ambientes Poluídos, Trilhamento Elétrico e Erosão.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização de redes aéreas compactas de distribuição de energia elétrica, com cabo coberto, para redes instaladas em locais afastados da orla marinha, tem sido uma prática das concessionárias brasileiras, a fim de conciliar a ocupação das vias públicas com as interferências normalmente encontradas e proporcionar um nível melhor de confiabilidade e segurança quando comparadas às redes convencionais com condutores nus e ser alternativa econômica as redes com condutores isolados.

Em regiões próximas da orla marinha, no entanto, o cabo coberto por não ter o campo elétrico confinado pode apresentar correntes superficiais que podem dar origem aos fenômenos conhecidos como de trilhamento elétrico e de erosão (cabo, espaçador e amarração). O não confinamento do campo elétrico desse cabo faz com que no ponto de amarra-

ção do mesmo ao espaçador, ocorra concentração de campo elétrico em função da sua proximidade com o neutro, que dependendo do nível de agressividade presente no local de instalação, propícia condições favoráveis para a ocorrência de descarga corona. Que em situações críticas de agressividade, pode provocar ocorrência de fogo no cabo e no espaçador, com a conseqüente ruptura dos mesmos.

Inúmeros estudos têm sido realizados, ao longo dos últimos anos, por concessionárias que possuem na sua área de concessão, localidades arborizadas próximas da orla marinha, no sentido de verificar o desempenho das redes compactas e de selecionar materiais mais resistentes, nas mais diferentes situações de agressividade ambiental, através da instalação de trechos de redes experimentais.

A CELESC, por sua vez, visando obter subsídios para padronização de redes, para serem instaladas em locais arborizados próximos da orla marinha da sua área de concessão, desenvolveu esse projeto de pesquisa e desenvolvimento que teve os seguintes objetivos principais:

- ✓ Desenvolver e/ou ajustar metodologia(s) de ensaio(s) de envelhecimento acelerado, para reproduzir em laboratório (ambiente controlado) as agressividades e os defeitos observados na área de concessão da CELESC;
- ✓ Selecionar através da(s) metodologia(s) desenvolvida(s) os materiais mais resistentes (cabo coberto e acessórios) e técnicas para controle de campo elétrico aplicáveis a esses materiais;
- ✓ Formular proposições para projeto, instalação e manutenção de redes de distribuição com cabo coberto para operação em ambientes agressivos.

### Dados do projeto:

**Título:** “Redes de Distribuição com Cabo Coberto para Operação em Ambientes Agressivos da Orla Marinha.”

**Código ANEEL:** 0395-027/2006.

**Ciclos de desenvolvimento:** 2005/2006

### Entidades Executoras:

Matrix Engenharia em Energia Ltda;

**Entidade Financiadora:** CELESC Distribuição S.A.

## II. METODOLOGIA DE PESQUISA EMPREGADA

Para o desenvolvimento desse projeto foi utilizada a seguinte diretriz metodológica:

- A) Levantamento bibliográfico nacional e internacional visando complementar as informações disponíveis com o Grupo de Pesquisa, destacando:**

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL.

Fernando H. Molina, trabalha na CELESC Distribuição S.A. (e-mail: fernandohm@cesc.com.br).

Gil F. Vasconcelos, Marco A A Menezes, Paulo C B Guimarães, Sergio L. S. Cabral e Walter Pinheiro trabalham na Matrix Engenharia em Energia Ltda. (e-mails: gil.vasc, sergio.cabral@matrixenergia.com.br e walter.pinheiro@matrixenergia.com.br).

- ✓ Problemas de degradação ocorridos com materiais utilizados em redes compactas com cabo coberto (cabo e acessórios), quando instalados em ambientes agressivos e soluções adotadas por concessionárias do Brasil e do Exterior;
- ✓ Materiais para redes compactas disponíveis no mercado nacional e internacional, com destaque as suas características de resistência ao trilhamento elétrico e erosão;
- ✓ Principais metodologias de ensaios de envelhecimento acelerado em laboratório, existentes, que visam reproduzir em laboratório defeitos observados em campo, para materiais instalados próximos da orla marinha;
- ✓ Principais técnicas utilizadas para controle de campo elétrico.

**B) Análise das condições de aplicação das redes compactas na área de concessão da CELESC:**

Levantamento dos tipos de degradações ocorridos em campo com os materiais de redes compactas instalados em ambientes agressivos na área de concessão da CELESC e avaliação da influência das solicitações do sistema e das condições ambientais (agressividades) regionais sobre esses materiais.

