

# MONITORAMENTO DA CORRENTE DE FUGA, DESCARGAS PARCIAIS E RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO DE ISOLADORES SOB POLUIÇÃO INDUSTRIAL E LITORÂNEA

K. F. Portella; F. Piazza; P. C. Inone; S. Ribeiro Jr.

Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, CP 19067, 81531-980, Curitiba – PR

M. S. Cabussú; D. P. Cerqueira; C. S. da S. Chaves

COELBA, Granjas Rurais, Av. Pres. Vargas, s/n, Bairro Pirajá, 41290-000, Salvador – BA\*

**RESUMO** -O desempenho de 8 tipos de isoladores foi avaliado em função da corrente de fuga e das descargas parciais na SE-Paripe em Salvador-BA, Brasil (*on-line*) e da resistência de isolamento em laboratório. Os resultados demonstraram que os métodos aplicados foram eficazes para a avaliação da influência dos poluentes e das condições atmosféricas locais sobre a suportabilidade destes isoladores.

**Palavras-chaves:** isolador; poluição; corrente de fuga; descargas parciais; e resistência de isolamento.

## 1. INTRODUÇÃO

A SE Paripe está localizada na cidade de Salvador que apresenta clima quente e úmido, tipicamente tropical, com cerca de 2.466 h anuais de sol, ventilada (ventos anuais com velocidade média de 2,2 m/s), e uma temperatura média anual de 25 °C (76 F). É considerada uma das cidades mais ensolaradas do mundo, com umidade média anual da ordem de 81%, sendo cercada pelo mar em 3 de seus lados<sup>1</sup>, possuindo regiões altamente industrializadas, cujos poluentes afetam o desempenho dos equipamentos elétricos.

A importância da avaliação dos isoladores vem do fato de corresponderem à cerca de 10% dos custos diretos de uma linha de transmissão e, indiretamente, por causar prejuízos de grande monta ao setor elétrico como na interrupção no fornecimento de energia ou “apagões”.

A diminuição das características elétricas de um isolante pode ter como origem um aumento da passagem da corrente de fuga entre seus terminais. Este aumento se deve, principalmente, ao grau de contaminação por agentes poluentes que modificam a resistividade elétrica da sua superfície. Estas contaminações podem ser depósitos de poeira; minerais inertes condutivos, como o carbono e os óxidos metálicos; e as soluções de água e sal, que acarretam a comportamentos semelhantes à de um resistor altamente variável e não-linear, sendo, em muitos casos, instáveis na presença de campos elétricos. Esta corrente de fuga acaba originando calor, produtos resultantes da

eletrólise e descargas elétricas.

O dimensionamento de isoladores para áreas com alto grau de poluição é realizado em duas etapas, sendo, basicamente: i) pelo levantamento do grau de poluição do local; e, ii) pela determinação das características do isolamento<sup>2,3</sup>.

A norma IEC 815<sup>2</sup> indica quatro patamares de contaminação, sendo definidos em uma escala crescente que vai desde contaminação de baixo teor até a contaminação de teor crítico. Esta última é considerada para as áreas sujeitas à condução por poeiras, fumos industriais, depósitos condutivos, maresia ou ventos marítimos de grande velocidade e poluídos, e tem o interesse direto nesta pesquisa.

A avaliação do grau de contaminação pode ser feita qualitativamente a partir de informações do desempenho dos isoladores de linhas e subestações e in-situ, podendo-se utilizar as seguintes medidas: i) condutividade volumétrica do contaminante; ii) densidade equivalente de depósito de sal na superfície do isolador (método ESDD); iii) número total de surtos elétricos superficiais “flashover”; iv) condutividade superficial; e, v) corrente de fuga.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

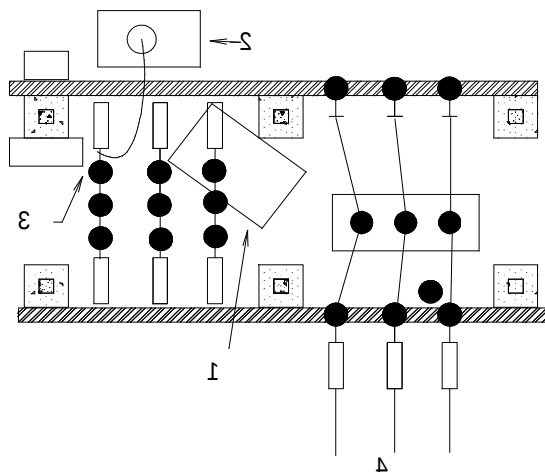
Como estudo de caso foi considerada a subestação de energia elétrica SE\_Paripe, localizada na Baía de Aratu, região metropolitana de Salvador, RMS.

