

AValiação de Redes Aéreas Compactas em Ambientes Agressivos

D. R. de Mello e R. W. Garcia – CEPEL

C. E. M. Malheiros e R. L. Silva- LIGHT

E-mail: darcy@cepel.br

Palavras-chave – Redes aéreas compactas, ambiente agressivo e compatibilidade dielétrica.

Resumo - O objetivo deste artigo é apresentar os resultados obtidos em um programa de estudos, com 2 anos de duração, realizado pela Light e pelo Cepel com o intuito de avaliar o desempenho dos materiais utilizados em redes de distribuição compactas, instaladas em áreas de alta poluição salina, de modo que as conclusões relatadas possam orientar a utilização destas redes nestes ambientes agressivos e nortear as Concessionárias e fornecedores de materiais poliméricos para os ajustes que se façam necessários nas especificações técnicas destes materiais.

1. 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.

Atualmente na Light, por imposição de suas normas de projeto, existe uma limitação para emprego destas redes a 300 metros da orla marítima.

Dentre os diversos eventos relatados pelas turmas de manutenção, os abaixo relacionados se sobressaem pela sua frequência:

- Degradação de materiais : cabos, espaçadores, amarrações e isoladores;
- Sinais visíveis e audíveis de corona;
- Rompimento de espaçadores e cabos.

Este estudo, iniciado em 2000 e com duração de 2 anos, implicou na construção pela Light de uma rede piloto com materiais de diversos fabricantes instalada próximo ao mar.

Simultaneamente, os materiais empregados na montagem das redes piloto foram submetidos a vários ensaios, selecionados dentre os apresentados nas proposições da ABRADÉE [1 a 4], em amostras quando novas e em amostras retiradas periodicamente das redes piloto. Foram realizados, também, ensaios de compatibilidade dielétrica em modelos de rede compacta montadas de modo a abranger todos os fabricantes que forneceram materiais para a montagem das redes piloto.

A abrangência do estudo realizado permite apresentar um panorama amplo da situação dos materiais atualmente fabricados para redes compactas de distribuição e nortear o emprego destas redes, não somente na Light, como em todas as Concessionárias do Brasil sujeitas aos problemas de agressividade ambiental.

2. PLANEJAMENTO DO TRABALHO

2.1. Implantação da rede piloto

Foi selecionado um trecho da orla marítima com as seguintes características :

- local: Recreio dos Bandeirantes
- tipo de poluição : marítima (salina)
- tensão - 13,8 kV
- extensão - 1513m
- proximidade do mar - 50m a 150 m

Um desenho resumido do trajeto percorrido pela rede piloto pode ser visto na Figura 1.

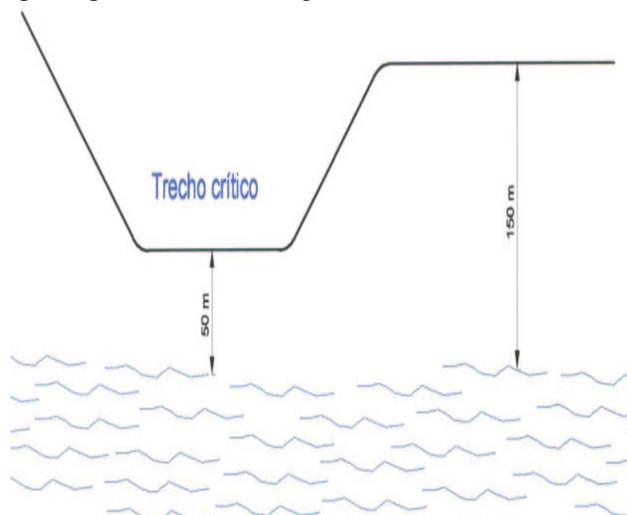


Figura 1 – Trajeto resumido da rede piloto instalada pela Light

2.2. Seleção de componentes

Dentre os diversos componentes poliméricos de uma rede compacta, foi definido com a Light que os abaixo relacionados serão objeto de estudo:

- isoladores bastão para 15 kV e 34,5 kV;
- isoladores pino para 15 kV e 34,5 kV;
- isoladores pilar para 15 kV e 34,5 kV;
- espaçadores para 15 kV e 34,5 kV;

- cabos para 15 kV e 34,5 kV.

2.3. Seleção de fabricantes

A seleção dos fabricantes que foram convidados a participar dos estudos foi feita levando-se em consideração aqueles que têm uma linha de produção de materiais do tipo e modelos escolhidos, e que têm fornecido ou têm condições de fornecer esses materiais para a Light até a data de início do estudo.

Por atenderem a esses requisitos, a quantidade de fabricantes convidados pela Light foi:

- isoladores: 7;
- espaçadores: 4;
- cabos: 5.

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

3.1. Avaliação do material instalado na rede piloto

A suportabilidade ao ambiente agressivo dos diversos materiais instalados na rede piloto, seja no trecho crítico a 50 m do mar seja nos trechos mais afastados foi avaliada segundo os seguintes critérios:

- inspeção visual;
- inspeção com detetor ultrasônico;
- avaliação após retirada do material da rede.

3.2. Avaliação do material em laboratório

3.2.1. Relação de ensaios realizados

A relação dos ensaios nos componentes poliméricos para redes compactas de 15 kV, realizados em laboratório, pode ser vista na Tabela I. Os componentes poliméricos para redes compactas de 34,5 kV não foram submetidos aos ensaios de compatibilidade dielétrica e tensão disruptiva em frequência industrial, pois foi consenso com a Light que os resultados obtidos com os isoladores para 15 kV seriam suficientes.

3.2.2. Metodologia de ensaio e critério de aprovação

A metodologia de cada ensaio é definida em norma específica como indicado a seguir.

3.2.2.1 Trilhamento elétrico

Os ensaios foram conduzidos baseados nas recomendações técnicas da norma NBR 10296 [6], método 2, critério A, com tensão crescente em degraus de 250V por hora. A resistividade da solução contaminante foi de 3,45 a 4,45 Ω .m.

O fluxo do líquido contaminante, foi de 0,075 ml/min para níveis de tensão entre 1 e 1,75 kV, 0,15 ml/min para níveis de tensão entre 2 a 2,75 kV, 0,30 ml/min para níveis de tensão entre 3 a 3,75 kV, e 0,60 ml/min para tensões entre 4 e 4,75 kV.