**C) Definição e acerto de metodologia de ensaio de envelhecimento acelerado a ser utilizada:**

- ✓ Adaptação de metodologia de ensaio de intemperismo sob tensão, para reproduzir em laboratório as agressividades e as degradações observadas em campo com os materiais de rede compacta instalados em locais próximos da orla marinha;
- ✓ Execução de ensaios em amostras de materiais de redes com cabo coberto como forma a comprovar a eficiência da metodologia de ensaio a ser utilizada nas etapas subsequentes do projeto.

**D) Seleção dos materiais mais resistentes:**

Execução de ensaios comparativos dentre os vários materiais disponíveis nos mercados nacional e internacional (cabo, espaçador e amarração) fazendo-se uso da metodologia de ensaio de envelhecimento acelerado ajustada.

**E) Definição de técnicas para controle de campo elétrico aplicável aos materiais da rede compacta:**

Seleção de possíveis técnicas alternativas para minimização do efeito das descargas corona no ponto de amarração do cabo ao espaçador, fazendo uso da metodologia de ensaio ajustada.

**F) Transferência tecnológica:**

- ✓ Elaboração de recomendações para o aperfeiçoamento das normas de projeto, especificações técnicas de compra de cabos cobertos e de acessórios, bem como, procedimento para manutenção preventiva a ser utilizado.
- ✓ Treinamento das Equipes de Projeto, Operação e de Manutenção quanto ao correto uso de rede compacta em ambientes agressivos.

**III. Locais Críticos de Instalação de Redes Compactas na Área de Concessão da CELESC e Degradações Observadas em Campo**

Os locais mais críticos de instalação de redes compactas existentes na área de concessão da CELESC são ruas arborizadas a beira mar ou transversais a orla marinha, sendo que os resultados de inspeções de campo identificaram que as agressividades presentes nesses locais são muito variadas, tendo sido classificados locais de agressividade leve, média, pesada e muito pesada. Na Figura 1 é apresentado vista da praia de Laguna, local de ventos fortes, praia de arrebatamento, propiciando ventos constantes vindos do mar carregando partículas de água do mar.



Figura 1 - Detalhe da Praia da Laguna

As degradações históricas típicas que têm sido relatadas, pelo pessoal operacional da CELESC, com os materiais das redes compactas instaladas em ambientes agressivos são:

- ✓ Degradações mecânicas (quebra do espaçador e da amarração), que estão correlacionados com problemas de materiais e/ou de fabricação;
- ✓ A CELESC não possui histórico de degradações por problemas elétricos do tipo trilhamento elétrico e erosão, ocorridos com materiais de rede compacta, instalados próximos a orla marítima, devido a sua não utilização, até então, em locais considerados críticos de agressividade e, além disso, possui uma quantidade muito pequena de rede compacta instalada próxima da orla marítima.

**IV. METODOLOGIA DE ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO AJUSTADA**

A metodologia utilizada para os ensaios previstos no projeto teve como base o procedimento padronizado pela Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica (ABRADEE), através do CODI (Comitê de Distribuição), ensaio para avaliação da compatibilidade dielétrica entre os materiais poliméricos utilizados nas redes compactas (cabo, espaçador, isolador e amarração).

No entanto, como havia a necessidade de provocar as situações críticas de agressividades presentes na área de concessão da CELESC e as degradações típicas esperadas (trilhamento elétrico e erosão), para materiais de redes compactas instalados em locais críticos de poluição marinha e de forma a poder estudar em ambiente controlado (laboratório) o comportamento dos diversos materiais disponíveis no mer-

cado nacional, foi necessário promover ajustes em alguns dos parâmetros da metodologia dessa metodologia. Com esse objetivo os parâmetros de ensaio foram ajustados como descrito a seguir:

- ✓ Cabo instalado paralelamente aos bicos aspersores;
- ✓ Indução de corrente no condutor para manter a temperatura na sua superfície em 60 °C;
- ✓ Condutividade da solução salina 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;
- ✓ Ciclos de aspersão de chuva de 5 (cinco) minutos, com precipitação da ordem de 1 mm/min, seguido de 10 (dez) minutos sem aspersão;
- ✓ Tensão aplicada de 16 kV, o que corresponde a aproximadamente  $2 V_0$  (sendo  $V_0$  a tensão fase terra para sistema 15 kV).

**Observação:** Os ensaios foram realizados com fonte monofásica, sendo a tensão aplicada entre as duas fases laterais do espaçador e o neutro.

