

# Desenvolvimento de Sistema de Detecção e Monitoramento de Correntes de Fuga em Isoladores Através de Fibra Óptica

M.M. Werneck, F.L. Maciel, C.C. Carvalho, R.M. Ribeiro, P. Porciuncula, COPPE/UFRJ1

## RESUMO

O objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema de sensoriamento em tempo real de correntes de fuga que ocorrem em isoladores submetidos a 13,8 kV (ou mais), que estejam localizados nas proximidades das regiões costeiras no Estado do Rio de Janeiro em função, principalmente, do maior acúmulo de camada salina (poluição marinha) juntamente com a dinâmica do umedecimento devido a fatores climáticos. Estes fatores causam um aumento médio no valor das correntes de fuga, assim como, a ocorrência estocástica de "spikes" elétricos, implicando em desperdício de energia, diminuição da confiabilidade e aumento dos custos relacionados com a manutenção e a operação. Durante o período de setembro/2001 a fevereiro/2002, foi desenvolvido um sensor de natureza optoeletrônica, onde a sua interconexão com o módulo demodulador, situado em potencial terra, é realizada através de fibra óptica. O formato de onda e o valor rms da corrente de fuga são medidos e enviados para localizações remotas via linha telefônica privada.

## PALAVRAS-CHAVE

Flashover, Corrente de Fuga, Isolador, Fibra óptica, Rede de distribuição.

## I. INTRODUÇÃO

O crescente depósito condutivo decorrente de poluição, principalmente salina, que se fixa na superfície dos isoladores localizados em áreas próximas ao mar, propicia o surgimento de caminhos de correntes elétricas também superficiais [1]. Estas correntes são denominadas "correntes de fuga", e percorrem o caminho entre o condutor de alta tensão e o potencial de terra.

Apesar destas correntes serem da ordem de algumas dezenas de miliampéres, quando multiplicadas pelo número de isoladores pertencentes a uma zona de alimentação e acrescidas da corrente normal da linha, podem alcançar valores elevados suficientes para acionar os dispositivos de proteção contra sobre-corrente, provocando interrupções no fornecimento de energia elétrica àquela região.

Além do efeito distribuído nota-se também a ocor-

rência pontual (em isoladores separados dos outros) de descargas do tipo flashover, provocando eventualmente a destruição de cruzetas, postes de madeira e até dos próprios isoladores.

O monitoramento contínuo dos níveis de corrente de fuga permite que se estabeleça uma estratégia preventiva operacional de limpeza ou substituição de isoladores em circuitos que apresentam condições favoráveis para valores elevados de corrente de fuga.

Convencionalmente, para monitoramento da corrente de fuga, utiliza-se um resistor [2,3] ou uma bobina de indução [4]. Entretanto, estes métodos necessitam de conexão com o terra e estão sujeitos à interferência eletromagnética. Neste sentido, é proposto neste trabalho o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento optoeletrônico, em tempo real, que utiliza a tecnologia de fibra óptica plástica (POF). Este método tem a vantagem de ser imune à interferência eletromagnética, baixo custo, leve, e não necessita energização para funcionamento.

A operacionalização deste sistema traz os seguintes benefícios: monitoramento e otimização do desperdício de energia; aumento da confiabilidade da rede reduzindo os seus intervalos de desligamento; otimização das lavagens dos isoladores de forma a reduzir o tempo, o esforço, e o custo, aumentando a segurança do pessoal de manutenção; redução da ocorrência de incêndios em postes de madeira e cruzetas; validação do desempenho dos diferentes tipos de isoladores anti-poluição.

## II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA E METODOLOGIA

A proposição de monitoramento das correntes de fuga no circuito de média tensão, baseia-se na existência de um isolador de prova associado ao transdutor (sistema sensor). Este isolador de prova é submetido às condições similares de poluição ambiental, dos isoladores que se deseja monitorar (Fig. 1). A Figura 1 apresenta a configuração básica do sistema instalado em campo. Observa-se a instalação de uma cruzeta extra (parte inferior) para instalação de 6 isoladores (de tipos diferentes) de prova, e a Unidade Remota (UR - caixa fixada ao poste) responsável pela aquisição, processamento e telemetria dos dados.

Este trabalho foi apoiado parcialmente pela empresa Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro - CERJ.

