

21 a 25 de Agosto de 2006
Belo Horizonte - MG



Desenvolvimento de Espaçador Polimérico para Redes Aéreas Compactas Instaladas em Ambientes com Elevado Índice de Poluição e Temperatura

Darcy R. de Mello e Eliane Guerra C. Gonzalez – CEPEL - darcy@cepel.br

Roberto V. Dias e Roberto L. Silva - LIGHT

Paulo Sérgio P. Borges, Carlos Alberto Fernandes e Gilberto da Cunha Lima Jr. - PLP

RESUMO

O objetivo deste artigo é apresentar os estudos realizados para o desenvolvimento de um espaçador polimérico para redes de distribuição compactas que supere as solicitações exigidas pela Norma da ABRADEE, a fim de atender às instalações situadas em ambientes com elevado índice de poluição e altas temperaturas.

PALAVRAS-CHAVE

Redes aéreas compactas, espaçador e polimérico.

INTRODUÇÃO

O uso de materiais poliméricos em áreas sujeitas à poluição, principalmente marítima, tem limitado o emprego das redes compactas que já comprovaram seu bom desempenho ao longo destes últimos anos em várias Empresas do Brasil e do exterior. A única restrição a sua utilização continua sendo as regiões de ambientes agressivos, o que ainda se constitui num grande desafio para todos, Concessionárias, Centros de Pesquisa e fornecedores de materiais na busca de soluções para o equacionamento destes problemas.

Um projeto de pesquisa desenvolvido pela LIGHT com o CEPEL e denominado: “Avaliação de materiais poliméricos para redes de distribuição compactas” visou qualificar os materiais empregados nas redes compactas situadas em ambientes agressivos e, desta forma, conseguir uma significativa redução dos custos decorrentes da utilização de um produto com qualidade inadequada, dos índices de rejeição nas inspeções de recebimento realizadas pela LIGHT e dos custos de manutenção. Ao final dos estudos realizados, para todos os tipos de materiais avaliados foi obtida uma qualificação, exceto para espaçadores.

Inspeções contumazes na rede da LIGHT mostraram diversos espaçadores danificados como pode ser visto na Figura 1.

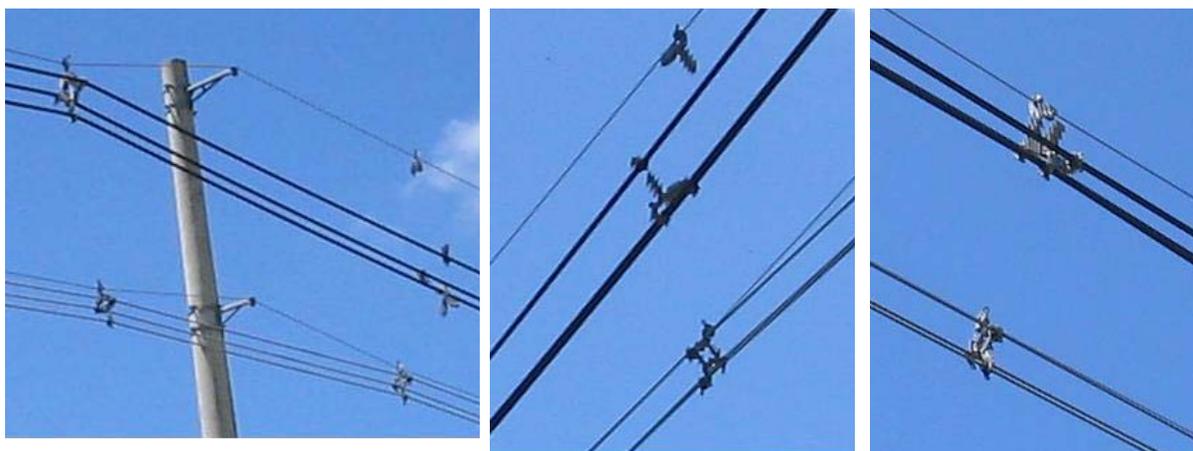


Figura 1. Espaçadores danificados na rede da LIGHT

Portanto, a Light decidiu desenvolver um espaçador que atenda às suas necessidades. Para tal contactou o CEPEL para realizar os estudos de avaliação do polímero e coordenar os ensaios e a PLP – Produtos de Linha Préformados – para fabricar os protótipos.