Para a comprovação da eficácia da metodologia de ensaio de intemperismo sob tensão foram realizados ensaios, fazendo uso dos parâmetros ajustados, e de forma a auxiliar nos trabalhos previstos quanto à recomendação do uso de redes compactas nos diversos ambientes de agressividades presentes na área de concessão da CELESC (leve, média, pesada e muito pesada), foram selecionadas amostras de espaçador do fabricante com maior utilização pela CELESC e por existir trabalho importante publicado na literatura sobre seu desempenho quando instalado em com nível de poluição pesado <sup>[1]</sup>.

Ressalta-se como resultado desse trabalho, que os defeitos, por trilhamento elétrico e erosão observados nos materiais, ocorreram com cerca de 8 meses de instalação, sendo o local considerado de elevada agressividade ambiental.

Ressalta-se ainda que a metodologia de ensaio ajustada conseguiu reproduzir adequadamente as degradações observadas em campo, mostrando ser importante ferramenta, para avaliar em ambiente controlado, desempenho comparativo entre materiais, quando submetidos às agressividades previstas em local crítico de instalação de redes compactas a beira mar (local com nível de poluição pesado - praia de ondas fortes com ventos constantes do mar para o continente fazendo com que haja deposição de água salgada sobre os materiais). Nas Figuras 2 e 3 são apresentados detalhes das degradações típicas observadas nos conjuntos testados (cabo coberto e espaçador).



Figura 2 - Detalhe de erosão no espaçador no ponto de sustentação do cabo



Figura 3 - Detalhe da erosão no cabo coberto

## V. ENSAIOS EM MATERIAIS DISPONÍVEIS NO MERCADO NACIONAL

Durante a realização dos ensaios em amostras de materiais de rede compacta, disponíveis no mercado nacional, visando a seleção de materiais mais resistentes, observou-se comportamento muito variado entre conjuntos (cabo, espaçador e amarração) que possuíam espaçadores de um mesmo fabricante, sendo observado para alguns conjuntos a ocorrência de trilhamento elétrico e erosão acentuada, enquanto que outros apresentaram somente pequenos sinais de início de trilhamento elétrico.

Assim, surgiu a necessidade de se avaliar o motivo de comportamento tão variado, que poderia estar relacionado, principalmente, às variações proporcionadas pelo próprio ensaio, mas também, poderia estar relacionada às variações de comportamento das amostras submetidas aos ensaios.

Levando em consideração que as atividades de descargas elétricas do tipo corona e arcs elétricos, que provocam trilhamento elétrico e erosão, são amplamente reconhecidas, na literatura mundial, como as principais causas de degradação de materiais poliméricos de média tensão, instaladas em ambientes de alta agressividade ambiental e de forma a desenvolver uma ferramenta, que pudesse ajudar na análise comparativa da degradação apresentada por materiais de rede compacta submetidos ao ensaio de intemperismo de longa duração, o Grupo de Pesquisa decidiu por realizar investigações sobre ocorrência de descarga corona (audível ou visual) no início dos ensaios, em conjuntos (cabo, espaçador e amarração), e sua correlação com os defeitos observados, no ensaio de intemperismo sob tensão com os parâmetros ajustados.

Essa investigação teve ainda como objetivo obter subsídios para os desenvolvimentos previstos no projeto e para a elaboração das recomendações de requisitos técnicos previstos para os cabos cobertos e acessórios para serem utilizados em ambientes agressivos da área de concessão da CELESC. Para tanto, foram realizadas as seguintes investigações:

- ✓ Levantamento do nível de tensão do início de corona, para diferentes tipos de espaçadores disponíveis no mercado nacional, para três níveis de condutividade da solução salina 500, 750 e 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Níveis estes que teoricamente representam, respectivamente, locais de agressividade leve, média e pesada, encontrados próximos da orla marítima.

Para a realização da investigação da tensão de início de corona, para tensões variando de  $0,7V_0$  até  $2V_0$  foram utilizados os principais espaçadores disponíveis no mercado nacional com cabo coberto 15 kV 50 mm<sup>2</sup>, para classe de tensão de 15 kV e de 34,5 kV, sendo os resultados apresentados nas Tabelas I, II e III. Na Figura 4 são apresentados detalhes de descarga corona típica que ocorre na região entre o cabo e o anel de amarração.