<sup>1</sup> Os autores deste artigo trabalham no Laboratório de Instrumentação e Fotônica da COPPE/UFRJ (<http://www.lif.coppe.ufrj.br>)

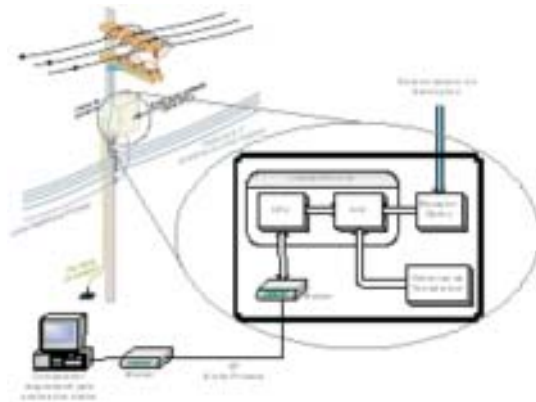


FIGURA 1. Diagrama geral do sistema.

### A. Transdutor - Sistema Sensor

A técnica de sensoriamento utilizada para o desenvolvimento do sistema sensor é simples, tendo sido aplicada no monitoramento de relâmpagos [5], bem como limitadores de corrente em supercondutores em altas temperaturas [6]. As correntes de fuga fornecem energia suficiente para uma fonte óptica [7]; sendo, portanto, codificada opticamente e transmitida para um receptor. Neste trabalho foi aplicada a técnica de codificação de modulação/demodulação em intensidade.

O sinal óptico é detectado pelo circuito receptor (UR), que o demodula o ciclo senoidal, na mesma frequência da rede elétrica.



FIGURA 2. Fotografia do sensor óptico de correntes de fuga.

A Figura 2 apresenta uma fotografia do protótipo do transdutor de corrente de fuga, o qual foi projetado para ser adaptado a um isolador de prova.

Os procedimentos de calibração e de medições das formas de onda foram realizados em laboratório sob condições controladas de correntes elétricas. Uma câmara de spray de água salgada foi construída no laboratório visando simular as condições reais de campo.

### B. Unidade Remota - Hardware

A unidade remota contém o hardware eletrônico que, por sua vez, consiste dos seguintes módulos: computador (CPU) e interface A/D com padrões PC-104, modem, receptores ópticos, fonte de alimentação, filtro de linha e sensores de temperatura.

A UR foi projetada para trabalhar no campo fixada ao poste onde foi instalada a cruzeta com os seis isoladores de prova, portanto foi necessário escolher uma caixa apropriada para suportar condições agressivas (Fig. 3). A caixa escolhida, foi uma caixa comercial de chapa de aço com pintura epóxi e com características IP65. Em função da técnica de telemetria escolhida, foi utilizada uma linha privada de telefonia (LP), e respectivos modems, para transmissão dos dados. Um destes modems pode ser observado fixado à porta da UR.

Um sistema adicional de monitoramento das temperaturas interna e externa da caixa foi implementado visando o acompanhamento destas variáveis durante todo o período de aquisição dos dados.

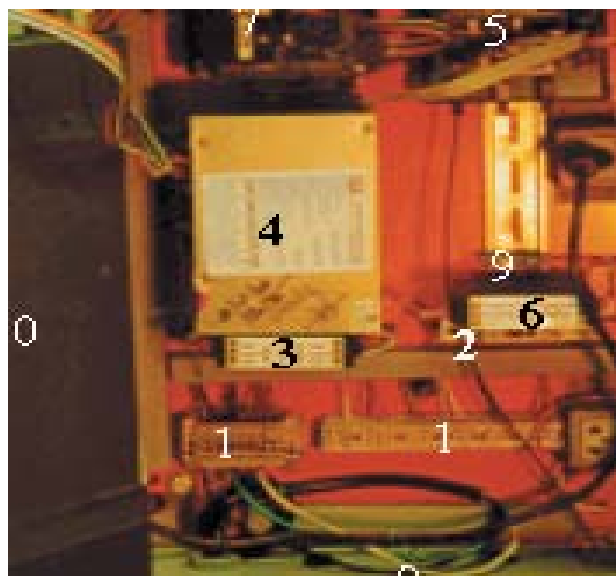


FIGURA 3. Foto interna da caixa da Unidade Remota. (1) Blocos de terminais para conexões elétricas. (2) Disjuntor Siemens de 10 A. (3) Módulo de filtro de linha-LIF. (4) Fonte de alimentação comercial de PC. (5) Placa com 6 conversores ópto-elétricos. (6) Módulo de interface para 2 sensores de temperatura "NTC based". (7) Microcomputador 486-padrão PC-104. (8) Placa de conversão A/D. (9) Sensores de temperatura NTC. (10) Modem.