Para a coleta de dados atmosféricos: temperatura, direção e velocidade dos ventos, umidade, pressão, precipitação e ponto de orvalho, foi utilizado o sistema de aquisição de dados meteorológicos “Eletronic Weather Station – HUNGER”, e o “software Skyview systems Weather View”.

Para a verificação do efeito dos poluentes depositados sobre a superfície dos isoladores foram realizadas medições da resistência de isolamento e da corrente de fuga e descargas parciais em função do tempo.

As medidas de resistência de isolamento em isoladores foram efetuadas entre a cabeça do isolador e o pino ou ferragem de sustentação. O equipamento utilizado para as medidas foi um medidor de altas resistências marca Hewlett Packard, modelo 4339A e os testes realizados em ambiente controlado, na temperatura média de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , com umidade média relativa de  $(60 \pm 2)\%$  e com a amostra inserida em gaiola de Faraday para evitar interferências eletromagnéticas. Foi aplicada tensão de 500 V DC, durante 60 s. Terminado o período de aplicação de tensão a leitura foi efetuada e registrada.

Para as medidas da corrente de fuga e das descargas parciais nos isoladores submetidos à poluição atmosférica foi disponibilizada uma área dentro da SE\_Paripe, onde foi instalada uma estação de teste, mostrada esquematicamente na Figura 1. Isoladores foram instalados por meio de amarração convencional, a cabos de alumínio fixados em estruturas existentes na subestação. Foram avaliados os desempenhos dos isoladores de porcelana, vidro e híbrido (capa de silicone), quanto a corrente de fuga e descargas parciais em função do tempo de exposição aos poluentes atmosféricos in-situ.



Legenda: 1\_painel de medidores e comunicação; 2\_transformador; 3\_isoladores sob teste; 4\_alimentador.

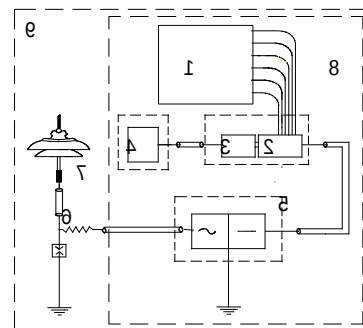
Figura 1. Diagrama da estação de testes da corrente de fuga e de descargas parciais nos isoladores na SE\_Paripe.

Os corpos-de-prova, CPs, foram submetidos à tensão fase-terra de 8 kV, fornecida por um transformador de distribuição alimentado pela baixa tensão.

As atividades de medição, registro e envio de dados, foram realizadas por intermédio de um sistema automatizado, conforme desenho esquemático mostrado na Figura 2.

Os isoladores foram aterrados por m cabos coaxiais e conjuntos de resistores, que permitiram a medição das correntes de fuga e das descargas ao longo do tempo de exposição ao meio. O sistema de medição foi acoplado a um computador industrial, no qual foram armazenadas as devidas grandezas medidas. Estas foram manipuladas e apresentadas na forma gráfica, permitindo acesso dos dados à distância (via remota) pela internet por um modem

celular. A proteção do circuito foi realizada utilizando-se centelhadores e dispositivo de sobrecorrente que desliga o transformador elevador. Ao computador industrial também foi conectada a estação meteorológica, cujos dados de saída foram armazenados e apresentados nas suas formas gráficas.



Legenda: 1\_sistema de coleta de dados meteorológicos; 2\_registrador; 3\_interface eletrônica com o computador; 4\_sistema de coleta de dados elétricos; 6\_sistema de proteção; 7\_isolador; 8\_caixa de proteção do circuito; e, 9\_pátio da SE\_Paripe.

Figura 2. Circuito eletrônico para a coleta de dados de corrente de fuga, descarga parcial e meteorológicos.

Todo o sistema de captura dos dados em campo foi desenhado e construído de forma a analisar, simultaneamente, até 8 unidades de isoladores, bem como os parâmetros das condições atmosféricas locais (velocidade e direção dos ventos; pressão; umidade; índice de orvalho; índice de precipitação pluviométrica; e, temperatura ambiente).