Tabela I – Resultados dos ensaios de ocorrência de corona  
Condutividade da solução 500 µS/cm

| ESPAÇADOR   |                   | AM1 | AM2 | AM3 | AM4 | AM5 | AM6 | AM7 | AM8 |
|---|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Espaçadores Fabricante "D" 34,5 kV (amostras 1, 3, 6 e 8) | 0,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,9V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | V <sub>0</sub>    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,1V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,2V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,3V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,6V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Espaçadores Fabricante "B" 34,5 kV (amostras 2, 4, 5 e 7) | 1,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,9V <sub>0</sub> |     |     |     |     | CA  |     |     |     |
|   | 2,0V <sub>0</sub> |     |     |     |     | CA  |     |     | CA  |
| Espaçadores Fabricante "C" 15 kV (amostras 1 a 4)         | 0,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> |     |     | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 0,9V <sub>0</sub> | CA  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | V <sub>0</sub>    | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,1V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,2V <sub>0</sub> | CA  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,3V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,6V <sub>0</sub> | CA  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
| Espaçadores Fabricante "D" 15 kV (amostras 5 a 8)         | 1,7V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,8V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,9V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 2,0V <sub>0</sub> | CA  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 0,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0,9V <sub>0</sub>   |                   |     |     | CV  |     |     |     |     |     |
| V <sub>0</sub>  |                   |     |     | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,1V <sub>0</sub>   |                   |     |     | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,2V <sub>0</sub>   |                   |     |     | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,3V <sub>0</sub>   |                   |     |     | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,4V <sub>0</sub>   |                   |     |     | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,5V <sub>0</sub>   |                   |     |     | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,6V <sub>0</sub>   | CA                | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  | CA  |     |
| 1,7V <sub>0</sub>   |                   | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,8V <sub>0</sub>   |                   | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 1,9V <sub>0</sub>   |                   | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |     |
| 2,0V <sub>0</sub>   | CA                | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  | CV  |     |

Observação: As células em branco significam que não foram identificados sinais de descarga corona.  
CV – Corona Visual  
CA – Corona Audível

Tabela II – Resultados dos ensaios de ocorrência de corona  
Condutividade da solução 750 µS/cm

| ESPAÇADOR   |                   | AM1 | AM2 | AM3 | AM4 | AM5 | AM6 | AM7 | AM8 |
|---|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Espaçadores Fabricante "A" 15 kV (amostras 1, 3, 6 e 8) | 0,7V <sub>0</sub> |     |     |     | CA  |     |     | CA  |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,9V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | V <sub>0</sub>    |     |     |     |     |     |     | CV  |     |
|   | 1,1V <sub>0</sub> | CA  | CA  | CA  | CA  | CA  | CA  | CV  | CA  |
|   | 1,2V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,3V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,6V <sub>0</sub> | CA  | CV  | CA  | CV  | CA  | CA  | CV  | CA  |
| Espaçadores Fabricante "B" 15 kV (amostras 2, 4, 5 e 7) | 1,7V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,8V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,9V <sub>0</sub> |     | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 2,0V <sub>0</sub> | CA  | CV  | CV  | CV  | CA  | CV  | CV  | CA  |

Tabela II – Resultados dos ensaios de ocorrência de corona  
Condutividade da solução 750 µS/cm (continuação)

| ESPAÇADOR   |                   | AM1 | AM2 | AM3 | AM4 | AM5 | AM6 | AM7 | AM8 |
|---|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Espaçadores Fabricante "D" 34,5 kV (amostras 1, 3, 6 e 8) | V <sub>0</sub>    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,2V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,3V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,6V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,9V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 2,0V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Espaçadores Fabricante "B" 34,5 kV (amostras 2, 4, 5 e 7) | 0,7V <sub>0</sub> | CA  | CA  | CA  | CV  |     |     |     |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 0,9V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | V <sub>0</sub>    | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,1V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,2V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,3V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,6V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
| Espaçadores Fabricante "C" 15 kV (amostras 1 a 4)         | 1,7V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,8V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 1,9V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 2,0V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     |     |     |
|   | 0,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,9V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | V <sub>0</sub>    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,1V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,2V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Espaçadores Fabricante "D" 15 kV (amostras 5 a 8)         | 1,3V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,6V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 1,9V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 2,0V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |

Tabela III – Resultados dos ensaios de ocorrência de corona  
Condutividade da solução 1000 µS/cm