Neste artigo serão apresentados um resumo da metodologia de trabalho empregada, os resultados obtidos e a situação dos primeiros protótipos desenvolvidos.

1. METODOLOGIA DE TRABALHO

1.1. Avaliação dos espaçadores existentes

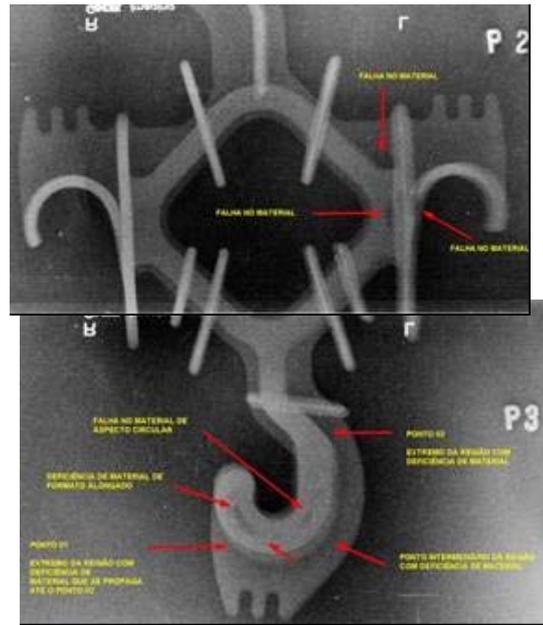
Foi realizada, inicialmente, uma avaliação dos resultados obtidos nos ensaios de compatibilidade dielétrica executados no estudo anterior realizado também para a Light. Os resultados podem ser vistos na Tabela 1.

Como os resultados não foram esclarecedores, decidiu-se fazer uma avaliação do corpo interno dos espaçadores em busca de cavidades internas utilizando a tecnologia dos Raios-X digital. O resultado obtido pode ser visto na Figura 2.

A indicação da existência de cavidades internas motivou o corte de todos os espaçadores cedidos pela LIGHT ao CEPEL e que não haviam derretido no ensaio de compatibilidade dielétrica. Os resultados podem ser vistos na Tabela 2 e na Figura 3.

TABELA 1
RESULTADO DOS ENSAIOS DE COMPATIBILIDADE DIELETRICA REALIZADOS

Cabo	Espaçador			
	Fabricante 1	Fabricante 2	Fabricante 3	Fabricante 4
Cabo 1	derreteu	dano por corrente de fuga	suportou	suportou
Cabo 2	derreteu	dano por corrente de fuga	suportou	suportou
Cabo 3	dano por corrente de fuga			
Cabo 4	dano por corrente de fuga	dano por corrente de fuga	derreteu	dano
Cab	suportou	suportou	dano por corrente de fuga	dano por corrente de fuga



0				
5				

Figura 2. Resultado obtido com a tecnologia de Raios-X digital

TABELA 2
RESULTADO DOS ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE CAVIDADES INTERNAS

Espaçador	Quantidade de espaçadores serrados	Percentual de espaçadores com cavidades internas
Fabricante 1	05	80 %
Fabricante 2	10	100 %
Fabricante 3	03	100 %
Fabricante 4	07	100 %



Figura 3. Apresentação de alguns espaçadores serrados

Foram realizados ensaios físicos, químicos e elétricos nos espaçadores cedidos pela LIGHT, com o objetivo de se conhecer e comparar o material utilizado pelos fabricantes.

Identificou-se, através da espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, que o polímero base utilizado por todos os fabricantes foi o polietileno. Para se conhecer qual o tipo de polietileno

empregado na confecção dos espaçadores, a densidade e a temperatura de fusão (T_m) dos materiais foram determinadas. O teor de cargas inorgânicas foi determinado pelo método gravimétrico. As cargas foram identificadas pela técnica de dispersão de raios-X. O ensaio de tempo de indução oxidativa (OIT) foi realizado para verificar a estabilidade térmica do polímero. Os resultados podem ser vistos na Tabela 3.

