



## **Estudo de Causas e Soluções para os Defeitos Existentes nos Materiais Utilizados no Sistema de Iluminação Pública da CPFL**

**Eng. Belemar Cardoso da Silva**

**CPFL Piratininga**

belemar@cpfl.com.br

**Eng. Walter Pinheiro**

**ENERQ/USP**

walter.pinheiro@matrix.com.br

**Eng. Sérgio de Ângelo Filho**

**ENERQ/USP**

playmusic@uol.com.br

**Eng. Antonio José Gomes Amaro**

**CPFL Piratininga**

amaro@cpfl.com.br

**Eng. Gil Fortes Vasconcelos**

**ENERQ/USP**

gilvasc@pea.usp.br

**Eng. José Gil de Oliveira**

**IEE-USP**

gil@iee.usp.br

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta os principais resultados obtidos em um projeto de P&D realizado na CPFL. Esse projeto identificou as prováveis causas dos defeitos encontradas em materiais utilizados no sistema de Iluminação Pública e estudou soluções para essas causas. Destaca-se como resultado prático a padronização do relé fotoeletrônico em substituição aos relés fotoelétricos.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Causas de defeitos; Iluminação Pública; protótipos.

### **1. INTRODUÇÃO**

O acervo de Iluminação Pública (IP) da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz e Companhia Piratininga de Força e Luz) é de aproximadamente 1 milhão de pontos. O custo anual de manutenção é avaliado em R\$ 12 milhões de reais, considerando-se materiais e mão-de-obra. Com o objetivo de reduzir este custo, principalmente com materiais utilizados nos reparos de um ponto de IP e a respectiva mão-de-obra, a CPFL, em parceria com o ENERQ/USP, desenvolveu um projeto de pesquisa e desenvolvimento. Este trabalho concentrou-se nos principais resultados obtidos com as avaliações de amostras de materiais com defeito retirados da rede de IP. Seguem os principais tópicos abordados:

- Levantamento bibliográfico e elaboração de hipótese de defeitos e suas prováveis causas;
- Seleção das localidades para a coleta das amostras;
- Planejamento para a coleta de amostras de materiais com defeitos;
- Avaliação das causas dos defeitos encontrados nos materiais coletados;
- Solução para as causas dos defeitos encontrados nos materiais coletados;
- Construção de protótipos e validação em laboratório;
- Instalação em campo dos protótipos aprovados;

- Conclusão.

De maneira resumida, os protótipos foram construídos de forma a conviver com as agressividades existentes na área de concessão da CPFL. Para isso, utilizou-se a solução para cada causa de defeito encontrada nos materiais retirados da rede. O protótipo do relé fotoeletrônico foi aprovado e hoje é padrão na CPFL.

## 2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E ELABORAÇÃO DE HIPÓTESE DE DEFEITOS E SUAS PROVÁVEIS CAUSAS

Esta etapa iniciou-se com um levantamento bibliográfico sobre os principais defeitos encontrados nos materiais utilizados nos sistemas de IP do Brasil e do mundo. Em seguida, realizaram-se reuniões com aproximadamente 100 eletricitas responsáveis pelos serviços de manutenção do sistema de IP da CPFL. Nessas reuniões, os eletricitas relataram suas experiências e informaram os principais defeitos em materiais encontrados no campo. O resultado das reuniões, somado ao levantamento bibliográfico, possibilitou a elaboração de hipóteses de possíveis defeitos e suas prováveis causas, sendo este o ponto de partida para o trabalho.

## 3. SELEÇÃO DAS LOCALIDADES PARA A COLETA DAS AMOSTRAS

Como a área de concessão da CPFL é muito grande, aproximadamente 97.500 km<sup>2</sup>, optou-se em selecionar localidades que, além de serem representativas do ponto de vista de quantidade de pontos de IP, tivessem características ambientais consideradas agressivas para os materiais a serem estudados. Ver Tabela 1.