### C. Os Softwares

O problema básico restringe-se ao estabelecimento da comunicação entre o computador situado no laboratório e a UR instalada em campo. A UR é responsável pela aquisição e transmissão, via LP, do(s) sinal(is) de corrente de fuga ao computador que recebe e apresenta os sinais através do programa LIF-MCF. Entretanto, foi prevista a situação de atualização do programa de aquisição (FLASHRMT) sem que houvesse a necessidade de deslocamento da equipe ao campo, ou seja, remotamente utilizando, também, a LP. Esta necessidade implicou no desenvolvimento de outros dois programas (LIF-GS e LIF-COMM) que atuam como "pano-de-fundo" dos programas básicos já citados.

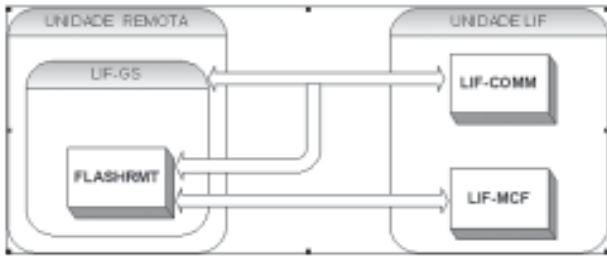


FIGURA 4. Diagrama de blocos dos softwares desenvolvidos.

Cabe ainda ressaltar que o sistema está preparado para eventuais "travamentos" oriundos de interferências externas, ou mesmo, internas. Nestes casos, o sistema é capaz de auto-reinicializar, retornando a execução do programa FLASHRMT.

A descrição dos módulos esquematizados na Figura 4 seria:

- Unidade Remota - equipamento situado no campo onde se encontra instalado os softwares LIF-GS e FLASHRMT.
- Unidade LIF - equipamento situado no LIF (Laboratório de Instrumentação e Fotônica) onde se encontra instalado os softwares LIF-COMM e LIF MCF.
- LIF-GS - software responsável pelo gerenciamento e funcionamento da unidade remota. As funções que ele exerce são: backup, atualização e execução via RS232 (linha de telefonia privada - LP) do programa FLASHRMT, e reinicialização da UR.
- FLASHRMT - software responsável pela aquisição, processamentos e transmissão do sinal da corrente de fuga.
- LIF-COMM - software responsável pela comunicação e testes com os softwares da UR.
- LIF-MCF - software de monitoramento (recepção via LP) e análise dos dados provenientes do programa FLASHRMT.

### III. RESULTADOS

Em laboratório foi realizada a aquisição dos sinais respectivos às correntes de fuga dos seis isoladores e das temperaturas externa (ambiente) e interna da UR. A Figura 5 apresenta a tela do software (LIF-MCF) que permite a visualização, interação (incluindo internet) e armazenamento dos dados. O monitoramento sempre se caracteriza pela recepção dos pontos amostrados respectivos a um período pré-determinado de tempo (gráfico superior - Fig. 5). A parte inferior da Figura 5 representa o valor RMS da corrente de fuga do intervalo de sinal amostrado, ou seja, um ponto do gráfico da parte inferior representa o RMS de todos os pontos do intervalo no gráfico superior.



FIGURA 5. Tela do software LIF-MCF para aquisição dos sinais em laboratório.

A seguir são apresentados os resultados obtidos em cada isolador, e devidamente armazenados em arquivos. A Figura 6 apresenta a ordenação de instalação dos isoladores na cruzeta a ser considerada na descrição.



FIGURA 6. Distribuição e ordenação dos isoladores de prova instalados no poste. Isoladores: (1) Pilar; (2) Polimérico de alta densidade para 34,5 kV; (3) Polimérico anti-poliuição; (4) Vidro RT15; (5) Cerâmico anti-poliuição; (6) Hitop.