TABELA 3
RESULTADO DOS ENSAIOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ELÉTRICOS DO MATERIAL POLIMÉRICO DOS ESPAÇADORES

Espaçador	Composição provável (%)	Densidade (g/cm^3)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	OIT (min)	Constante dielétrica
Fabricante 1	PEAD \leq 97,2 TiO ₂ = 2,8	0,98	138	> 150	2,4
Fabricante 2	PEAD \leq 98,5 TiO ₂ = 1,5	0,96	132	> 150	2,4
Fabricante 3	PEAD \leq 99,6 Resíduo: Ti	0,97	141	23,7	2,3
Fabricante 4	PEAD \leq 94,6 SiO ₂ \cong 3 TiO ₂ \cong 1;0 Resíduos: Mg e Zn	1,00	136	14	2,4

onde: SiO₂ – sílica, TiO₂ – dióxido de titânio; Mg – magnésio; Zn – zinco

Observa-se na Tabela 3 que todos os espaçadores foram fabricados, aparentemente, com polietileno de alta densidade (PEAD). Os espaçadores dos fabricantes 3 e 4 apresentaram baixa estabilidade termo-oxidativa, estando mais propensos a sofrer degradação com o tempo. Quanto à constante dielétrica, observa-se que as cargas presentes no material polimérico tiveram pouca ou nenhuma influencia sobre a constante dielétrica destes espaçadores visto que o valor encontrado era próximo ao valor da constante dielétrica de um polietileno puro, que é de 2,3.

2.2 Avaliação complementar

Como na configuração de montagem do espaçador existem mais dois elementos (cabo e anel de amarração) que, se forem incompatíveis dielectricamente, podem vir a causar a degradação do espaçador, também foi realizada uma caracterização destes materiais. Os resultados podem ser vistos nas Tabelas 4 e 5. Através da técnica de espectroscopia no infravermelho verificou-se que todos os cabos utilizados neste estudo eram de polietileno. A determinação da densidade e da temperatura de fusão indicou qual o tipo de polietileno utilizado. O teor de cargas inorgânicas foi determinado pelo método gravimétrico. As cargas foram identificadas pela técnica de dispersão de raios-X.

TABELA 4
RESULTADO DOS ENSAIOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO MATERIAL POLIMÉRICO DOS CABOS PARA 15 kV

Fabricante	Densidade (g/cm^3)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	Composição provável (%)	OIT (min)
Cabo 1	0,94	123	PELBD/ PEBD \leq 99,1 - NF = 0,6	81,8
Cabo 2	0,97	133	PEAD \leq 98,4 - TiO ₂ = 1,6	95,2
Cabo 3	0,96	115	PEBD \leq 98,2 - TiO ₂ = 1,8	81,1
Cabo 4	-	131	PEAD \leq 98,4 - TiO ₂ = 1,6	123,9
C a b o	0,94	111	PEBD \leq 98,6 - NF = 0,8	35,2

5				
---	--	--	--	--

onde: PEBD → polietileno de baixa densidade;
 PELBD → polietileno linear de baixa densidade;
 PEAD → polietileno de alta densidade;
 TiO₂ → óxido de titânio;
 NF → negro de fumo.

Observa-se na Tabela 4 que foram incorporadas cargas como o negro de fumo (NF) ou óxido de titânio (TiO₂) nas formulações dos cabos, provavelmente, com a função de corante e bloqueador dos raios ultravioleta. Aditivos orgânicos também costumam ser incorporados, com o intuito de diminuir a flamabilidade do polietileno. No entanto, este possível aditivo não foi investigado devido à complexidade de sua determinação.

