

Diagnóstico do Estado dos Pára-raios, tipo SiC, em Operação no Sistema de Transmissão

A. G. Kanashiro, P. F. Obase, M. Zanotti Junior, E. W. Citron, IEE/USP

W. R. Bacega, CTEEP

Resumo - Os pára-raios de carboneto de silício (SiC) estão sendo substituídos pelos de óxido de zinco (ZnO), mas um número ainda elevado permanece instalado no sistema elétrico da concessionária. Essa substituição não é imediata pois implica em custos inaceitáveis e dificuldades operacionais. Portanto, é necessário conhecer o estado atual dos pára-raios de SiC, procurando-se priorizar a substituição daqueles mais deteriorados. Dentro deste contexto, foi estabelecido um projeto de pesquisa entre o Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP (IEE/USP) e a CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, tendo-se por objetivo a obtenção de um gerenciamento dos pára-raios de SiC baseado em uma sistemática com critérios mais objetivos. Ressalta-se que as investigações realizadas em laboratório permitiram a identificação de técnicas que resultaram no diagnóstico mais adequado desses pára-raios. Os resultados obtidos no projeto serão utilizados para o gerenciamento dos pára-raios de SiC da concessionária.

Palavras-chave—carboneto de silício, corrente de fuga, degradação, pára-raios, termovisão.

I. INTRODUÇÃO

Os pára-raios de carboneto de silício (SiC) estão sendo gradativamente substituídos pelos de óxido de zinco (ZnO) [1,2,3], mas um número ainda elevado permanece instalado no sistema elétrico da concessionária. Em função dos custos, essa substituição não ocorre a curto-prazo, obrigando a empresa a conviver com os pára-raios de SiC por um período ainda maior, lembrando que muitos estão em operação por mais de 20 a 25 anos. O estabelecimento de uma sistemática de substituição dos pára-raios de SiC requer o conhecimento prévio do seu estado atual, resultando na necessidade de investigações laboratoriais.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa exaustiva no sistema MANTEC, onde os dados dos equipamentos da concessionária são normalmente cadastrados. O IEE/USP desenvolveu ferramentas que, juntamente com os dados do MANTEC, permitiu a realização de várias correlações no banco de dados, considerando-se a idade dos pára-raios, fabricante, classe de tensão, etc.

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido da CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, dentro do Programa de P&D ANEEL.

A. G. Kanashiro, P. F. Obase e M. Zanotti Junior são pesquisadores do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP (arnaldo@iee.usp.br, pfobase@iee.usp.br, zanotti@iee.usp.br).

E. W. Citron é consultor do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP (ewcitron@gmail.com).

W.R. Bacega é engenheiro da CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (wbacega@ctEEP.com.br).

Com base nessas correlações, foram estabelecidos os pára-raios que deveriam ser investigados mais detalhadamente no laboratório. A metodologia de investigação dos pára-raios de SiC baseou-se na realização de ensaios e de inspeção visual dos seus componentes internos. Trinta e cinco pára-raios, classes de tensão 88 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV e 440 kV, de cinco fabricantes, foram considerados dentre aqueles disponibilizados no IEE/USP pela CTEEP.

A avaliação desses pára-raios foi realizada no Laboratório de Alta Tensão do IEE/USP e os seguintes ensaios foram realizados: tensão disruptiva em frequência industrial, tensão disruptiva de impulso atmosférico e medição da corrente de fuga total. Medições de termovisão, tensão de radio-interferência (RIV), resistência de isolamento e de perdas Watts foram também realizadas, procurando-se obter informações que pudessem resultar em um melhor diagnóstico dos pára-raios.

Os resultados obtidos nos ensaios de tensão disruptiva em frequência industrial e de tensão disruptiva de impulso atmosférico foram comparados com os requisitos dos fabricantes ou de normas técnicas. Alguns pára-raios atenderam os requisitos, entretanto, as medições da corrente de fuga, RIV e termovisão indicaram que algum processo de deterioração estava presente. Posteriormente, a inspeção visual nos componentes internos dos pára-raios confirmou a hipótese acima.

A metodologia utilizada na pesquisa permitiu a identificação de técnicas que resultaram em um diagnóstico mais adequado dos pára-raios de SiC. É importante salientar que as investigações tiveram como premissa a consideração de que o pára-raios não poderia ser desenergizado no campo, quando da utilização de alguma técnica de diagnóstico. Nesse aspecto, foi também realizada a análise espectral em alguns pára-raios, procurando-se identificar nessa medição, um diagnóstico quanto à existência de descargas internas no pára-raios e também a possibilidade de sua aplicação nas subestações.

