

Avaliação do desempenho de isoladores cerâmicos e poliméricos classe 34,5 kV na cidade de Salvador, em regiões de baixa e elevada agressividade ambiental.

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

Resumo – A COELBA tem relatado casos de desligamentos em alimentadores de 34,5 kV, localizados próximos à orla marítima, devido ao fenômeno de descarga disruptiva por contaminação. Com o intuito de estudar alternativas para melhoria do desempenho da isolação e minimização destas ocorrências 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, que tiveram seu desempenho avaliado por meio de medidas *on-line* de corrente de fuga. As medidas de corrente de fuga mostraram que os isoladores poliméricos – compósitos e híbridos – têm desempenho superior aos cerâmicos em locais próximos e afastados da orla. Ainda, a contaminação local foi quantificada por meio de monitores de contaminação (DDGs). Com esta metodologia foi possível classificar de forma quantitativa o grau de agressividade ambiental 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, entre as quais: (i) extensão da tensão de operação, (ii) são impermeáveis, (iii) apresentam baixíssima taxa de rádio-interferência, (iv) possibilidade de substituir as cruzetas de postes ou torres e (v) elevada suportabilidade aos esforços mecânicos.

Os materiais dielétricos utilizados na produção de isoladores são a porcelana, o 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 e de vidro pelas seguintes vantagens: baixo peso, maior razão resistência

mecânica/peso, resistência ao vandalismo, superior desempenho em ambientes de elevada contaminação (particularmente os isoladores com revestimento 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].

A COELBA tem relatado casos de desligamentos em alimentadores de 34,5 kV, localizados próximos à orla marítima, devido ao fenômeno de descarga disruptiva por contaminação. Para minimizar estas ocorrências lavagens frequentes são realizadas nos isoladores cerâmicos e de vidro e experiências com diferentes alternativas 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 grau de contaminação e tensão a descarga disruptiva dependerá do projeto e do material do isolador. No processo de acumulação 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 campo, sendo o mais comum a areia (SiO_2). 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 na medida em que a temperatura superficial seja 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 inorgânicos (porcelana e vidro) e os orgânicos (polímeros) 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 borracha de silicone também possui uma propriedade única, denominada de capacidade de recuperação de hidrofobicidade, que lhe confere desempenho superior frente aos demais polímeros [3, 4]. A resistência superficial de um isolador com uma superfície hidrofóbica é maior do que a de uma superfície hidrofílica. A redução da resistência superficial sob condição de umedecimento é uma função da solubilidade do

contaminante [1]. A corrente de fuga 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 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].

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, blendas de SIR-EPDM – em laboratório e em campo [6-10]. Ainda, para quantificar o grau de agressividade ambiental do local de instalação das redes piloto foram utilizados monitores de contaminação, denominados calibradores direcionais de poeira (*DDGs* – *Directional Dust Gauges*) [11].

II. DESENVOLVIMENTO 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 em região próxima a orla – SE Pituba. Na Figura 1, encontra-se ilustrada a configuração da rede piloto montada na SE Sauípe.



Figura 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-fog”.

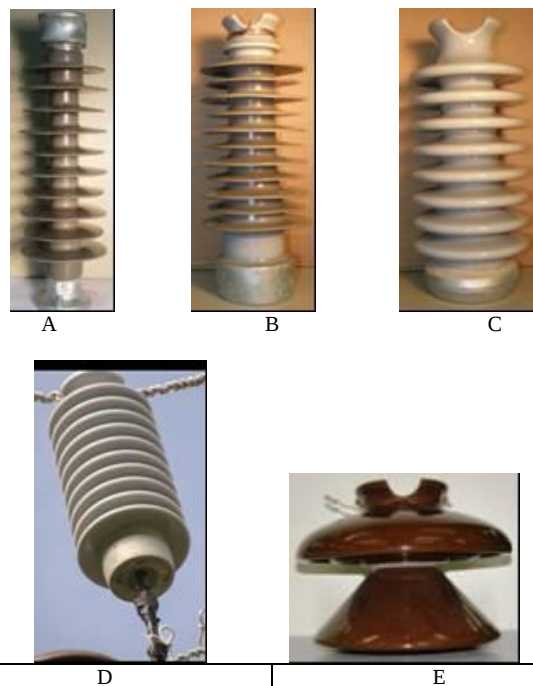


Figura 2. Isoladores classe 34,5 kV instalados nas redes piloto.

Na Tabela 1, encontram-se apresentadas algumas características dos isoladores instalados nas redes piloto, tais como: distância de escoamento e de arco, peso e altura.