| ESPAÇADOR   |                   | AM1 | AM2 | AM3 | AM4 | AM5 | AM6 | AM7 | AM8 |
|---|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Espaçadores Fabricante "A" 15 kV (amostras 1, 3, 6 e 8) | 0,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     | CV  |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     | CV  |     |
|   | 0,9V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     | CV  |     |
|   | V <sub>0</sub>    |     |     |     |     | CV  |     | CV  | CA  |
|   | 1,1V <sub>0</sub> |     |     |     |     | CV  |     | CV  |     |
|   | 1,2V <sub>0</sub> |     |     |     |     | CV  |     | CV  |     |
|   | 1,3V <sub>0</sub> |     |     |     |     | CV  |     | CV  |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> |     |     |     |     | CV  |     | CV  |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> | CA  | CA  | CA  | CV  | CA  | CV  | CV  | CA  |
|   | 1,6V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  |     |
| Espaçadores Fabricante "B" 15 kV (amostras 2, 4, 5 e 7) | 1,7V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,8V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,9V <sub>0</sub> |     |     |     | CV  |     |     | CV  | CV  |
|   | 2,0V <sub>0</sub> | CA  | CV  | CA  | CV  | CA  | CV  | CV  | CV  |
|   | 0,7V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | 0,8V <sub>0</sub> |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 0,9V <sub>0</sub>                                       |                   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| V <sub>0</sub>  | CV                | CV  | CV  | CV  | CA  |     | CV  |     |     |
| 1,1V <sub>0</sub>                                       | CV                | CV  | CV  | CV  |     | CA  | CV  | CA  |     |
| 1,2V <sub>0</sub>                                       | CV                | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |     |
| Espaçadores Fabricante "C" 15 kV (amostras 1 a 4)       | 1,3V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,4V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  |     |
|   | 1,5V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  | CV  |
|   | 1,6V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  | CA  | CA  | CV  | CV  |
|   | 1,7V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  | CV  |
|   | 1,8V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  | CV  |
|   | 1,9V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  |     |     | CV  | CV  |
|   | 2,0V <sub>0</sub> | CV  | CV  | CV  | CV  | CA  | CA  | CV  | CV  |



Figura 4 - Detalhe da descarga corona típica que ocorre na região entre o cabo e o anel de amarração

Dos resultados dos ensaios realizados visando o levantamento do nível de tensão do início de corona, para vários tipos de espaçadores, para três níveis de condutividade da solução salina 500, 750 e 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pode-se tirar as seguintes conclusões:

- ✓ Na medida em que a agressividade ambiental foi sendo intensificada as atividades de descargas corona audível e visível foram se intensificando e/ou aparecendo com tensões mais baixas, o que é de certa forma esperado;
- ✓ O comportamento distinto entre espaçadores do mesmo fabricante também foi observado, sendo que determinados conjuntos não apresentaram sinais de descarga corona enquanto que outros apresentaram sinais de corona audível e outros ainda sinais de corona visual. Esse fato explica de certa forma o desempenho tão diferente obtido com os vários conjuntos ensaiados no teste de longa duração, ou seja, espaçadores de um mesmo fabricante apresentando desempenho muito diferente no mesmo ensaio.

Objetivando confirmar a hipótese de que conjuntos que utilizam espaçadores de um mesmo fabricante, seu desempenho (degradação) no ensaio de longa duração esta relacionado, com o comportamento dos mesmos no ensaio de tensão de início das descargas corona, ou seja, conjuntos que apresentam sinais de ocorrência de descarga corona com maior intensidade na tensão de ensaio serão os primeiros a apresentarem sinais de degradação, foi realizado ensaio de longa duração com os espaçadores 15 kV de dois fabricantes testados no ensaio para identificação da tensão de início de corona. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela IV, sendo apresentado nas Figuras 5 e 6 detalhes ilustrativos de degradações sofridas pelos conjuntos ensaiados.

Tabela IV - Comportamento dos conjuntos ensaiados no ensaio de longa duração

| Conjuntos      | Início | 11 dias | 20 dias  | 52 dias  |  |
|----------------|--------|---------|--|--|--|
| Fabricante "A" | 1      | CA      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Acumulo sal<br>Aumento esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Início trilhamento cabo/amarração e espaçador<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração. |
|                | 3      | CA      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Acumulo sal<br>Aumento esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Sinal descarga cabo/amarração<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.                 |
|                | 6      | CV      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)<br>Sinal Trilhamento próximo amarração | Acumulo sal<br>Aumento esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)<br>Aumento Trilhamento próximo amarração     | Trilhamento e erosão cabo ponto de amarração<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.  |
|                | 8      | CV      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Acumulo sal<br>Sinal Trilhamento próximo amarração   | Início trilhamento cabo/amarração<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.             |
| Fabricante "B" | 2      | CV      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Acumulo sal<br>Aumento esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)<br>Sinal de trilhamento próximo da amarração | Início trilhamento cabo/amarração<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.             |
|                | 4      | CV      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Acumulo sal<br>Aumento esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Início trilhamento cabo/amarração<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.             |
|                | 5      | CA      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Acumulo sal<br>Aumento esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  | Início trilhamento cabo/amarração<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.             |
|                | 7      | CV      | Acumulo sal<br>Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)<br>Sinal Trilhamento próximo amarração | Acumulo sal<br>Aumento esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)<br>Aumento Trilhamento próximo amarração     | Trilhamento e erosão cabo ponto de amarração<br>Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.  |