Todos os corpos-de-prova foram inicialmente lixados com lixa de carvão de silício, de granulação 400 a 600, para retirar a oleosidade e a repelência à água, e os eletrodos foram instalados sobre os corpos-de-prova.

O critério de avaliação da amostra determina que os cinco corpos-de-prova devem suportar pelo menos três níveis de tensão, até a tensão de classificação, sem a ocorrência de falha. A falha do corpo-de-prova é caracterizada pela ocorrência de trilhamentos superiores a 25 mm ou correntes superficiais superiores a 60 mA.

TABELA I
RELAÇÃO DOS ENSAIOS NOS COMPONENTES PARA REDES COMPACTAS DE 15 KV REALIZADOS EM LABORATÓRIO

Componente	Ensaio	Normas
Isoladores, cabos e espaçadores	Inspeção Visual	CODI / ABRADDEE [1 a 4]
	Compatibilidade dielétrica	
	Trilhamento Elétrico	NBR 10296 [5]
	Resistência superficial e volumétrica	ASTM D257 [6]
	Rigidez dielétrica	ASTM D149 [7]
	Constante dielétrica	ASTM D1531 [8]
Isoladores	Radiointerferência	IEC 60437 [9]
	Determinação da tensão disruptiva em frequência industrial, a seco	IEC 61109 [10]
	Perfuração sob impulso	IEC 61211 [11]

As especificações do CODI/ABRADEE consideram falha no ensaio a ocorrência de qualquer das seguintes situações, com tensão de trilhamento de até 2,75 kV:

- interrupção do circuito de ensaio de algum dos corpos de prova, por atuação automática de seu dispositivo de proteção (disjuntor);
- erosão do material de algum dos corpos de prova que descaracterize o circuito de ensaio;
- acendimento de chama no material de algum dos corpos de prova.

3.2.2.2 Determinação da constante dielétrica

Foram seguidos os procedimentos recomendados pela norma ASTM D1531 [9].

A constante dielétrica (ϵ_r) das amostras ensaiadas foi determinada com utilização da célula Balsbaugh, modelo LD-3, com tensão aplicada de 1V na frequência de 1kHz. Para as medições de capacitância foi utilizada a ponte HP 4284A.

3.2.2.3 Determinação da resistividade superficial e volumétrica

Para a determinação da resistividade elétrica superficial (ρ_s) e da resistividade elétrica volumétrica (ρ_v) das amostras, foram seguidos os procedimentos recomendados pela norma ASTM D257 [7]. A tensão

aplicada foi de 1000V_{cc} e o tempo de leitura de 60 segundos.

Os eletrodos foram constituídos por fitas de alumínio, tendo como substrato de apoio moldes de material dielétrico à base de polietileno, no formato de eletrodos circulares para medição, com 15,8mm de diâmetro e eletrodos de guarda com 25,7mm de diâmetro interno, além do eletrodo para aplicação de tensão com dimensões aproximadas de 50x50mm².

Foram utilizados o teraohmmeter Guildline modelo 9520 e o teraohmmeter Burster modelo 2408.

3.2.2.4 Verificação da rigidez dielétrica

A rigidez dielétrica das amostras não pôde ser determinada devido às dificuldades com as dimensões e geometrias das amostras.

3.2.2.5 Medição da tensão de radiointerferência (TRI)

Como referência ao método de ensaio, foi utilizada a norma de radiointerferência para isoladores, IEC 60437 [9], que prescreve a seguinte metodologia:

- uma tensão 10% superior à tensão de ensaio especificada deve ser aplicada ao isolador sob ensaio e mantida por pelo menos 5 min;
- a tensão deve, então, ser reduzida em degraus até um valor igual a 30% da tensão de ensaio especificada;
- a seguir, a tensão deve ser elevada em degraus até atingir o valor inicial, sendo mantida neste patamar por 1 min;
- finalmente, a tensão deve ser reduzida em degraus até 0% da tensão de ensaio especificada;
- cada degrau de tensão deve ser aproximadamente igual a 10% da tensão de ensaio especificada;
- em cada degrau de tensão deve-se realizar a medição da radiointerferência e os resultados obtidos durante o último ciclo de redução da tensão devem ser colocados em gráfico em função da tensão aplicada. A curva obtida é denominada de curva característica de radiointerferência do isolador e será utilizada na avaliação do desempenho do isolador;
- Para os isoladores, cujos valores medidos da TRI não se mantiveram no ruído de fundo no momento de realização do ensaio, será traçada a curva TRI (μV) x Tensão aplicada (kV);
- Como critério de aprovação, o valor da TRI medido na tensão de ensaio deve ser igual ou inferior a 10 μV .

Para comparação do desempenho foi realizada a avaliação individual de cada isolador antes e após os ensaios de compatibilidade dielétrica e dos isoladores retirados da instalação no campo.

3.2.2.6 Determinação da tensão disruptiva em frequência industrial, a seco

Como referência ao método de ensaio, foi utilizada a norma para isoladores compostos, IEC 61109 [10], que prescreve a seguinte metodologia:

- o valor da tensão disruptiva ($U_{100\%}$) dos isoladores deve ser determinado através da média de 5 aplicações de tensão com descarga disruptiva ao longo da superfície do isolador;
- o intervalo entre duas aplicações sucessivas de tensão deve ser de 1 minuto;
- o valor nominal da tensão disruptiva deve ser obtido pela correção da referida tensão para as condições atmosféricas normalizadas [12];
- como critério de aprovação deve-se considerar que a redução no valor da tensão disruptiva não deve ser superior a 10%, em relação ao isolador antes do ensaio de compatibilidade dielétrica e em relação ao valor médio do lote com os isoladores novos no caso dos isoladores retirados do campo.