Os isoladores estudados foram escolhidos em função da sua quantidade em uso pela concessionária e pela frequência dos problemas detectados. Os dados técnicos apresentados são provenientes das informações de catálogos dos respectivos fabricantes e se referem ao isolador no estado de novo e estão reunidos na Tabela 1, sendo: 1) isolador de pino, tipo S57. Este isolador foi montado na posição 1 da estação de teste, sendo de porcelana marrom, envelhecido naturalmente em campo; 2) na posição 2 da estação de teste, foi montado isolador de pino, tipo 5058 (2005), novo, de porcelana cinza; a 3. isolador de pino híbrido, tipo 5331; 4) e 5) isoladores de vidro, tipo pino VFO85, foram montados nas posições 4 e 5, na condição de envelhecidos e poluídos; 6) isolador novo de vidro, tipo pino, revestido com borracha de silicone, foi montado na posição 6; 7) na posição 7, foi montado isolador de pino, tipo 5058 (2005), novo, de porcelana cinza, revestida com borracha de silicone (suas características técnicas se referem ao isolador novo sem revestimento); e, 8) isolador pilar novo, PL-11253 (ANSI 57-2) foi montado na posição 8, sendo de porcelana cinza.

TABELA 1.  
ISOLADORES SUBMETIDOS A TESTES DE CORRENTES DE FUGA E  
DESCARGAS PARCIAIS NA SE\_PARIPE.

| Características do isolador     |  | Valores de referência |      |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|--|-----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                 |  | 1                     | 2    | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| Tensão nominal, kV              |  | 15                    | 15   | 15  | 15  | 15  | 15  | 15  | 25  |
| Distância de escoamento, mm     |  | 230                   | 360  | 500 | 360 | 360 | 230 | 360 | 559 |
| Distância de arco umido, mm     |  | -                     | -    | -   | 98  | 98  | -   | -   | -   |
| Distância de arco a seco, mm    |  | 145                   | 159  | 145 | 154 | 154 | 145 | 159 | 241 |
| Tensão suportável à seco, kV    |  | 60                    | 13,6 | -   | -   | -   | -   | -   | -   |
| Tensão suportável sob chuva, kV |  | 34                    | 115  | 34  | -   | -   | -   | -   | -   |
| Perfuração sob óleo             |  | 95                    | 140  | -   | -   | -   | -   | 115 | -   |

Nota quanto aos isoladores: 1. porcelana, tipo pino S57, marrom, envelhecido naturalmente (1a posição na estação de testes); 2. porcelana, tipo 5058, novo, na cor cinza (2a posição); 3. tipo pino 5331, híbrido, novo (3a posição). 4. vidro, tipo pino VFO85, envelhecido naturalmente no campo (4a e 5a posições); 5. vidro, tipo pino, revestido com borracha tipo silicone (6a posição); 6. porcelana, tipo 5058, novo, na cor cinza, revestido com borracha de silicone (7a posição); 7. porcelana, tipo pilar, novo, na cor cinza (8a posição).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas medidas da resistência de isolamento dos isoladores com e sem poluição aderida reduziram em até 3 ordens de grandeza pela presença de depósitos de poluentes e quando úmidos, como foi o caso dos isoladores de vidro, cuja resistência de isolamento no seu estado limpo ou novo foi de  $2 \times 10^{11} \Omega$ , passando para  $2 \times 10^{10} \Omega$  com o poluente seco e para  $3 \times 10^9 \Omega$ , após a umidificação artificial em laboratório<sup>4</sup>.

Na Figura 3, encontram-se gráficos das corrente de fuga dos isoladores 5 a 8 instalados na SE\_Paripe (as características técnicas são visualizadas na Tabela 1), obtido no mês de março de 2007. Observou-se que os pontos de máximo em corrente de fuga corresponderam ao período da madrugada, quando a umidade relativa do ar atingiu valores próximos de 90%<sup>4</sup>. Entre 6 e 7 h da manhã, começou a ocorrer a secagem superficial pela ação do sol, de forma que a corrente elétrica caiu rapidamente.

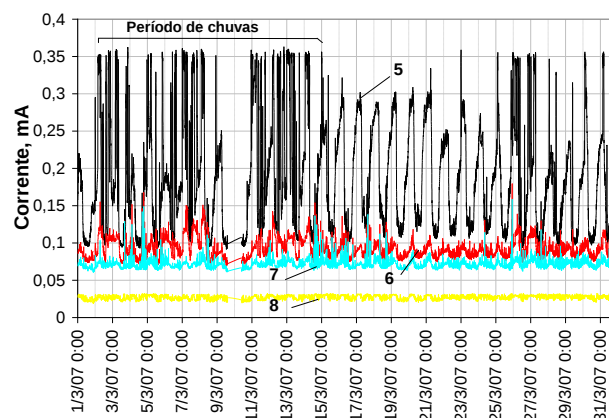


Figura 3 Correntes de fuga (mA): 5. vidro, tipo pino VFO85, envelhecido naturalmente no campo; 6. vidro, tipo pino, revestido com borracha tipo silicone; 7-. porcelana, tipo 5058, novo, na cor cinza, revestido com borracha de silicone; 8. porcelana, tipo pilar, novo, na cor cinza.