Tabela 1. Características dos isoladores.

Isolador	Distância de escoamento (mm)	Distância de arco (mm)	Peso (kg)	Altura (cm)
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

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 está energizado em 34,5 kV. A corrente de fuga que passa por cada um dos isoladores é registrada por um medidor. Os registros de corrente de fuga são armazenados na memória de um computador e enviados via modem para estações remotas localizadas no LACTEC, na cidade de Curitiba.

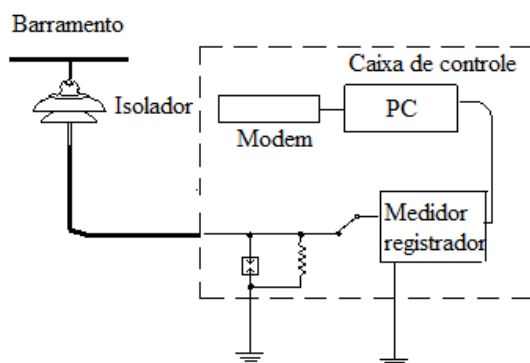


Figura 3. Representação esquemática do sistema de medição *on-line* de corrente de fuga.

B. Monitoramento da contaminação

Para quantificar o grau de agressividade ambiental do local de instalação das redes piloto foram utilizados monitores de contaminação (DDGs). A adoção desta metodologia foi feita com base no trabalho realizado por Vosloo *et al.* [11]. Cada DDG 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 Figura 4, encontra-se mostrado um DDG instalado em um poste 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 da lavagem, com água destilada, das paredes internas dos tubos, com auxílio de um aspersor manual. A água da lavagem foi transferida para um bquer de 2 l e, finalmente, para um frasco plástico com tampa.



Figura 4. Monitor de contaminação – DDG.

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 assim 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 2. 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

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.

Das Figuras 5 e 6 pode ser observado que os menores valores de corrente de fuga foram obtidos para os isoladores A e B, que são, respectivamente, os isoladores compósito e híbrido. Também, pode ser observado que para estes isoladores a corrente de fuga é mais estável ao longo do tempo. Por outro lado, os isoladores cerâmicos apresentaram valores de corrente de fuga superiores aos isoladores poliméricos e com comportamento que varia de forma significativa ao longo do dia.

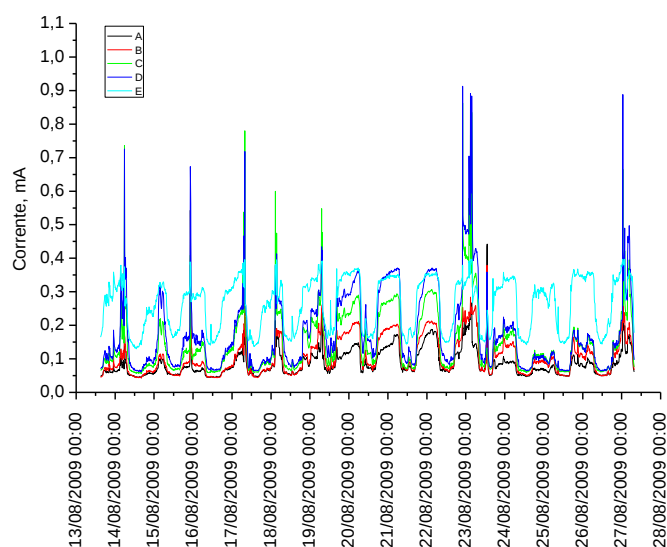


Figura 5. Corrente de fuga, no período de 14 a 27 de agosto de 2009, obtida no conjunto de isoladores instalados na SE Sauípe.

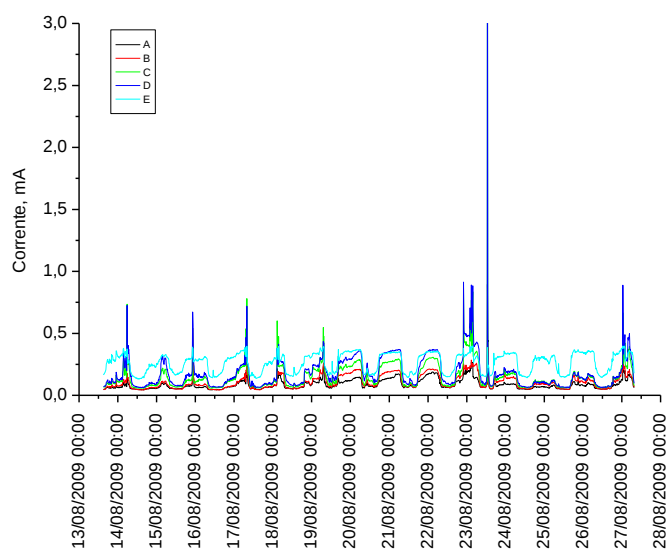


Figura 6. SE Pituba: corrente de fuga no período de 14 a 27 de agosto de 2009.