3.2.2.7 Verificação da suportabilidade à perfuração sob impulso

Como referência ao método de ensaio, foi utilizada a norma para isoladores compostos, IEC 61211 [11], que prescreve a seguinte metodologia:

- determinação do valor da tensão com 50% de probabilidade de descarga de impulso atmosférico, com polaridade negativa ($U_{50\%}$);
- aplicação de 10 impulsos com tensão de crista igual a 2,3 p.u. para isolador bastão e 2,0 p.u. para isoladores pino e pilar (considerando como base o valor de $U_{50\%}$), para ambas as polaridades, em 5 amostras de cada fabricante;
- como critério de avaliação foi considerado que nenhum isolador do lote deve perfurar durante o ensaio.

3.2.2.8 Compatibilidade dielétrica

Para realização do ensaio foi montado um conjunto com quatro espaçadores (1 de cada fabricante), com cabo mensageiro aterrado e com os três cabos fase (cada fase com 12 metros de comprimento) e suas respectivas amarrações.

Entre os espaçadores foram colocados isoladores pino/pilar (1 por fase) de diversos fabricantes, de modo que a separação entre cada espaçador e o conjunto de isoladores fosse de 1 metro.

Os isoladores bastão (1 de cada fabricante) foram colocados em uma extremidade sustentando, cada 1, uma das fases.

Parâmetros utilizados no ensaio :

- duração de 30 dias ininterruptos;
- aplicação de corrente elétrica no condutor para manter a temperatura da superfície do cabo em 60° C (para efeito de pesquisa foram aquecidas somente 2 fases);
- ciclos de aspersão de chuva de 5 (cinco) minutos seguido de 15 (quinze) minutos sem aspersão, com precipitação de 1 mm/min e condutividade de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$;

- tensão aplicada de 16 kV, que corresponde a 2 V₀ (sendo V₀ a tensão Ø-T do sistema);
- como critério de aprovação, nenhum material do conjunto deve apresentar trilhamento, erosão, fissuras ou rachaduras após 30 (trinta) dias de ensaio.
- as amostras dos isoladores pino 4, pino 5 e pino 6 foram aprovadas no ensaio de radiointerferência e reprovadas no ensaio de frequência industrial;
- as amostras dos isoladores pino 2 e pino 3 foram reprovadas no ensaio de radiointerferência e no ensaio de frequência industrial.

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. Inspeções no campo

4.1.1. Inspeções visuais e com ultrassom

Os resultados das inspeções realizadas no campo podem ser vistas na Tabela II.

TABELA II
RESULTADO DAS INSPEÇÕES REALIZADAS NO CAMPO

Local	Inspeção	Pontos com indicação de dano		
		Após 1 mês	Após 4 meses	Após 8 meses
Trecho crítico	Visual	Nenhum ponto	Alguns pontos	Diversos pontos
	Ultrassom	Alguns pontos	Todos os pontos	Todos os pontos
Trecho não crítico	Visual	Nenhum ponto	Nenhum ponto	Nenhum ponto
	Ultrassom	Nenhum ponto	Alguns pontos	Alguns pontos

4.1.2. Avaliação após retirada da rede

4.1.2.1 Com 4 meses de instalação

- foi constatado dano visível nos espaçadores 1 e 2 retirados pela Light, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3;
- foi constatado dano visível na parte interna dos isoladores pino 2, pino 3, pino 4 e pino 5, como pode ser visto na Figura 4;
- todas as amostras de isolador bastão foram aprovadas nos ensaios de radiointerferência e frequência industrial;
- todas as amostras de isolador pino foram aprovadas no ensaio de radiointerferência e somente a amostra do isolador pino 3 foi reprovada no ensaio de frequência industrial.

4.1.2.2 Com 8 meses de instalação

- foi constatado dano visível nos espaçadores 1 e 2 retirados pela Light, como pode ser visto nas Figuras 5 e 6;
- foi constatado dano visível na parte interna dos isoladores pino 2, pino 3, pino 4 e pino 5, como pode ser visto na Figura 7;
- foi constatado dano visível na parte interna dos isoladores pino 2, pino 3, pino 4 e pino 5, como pode ser visto na Figura 7;



Figura 2 – Danos no espaçador 2 após 4 meses no campo



Figura 3 – Danos no espaçador 1 após 4 meses no campo



Figura 4 – Danos no isolador pino 2 após 4 meses no campo



Figura 5 – Danos no espaçador 2 após 8 meses no campo

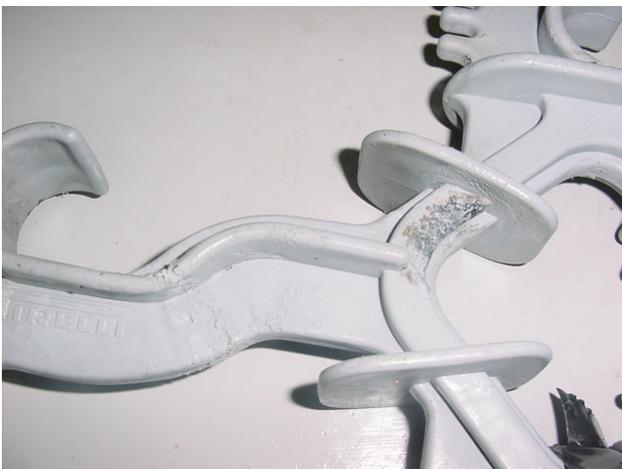


Figura 6 – Danos no espaçador 1 após 8 meses no campo



Figura 7 – Danos no isolador pino 3 após 8 meses no campo

4.1.2.3 Com 12 meses de instalação

A inspeção de 12 meses será realizada em julho de 2002 e seus resultados serão publicados posteriormente.

4.2. Avaliação laboratorial

4.2.1. Preparação dos corpos-de-prova

A preparação de corpos-de-prova com dimensões adequadas para a realização dos ensaios de trilhamento elétrico, medição da constante dielétrica, medição da resistividade superficial e volumétrica com base no corte das amostras teve que superar diversas dificuldades, devido às particularidades de dimensões e geometria das amostras, sendo que não foi possível obter corpos-de-prova de algumas amostras ou a quantidade de corpos-de-prova obtida foi insuficiente. A Figura 8 mostra os cortes realizados em isoladores pino.