Também, pode ser observado na Figura que houve aumento da corrente de fuga nos períodos de chuva. Como o material particulado estava firmemente aderido à superfície do isolador, as chuvas não o eliminaram e, por isso, não foi constatada nenhuma diminuição perceptível nos valores de corrente de fuga após a ocorrência das mesmas. Ficou, neste caso, confirmada a necessidade de intervenção para manutenção periódica de isoladores poluídos, com um processo de lavagem, a fim de que sejam minimizados o efeito de falhas elétricas e os riscos de “apagão”.

Na Tabela 2, estão apresentadas as quantidades de descargas parciais registradas durante novembro/2006 e janeiro/2007. Estas, encontram-se agrupadas dentro de três patamares de corrente, sendo entre 0,1 e 0,2 mA aquelas que ocorreram com a maior frequência.

Os isoladores 4, 5 e 6 (Tabela 1 – posições 4 e 5)) foram os quais apresentaram o maior no de descargas com magnitudes entre 0,2 e 0,3 mA. Estes mesmos isoladores apresentaram quantidades significativas de descargas entre 0,3 e 0,4 mA.

É interessante comparar os resultados obtidos para os isoladores 2 e 6, que são do mesmo tipo, mas com o de no 6, tendo sido revestido com borracha de silicone. Este último exibiu uma quantidade de descargas parciais menor, nos três períodos analisados, demonstrando a efetividade do revestimento, principalmente quanto à sua hidrofobicidade.

Entre os meses de novembro e dezembro de 2006 não houve, praticamente, modificação no comportamento elétrico dos isoladores, como se pode verificar pelos valores similares de descargas parciais exibidos nos períodos. No mês de janeiro de 2007 observou-se um aumento de 30% a 45% na quantidade de descargas parciais, com relação ao mês anterior, coincidindo com um maior período de precipitação pluviométrica local, tal como constatado para o mês de novembro de 2006<sup>4</sup>.

TABELA 2.  
QUANTIDADE DE DESCARGAS PARCIAIS EM ISOLADORES INSTALADOS NA  
SE\_PARIPE, BA, REGISTRADA DURANTE NOV. 2006 A JAN. 2007.

| Patamares de corrente, mA |              | 1             | 2             | 3             | 4             |
|---------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Novembro 2006             | 0,1 - 0,2    | 21.266        | 28.711        | 25.164        | 34.182        |
|                           | 0,2 - 0,3    | 340           | 1.067         | 663           | 4.805         |
|                           | 0,3 - 0,4    | 2             | 11            | 6             | 752           |
|                           | <b>Total</b> | <b>21.609</b> | <b>29.791</b> | <b>25.836</b> | <b>39.743</b> |
| Dezembro 2006             | 0,1 - 0,2    | 18.088        | 25.693        | 22.411        | 35.318        |
|                           | 0,2 - 0,3    | 106           | 483           | 266           | 2.858         |
|                           | 0,3 - 0,4    | 0             | 3             | 0             | 67            |
|                           | <b>Total</b> | <b>18.194</b> | <b>26.194</b> | <b>22.677</b> | <b>38.243</b> |
| Janeiro 2007              | 0,1 - 0,2    | 26.225        | 33.448        | 32.321        | 46.862        |
|                           | 0,2 - 0,3    | 182           | 596           | 417           | 4.664         |
|                           | 0,3 - 0,4    | 0             | 8             | 4             | 178           |
|                           | <b>Total</b> | <b>26.407</b> | <b>34.052</b> | <b>32.742</b> | <b>51.704</b> |