TABELA 5
 RESULTADO DOS ENSAIOS ELÉTRICOS NO MATERIAL POLIMÉRICO DOS CABOS PARA 15 kV

Fabricante	Trilhamento 2 A (kV)	Constante dielétrica	Resistividade superficial (TΩ)	Resistividade volumétrica (TΩ.m)
Cabo 1	> 4,00 *	5,1	9,15	4,66
Cabo 2	> 4,00 *	5,0	0,440	2,01
Cabo 3	> 4,00 *	5,3	0,457	1,76
Cabo 4	> 4,00 *	5,4	1,15	1,67
Cabo 5	> 4,00 *	5,1	7,10	3,30

Nota: * indica que não ocorreu falha durante o ensaio

Observa-se na Tabela 5 que todos os cabos apresentaram uma constante dielétrica alta em relação ao exigido pela ABRADÉE para coberturas de polietileno (constante dielétrica máxima de 3,0).

Os anéis de fixação foram analisados através da espectroscopia de infravermelho. Verificou-se que alguns foram confeccionados com o elastômero de silicone e outros com o terpolímero etileno-propileno e dieno (EPDM). As cargas não foram identificadas. Observou-se que os espaçadores que não se deterioraram no ensaio de compatibilidade dielétrica foram os amarrados com anel de EPDM. No entanto, conclusões a partir deste dado seriam prematuras.

1.2. Ensaio posteriores

Enquanto se trabalhava no desenvolvimento de um novo polímero, decidiu-se avaliar alguns métodos complementares para proteção da área crítica do espaçador, ou seja, a interface espaçador – cabo – anel de fixação.

Para esta avaliação, foi realizado um ensaio de compatibilidade dielétrica em 5 espaçadores novos de um mesmo fabricante, fornecidos pela LIGHT, considerando quatro tipos de proteção complementar:

- Borracha de silicone vulcanizada à temperatura ambiente;
- Graxa de silicone;
- Pasta de cobre para melhoria de contato;

- Realização de furos no leito do espaçador para facilitar o escoamento da água da chuva e a limpeza da região crítica.

Para fins comparativos, um espaçador foi ensaiado sem qualquer proteção adicional ou alteração.

Parâmetros de ensaio:

- duração: 30 dias contínuos;
- aplicação de corrente elétrica no condutor para induzir uma temperatura da superfície do cabo de 60° C;
- ciclos de aspersão de chuva de 5 (cinco) minutos seguido de 15 (quinze) minutos sem aspersão;
- característica da chuva: 1 mm/minuto de água com condutividade de 750 $\mu\text{S} / \text{cm}$;
- tensão aplicada de 16 kV pois os espaçadores eram para 13,8 kV (8 kV \varnothing -T).

O ensaio de compatibilidade dielétrica pode ser considerado como ideal para avaliar a suportabilidade dos espaçadores poliméricos ao ambiente agressivo, pois, por ser um ensaio trifásico, permite uma circulação de corrente de fuga, entre fases, ao longo dos braços do espaçador, como pode ser visto na Figura 4, semelhante ao observado na rede de distribuição real.

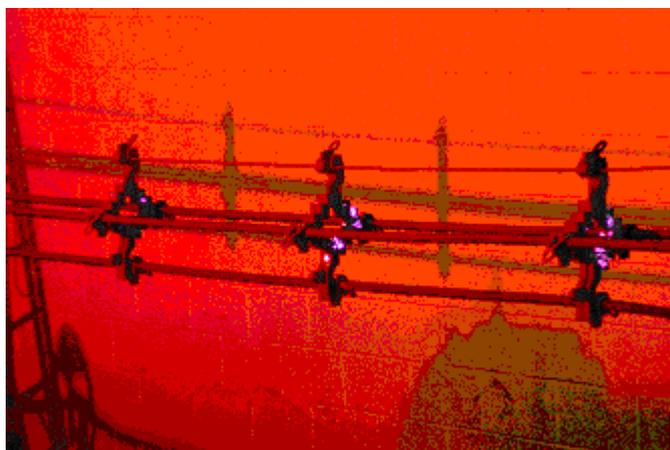


Figura 4. Corrente de fuga nos espaçadores durante o ensaio de compatibilidade dielétrica.

Ao término do ensaio o espaçador com graxa de silicone e o espaçador com silicone vulcanizado apresentaram danos devido a correntes de fuga. O espaçador sem proteção e o espaçador com pasta de cobre somente apresentaram indicações de dano no anel de amarração. O espaçador com furos para drenagem não sofreu qualquer dano.

Um dos questionamentos surgidos, nos estudos realizados na primeira fase, foi se as cavidades encontradas no interior dos diversos espaçadores poderiam ser responsáveis pela degradação verificada nos ensaios dielétricos. Para dirimir esta dúvida, os espaçadores ensaiados foram serrados e observou-se que, apesar da grande quantidade de cavidades internas, não houve aumento da degradação devido à corrente de fuga, ou seja, a existência de cavidades, aparentemente, é mais prejudicial à resistência mecânica que à resistência dielétrica.

1.3. Avaliação do novo polímero

Como determinado no escopo do projeto, com os resultados obtidos na primeira fase foram desenvolvidos novos compostos poliméricos com formulações decorrentes das combinações de um polímero “máster” com outros polímeros. As amostras foram submetidas a ensaios físicos, químicos e elétricos.

Simultaneamente, a PLP realizou alterações no sistema de moldagem (injeção) para evitar a formação de bolhas internas no espaçador.

O ensaio de trilhamento foi realizado, utilizando-se a norma NBR 10296, em amostras prensadas segundo especificação da ABRADEE, os resultados obtidos ficaram entre 2,5 kV e 4,25 kV, superiores aos

resultados com amostras prensadas com base em espaçadores com formulação antiga que atingiram no máximo 2,25 kV, resultado inferior ao limite exigido pela ABRADDEE (2,75 kV).

Como nota, cabe ressaltar que o modelo atual de espaçador da PLP já atende ao valor mínimo de 2,75 kV exigido pela ABRADDEE.

Com base nos resultados obtidos, a PLP injetou diversos espaçadores para testes. Na metade deles foram feitos furos para facilitar a lavagem e evitar o acúmulo de poluentes na região mais crítica, a interface espaçador-cabo-amarração. Algumas amostras de ambas as configurações foram submetidas ao ensaio de compatibilidade dielétrica e outras foram instaladas no campo em dezembro de 2005, onde permanecerão por 12 meses com avaliação semestral.

Os resultados do ensaio de compatibilidade realizados no laboratório mostraram que a configuração do espaçador com furos para drenagem foi a que apresentou o melhor desempenho.

2. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram ser possível desenvolver um espaçador para redes de distribuição compactas, capaz de ser utilizado em regiões com elevado nível de poluição ambiental e altas temperaturas, e que os critérios adotados pela ABRADDEE devem ser exigidos por qualquer comprador que deseje ter um componente que garanta a confiabilidade da instalação a fim de apresentar um baixo custo operacional e de manutenção.

3. BIBLIOGRAFIA

- [1] CODI-3.2.18.24.1 - “Especificação de espaçadores e amarrações para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV”.
- [2] M. Rabello – “Aditivção de Polímeros” - São Paulo, Artliber Editora, 2000
- [3] CODI-3.2.18.23.1 - “Especificação de cabos cobertos para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV”.
- [4] J. A. M. Agnelli, Degradação, estabilização e envelhecimento de polímeros. São Paulo: Associação Brasileira de Polímeros, 1996
- [5] W. Schanabel, Polymer Degradation, Principles and Practical Applications. New York: Hanser International, 1981
- [6] D. Kockott, Polymer Degradation and Stability, 24 (4): p.245-246. 1989.
- [7] ASTM D 3895 - Oxidative Induction Time of Polyolefins by differential Scanning Calorimetry.
- [8] ASTM D1531 – “Relative Permittivity (Dielectric Constant) and Dissipation Factor of Polyethylene by Liquid Displacement Procedure”.
- [9] ASTM D257 – “DC Resistance or Conductance of Insulating Materials”.
- [10] ASTM D149 – “Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies”.
- [11] NBR 10296 – “Material Isolante Elétrico - Avaliação de sua Resistência ao Trilhamento Elétrico e Erosão sob Severas Condições Ambientais”.