Figura 8 – Preparação de corpo-de-prova para ensaio de trilhamento

4.2.2. Avaliação dos materiais

4.2.2.1 Cabos

Os resultados obtidos foram:

- no ensaio de trilhamento elétrico, todas as amostras de cabos apresentaram bom desempenho, não apresentando falhas para níveis de tensão até 4kV, com nível de tensão inicial de 2,25kV;
- todos os cabos apresentaram valor de constante dielétrica entre 4,9 e 5,3;
- os cabos 1, 2 e 5 apresentaram valor de resistividade volumétrica superior a 2 TΩ.m, enquanto que os cabos 3 e 4 apresentaram valor de resistividade volumétrica entre 1,5 TΩ.m e 2 TΩ.m;
- os cabos 1, 4 e 5 apresentaram valor de resistividade superficial entre 1 TΩ e 10 TΩ, enquanto que os cabos 2 e 3 apresentaram valor de resistividade superficial inferior a 1 TΩ;
- todos os cabos apresentaram pontos luminosos durante o ensaio de compatibilidade dielétrica indicando falhas na cobertura dos mesmos, como pode ser visto na Figura 9, mas que, às vezes, não foram suficientes para deteriorar a cobertura;
- os cabos 1 e 2 não apresentaram deterioração visível ao término do ensaio de compatibilidade dielétrica;
- ocorreu deterioração na cobertura dos cabos 3, 4 e 5 no ensaio de compatibilidade dielétrica, como pode ser visto nas Figuras 10, 11 e 12, respectivamente.

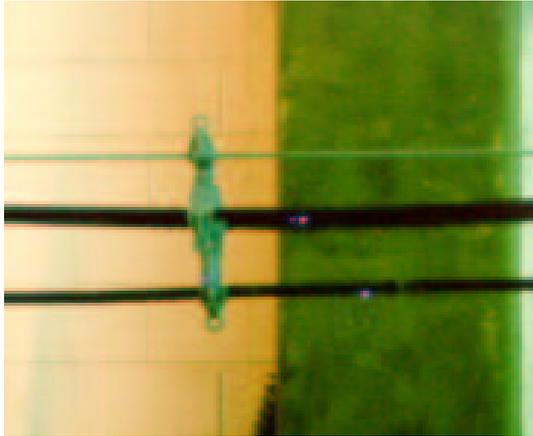


Figura 9 – Pontos luminosos indicando falha na cobertura do cabo durante ensaio de compatibilidade dielétrica



Figura 10 – Danos na cobertura do cabo 3 após ensaio de compatibilidade dielétrica



Figura 11 – Danos na cobertura do cabo 4 após ensaio de compatibilidade dielétrica

4.2.2.2 Espaçadores

Os resultados obtidos foram:

- os espaçadores não foram submetidas aos ensaios de trilhamento elétrico e medição da constante dielétrica, resistividade superficial e volumétrica devido às particularidades de dimensões e geometria

das amostras que dificultaram a obtenção de corpos-de-prova;

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 1, os espaçadores 3 e 4 não sofreram dano, o espaçador 2 sofreu dano decorrente da corrente de fuga e o espaçador 1 derreteu (ver Figuras 13 e 14).



Figura 12 – Danos na cobertura do cabo 5 após ensaio de compatibilidade dielétrica



Figura 13 – Espaçador 1 derretido durante ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 1



Figura 14 – Danos no espaçador 2 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 1

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 2, os espaçadores 3 e 4 não sofreram dano, o espaçador 2 sofreu dano decorrente de corrente de fuga e o espaçador 1 derreteu (ver Figura 15);
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 3, todos os espaçadores sofreram danos (alguns danos observados podem ser vistos nas Figuras 16 e 17);



Figura 15 – Espaçador 1 derretido durante ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 2



Figura 16 – Danos no espaçador 4 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 3



Figura 17 – Danos no espaçador 3 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 3

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 4, o espaçador 3 derreteu (ver Figura 18) e todos os demais espaçadores sofreram dano (alguns danos observados são mostrados nas Figuras 19 e 20);
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 5, foram observados danos nos espaçadores 3 e 4 como pode ser visto nas Figuras 21 e 22;



Figura 18 – Espaçador 3 derretido durante ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 4



Figura 19 – Danos no espaçador 2 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 4



Figura 20 – Danos no espaçador 4 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 4



Figura 21 – Danos no espaçador 3 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 5



Figura 22 – Danos no espaçador 4 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 5

4.2.2.3 Isoladores bastão

Os resultados obtidos foram:

- no ensaio de trilhamento elétrico, os isoladores bastão 2 e bastão 3 não suportaram pelo menos três níveis de tensão por hora, com tensão inicial de 1,25kV, durante os ensaios;
- os isoladores bastão 2 e bastão 3 apresentaram valor de constante dielétrica entre 3,5 e 3,9;
- o isolador bastão 3 apresentou valor de resistividade volumétrica superior a 2 TΩ.m, enquanto que o isolador bastão 2 apresentou valor de resistividade volumétrica entre 0,5 TΩ.m e 1 TΩ.m;
- os isoladores bastão 2 e bastão 3 apresentaram valor de resistividade superficial entre 10 TΩ e 100 TΩ;
- o isolador bastão 1 não foi submetido aos ensaios de trilhamento e medição da constante dielétrica, resistividade superficial e volumétrica devido às particularidades de dimensões e geometria das amostras que dificultaram a obtenção de corpos-de-prova;
- nenhuma amostra de isolador bastão apresentou sinais visíveis de deterioração após os ensaios de

compatibilidade dielétrica realizados com qualquer um dos tipos de cabos avaliados;

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com os cabos 1, 2, 4 e 5, todos os isoladores bastão foram aprovadas nos ensaios de radiointerferência e frequência industrial;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 3, todas as amostras de isolador bastão foram aprovadas no ensaio de radiointerferência mas a amostra do isolador bastão 1 e a amostra do isolador bastão 3 foram reprovadas no ensaio de frequência industrial;

4.2.2.4 Isoladores pino

Os resultados obtidos foram:

- no ensaio de trilhamento elétrico, os isoladores pino 1 e pino 2 atenderam aos requisitos da Norma NBR [6] e os isoladores pino 3, pino 4, pino 5 e pino 6, apesar de atenderem aos requisitos da Norma NBR, incendiaram ou apresentaram perda de material durante a ocorrência de trilhamento ou falha, como pode ser visto na Figura 23;