Tabela 1 – Localidades selecionadas para a coleta de amostras de materiais com defeito			
Localidade	Características	Pontos de IP (*)	Relação entre os pontos de IP das localidades e o total da CPFL (%) (**)
Botucatu	Alta incidência de descarga atmosférica	12.236	1,21
Indaiatuba	Alta incidência de radiação solar e descarga atmosférica	14.628	1,45
Praia Grande	Poluição marítima	17.642	1,74
Sertãozinho	Elevada temperatura média ambiente	8.337	0,82
Sumaré	Alta taxa de lâmpada queimada (***)	9.856	0,97
Total		62.699	6,19

(\*) Dados do ano de 2003.  
(\*\*) Foi considerado 1.012.188 (um milhão, doze mil, cento e oitenta e oito) o total de pontos de IP instalados na CPFL – dados do ano de 2003.  
(\*\*\*) Esta característica está relacionada com dados obtidos em estudo específico sobre manutenção de IP na CPFL.

#### **4. PLANEJAMENTO PARA A COLETA DE AMOSTRAS DE MATERIAIS COM DEFEITOS**

Em seguida ao planejamento para a coleta das amostras, iniciou-se a realização de uma série de reuniões com os eletricitas responsáveis pelo serviço de manutenção da IP em cada localidade selecionada. Nessas reuniões, foram apresentados os principais objetivos do projeto e os procedimentos e critérios para o acondicionamento das amostras.

A coleta de amostras retiradas de campo com defeito ocorreu durante os meses de janeiro, fevereiro e março de 2003. A Tabela 2 apresenta as quantidades de lâmpadas, relés e reatores coletados. Como as amostras coletadas de outros materiais (luminária, chave magnética e bases para relé) não foram significativas, as mesmas não serão abordadas neste trabalho.

<b>Tabela 2 – Quantidade de amostras coletadas</b>			
Localidade	Lâmpadas	Relés	Reatores
Indaiatuba	482	320	98
Praia Grande	324	186	71
Botucatu	350	358	21
Sumaré	583	828	50
Sertãozinho	416	495	54
Total	2.155	2.187	294

#### **5. AVALIAÇÃO DAS CAUSAS DOS DEFEITOS ENCONTRADOS NOS MATERIAIS COLETADOS**

Inicialmente, realizou-se verificação visual em 100% das amostras. Nos casos em que não foi possível identificar os prováveis defeitos, realizaram-se ensaios de verificação de funcionamento. No caso de lâmpadas e relés, a verificação ocorreu em 50% das amostras. Os materiais que apresentaram defeitos muito específicos foram encaminhados para os respectivos fabricantes para uma avaliação detalhada. Com isso, foi possível quantificar e qualificar as prováveis causas dos defeitos.

#### **6. SOLUÇÕES PARA AS CAUSAS DOS DEFEITOS ENCONTRADOS NOS MATERIAIS COLETADOS**

As soluções encontradas para as principais causas de defeitos em relés fotoelétricos, reatores e lâmpadas serão detalhadas a seguir, enquanto que nas Tabelas 3, 4 e 5 são apresentadas também as soluções para os demais casos, porém, de maneira resumida:

##### **6.1. Relé fotoelétrico**

- a) Descarga atmosférica: realizaram-se nos laboratórios do IPT/IEE-USP ensaios de suportabilidade ao impulso atmosférico, conforme NBR 5123 [1], porém utilizando-se valores de pico de até 10kV. Como os resultados não foram totalmente favoráveis, recomenda-se adoção deste valor no referido ensaio e também a especificação de varistor para a proteção do relé.
- b) Infiltração de água: realizaram-se ensaios de grau de proteção contra a penetração de água e de resistência à corrosão no relé que não possui visor (janela) para a fotocélula, pois os que possuíam visor foram considerados os maiores responsáveis para esta causa de defeito. O relé ensaiado obteve grau de proteção IP54 (protegido contra pó e contra água projetada). Como o

relé ensaiado foi responsável por 11,3% dos defeitos citados, recomenda-se a especificação de grau de proteção IP67 (hermético a pó e protegido contra os efeitos da imersão).