Os gráficos apresentados para cada isolador são referentes aos dados coletados durante o período noturno. As condições estipuladas para acionar o processo de armazenamento dos valores RMS e das temperaturas, restringem-se à ocorrência de uma variação mínima de corrente, em RMS, de 0,25 mA. Caso esta variação seja alcançada são gravados os respectivos valores RMS, as temperaturas, a data e a hora.

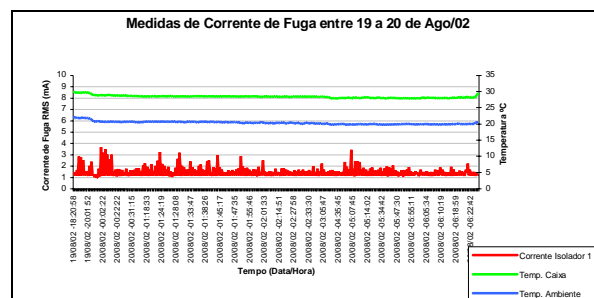


FIGURA 7. Isolador Pilar. Medições realizadas no período noturno entre 19 a 20 de agosto de 2002.

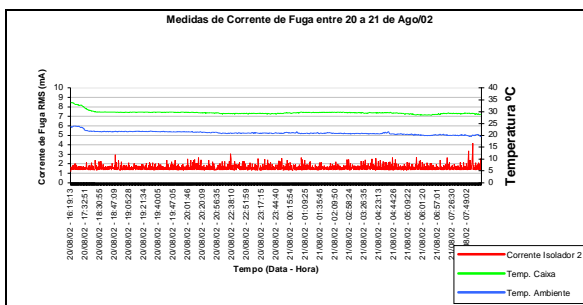


FIGURA 8. Isolador polimérico de alta densidade para 34,5 kV. Medições realizadas no período noturno entre 20 a 21 de agosto de 2002.

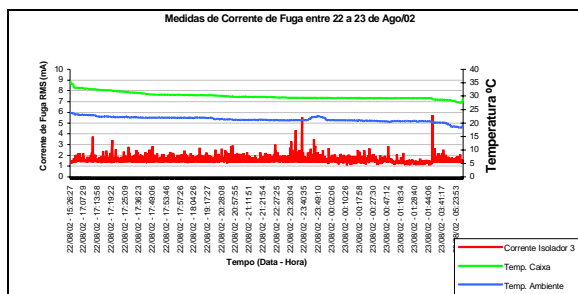


FIGURA 9. Isolador Polimérico anti-poliuição. Medições realizadas no período noturno entre 22 a 23 de agosto de 2002.

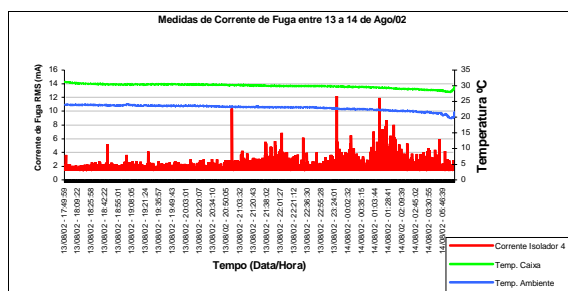


FIGURA 10. Isolador Vidro RT-15. Medições realizadas no período noturno entre 13 a 14 de agosto de 2002.

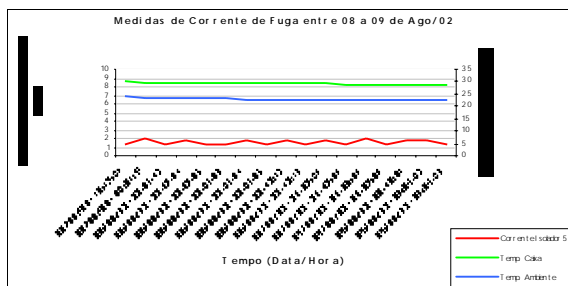


FIGURA 11. Isolador Cerâmico Anti-Poliuição. Medições realizadas no período noturno entre 08 a 09 de agosto de 2002.