CV – Corona Visual  
CA – Corona Audível



Figura 5 - Detalhe de trilhamento no ponto de amarração constatado no ensaio de longa duração

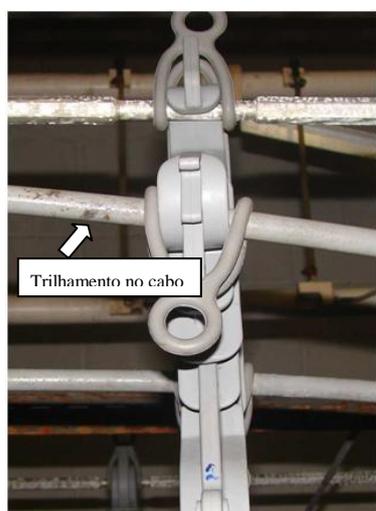


Figura 6 - Detalhe de trilhamento no cabo constatado no ensaio de longa duração

Os resultados obtidos no ensaio de intemperismo de longa duração confirmaram a hipótese de que materiais de conjuntos que apresentam sinais de descarga corona (audível e/ou visual) no início do ensaio irão apresentar danos, por trilhamento elétrico e/ou erosão, ao longo do ensaio, o que torna o ensaio exploratório para identificação de ocorrência de descarga corona nas condições do ensaio (condutividade de solução salina e tensão de ensaio), importante ferramenta para pré-seleção de conjuntos que deverão ser submetidos a ensaios de longa duração. É importante ressaltar que o ensaio para verificação da ocorrência de corona na tensão de ensaio não substitui o ensaio de longa duração, pois o que se esta avaliando com esse ensaio é a existência ou não de concentração de campo suficiente para provocar descarga corona nas condições do ensaio, enquanto que no ensaio de longa duração, estamos avaliando, também, a resistência intrínseca dos materiais utilizados em suportar as agressividades provocadas pelo ensaio, ao longo do tempo.

Ressalta-se dos resultados obtidos com a degradação dos materiais o comportamento do cabo coberto, tendo apresentado sinais de trilhamento elétrico e erosão na sua cobertura em pontos afastados da amarração do cabo ao espaçador e também se mostrou ser o elo mais fraco do conjunto (cabo, espaçador e amarração), sendo o primeiro a apresentar sinais de degradação por trilhamento elétrico e erosão.

## VI. TÉCNICAS ALTERNATIVAS PRÉ-SELECIONADAS PARA MINIMIZAR O EFEITO DA DESCARGA CORONA

Nessa etapa dos trabalhos foram avaliadas as principais técnicas alternativas disponíveis para minimizar o efeito das descargas coronas no ponto de amarração do cabo coberto ao espaçador, fazendo uso do ensaio exploratório para identificar a ocorrência de descarga corona na tensão de ensaio. São apresentados abaixo detalhes das técnicas utilizadas e os resultados obtidos:

- ✓ **Proteção do ponto de amarração do cabo ao espaçador através do uso de isolamento adicional.** Para tanto, foram testados dois tipos de materiais isolantes para cabos de média tensão, aplicados sobre o condutor neutro, para isolar o espaçador do mesmo e sobre os condutores de fase, para aumentar a espessura da cobertura no ponto de amarração do cabo coberto ao espaçador e também fazendo uso de cabo coberto para redes de 25 kV, devido a sua maior espessura de cobertura, tendo apresentado os seguintes resultados:
  - As três opções testadas não se mostraram eficazes para minimizar a ocorrência de descarga corona na região de amarração do cabo coberto ao espaçador (região crítica de ocorrência das degradações observadas em campo);
  - Ressalta-se que o aumento da cobertura do cabo no ponto de amarração não se mostrou eficaz, pois, além de continuar apresentando descargas na região da amarração sobre a cobertura adicional, também as apresentaram na região de interfase do material isolante com o cabo coberto (final da aplicação do material isolante). No caso do uso do cabo 25 kV, as melhorias apresentadas não foram significativas, sendo que as descargas corona continuaram ocorrendo nos conjuntos sob ensaio.
- ✓ **Proteção do ponto de amarração do cabo ao espaçador através do uso de capuz isolante, visando manter a região seca.** Para tanto foram fabricados capuzes poliméricos para proteção das áreas críticas (pontos de amarração do cabo ao espaçador e do espaçador ao neutro), visando fazer com que essas regiões permaneçam as mais secas possíveis e com isso evitar a ocorrência de descarga corona, tendo apresentado os seguintes resultados:
  - Essa opção também não se mostrou eficaz, tendo ocorrido descarga no GAP existente entre o cabo e o final do capuz. Essa técnica foi, no entanto, selecionada pelo Grupo de Pesquisa para ser testada no ensaio de longa duração, devendo, no entanto, ser aumentada a distância do GAP, visando evitar a ocorrência de descarga através do mesmo.
- ✓ **Proteção da superfície do espaçador com composto de silicone repente a água.** Para tanto, foi testado produto da empresa Dow Corning, tendo apresentado os seguintes resultados:
  - Essa opção apresentou excelente resultado tendo minimizado a ocorrência de descarga corona na região crítica (ponto de amarração do cabo ao espaçador). Essa técnica foi selecionada pelo Grupo de