- c) Peças soltas (fragilidade construtiva): realizaram-se ensaios de resistência mecânica, conforme NBR 5123, porém elevando gradativamente o número de rotações para 10, 50, 100 e 200. Os relés apresentam bons resultados até 100 rotações. Desta maneira, recomenda-se utilizar este valor no referido ensaio.

<b>Tabela 3 – Análise das causas de defeito e soluções encontradas – Relé Fotoelétrico</b>			
<b>Causa do defeito</b>	<b>% da amostra</b>	<b>Análise</b>	<b>Soluções</b>
Descarga atmosférica	32,70	O alto índice mostra que o nível de proteção de 4kV exigido na NBR 5123 não é adequado.	Padronizar varistor de no mínimo 150J, 10kV, 5kA, para proteção contra sobretensões.
Infiltração de água	11,30	A infiltração de água se dá pela janela (visor) da fotocélula e pela base.	Padronizar relé com grau de proteção IP67.
Peças soltas (fragilidade construtiva)	10,40	Os requisitos do ensaio de resistência mecânica (NBR 5123) não refletem as solicitações a que o relé esta sujeito no transporte e em campo.	Especificar 100 rotações para o ensaio de resistência mecânica.
Componentes danificados	2,70	Danos em componente motivado pela ocorrência de curto-circuito na carga.	Realizar estudos de proteção contra a ocorrência de curto-circuito na rede secundária.
Componentes defeituosos e problemas de fabricação	9,70	Deficiência no controle de qualidade de alguns fabricantes.	Intensificar inspeção.
Degradação do invólucro (Figura 1)	5,30	Ocorreu em relés de determinados fabricantes.	Continuar exigindo requisito normalizado para verificação da resistência à radiação ultravioleta (NBR 5123).
Danos mecânicos (vandalismo)	3,50	Fragilidade de material	Padronizar relé com invólucro em policarbonato.
Obs:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15,5% das amostras continuam sob análise na CPFL;</li> <li>• 8,9% das amostras possuíam mais de 10 anos e não foram analisadas, pois considerou-se que já estavam depreciadas.</li> </ul>			



Figura 1 - Degradação do invólucro do relé devido à ação dos raios ultravioleta

## 6.2. Reatores

- a) Bobina em curto e interrompida: Realizou-se ensaio de durabilidade térmica do enrolamento em quatro amostras novas de reatores, conforme NBR 13593 [2], sendo que duas tiveram seus enrolamentos protegidos contra a ação da resina de poliéster. Estas duas amostras foram aprovadas, enquanto que as outras duas não. Desta maneira, recomenda-se especificar proteção dos enrolamentos dos reatores contra a ação da resina de poliéster ou utilizar reatores que não necessitem de resina, que é o caso dos reatores utilizados nas luminárias integradas da CPFL. Outro fator avaliado foi a contribuição do pulso de alta tensão dos ignitores na depreciação dos enrolamentos dos reatores, fato este observado na grande proporção de defeitos envolvendo o enrolamento dos reatores para lâmpadas de vapor de sódio contra o dos reatores para lâmpadas de vapor de mercúrio, sabendo-se que nestes últimos o ignitor não é utilizado. Desta maneira, recomenda-se avaliação do uso do ignitor independente.
- b) Ignitor queimado: Realizou-se ensaio de durabilidade de ignitor em amostras de ignitores, conforme NBR 5123, e foram considerados aprovados. Recomenda-se a realização periódica deste ensaio.