Figura 23 - Amostras de isolador pino com queima de material durante ensaio de trilhamento

- os isoladores pino 3, pino 4, pino 5 e pino 6 apresentaram valor de constante dielétrica entre 2,3 e 2,4 enquanto que os isoladores pino 1 e pino 2 apresentaram valor de constante dielétrica entre 3,5 e 3,9;
- o isolador pino 2 apresentou valor de resistividade volumétrica superior a 2 TΩ.m, os isoladores pino 3 e pino 4 apresentaram valor de resistividade volumétrica entre 1,5 TΩ.m e 2 TΩ.m, os isoladores pino 1 e pino 6 apresentaram valor de resistividade volumétrica entre 0,5 TΩ.m e 1 TΩ.m e o isolador pino 5 apresentou valor de resistividade volumétrica inferior a 0,5 TΩ.m;
- os isoladores pino 1 e pino 3 apresentaram valor de resistividade superficial acima de 200 TΩ, os isoladores pino 2 e 5 apresentaram valor de resistividade superficial entre 100 TΩ e 200 TΩ, o isolador pino 4 apresentou valor de resistividade superficial entre 10 TΩ e 100 TΩ e o isolador pino 6 apresentou valor de resistividade superficial entre 1 TΩ e 10 TΩ;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 1, os isoladores pino 1, pino 2, pino 3, pino 4 e pino 5 apresentaram sinais visíveis de deterioração como

pode ser visto em alguns exemplos de deterioração mostrados nas Figuras 24 e 25;

- os resultados obtidos nos ensaios dielétricos de radiointerferência e frequência industrial realizados nos isoladores, ao término do ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 1, podem ser vistos na Tabela III;



Figura 24 – Danos na amarração do isolador pino 1 ao fim do ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 1



Figura 25 – Exemplo de dano observado na parte interna dos isoladores pino 2 a 5 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 1

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 2, nenhum dos isoladores ensaiados apresentou sinais visíveis de deterioração;
- os resultados obtidos nos ensaios dielétricos de radiointerferência e frequência industrial realizados nos isoladores, ao término do ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 2, podem ser vistos na Tabela IV;
- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 3, somente as amostras do isolador pino 2 apresentaram sinais visíveis de deterioração, como pode ser visto na Figura 26.
- os resultados obtidos nos ensaios dielétricos de radiointerferência e frequência industrial realizados nos isoladores, ao término do ensaio de

compatibilidade dielétrica com o cabo 3, podem ser vistos na Tabela V;

TABELA III
RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS APÓS O ENSAIO DE COMPATIBILIDADE DIELÉTRICA COM O CABO 1

Isolador	Ensaio	Número de amostras	
		Ensaçadas	Reprovadas
Pino 1	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	0
Pino 2	Radiointerferência	3	2
	Frequência industrial	3	3
Pino 3	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	3
Pino 4	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	3
Pino 5	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	2
Pino 6	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	0

TABELA IV
RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS APÓS O ENSAIO DE COMPATIBILIDADE DIELÉTRICA COM O CABO 2

Isolador	Ensaio	Número de amostras	
		Ensaçadas	Reprovadas
Pino 1	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	2
Pino 2	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 3	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 4	Radiointerferência	3	3
	Frequência industrial	3	3
Pino 5	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	2
Pino 6	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	0

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 4, os isoladores pino 1, pino 2, pino 3, pino 4 e pino 5 apresentaram sinais visíveis de deterioração como pode ser visto em alguns exemplos de deterioração mostrados nas Figuras 27 e 28;
- os resultados obtidos nos ensaios dielétricos de radiointerferência e frequência industrial realizados nos isoladores, ao término do ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 4, podem ser vistos na Tabela VI;

TABELA V
 RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS APÓS O
 ENSAIO DE COMPATIBILIDADE DIELÉTRICA COM O CABO 3

Isolador	Ensaio	Número de amostras	
		Ensaçadas	Reprovadas
Pino 1	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	0
Pino 2	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 3	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	3
Pino 4	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	3
Pino 5	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	2
Pino 6	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	0



Figura 28 – Exemplo de dano observado nos isoladores pino 2 a 5 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 4

- no ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 5, os isoladores pino 1, pino 2, pino 3, pino 4 e pino 5 apresentaram sinais visíveis de deterioração como pode ser visto em alguns exemplos de deterioração mostrados nas Figuras 29 e 30;



Figura 26 – Dano na interface isolador-cabo em amostra do isolador pino 2 após ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 3



Figura 29 – Danos no isolador pino 1 ao fim do ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 5



Figura 27 – Danos no isolador pino 1 ao fim do ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 4



Figura 30 – Danos no isolador pino 4 ao fim do ensaio de compatibilidade dielétrica com cabo 5

TABELA VI
RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS APÓS O
ENSAIO DE COMPATIBILIDADE DIELÉTRICA COM O CABO 4

Isolador	Ensaio	Número de amostras	
		Ensaçadas	Reprovadas
Pino 1	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 2	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 3	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 4	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 5	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 6	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	0

- os resultados obtidos nos ensaios dielétricos de radiointerferência e frequência industrial realizados nos isoladores, ao término do ensaio de compatibilidade dielétrica com o cabo 5, podem ser vistos na Tabela VII;

TABELA VII
RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS REALIZADOS APÓS O
ENSAIO DE COMPATIBILIDADE DIELÉTRICA COM O CABO 5

Isolador	Ensaio	Número de amostras	
		Ensaçadas	Reprovadas
Pino 1	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	2
Pino 2	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	3
Pino 3	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	3
Pino 4	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	3
Pino 5	Radiointerferência	3	1
	Frequência industrial	3	3
Pino 6	Radiointerferência	3	0
	Frequência industrial	3	0

4.2.3. Avaliação após ensaio de perfuração sob impulso

- todos os isoladores bastão foram aprovados;
- os isoladores pino 2, pino 3 e pino 6 foram aprovados;
- os isoladores pino 4 e pino 5 tiveram uma amostra perfurada cada. Por norma teria de ser feito o reteste mas não havia quantidade de amostras suficiente;
- não havia quantidade de amostras suficientes para fazer o ensaio no isolador pino 6.