Pesquisa para ser testada no ensaio de longa duração.

## VII. RESULTADOS ENSAIO DE LONGA DURAÇÃO EM MATERIAIS COM APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS PRÉ-SELECIONADAS

Para esse ensaio foram utilizados os seguintes conjuntos todos com cabo coberto 15 kV bitola 50 mm<sup>2</sup>:

- ✓ Conjuntos 1 e 6 - espaçadores 15 kV do Fabricante “D” sem nenhum tipo de proteção adicional. Para servir de comparação com os demais conjuntos com proteção;
- ✓ Conjuntos 3 e 8 - espaçadores 15 kV do Fabricante “D” com composto de silicone Dow Corning® 1890;
- ✓ Conjuntos 2 e 7 - espaçadores 15 kV do Fabricante “B” com capuz de proteção. Nesse caso foi utilizado espaçador do Fabricante “B”, porque o novo capuz foi moldado para o mesmo;
- ✓ Conjuntos 4 e 5 - espaçadores 34,5 kV do Fabricante “D” sem nenhum tipo de proteção adicional. Para servir de comparação com os demais conjuntos devido a sua maior distância de escoamento (opção natural disponível para as concessionárias).

Na Tabela V são apresentados detalhes dos resultados obtidos com os conjuntos ensaiados. São apresentados nas Figuras 7 e 8 detalhes de degradações típicas ocorridas no cabo coberto.

Tabela V - Comportamento dos conjuntos ensaiados

|   | CJ | Início | 12 Dias   | 42 dias  |
|---|----|--------|---|--|
| Espaçador Fabricante “D” 15 kV sem proteção | 1  | CV     | Acumulo sal   | Trilhamento e erosão no cabo no ponto de amarração           |
|   | 6  |        | Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga)  |  |
|   |    |        | Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.   | Aumento trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.      |
| Espaçador Fabricante “B” 15 kV com Capuz    | 2  |        | Acumulo sal   | Trilhamento e início de erosão no cabo no ponto de amarração |
|   |    |        | Esbranquiçamento cabo   |  |
|   |    |        | Sinal de trilhamento e início de erosão no cabo no final do capuz   |  |
|   |    |        | Obs: retirado capuz dos condutores de fase para evitar maiores danos, deixado somente no neutro, para continuidade dos ensaios. |  |

Tabela V - Comportamento dos conjuntos ensaiados (continuação)

|   | CJ | Início 7/1 | 12 Dias  | 42 dias  |
|---|----|------------|--|--|
| Espaçador Fabricante “D” 15 kV com Graxa de Silicone da Dow Corning | 3  |            | Acumulo sal  | Trilhamento e início de erosão no cabo no ponto de amarração |
|   | 8  |            | Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga) |  |
|   |    |            | Sinal de descarga no cabo fora do ponto de amarração           |  |
| Espaçador Fabricante “D” 34,5 kV sem proteção                       | 4  |            | Acumulo sal  | Trilhamento e erosão no cabo no ponto de amarração           |
|   | 5  |            | Esbranquiçamento cabo próximo da amarração (sinal de descarga) |  |
|   |    |            |  | Trilhamento no cabo fora do ponto de amarração.              |

CV – Corona Visual



Figura 7 - Detalhe de trilhamento típico ocorrido no cabo em pontos fora da amarração



Figura 8 - Detalhe de trilhamento e erosão típicos ocorridos no cabo no ponto de amarração

Pelos resultados obtidos os conjuntos 3 e 8 com espaçadores 15 kV, com aplicação do composto de silicone Dow Corning® 1890 apresentaram melhor comportamento, em seguida foram os conjuntos 4 e 8, espaçadores 34,5 kV (grande distância de escoamento) sem proteção. O desempenho dos conjuntos 1 e 6 com espaçadores 15 kV sem prote-

ção, foi dentro do esperado, ou seja, apresentaram trilhamento elétrico e erosão acentuada durante o período de ensaio, sendo que os conjuntos 2 e 7, com espaçadores 15 kV e capuz de proteção, tiveram sua avaliação prejudicada pois continuou ocorrendo descarga no GAP existente no final do capuz, sendo necessária a sua retirada.