QUANTIDADE DE DESCARGAS PARCIAIS EM ISOLADORES INSTALADOS NA  
SE\_PARIPE, BA, REGISTRADA DURANTE NOV. 2006 A JAN. 2007  
(CONTINUAÇÃO)

| Patamares de corrente, mA |              | 5             | 6             | 7             | 8             |
|---------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Novembro 2006             | 0,1 - 0,2    | 27.187        | 29.202        | 17.137        | 26.014        |
|                           | 0,2 - 0,3    | 3.897         | 1.417         | 229           | 660           |
|                           | 0,3 - 0,4    | 201           | 341           | 1             | 4             |
|                           | <b>Total</b> | <b>31.290</b> | <b>30.966</b> | <b>17.374</b> | <b>26.686</b> |
| Dezembro 2006             | 0,1 - 0,2    | 28.233        | 26.984        | 14.841        | 23.125        |
|                           | 0,2 - 0,3    | 2.101         | 608           | 71            | 269           |
|                           | 0,3 - 0,4    | 58            | 7             | 0             | 1             |
|                           | <b>Total</b> | <b>30.392</b> | <b>27.599</b> | <b>14.912</b> | <b>23.395</b> |
| Janeiro 2007              | 0,1 - 0,2    | 36.800        | 37.102        | 21.759        | 33.372        |
|                           | 0,2 - 0,3    | 2.115         | 885           | 134           | 394           |
|                           | 0,3 - 0,4    | 110           | 15            | 1             | 1             |
|                           | <b>Total</b> | <b>39.025</b> | <b>38.002</b> | <b>21.894</b> | <b>33.767</b> |

#### 4. CONCLUSÕES

A corrente de fuga e a descarga parcial medidas nos isoladores energizados foram técnicas conclusivas do efeito da poluição devido aos seus depósitos de poluentes. A técnica permitiu evidenciar as maiores perdas elétricas,

inferindo a possibilidade de surtos do sistema de energia nos períodos noturnos, quando houve maior concentração de umidade e, também, nos períodos chuvosos.

O emprego de revestimento à base de silicone demonstrou, apesar do curto período de análise, ser eficaz na redução do número de eventos elétricos registrados. Tal fato foi atribuído à sua hidrofobicidade. Pouco material particulado ficou aderido à sua superfície.

Dentre os tipos de isoladores estudados destacaram-se, quanto ao desempenho, o isolador híbrido, principalmente, pela sua maior distância de escoamento e sua saia de silicone em formato de duplo sino, seguido pelo isolador tipo pilar de porcelana, também, pela sua maior distância de escoamento. Os piores desempenhos foram constatados aos isoladores de vidro. Considerando-se o melhor desempenho em função da distância de escoamento, destacou-se o isolador tipo pino de porcelana, que ficou em segundo lugar na classificação.

Finalmente, pode-se considerar que a metodologia serviu para prever os eventos elétricos que ocorreram sobre os isoladores, sendo, então, considerada uma alternativa viável para a constatação de falhas em áreas de alta poluição. Neste caso, recomenda-se utilizar tal modelo como isoladores “mestres”. Estes, seriam instalados em locais de alta poluição, servindo como “sensores” ou mesmo “detetores” de falhas elétricas.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COELBA, ao LACTEC, à UNIFACS e à ANEEL, pela confiança, infra-estrutura, apoio financeiro e acadêmico, para a execução deste projeto de pesquisa.

#### 6. REFERÊNCIAS

1. <http://www.emtursa.ba.gov.br/Template.asp?nivel=00010006&identidade=12>, acesso em Fevereiro 2007; ABNT NBR 14643. Corrosão atmosférica, classificação da corrosividade de atmosferas. Rio de Janeiro, 2001.
2. Sillars, R. W. Electrical insulating material and their application. IEE Monograph Series 14. Peter Peregrinus, England, 1973; Looms, J. S. T. Insulators for high voltage. London: Peter Peregrinus, 1988; IEC 815: Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions., 1986, Switzerland.
3. Usui, W.; Kasuya, N.; Osaka, H.; Ito, S.; Kurebayashi, H.; Matsuoka, R. Proceedings of the 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Xi'an Jiantong University, Xi'an, China, 2000; Matsuoka, R.; Naito, K.; Irie, T.; Kondo, K. Ieee/Pes. T&D Ásia Pacific, 2002, 2197.
4. Portella, K. F.; Inone, P. C.; Piazza, F.; Ribeiro, S. Relatório técnico de projeto, LACTEC/COELBA/ ANEEL, 2007; Kenny, E. D.; Cruz, O. M.; Silva, J. M.; Sica, Y. C.; Ravaglio, M.; Mendes, P. R.; Mendes J.C. Relatório técnico LACTEC, 2005.
14. Ziemath, E. C.; Quim. Nova **1998**, 21, 356.