5. CONCLUSÕES

Nenhuma das amostras de isoladores atendeu ao critério de aprovação do ensaio de trilhamento solicitado pelo CODI/ABRADEE, como pode ser visto na Figura 31, talvez esse seja o motivo do grande número de danos observados nos isoladores.

Entre os isoladores pino, o pino 6 foi o único que pode ser considerado como aprovado nos ensaios de compatibilidade dielétrica e, até o momento, nos ensaios de campo. Os motivos para tal resultado podem ser um valor de trilhamento bem próximo ao valor solicitado pelo CODI/ABRADEE e o uso de pino de material polimérico no lugar de pino metálico como elemento de sustentação mecânica.

Os isoladores bastão, apesar de reprovados no ensaio de trilhamento, não apresentaram danos nem no ensaio de compatibilidade dielétrica (talvez por não haver contato direto entre o polímero do cabo e o polímero do revestimento do isolador) nem no ensaio no campo, até o momento.

Todos os cabos foram aprovados no ensaio de trilhamento, mas todos apresentaram sinais de dano no ensaio de compatibilidade dielétrica, nos locais onde houve gotejamento da água da chuva ou nas interfaces com os isoladores pino. Quanto ao ensaio de campo, deverá ser aguardado o resultado da inspeção de 12 meses quando será realizada a avaliação dos cabos.

O ensaio de radiointerferência deve ser utilizado somente para a avaliação de lotes de isoladores novos e não deve ser utilizado como critério de avaliação do ensaio de compatibilidade dielétrica pois o valor da tensão de ensaio não foi suficiente para que os pequenos danos superficiais fossem assinalados durante o ensaio, como pode ser visto na Figura 32.

O ensaio de compatibilidade dielétrica pode ser considerado como ideal para avaliar a suportabilidade dos materiais poliméricos ao ambiente agressivo. Os resultados obtidos, utilizando somente o critério de inspeção visual, pode ser visto na Figura 33.

O ensaio de frequência industrial deve ser utilizado na avaliação dos isoladores submetidos ao ensaio de compatibilidade dielétrica, pois ele consegue mostrar a degradação que o isolador sofreu durante o ensaio, como pode ser visto na Figura 34.

O ensaio de perfuração sob impulso garante que os isoladores fornecidos tenham a mesma confiabilidade dos isoladores de porcelana que estão substituindo pois as solicitações representadas por este ensaio continuam presentes tanto em rede comum como em rede protegida.

A avaliação do uso dos ensaios de resistividade superficial e volumétrica e de determinação da constante dielétrica como parâmetro de aceitação do ensaio de compatibilidade dielétrica está sendo estudada.

O ensaio de compatibilidade dielétrica apresentou resultados coerentes com os obtidos com os isoladores instalados ao tempo, indicando que se constituiu num critério adequado para avaliar materiais para rede de distribuição com cabo coberto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CODI-3.2.18.27.1 - “Especificação isoladores tipo pino polimérico para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV”.
- [2] CODI-3.2.18.24.1 - “Especificação de espaçadores e amarrações para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV”.
- [3] CODI-3.2.18.23.1 - “Especificação de cabos cobertos para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV”.
- [4] CODI-3.2.18.28.1 - “Especificação isoladores composto polimérico tipo bastão para rede compacta de 13,8 kV e 34,5 kV”.
- [5] NBR 10296 – “Material Isolante Elétrico - Avaliação de sua Resistência ao Trilhamento Elétrico e Erosão sob Severas Condições Ambientais”.
- [6] ASTM D257 – “DC Resistance or Conductance of Insulating Materials”.
- [7] ASTM D149 – “Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies”.
- [8] ASTM D1531 – “Relative Permittivity (Dielectric Constant) and Dissipation Factor of Polyethylene by Liquid Displacement Procedure”.
- [9] IEC 60437 – “Radio interference test on high-voltage insulators”. 1997.
- [10] IEC 61109 – “Composite insulators for systems with nominal voltage greater than 1000 V”. 1992
- [11] IEC 61211 – “Insulator of ceramic material or glass for nominal voltage above 1000 V - Puncture Test “. 1994.
- [12] NBR 6936 – “Técnicas de Ensaio de Alta Tensão – Parte 1: Definições gerais e procedimentos de ensaio”. 1992.