Neste trabalho, serão mostrados os principais resultados obtidos com os pára-raios de 88 kV e de 138 kV. Basicamente, a mesma metodologia foi utilizada nos pára-raios de classes de tensão 230 kV, 345 kV e 440 kV. Os resultados do projeto serão utilizados no gerenciamento dos pára-raios de SiC, com base na elaboração de um programa de substituição desses equipamentos com critérios mais objetivos.

II. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os pára-raios disponibilizados no IEE estavam no almoxarifado da CTEEP e, de modo geral, foram retirados de operação em função da programação de substituição gradativa dos pára-raios de SiC pelos de ZnO, reformas na subestação ou, ainda, devido ao aquecimento anormal detectado durante as medições de termovisão. Os pára-raios de SiC apresentavam, em maior ou menor grau, corrosão nas partes metálicas. Em alguns dos pára-raios de 88 kV foram observados sinais de descargas na porcelana e no flange, indicando a ocorrência de alguma falha no campo. Portanto, antes da realização dos ensaios, várias amostras foram submetidas às medições de resistência de isolamento e de perdas Watts, tendo-se por objetivo verificar, preliminarmente, a sua integridade.

Os pára-raios provenientes da concessionária estiveram em operação por vários anos, entretanto, não foi possível obter um histórico de medições que pudesse indicar alguma tendência ou mudança de comportamento desses equipamentos ao longo do tempo. Deste modo, os únicos parâmetros que poderiam ser utilizados para indicar possíveis variações em relação às suas características originais, eram os valores de tensão disruptiva de frequência industrial e de tensão disruptiva de impulso atmosférico. Esses parâmetros foram utilizados, inicialmente, como referência. Posteriormente, foram realizadas medições da corrente de fuga, termovisão e tensão de radio-interferência, as quais possibilitaram um melhor conhecimento do estado dos pára-raios, obtendo-se, assim, um diagnóstico mais correto.

As Tabelas I e II mostram a relação dos pára-raios investigados e os resultados dos ensaios de tensão disruptiva em frequência industrial e de tensão disruptiva de impulso atmosférico. Os valores obtidos de tensão disruptiva em frequência industrial, para as amostras A1, A2, A3, A4 não atendem os requisitos do fabricante. As amostras A5 e A6 apresentaram comportamento instável a partir de aproximadamente 80 kV e, conseqüentemente, não foi possível determinar os seus respectivos valores de tensão disruptiva em frequência industrial.

TABELA I
PÁRA-RAIOS DE CLASSE DE TENSÃO 88 kV

Fabricante A (identificação da amostra)	Tensão disruptiva em frequência industrial (kV)	Tensão disruptiva de impulso atmosférico (kV)	
		Polaridade positiva	Polaridade negativa
A1	134	182	181
A2	105	171	168
A3	85	178	178
A4	102	172	167
A5	-----	173	172
A6	-----	173	188

Os valores obtidos no ensaio de tensão disruptiva em frequência industrial, para as amostras A7, A8 e A9 (fabricante A), C5 (fabricante C) e D3, D5 (fabricante D), não satisfazem os requisitos do fabricante. Com relação ao ensaio de tensão disruptiva de impulso, todas as amostras apresentaram resultados satisfatórios.

Em seguida, esses pára-raios foram submetidos às medições da corrente de fuga total, visando a obtenção da amplitude da corrente (valor pico a pico) e da componente de terceira harmônica (3^a H). Foi também determinada a defasagem entre a corrente de fuga total e a tensão aplicada ao pára-raios. Após essas medições, foram realizados ensaios de tensão de radio-interferência (RIV) com frequência de medição 500 kHz e impedância de 300 ohms, e de termovisão (em algumas amostras). Nesses ensaios, as medições foram realizadas nas tensões de 51 kV e 80 kV (tensão de operação), considerando-se os pára-raios de 88 kV e 138 kV, respectivamente. A Tabela III mostra os resultados obtidos.