### VIII. RECOMENDAÇÕES QUANTO AOS CUIDADOS QUE DEVEM SER TOMADOS PARA A INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE REDES COMPACTAS EM LOCAIS PRÓXIMOS DA ORLA MARINHA

Em função dos resultados apresentados no ensaio de longa duração por todos os materiais ensaiados, disponíveis no mercado nacional, na condutividade de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e pelo histórico de registro de ocorrências informados na literatura técnica especializada, recomenda-se a não instalação de redes compactas em locais com nível de poluição pesado. Nos demais locais recomenda-se seguir o procedimento descrito a seguir:

#### A. Instalações Novas

**A1 - Definir se o local possui nível de poluição leve, médio ou pesado**, em função das características físicas do local previsto para instalação. Para tanto é importante levar em conta, dentre outras, as seguintes informações:

- ✓ Proximidade com a orla marinha e características da praia, ondas calmas ou de arrebentação;
- ✓ Existência ou não de barreiras físicas entre o mar e o local de previsto para a instalação da rede (prédios, árvores e etc);
- ✓ Resultados de mapeamento de poluentes realizados, indicando o nível de agressividade presente local previsto para sua instalação;
- ✓ Histórico de ocorrência de trilhamento elétrico e/ou erosão em materiais de rede compacta instaladas em locais que apresentem características de agressividades semelhantes as do local previsto para sua instalação;
- ✓ Histórico de ocorrências de desligamentos atribuídos à ocorrência de desligamentos devido a descargas disruptivas em isoladores.

**A2 - Homologar materiais de fabricantes (cabo, espaçador e amarração) que possam ser utilizados nos locais com nível de poluição leve e médio**, fazendo uso das metodologias de ensaios ajustadas e definidas no projeto, seguindo o seguinte procedimento:

- ✓ Pré-selecionar os conjuntos (cabo, espaçador e amarração) mais indicados para utilização, realizando ensaio para identificação do nível de início de descarga corona, ajustado para o nível de poluição esperado (leve 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e médio 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), priorizando a escolha dos conjuntos que apresentarem tensão de início de corona o mais afastado possível da tensão fase-terra ( $V_0$ ) prevista no local da sua instalação;
- ✓ Realizar ensaio de longa duração nos espaçadores pré-selecionados de forma a selecionar aqueles que apresentarem maior resistência às solicitações do ensaio.

Ressalta-se que o cabo coberto mostrou ser o elo mais fraco dos conjuntos (cabo, espaçador e amarração) testados, sendo o primeiro a apresentar sinais de degradação por trilhamento elétrico e erosão, contribuindo decisivamente para a degradação dos demais componentes do conjunto. Reco-

menda-se assim que seja dada especial atenção na seleção do cabo coberto a ser utilizado, optando, preferencialmente, por aqueles que apresentarem resistência ao trilhamento elétrico e erosão mais próxima possível dos apresentados pelos demais componentes (espaçador e amarração).

#### B. Manutenção Preventiva

Em locais em que os conjuntos instalados estejam apresentando sinais de ocorrência de descarga corona (audível ou visível) e ainda não apresentam sinais de degradação por trilhamento elétrico e erosão, verificar através de análise de custo benefício às opções de substituir os materiais instalados antes que a rede venha apresentar desligamentos ou efetuar aplicação do composto de silicone Dow Corning® 1890, nos espaçadores. Caso os materiais já apresentem sinais de degradação por trilhamento elétrico e/ou erosão no ponto de amarração do cabo ao espaçador é importante que seja prevista a sua substituição.

### IX. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as contribuições dos fabricantes que forneceram informações e amostras de materiais para serem submetidos aos ensaios previstos no projeto, aos técnicos do IEE-USP Benedito e Erika, pela dedicação dispensada nos ensaios e ao Dr. Arnaldo G. Kanashiro pela valiosa cooperação no acompanhamento dos ensaios e ajuda na interpretação dos resultados obtidos e a CELESC pelo financiamento da pesquisa.

### X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MELLO, D.R.de. et al. Avaliação de redes aéreas compactas em ambientes agressivos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELETRICA, 15., Salvador. **Anais. SENDI**. Salvador: COELBA, 2002.