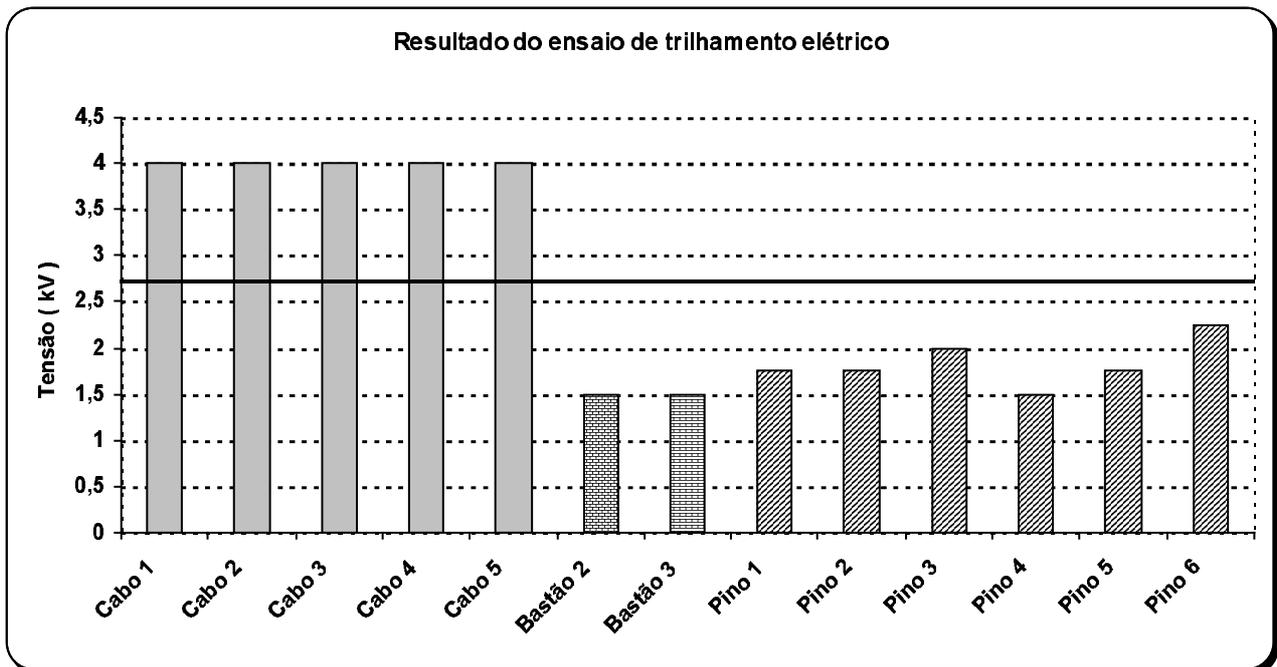


Figura 31 - Avaliação do ensaio de trilhamento

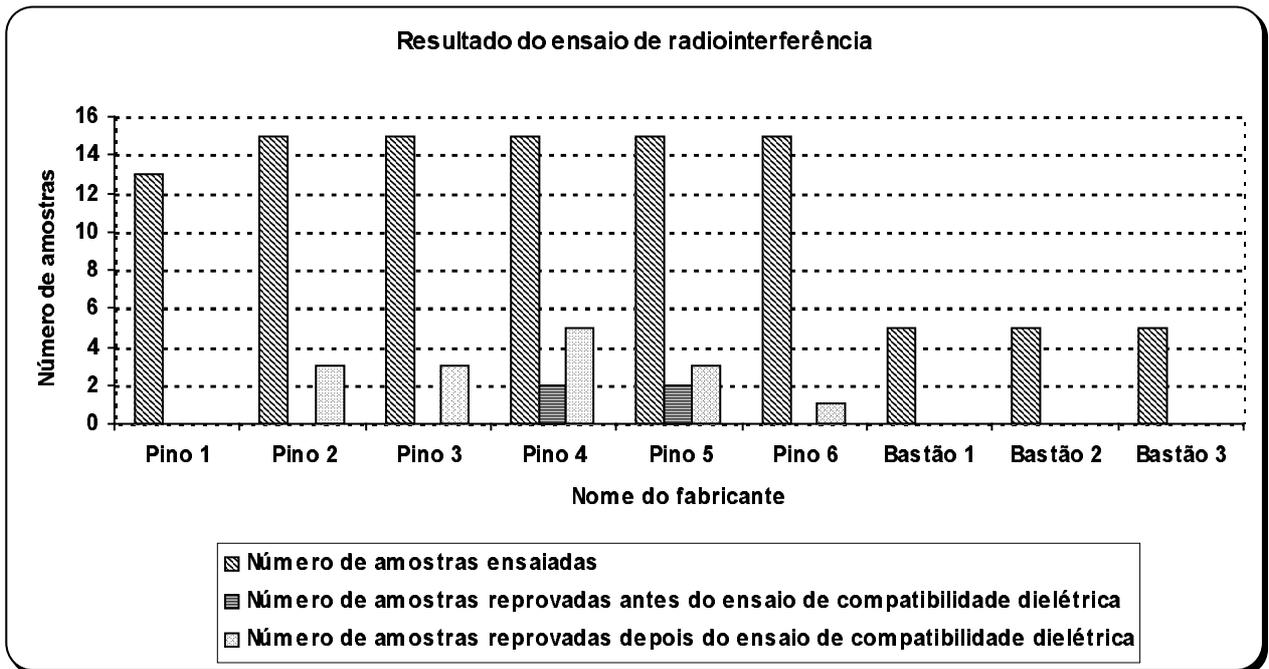


Figura 32 - Avaliação do ensaio de radiointerferência

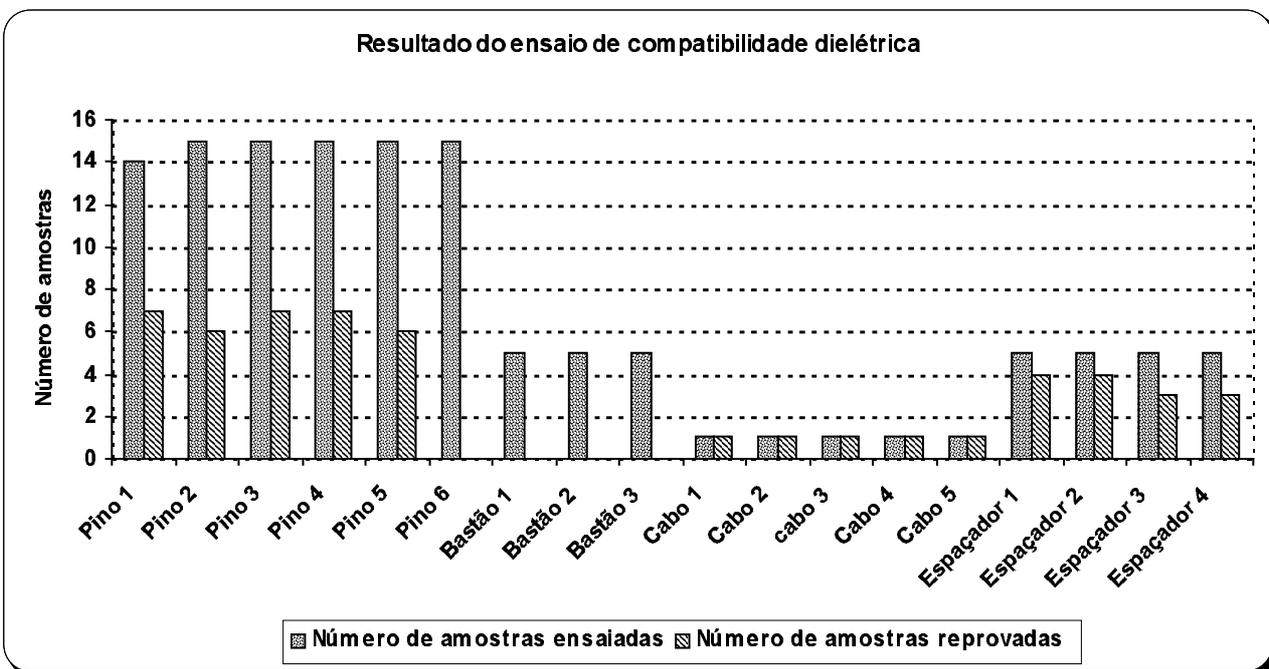