TABELA II
PÁRA-RAIOS DE CLASSE DE TENSÃO 138 kV

Fabricantes A/B/C/D (identificação da amostra)	Tensão disruptiva em frequência industrial (kV)	Tensão disruptiva de impulso atmosférico (kV)	
		Polaridade positiva	Polaridade negativa
A7	193	227	227
A8	170	222	228
A9	178	225	224
B1	244	284	272
B2	246	279	272
B3	242	287	294
B4	233	234	225
B5	237	234	229
B6	241	271	269
B7	232	272	272
C1	226	382	354
C2	219	374	363
C3	224	364	359
C4	218	340	322
C5	188	349	344
C6	233	355	344
D1	274	374	367
D2	273	376	372
D3	268	376	366
D4	271	372	369
D5	262	378	369

As leituras de termovisão foram realizadas após as amostras estarem energizadas por um período de 5 a 7,5 horas, dependendo do fabricante. A amostra foi dividida em 4 lados, sendo realizada uma medição em cada lado. Uma medição corresponde à imagem térmica obtida ao longo da amostra, do topo até a sua base.

Em cada lado, foram determinadas as temperaturas máxima e mínima, sendo posteriormente obtida a diferença (Δt) entre essas temperaturas. O Δt máximo refere-se à maior diferença encontrada. A temperatura máxima refere-se à maior temperatura obtida na amostra.

TABELA III
MEDIÇÃO DA CORRENTE DE FUGA TOTAL, RIV E TERMOVISÃO.

Fabricantes A/B/C/D (identificação da amostra)	Tensão disruptiva em frequência industrial (kV)	Corrente de fuga		Defasagem (graus)	Tensão de radio- interferência (μ V)	Termovisão ($^{\circ}$ C)	
		Valor pico a pico (mA)	3 ^a H (%)			temperatura máxima	Δt máximo
A1	134 (R)	0,325	6,7	89	*	20,8	2,0
A2	105 (R)	0,445	10,1	65	**	21,6	2,0
A3	85 (R)	0,735	24,9	54	11	**	**
A4	102 (R)	1,5	32,9	47	29	**	**
A5	---- (R)	0,669	5,7	39	143	24,2	5,1
A6	---- (R)	0,706	5,0	67	8033	**	**
A7	193 (R)	0,556	2,6	85	*	29,3	7,0
A8	170 (R)	0,52	5,6	70	*	28,8	6,2
A9	178 (R)	0,48	6,8	71	36	**	**
B1	244	0,497	4,8	72	11	**	**
B2	246	0,505	5,7	70	25	28,0	4,6
B3	242	0,764	6,0	77	**	28,3	4,3
B4	233	0,465	6,4	68	25	**	**
B5	237	0,499	6,8	68	10	**	**
B6	241	0,453	8,5	63	25	27,9	4,4
B7	232	0,596	9,4	53	23	**	**
C1	226	0,727	5,6	73	23	**	**
C2	219	0,964	5,8	75	80	**	**
C3	224	0,691	6,8	79	*	19,9	2,6
C4	218	0,684	6,9	68	*	**	**
C5	188 (R)	0,698	7,5	83	4518	19,3	2,8
C6	233	1,62	18	51	6381	32,6	17,6
D1	274	0,764	1,9	89	*	18,1	1,7
D2	273	0,771	2,1	89	*	**	**
D3	268 (R)	0,785	2,1	82	64	18,2	1,9
D4	271	0,785	2,5	84	*	**	**
D5	262 (R)	0,662	3,8	78	90	**	**

(R) amostra reprovada no ensaio de tensão disruptiva em frequência industrial

(*) não há RIV proveniente do pára-raios

(**) ensaio não realizado

A análise espectral foi realizada considerando-se duas etapas de medição, sendo a primeira com a utilização de um transformador de corrente (TC, tipo clamp) colocado no condutor de aterramento do pára-raios e, a segunda, com a utilização de antena. Deste modo, a existência de descargas internas poderia ser detectada através da medição de um sinal de alta frequência conduzido (TC) ou irradiado (antena). O pára-raios foi energizado na tensão de operação (80 kV), sendo o sinal medido através do transdutor (TC ou antena), o qual envia o sinal para um analisador de espectro. A medição foi realizada em várias faixas de frequências do analisador de espectro.

A título de ilustração é mostrado na Figuras 1 e 2 o resultado referente à amostra C5, para as faixas de frequência 300 kHz a 800 kHz e 1 MHz a 3 MHz, respectivamente. Nas figuras, podem ser visualizados, distintamente, o sinal proveniente das descargas na parte interna do pára-raios (maior amplitude) e o sinal proveniente do ambiente (menor amplitude). A amostra C5 é aquela que apresentou RIV elevado, conforme mostrado na Tabela III. As descargas internas provenientes do pára-raios emitem sinais que podem ser verificadas em uma faixa ampla do espectro (de centenas de kHz até dezenas de MHz), o que poderia viabilizar a utilização dessa técnica no campo, uma vez que a medição normalizada de RIV é realizada em frequência fixa (500 kHz ou 1 MHz).

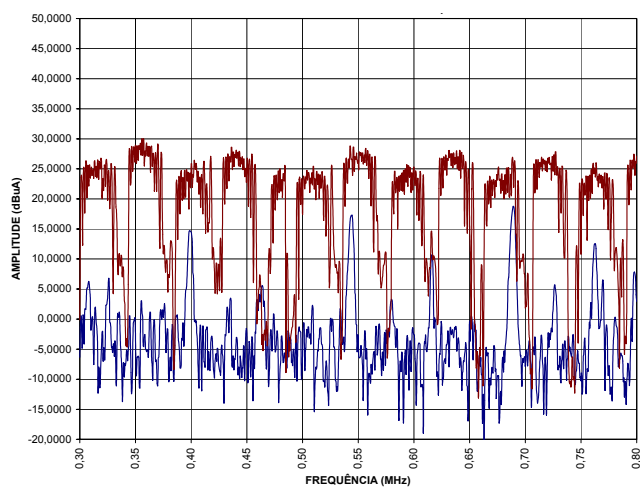


Figura 1. Medição do pára-raios e do ambiente (300 kHz - 800 kHz).

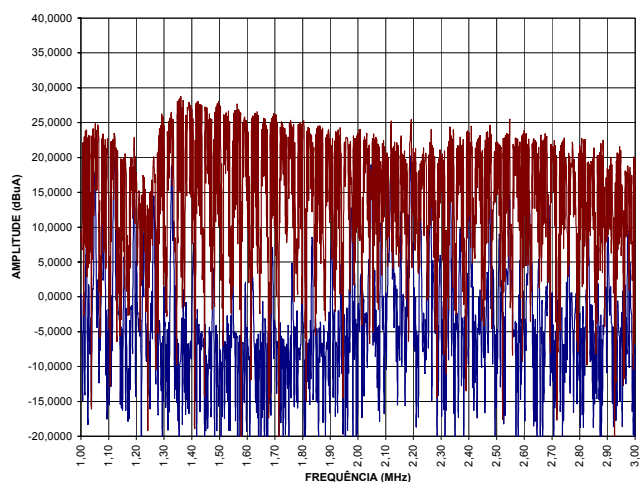


Figura 2. Medição do pára-raios e do ambiente (1 MHz - 3 MHz).

Vários pára-raios foram desmontados, entretanto, serão mostradas somente algumas ilustrações. Durante a desmontagem de alguns pára-raios foi verificada a presença de gases e de bolor, presença de umidade nos módulos inferiores e alguns blocos carbonizados, conforme mostra a Figura 3. Alguns pára-raios apresentaram centelhadores com sinais de descargas, conforme mostra a Figura 4. Notou-se também na inspeção interna dos pára-raios que alguns resistores de equalização estavam danificados.



Figura 3. Blocos carbonizados.



Figura 4. Sinais de ocorrência de descargas no centelhador.

Foi possível constatar também que determinados pára-raios apresentaram componentes internos em melhores condições, indicando que poderiam ainda operar satisfatoriamente, apesar da sua idade. De modo geral, os resultados obtidos nos ensaios e os aspectos verificados durante a desmontagem dos pára-raios forneceram subsídios importantes para as conclusões da pesquisa.

III. DISCUSSÃO

Os pára-raios de classe de tensão 88 kV não estão de acordo com as recomendações do fabricante, entretanto, pode-se constatar que, dentre as amostras A1, A2, A3, A4, o maior valor de tensão disruptiva foi obtido para a amostra A1, a qual apresentou também a menor componente de 3ª H (6,7%) e maior defasagem (89°). A amostra A4, que apresentou a maior componente de 3ª H (32,9%), mostrou também a menor defasagem (47°), além de registrar a maior amplitude da corrente de fuga total (1,5 mA).

Com relação às amostras A5 e A6, foram constatados valores de 3ª H iguais a 5,7 % para a amostra A5, e 5,0 % para a amostra A6, indicando menor distorção harmônica em comparação com as demais amostras. Por outro lado, apresentaram valores menores de defasagens, sendo 39° para a amostra A5, e 67° para a amostra A6.

As amostras A5 e A6 apresentaram valores mais elevados de RIV, com destaque para a amostra A5, a qual pode-se observar um maior aquecimento, conforme obtido no ensaio de termovisão.