## 6.3. Lâmpadas

Queima de lâmpadas: Para este caso foram estudadas soluções para as três prováveis causas de queima precoce das lâmpadas no campo. A primeira é a queima da lâmpada quando instalada em locais em que o reator está em curto-circuito. A solução é equipar o eletricitista com dispositivo de verificação do estado do reator. A segunda é a variação de tensão existente na rede, que reduz a vida da lâmpada. A solução é a utilização de reatores com tensão nominal próxima à tensão da rede; A terceira é a elevação acelerada da tensão de arco da lâmpada provocada pelas luminárias. A solução é realizar periodicamente nas luminárias o ensaio de aumento da tensão de arco da lâmpada.

<b>Tabela 4 – Análise das causas de defeito e soluções encontradas – Reatores</b>			
<b>Causa do defeito</b>	<b>% da amostra</b>	<b>Resultado Análise</b>	<b>Soluções</b>
Deterioração da isolação do enrolamento do reator	18,50 (VM) (*) 49,30 (VS) (**)	Os defeitos encontrados foram enrolamentos em curto e interrompidos. Dois fatores que provocam a deterioração são: 1. ataque da resina quando o reator é submetido a temperaturas altas; 2. pulso de alta tensão do ignitor.	Especificar reatores com enrolamentos protegidos contra a resina de poliéster ou reatores que não necessitem de resina; Realizar periodicamente os ensaios de verificação da durabilidade térmica do enrolamento do reator (NBR 13593); Padronizar o ignitor independente.
Ignitor queimado	18,20 (VS)	Relacionada com a qualidade do material.	Realizar periodicamente os ensaios de verificação de durabilidade do ignitor (NBR 5123);
Reatores com mais de 10 anos de fabricação	63,00 (VM) 4,50 (VS)	Reatores descartados; considerou-se que os mesmos já estão depreciados.	Nenhuma.
Corrosão acentuada da carcaça	2,50 (VM) 3,80 (VS)	Ocorrência observada apenas na localidade de Praia Grande em reatores com invólucro pintado.	Continuar exigindo requisito de invólucro galvanizado (NBR 13593).
Isolação da fiação cortada	1,20 (VM) 1,50 (VS)	Os cortes na fiação foram provocados durante o transporte do reator ao campo.	Especificar embalagens individuais.
Descarga atmosférica	0,60 (VM) 0,80 (VS)	Índices muito baixos quando comparados com o do relé. Conclui-se que os relés estão absorvendo as descargas atmosféricas.	Estudar proteção contra sobretensão para as redes secundárias.
(*) VM – Vapor de Mercúrio. (**) VS – Vapor de Sódio. Obs: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 14,2% das amostras de reatores VM e 21,9% de reatores VS continuam sob análise na CPFL;</li> <li>• 63,0% das amostras de reatores VM e 3,8% de reatores VS possuíam mais de 10 anos e não foram analisadas, pois considerou-se que já estavam depreciadas.</li> </ul>			

<b>Tabela 5 – Análise das causas de defeito e soluções encontradas – Lâmpadas</b>			
<b>Causa do defeito</b>	<b>% da amostra</b>	<b>Análise</b>	<b>Soluções</b>
Queima de lâmpadas	39,20	Foram analisadas três prováveis causas de queima precoce de lâmpadas: reator em curto-circuito no momento da instalação da lâmpada; variação da tensão da rede; elevação acelerada da tensão de arco provocada pelas luminárias.	Equipar o eletricitista com dispositivo de verificação do estado do reator; Utilizar reatores com tensão nominal próxima à tensão da rede; Realizar periodicamente nas luminárias o ensaio de aumento da tensão de arco da lâmpada.
Falha de componente	21,00	Os principais fabricantes de lâmpadas declararam que estes defeitos já haviam sido identificados e as soluções já foram incorporadas em seus novos modelos de lâmpadas.	Estudar viabilidade técnico-econômica para a utilização de novos modelos de lâmpadas.
Vazamento no tubo de descarga	5,40		
Soquete solto ou rachado (Figura 2)	4,50	Relacionado com a qualidade dos materiais.	Realizar ensaio de torque no soquete de lâmpadas após ciclos de aquecimento.
Descarga atmosférica	4,20	Índice baixo quando comparado com o do relé. Conclui-se que os relés estão absorvendo as descargas atmosféricas.	Estudar proteção contra sobretensão para as redes secundárias.