B. Monitoramento da contaminação

Em cada DDG foram efetuadas doze coletas, 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 do nível de agressividade ambiental foi realizada a partir dos critérios definidos por Vosloo *et al* [5].

Tabela 3. Resultados dos DDGs.

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

Pode ser observado que a SE Sauípe foi classificada como tendo agressividade ambiental leve e a SE Pituba como tendo agressividade ambiental média. A intuição inicial de que a SE Sauípe apresentaria menor agressividade ambiental em relação à SE Pituba foi confirmada experimentalmente.

IV. CONCLUSÃO

O sistema de medida *on-line* de corrente de fuga permite o acesso remoto às estações piloto, o que possibilita avaliar o comportamento dos isoladores 24 h por dia.

A corrente de fuga é um parâmetro importante para avaliação de desempenho de isoladores. Foi mostrado que os isoladores poliméricos – compósito e híbrido – tiveram melhor desempenho em relação aos isoladores cerâmicos.

Os isoladores poliméricos são muito mais leves que os cerâmicos (de 6 a 8 kg), o que facilita o transporte, manuseio e instalação. Além disto, a não necessidade de lavagem dos isoladores devido à sua propriedade de elevada hidrofobicidade reduz os custos de manutenção da concessionária.

O monitoramento da contaminação por meio de DDGs mostrou-se eficaz para a classificação da agressividade ambiental 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 auxiliar na escolha adequada de isoladores em função do grau de agressividade ambiental local, podendo facilmente ser implantado em outras localidades, o que permite o mapeamento de agressividade ambiental de uma região, cidade ou estado.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Instituições COELBA, ANEEL e CNPq pelo apoio financeiro, de infraestrutura e de fomento para a realização deste trabalho de pesquisa.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] GORUR, R. S.; CHERNEY, E. A.; BURNHAM, J. T. **Outdoor Insulators**. USA: Ravi Gorur Inc., 1999.
- [2] HACKAM, R. Review - Outdoor HV Composite Polymeric Insulators. **IEEE TDEI**, v. 6, n. 5, p. 557-585, 1999.
- [3] REYNDERS, J. P.; JANDRELL, I. R.; REYNDERS, S. M. Review of Aging and Recovery of Silicone Rubber Insulation of Outdoor Use. **IEEE TDEI**, v. 6, n. 5, p. 620-631, 1999.
- [4] KIM, J.; CHAUDHURY, M. K.; OWEN, M. J. Hydrophobicity Loss and Recovery of Silicone HV Insulation. **IEEE TDEI**, v. 6, n. 5, p. 695-702, 1999.
- [5] EL-HAG, A. H. Leakage current characterization for estimating the conditions of non-ceramic insulators surfaces. **Electric Power Systems Research**, v. 77, p. 379-384, 2007.
- [6] FERNANDO, M. A. R. M. Leakage Currents on Non-ceramic Insulators and Materials. **IEEE TDEI**, v. 6, n. 5, p. 660-667, 1999.
- [7] FERNANDO, M. A. R. M.; GUBANSKI, S. M. Leakage Current Patterns on Contaminated Polymeric Surfaces. **IEEE TDEI**, v. 6, n. 5, p. 688-694, 1999.
- [8] CHUNHUA, F. et al. Composite Insulators Leakage Current Measurement System Based on Lab View. **Int. Conference on HV Engineering and Application**, p. 113-115, 2008.
- [9] BARSCH, R.; JAHN, H.; LAMBRECHT, J. Test Methods for Polymeric Insulating Materials for Outdoor HV Insulation. **IEEE TDEI**, v. 6, n. 5, p. 668-675, 1999.
- [10] SEBO, S.; ZHAO, T. Utilization of Fog Chambers for Non-ceramic Outdoor Insulator Evaluation. **IEEE TDEI**, v. 6, n. 5, p. 676-687, 1999.
- [11] VOSLOO, O. L. et al. Insulator Pollution Monitoring Program for Namibia, **IEEE AFRICON**, 2007.