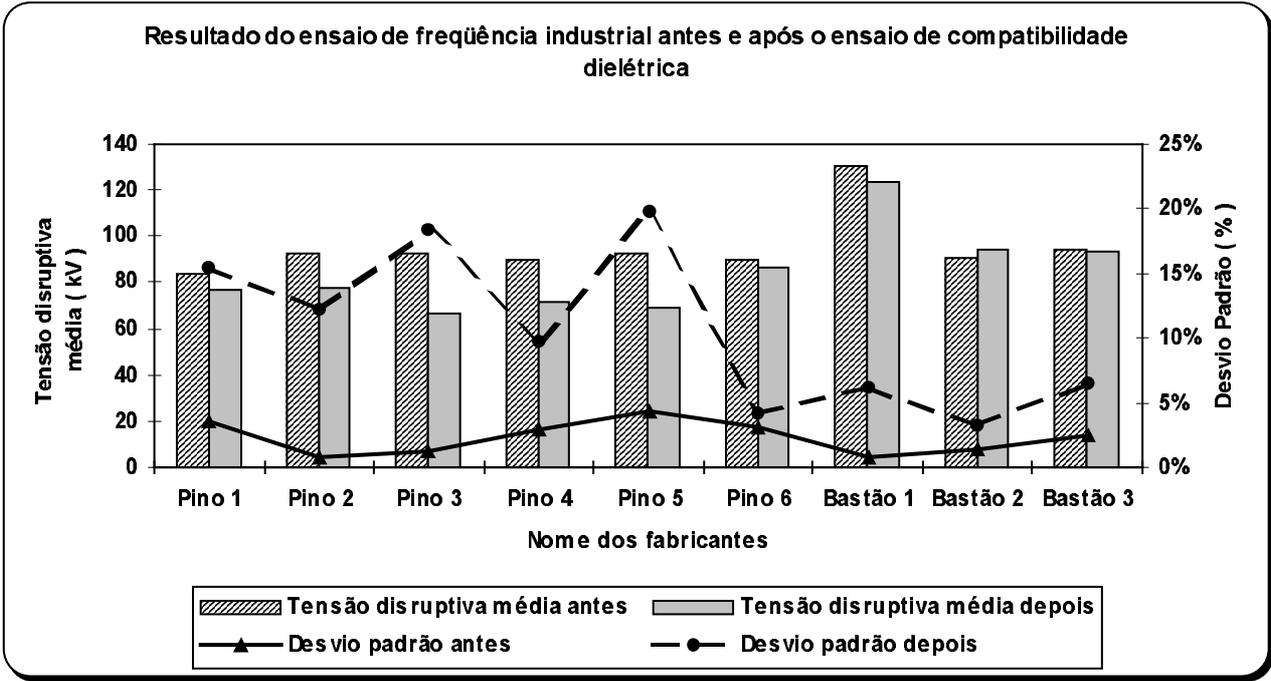
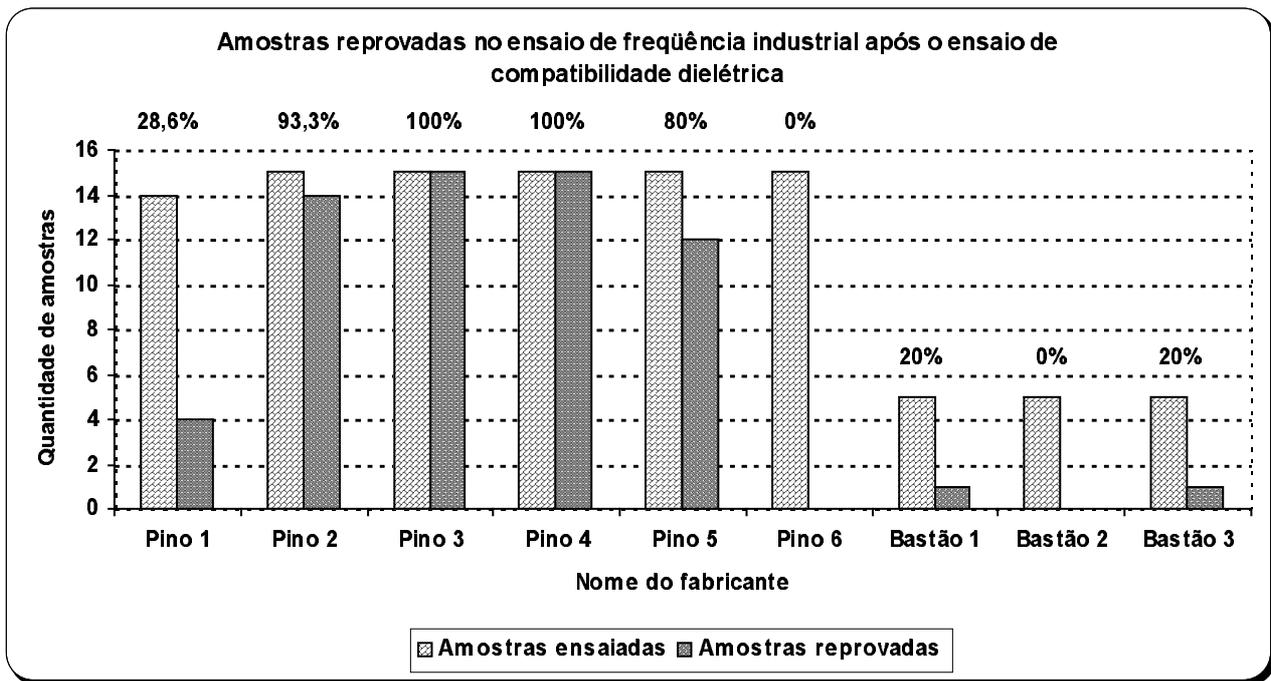


Figura 33 - Avaliação do ensaio de compatibilidade dielétrica



(a) - Avaliação do ensaio



(b) - Avaliação das amostras

Figura 34 - Avaliação do ensaio de frequência industrial