Obs: 25,7% das amostras continuam sob análise na CPFL.



Figura 2 – Lâmpada com o soquete solto

## 7. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS E VALIDAÇÃO EM LABORATÓRIO

Esta etapa do trabalho contou com a participação dos fabricantes dos materiais envolvidos, em virtude de muitas das soluções adotadas (ver capítulo 6) estarem relacionadas com alterações nas características construtivas dos materiais. Desta maneira, os fabricantes foram consultados para avaliação da possibilidade de incorporar tais soluções em seus produtos.

No caso dos relés fotoelétricos, apenas um fabricante se propôs implementar as alterações em seu produto. Outros dois fabricantes informaram que as alterações solicitadas modificariam de maneira significativa os respectivos projetos, exigindo altos investimentos. No entanto, declararam que já estavam desenvolvendo novos produtos que contemplariam as alterações citadas. E, finalmente, dois

fabricantes construíram protótipos de relés fotoeletrônicos considerando as soluções adotadas. Os protótipos foram submetidos a diversos ensaios e o resultado foi que o relé fotoelétrico alterado e um dos relés fotoeletrônicos foram reprovados, enquanto que o outro relé fotoeletrônico foi considerado aprovado (Figura 3).

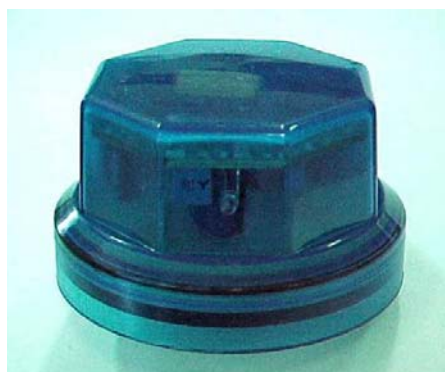


Figura 3 – Protótipo do relé fotoeletrônico

E no caso dos reatores, houve o desenvolvimento de um protótipo de um reator externo com ignitor independente. O protótipo foi submetido a diversos ensaios e considerado aprovado.

## 8. INSTALAÇÃO EM CAMPO DOS PROTÓTIPOS APROVADOS

As instalações em campo dos protótipos aprovados ocorreram durante o mês de abril de 2004. Essas foram acompanhadas de novas reuniões nas mesmas cinco localidades selecionadas para a coleta das amostras. Nessas reuniões, foram apresentadas aos eletricitistas as conclusões do trabalho e a necessidade de acompanhamento do desempenho dos protótipos. A Tabela 6 apresenta as quantidades de protótipos e as localidades onde foram instalados.

<b>Tabela 6 – Protótipos instalados em campo</b>			
<b>Protótipos</b>	<b>Quantidade por localidade</b>		
	<b>Botucatu</b>	<b>Sertãozinho</b>	<b>Sumaré</b>
Relé fotoeletrônico	12	12	12
Reator com ignitor independente	2	3	2

## 9. CONCLUSÃO

As principais causas de defeitos encontradas nos materiais utilizados no sistema de IP da CPFL foram identificadas e analisadas. As soluções envolvem melhorias nos aspectos construtivos dos materiais e criação de novos ensaios e alteração de parâmetros de ensaios já existentes.

Até o momento todos os protótipos instalados estão funcionando corretamente.

Na hipótese de que todos os materiais instalados na rede da CPFL estivessem com as melhorias citadas, estima-se em R\$ 4 milhões o custo anual evitado.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5123/1998 - Relé fotoelétrico e tomada para iluminação - Especificação e método de ensaio.

[2] Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 13593/2003 - Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão.