

Avaliação de desempenho de isoladores cerâmicos e poliméricos no nordeste brasileiro por meio de medidas *on line* de corrente de fuga e classificação da severidade da contaminação local.

G. C. Silva, F. Piazza, P. C. Inone, K. F. Portella (LACTEC); M. S. Cabussu, D. P. Cerqueira (COELBA)

Resumo - Na região Nordeste do Brasil tem sido observado a ocorrência do fenômeno de descarga disruptiva por contaminação em isoladores cerâmicos, principalmente em redes de distribuição localizadas em regiões próximas à orla marítima. Com o intuito de estudar alternativas para melhoria do desempenho da isolação e redução destas ocorrências foram construídas duas redes piloto: uma localizada em região afastada da orla e outra localizada a 500 m da orla. Nestas redes piloto foram instaladas diferentes tecnologias de isoladores cerâmicos e poliméricos, os quais tiveram seu desempenho avaliado durante o período de um ano por meio de medidas *on-line* de corrente de fuga. Os resultados mostraram que os isoladores poliméricos tiveram desempenho superior aos cerâmicos. Ainda, a severidade da contaminação local foi avaliada por meio de coletores direcionais de poeira. Com aplicação desta metodologia foi possível classificar a severidade da contaminação nos locais onde as redes piloto foram instaladas.

Palavras-chave - contaminação, corrente de fuga, descarga disruptiva, isoladores cerâmicos, isoladores poliméricos.

I. INTRODUÇÃO

Redes de distribuição aéreas (RDs) são amplamente utilizadas no Brasil para transmitir energia elétrica aos centros consumidores. O bom funcionamento destas redes depende em grande parte do adequado desempenho da isolação. Os isoladores mais utilizados nas RDs são os isoladores tipo pino, bastão e disco. Todavia, parte das concessionárias nacionais está começando a substituir, em determinadas aplicações, os isoladores tipo pino pelos isoladores tipo pilar devido as suas vantagens, que são: (i) extensão da tensão de operação, (ii) menor probabilidade de perfuração, (iii) baixíssima taxa de rádio-interferência, (iv) possibilidade de substituir as cruzetas de postes ou torres e (v) elevada suportabilidade à esforços mecânicos.

Os materiais dielétricos utilizados na produção de isoladores são as cerâmicas (porcelana e vidro) e os polímeros (borracha de silicone – SIR, borracha de etileno-propileno-dieno – EPDM, blendas SIR/EPDM, entre outros). A porcelana e o vidro são materiais que têm boas propriedades isolantes, são inertes para a maioria dos compostos químicos e tem elevada resistência ao calor resultante de arcos elétricos. Todavia, são densos e frágeis, o que torna os isoladores cerâmicos e de vidro pesados e, ainda, suscetíveis ao vandalismo e a quebra durante o manuseio [1]. Os isoladores poliméricos têm se apresentado como uma alternativa aos isoladores cerâmicos pelas seguintes vantagens: baixo peso, maior relação resistência mecânica/peso, resistência ao vandalismo, superior desempenho em ambientes de elevada contaminação, particularmente os isoladores de borracha de silicone e tensão suportável comparável ou melhor do que os cerâmicos. Por outro lado, os polímeros são mais propensos a deterioração pela atividade de descargas, compostos químicos e elementos naturais como a radiação ultravioleta, umidade e temperatura [1, 2].

Engenheiros da COELBA, concessionária responsável pela distribuição de energia no Estado da Bahia, tem relatado casos de desligamentos em alimentadores de 34,5 kV, localizados próximos à orla marítima, devido ao fenômeno de descarga disruptiva por contaminação em isoladores cerâmicos. Para minimizar estas ocorrências lavagens frequentes são realizadas nos isoladores cerâmicos e experiências com diferentes tecnologias de isoladores (pilar cerâmico com diferentes distâncias de escoamento, pilar híbrido, entre outros) têm sido realizadas.

O fenômeno de descargas disruptivas por contaminação ocorre pela ação conjunta de acúmulo de contaminantes na superfície dos isoladores, umedecimento e corrente de fuga. Para um determinado nível de contaminação e tensão elétrica a descarga disruptiva dependerá do projeto e do material do isolador. No processo de acúmulo de contaminantes as principais forças que agem em uma partícula próxima a um isolador energizado são a gravidade, o vento e o campo elétrico. Destes, o fator dominante é o vento. Há muitos tipos de contaminantes no interior, sendo o mais comum a areia

Este trabalho foi suportado pela ANEEL, COELBA e LACTEC.

G. C. Silva: LACTEC, BR 116 – km 98 – s/n, Curitiba – Paraná-Brasil (e-mail: cunha@lactec.org.br);

(SiO₂). Em regiões próximas à orla marítima o sal (NaCl) é o contaminante principal. O umedecimento pode ocorrer por névoa ou chuva. O umedecimento por névoa ocorre pelo processo de condensação, que depende da diferença de temperatura entre a superfície do isolador e o ambiente. O vapor d'água condensa na superfície do isolador quando a temperatura superficial é menor do que a ambiente. A condensação cessa quando a diferença de temperatura desaparece. Já a chuva, dependendo de sua intensidade, pode levar ao umedecimento completo da superfície [1].

Uma importante diferença entre os materiais cerâmicos e poliméricos usados em isoladores é a sua molhabilidade. Enquanto os isoladores de porcelana e de vidro são facilmente molháveis (hidrofílicos), os materiais poliméricos resistem à formação de um filme de água em sua superfície, isto é, são hidrofóbicos [1, 2]. A resistência superficial de um isolador com uma superfície hidrofóbica é maior do que a de uma superfície hidrofílica [1]. A borracha de silicone possui uma propriedade única, denominada de capacidade de recuperação de hidrofobicidade, que lhe confere desempenho superior frente aos demais polímeros. Esta recuperação ocorre pela difusão de um fluido de baixo peso molecular do interior do volume da borracha de silicone para a superfície durante períodos secos. Este fluido possui baixa energia superficial e não permite que as gotas de água se espalhem na superfície do isolador, prevenindo assim o desenvolvimento da corrente de fuga [3, 4].

A corrente de fuga que passa na superfície do isolador causa o aquecimento da camada eletrolítica. A água é evaporada nesta região, formando bandas secas. Por sua vez, a formação de bandas secas altera de forma significativa a distribuição de de tensão ao longo do isolador. A maior parte da tensão fica ao redor das bandas secas, levando a uma concentração de campo elétrico nestas localidades. Este campo elétrico é superior à suportabilidade da banda seca, o que leva a ocorrência de arcos ao redor desta. Este arco de corrente é limitado pela resistência superficial da isolação e, desta forma, tende a se extinguir. Todavia, sob certas condições, entre as quais, baixa resistência superficial causada por elevada contaminação, o arco de banda seca pode alongar o suficiente para ocasionar a descarga disruptiva [1, 5, 6].

Com o intuito de avaliar o desempenho de diferentes tipos de isoladores e propor uma alternativa para a melhoria da isolação dos alimentadores de 34,5 kV da COELBA, particularmente aqueles localizados próximos à orla marítima, foram construídas duas redes piloto, sendo uma localizada em região afastada da orla (SE Sauípe) e outra localizada em região próxima à orla (SE Pituba). Nestas redes piloto foram instalados diferentes tipos de isoladores, cerâmicos e poliméricos, os quais foram avaliados por meio de medidas *on-line* de corrente de fuga. A corrente de fuga é uma boa impressão digital da condição superficial do isolador. Este parâmetro tem sido utilizado para avaliar o desempenho de isoladores com diferentes dielétricos – SIR, EPDM, blends de SIR-EPDM – em laboratório e em campo [7-10]. Ainda, para classificar a severidade da contaminação dos locais de instalação das redes piloto foram utilizados coletores direcionais de poeira (DDDGs – *Directional Dust Gauges*) [11]. O método da coleta por meio DDDGs, inicialmente

desenvolvido para a quantificação de partículas de poeira no ar, tem sido aplicado com sucesso por pesquisadores do Nirro Research Institute (Irã) [12] e por pesquisadores da ESKOM (África do Sul) [11] para avaliação a severidade da contaminação local. Os resultados das medidas utilizando DDDGs têm sido correlacionados com os métodos tradicionais de determinação da severidade da contaminação local (ESDD e NSDD), viabilizando seu uso como ferramenta para seleção de materiais da rede de distribuição elétrica [11, 12].

II. EXPERIMENTAL

Foram construídas duas redes piloto para avaliação de diferentes tipos de isoladores, classe 34,5 kV, sendo uma localizada em região afastada da orla – SE Sauípe – e outra localizada a 500 m da orla – SE Pituba. Na Figura 1, encontra-se ilustrada a configuração da rede piloto montada na SE Sauípe.



Fig. 1. Rede piloto localizada na SE Sauípe.

Os isoladores cerâmicos e poliméricos, classe 34,5 kV (Figura 2), instalados nas redes piloto, foram:

- A - isolador compósito, formado por cabeça metálica, núcleo de resina com fibra de vidro e revestimento de silicone;
- B - isolador híbrido, formado por cabeça e corpo cerâmicos e revestimento de silicone;
- C - isolador pilar cerâmico, com 8 saias;
- D - isolador pilar cerâmico, com 10 saias; e
- E - isolador cerâmico, com perfil anti-poliuição.

Na Tabela 1, encontram-se apresentadas as características como as distâncias de escoamento e de arco, e o peso e a altura dos isoladores instalados nas redes piloto.

TABELA I
CARACTERÍSTICAS DOS ISOLADORES

Isolador	Distância de escoamento (mm)	Distância de arco (mm)	Peso (kg)	Altura (mm)
A	974	356	3,2	39,7
B	940	330	5,6	37
C	795	345	11	37,5

D	1130	390	15,1	43,5
E	700	390	10,9	23,5

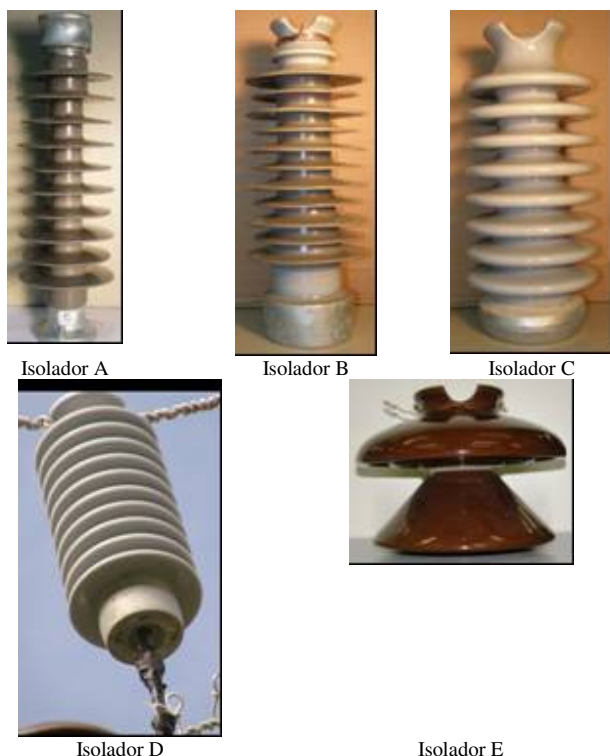


Fig. 2. Isoladores classe 34,5 kV instalados nas redes piloto.

A. Corrente de fuga

O parâmetro utilizado para a avaliação do desempenho dos isoladores cerâmicos e poliméricos foi a corrente de fuga. Para tanto foi desenvolvido no LACTEC um sistema para medição de corrente de fuga, o qual está representado de forma esquemática na Figura 3. O barramento é energizado com a tensão fase-terra de 20 kV. A corrente de fuga que passa por cada um dos isoladores é registrada por uma unidade de comutação/aquisição de dados Agilent, modelo 34970 A. Os registros de corrente de fuga são armazenados na memória de um computador. Um modem 3G conectado ao microcomputador permite o acesso remoto, via internet, dos dados armazenados.

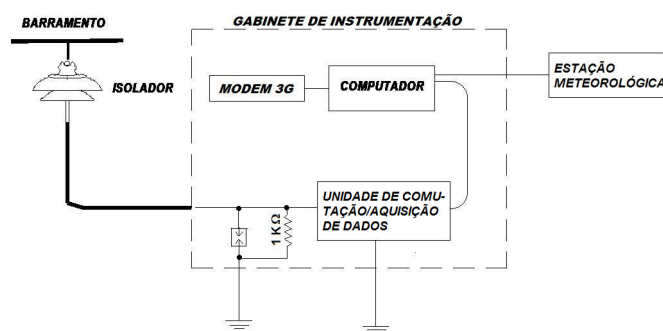


Fig. 3. Representação esquemática do sistema de medição *on-line* de corrente de fuga.

B. Monitoramento da contaminação

Para classificar a severidade da contaminação local onde as redes piloto estão instaladas foram utilizados coletores direcionais de poeira (*DDDGs*). A Figura 4a mostra um *DDDG* instalado em um poste de iluminação. O *DDDG* consiste de quatro tubos de PVC, com 100 mm de diâmetro e 800 mm de comprimento, com as extremidades fechadas. Os tubos possuem uma abertura lateral, com 350 mm de comprimento e 40 mm de largura, por meio da qual são captadas partículas de material em suspensão na atmosfera local. Os dispositivos foram instalados a uma altura aproximada de 3 m, em postes de energia ou em postes de iluminação. Na instalação, os tubos foram fixados com suas aberturas direcionadas para os quatro pontos cardeais (N, S, L e O). A coleta do material captado nos dispositivos foi feita por meio de lavagem, com água destilada, das paredes internas dos tubos, com auxílio de um aspersor manual (Figura 4b). A água da lavagem foi transferida para um béquer de 2 l (Figura 4c) e, finalmente, para um frasco plástico com tampa (Figura 4d).

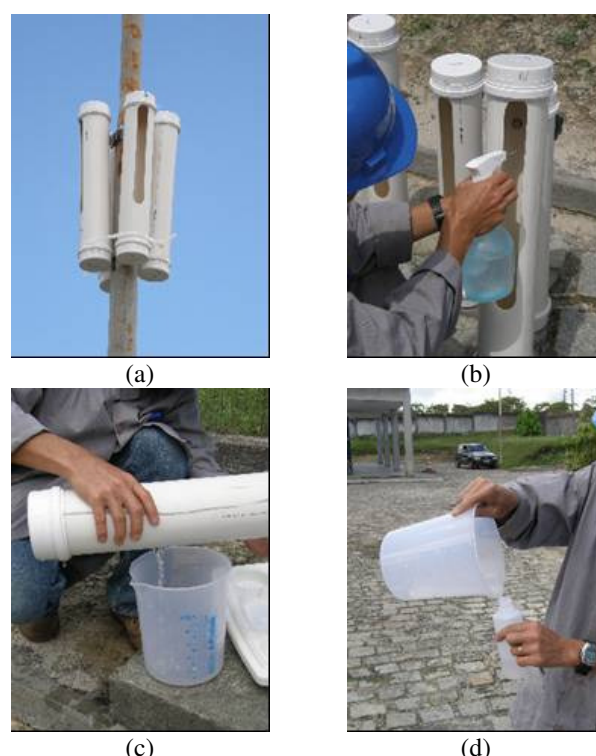


Fig. 4. Monitor de contaminação (DDG): (a) montagem, (b) lavagem dos tubos, (c) transferência da água de lavagem, (d) transferência da água de lavagem para um frasco com tampa.

No laboratório, o conteúdo de cada frasco foi misturado com água destilada em quantidade suficiente para completar o volume de 500 ml. As condutividades das soluções obtidas foram medidas com um condutivímetro. Os valores medidos

foram normalizados para um período de 30 dias, utilizando-se a Equação (1):

$$k_{30} = \frac{k}{n} \cdot 30 \quad (1)$$

Onde:

k = condutividade da solução de 500 ml;

k_{30} = condutividade normalizada para 30 dias;

n = número de dias desde a coleta anterior.

Na Tabela 2, encontram-se apresentados os critérios utilizados por Vosloo *et al.* [11] para a classificação da agressividade ambiental a partir dos resultados obtidos com os *DDGs*.

TABELA II
CRITÉRIOS UTILIZADOS POR VOSLOO *et al* [11].

Índice de poluição, $\mu\text{S}/\text{cm}$		Classificação
Média de vários meses	Máxima observada	
0 a 75	0 a 175	I – leve
76 a 200	176 a 500	II – média
201 a 350	501 a 850	III – pesada
> 350	> 850	IV – muito pesada

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Corrente de fuga

Nas Figuras 5 e 6 estão apresentados os valores de corrente de fuga, na forma gráfica, obtidos no período de 14 a 27 de agosto de 2009, no conjunto de isoladores de 34,5 kV instalados na SE Sauípe e na SE Pituba.

Pode ser observado que, em geral, a corrente de fuga varia ciclicamente, atingindo os menores valores no meio do dia e passando por valores máximos durante a madrugada. Esta variação cíclica é decorrência da variação na umidade relativa do ar, que também varia ciclicamente ao longo do dia, passando por valores mínimos no meio do dia e por valores máximos durante a madrugada.

Ainda, a corrente de fuga de todos os isoladores apresentam o mesmo padrão, diferindo apenas na magnitude. Isto é um indício de que o comportamento dos isoladores é diretamente influenciado pelas condições atmosféricas.

Os menores valores de corrente de fuga foram obtidos para os isoladores A e B, que são os isoladores poliméricos (compósito e híbrido). Pode ser observado que para estes isoladores a corrente de fuga é mais estável ao longo do tempo.

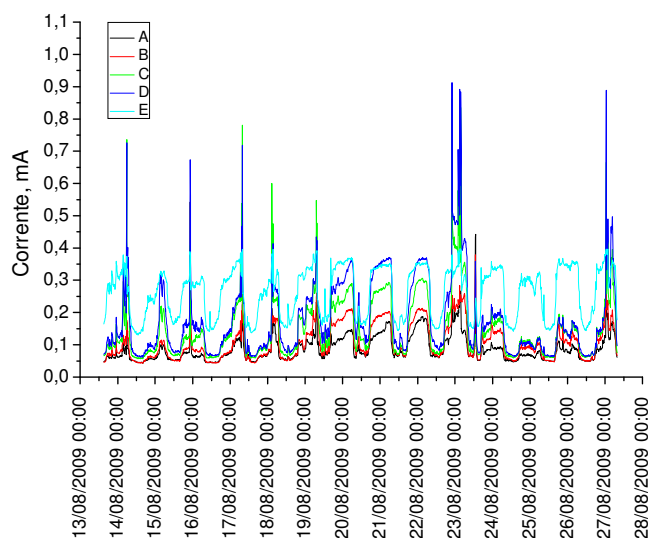


Fig. 5. Corrente de fuga, no período de 14 a 27 de agosto de 2009, obtida no conjunto de isoladores instalados na SE Sauípe.

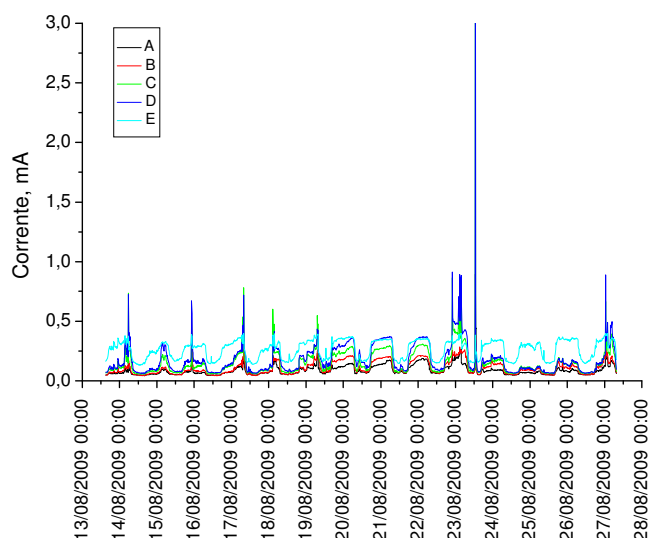


Fig. 6. Corrente de fuga, no período de 14 a 27 de agosto de 2009, obtida no conjunto de isoladores instalados na SE Pituba.

B. Monitoramento da contaminação

Foram efetuadas doze coletas nos *DDGs*, no período de novembro de 2008 a outubro de 2009. A média aritmética dos quatro valores obtidos em separado (N, S, L e O) foi definida como índice de poluição e está indicada na Tabela 3, para cada localidade onde os *DDGs* foram instalados. A classificação da severidade da contaminação local foi realizada a partir dos critérios definidos por Vosloo *et al* [11].

TABELA III
SEVERIDADE DA CONTAMINAÇÃO LOCAL

Localidade	Índice de poluição, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Classificação
SE Sauípe	45	leve
SE Pituba	110	média

IV. CONCLUSÃO

O monitoramento contínuo e *on line* da corrente de fuga em isoladores por períodos de tempo prolongados é um excelente método para avaliação de desempenho de isoladores, tendo em vista que ao longo destes períodos ocorrerá toda a sorte de eventos possíveis, de forma que comportamentos peculiares eventuais poderão ser evidenciados.

No período avaliado os isoladores poliméricos – compósito e híbrido – tiveram melhor desempenho que os isoladores cerâmicos. Os isoladores poliméricos são muito mais leves que os cerâmicos, o que facilita o transporte, manuseio e instalação, além de não sobrecarregar as estruturas de sustentação. Além disto, devido à elevada hidrofobicidade do revestimento de borracha de silicone, estes isoladores dispensam as atividades de lavagem periódica, reduzindo os custos de manutenção da concessionária.

O monitoramento da contaminação por meio de *DDDGs* mostrou-se eficaz para a classificação da severidade da contaminação das regiões avaliadas. Este método tem como vantagem principal permitir a avaliação da contaminação local sem o desligamento da rede e sem a retirada de isoladores da linha, além de ser simples, de baixo custo e de fácil execução. Este método constitui uma importante ferramenta para seleção de isoladores. Apesar da maior agressividade ambiental da SE Pituba não foi observada diferença significativa na magnitude da corrente de fuga medida nas duas redes piloto.

V. REFERÊNCIAS

- [1] R. S. Gorur, E. A. Cherney and J. T. Burnham, *Outdoor Insulators*, USA: Ravi Gorur Inc, 1999.
- [2] R. Hackam, “Outdoor HV Composite Polymeric Insulators”, *IEEE TDEI*, vol. 6, no 5, pp. 557-585, 1999.
- [3] J. P. Reynders, I. R. Jandrell and S. M. Reynders, “Review of Aging and Recovery of Silicone Rubber Insulation of Outdoor Use”, *IEEE TDEI*, vol. 6, no 5, pp. 620-631, 1999.
- [4] M. Ali and R. Hackam, “Recovery of Hydrophobicity of HTV Silicone Rubber After Accelerated Aging in Saline Solutions”, *IEEE TDEI*, vol. 16, no 3, pp. 842-852, 2009.
- [5] A. H. El-Hag, “Leakage current characterization for estimating the conditions of non-ceramic insulators surfaces”, *Electric Power Systems Research*, vol. 77, pp. 379-384, 2007.
- [6] H. Gao, Z. Jia, Y. Mao, Z. Guan and L. Wang, “Effect of Hydrophobicity on Electric Field Distribution and Discharges Along Various Wetted Hydrophobic Surfaces”, *IEEE TDEI*, vol. 15, no 2, pp. 435-443, 2008.
- [7] M. A. R. M. Fernando, “Leakage Currents on Non-ceramic Insulators and Materials”, *IEEE TDEI*, vol. 6, no 5, pp. 660-667, 1999.
- [8] F. Chunhua, W. Jianguo, L. Yang, C. Junjie, X. Nianweng, S. Zhen and Z. Mi, “Composite Insulators Leakage Current Measurement System Based on Lab View”, *Int. Conference on HV Engineering and Application*, pp. 113-115, 2008.
- [9] S. Kumagai, B. Marungri, H. Shinokubo, R. Matsuoka and N. Yoshimura, “Comparison of LC and Aging of Silicone Rubber and Porcelain in both Field and Salt-Fog Tests”, *IEEE TDEI*, vol. 13, no 6, pp. 1286-1302, 2006.
- [10] S. Sebo and T. Zhao, “Utilization of Fog Chambers for Non-ceramic Outdoor Insulator Evaluation”, *IEEE TDEI*, vol. 6, no 5, pp. 676-687, 1999.
- [11] O. L. Vosloo, F. Elgenbrecht, N. Heger, J. P. Holtzhauser and J. M. Strauss, “Insulator Pollution Monitoring Program for Namibia”, *IEEE AFRICON*, 2007.
- [12] M. R. Shariati, A. R. Maradian, M. Rezaei and S. J. A. Vaseai, “Providing the Pollution Map in South West Provinces of Iran Based on DDG Method”, *IEEE Transmission and Distribution Conference & Exhibition*, 2005.