Com relação aos pára-raios de classe de tensão 138 kV, as amostras A7, A8 e A9 também não atenderam os requisitos do fabricante, conforme mostra a Tabela II. A amostra A7, que apresentou o valor mais elevado de tensão disruptiva, teve também a menor distorção harmônica (2,6 %) e maior defasagem (85°). Esse mesmo comportamento foi observado nos pára-raios de classe de tensão 88 kV do mesmo fabricante, conforme citado anteriormente. Não foram encontrados resultados significativos nos ensaios de RIV. Os resultados de termovisão foram similares para as duas amostras.

As amostras do fabricante B apresentaram resultados satisfatórios nos ensaios de tensão disruptiva. Os valores de amplitude e de distorção da corrente de fuga são de mesma ordem de grandeza, conforme pode ser observado na Tabela III. Entretanto, B6 e B7 diferenciam-se das demais por terem apresentados valores maiores de distorção, sendo iguais a 8,5 % e 9,4 %, respectivamente. Foram obtidos também valores menores de defasagens, sendo iguais a 63° e 53°, respectivamente. Esses resultados podem indicar que estão em um processo de deterioração maior do que as demais amostras desse fabricante. Não foram encontrados resultados significativos de RIV e de termovisão.

Com exceção da amostra C5, todas as outras amostras atenderam os requisitos do fabricante C quanto aos valores de tensão disruptiva. Essa amostra apresentou componente de 3ª H igual a 7,5 %, entretanto, a defasagem foi igual a 83°. A amostra C6 apresentou amplitude da corrente de fuga igual 1,62 mA, distorção de 18 % e defasagem igual a 51°, o que pode representar deterioração dos seus componentes internos, embora tenha sido aprovada no ensaio de tensão disruptiva. As amostras C5 e C6 apresentaram valores elevados de RIV. O ensaio de termovisão acusou aquecimento elevado somente para a amostra C6. Nesse ensaio, a amostra C5 teria sido aprovada na medição de termovisão.

Para o fabricante D, pode também ser observado que a amostra que apresentou maior valor de tensão disruptiva em frequência industrial (amostra D1), teve a menor distorção da corrente de fuga e maior defasagem. Por outro lado, a amostra com menor valor de tensão disruptiva (amostra D5) apresentou maior distorção e menor defasagem. Não foram encontrados resultados significativos de RIV e de termovisão.

IV. CONCLUSÕES

Com base nos ensaios de laboratório, foi observado que a existência de degradação no pára-raios poderia ser detectada em função de:

- valores elevados da corrente de fuga e da distorção harmônica (3ª H);
- menores valores de defasagem entre a corrente de fuga total e a tensão aplicada ao pára-raios;
- valores elevados de RIV;
- aquecimento acentuado.

O diagnóstico deve ser feito com cuidado, pois foi verificado no laboratório que o pára-raios pode estar em processo de deterioração e ser aprovado na medição de termovisão e no ensaio de tensão disruptiva em frequência industrial. Nesse caso, foi detectado valor elevado de RIV, indicando a presença de descargas internas. A componente de 3ª H da corrente de fuga foi ligeiramente maior em comparação com as medições das demais amostras do mesmo fabricante. Esse fato demonstra que somente uma técnica de diagnóstico não é suficiente para uma avaliação correta do pára-raios.

Portanto, juntamente com a medição de termovisão, a qual já é realizada pela concessionária, está sendo recomendada a implementação de procedimentos para as medições da corrente de fuga e de RIV (análise espectral), procurando-se obter informações mais consistentes do estado dos pára-raios de SiC. Deve ser ressaltado que essas conclusões levaram em consideração a obtenção de um diagnóstico do estado do pára-raios de SiC, sem a necessidade de desenergizá-lo na subestação.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores Clóvis Y. Kodaira, Celso Pereira Braz e Welson Bassi, pelas importantes sugestões feitas durante as atividades no laboratório de alta tensão, aos pesquisadores Kleiber T. Solleto, pela valiosa contribuição no ensaio de análise espectral, e Altair Severiano Jesus pelas orientações na desmontagem dos pára-raios.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Grzybowski, G. Gao, "Evaluation of 15-420 kV substation lightning arresters after 25 years of service", in Proceedings of the Southeastcon '99, 1999, p.333 – 336, March 1999.
- [2] W. McDermid, "Reliability of Station Class Surge Arresters", in Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp 320-322, April 2002.
- [3] M. Darveniza, M.; R. Mercer and R. M. Watson, "An assessment of the reliability of in-service gapped silicon-carbide distribution surge arresters", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, nº4, pp 1789-1797, October 1996.