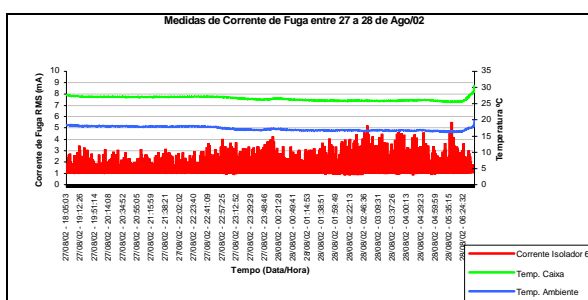


FIGURA 12. Isolador Hitop. Medições realizadas no período

noturno entre 27 a 28 de agosto de 2002.

#### IV. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A tecnologia de POF empregada pelo sensor de corrente de fuga desenvolvido neste trabalho leva vantagens sobre as outras técnicas adotadas nos últimos anos, pois são: eficientes, de fácil manuseio, resistentes, confiáveis, descartáveis, e possibilita a fabricação em massa dos componentes e sistemas, contribuindo de forma significativa para a inovação tecnológica e a disseminação da tecnologia fotônica fibras ópticas plásticas.

A telemetria do sistema atendeu de forma precária às demandas técnicas do projeto, apesar de conceitualmente o método escolhido ser o mais apropriado para o projeto. A precariedade é oriunda exclusivamente das dificuldades técnicas, da concessionária de telefonia, de implementação da linha privada. Inicialmente foram realizadas alterações nos programas para dirimir a grande quantidade de erros presentes na transmissão de dados.

De forma positiva foi observado a robustez do conjunto que forma a unidade remota, pois demonstrou continuidade (sem interrupções) do funcionamento da parte microprocessada, assim como, o bom estado da caixa e suportes referentes à parte mecânica. Por outro lado, negativamente, observa-se a degradação (ações da marisía) do sensor de temperatura externa, e o rompimento de um dos cabos de fibra óptica ligado ao isolador 5, após 30 dias de operação. Este rompimento está sendo objeto de investigação, visando a minimização deste problema.

A análise das temperaturas externa e interna da caixa forneceu a segurança necessária para dispensarmos qualquer alteração de projeto que implica-se no resfriamento interno da caixa, visando o bom funcionamento do hardware eletrônico.

O período noturno para aquisição dos sinais de corrente de fuga foi escolhido em função de observações iniciais, onde verifica-se a maior influência das condições ambientais favorecendo o surgimento de grande quantidade de corrente de fuga.

O tempo de observação para recolhimento e gravação dos dados foi pequeno, portanto, as conclusões que podem ser extraídas a partir dos gráficos apresentados como resultados, são incipientes e correm o risco de serem imprecisas.

Estabelecendo uma comparação entre os isoladores percebe-se que o isolador 6 apresenta o pior desempenho, pois o valor RMS médio é maior que os outros. Vale ressaltar que os isoladores 3 e 4 registraram picos de correntes RMS significativos, ou melhor, 6 mA e 12 mA, respectivamente.

A técnica, empregada no sensor, de modulação óptica por intensidade, apesar dos problemas já descritos pela literatura [12], demonstrou ser eficiente na obtenção dos resultados das correntes de fuga, dispensando, desta forma, a proposição inicial de alteração da técnica para modulação por frequência [11].

Os objetivos tecnológicos deste projeto foram alcançados, podendo ser ampliados através da inserção da tecnologia às atividades da empresa por meio da adoção de técnicas e procedimentos oriundos de estudos a serem realizados a partir de testes em campo realizados com o sistema sensor já desenvolvido. As correntes de fuga monitoradas em tempo real tornam-se mais relevantes à empresa na medida que os dados devidamente analisados, tratados e adequadamente apresentados, gerem informações que possibilitem uma melhor tomada de decisão por parte dos órgãos operativos.

A continuidade do projeto teria como principal objetivo a inserção logística desta tecnologia à concessionária. Para que este objetivo seja alcançado torna-se necessária a implementação de alguns fatores, como por exemplo, a proposição e a implantação de solução genérica de telemetria. Tão ou mais relevante seria a determinação de parâmetros (índices) que caracterizassem o estado do isolador em relação à presença de corrente de fuga, assim como, quais e quando seriam realizados "procedimentos internos" para interferência no processo (lavagem, por exemplo), visando a minimização de riscos à rede de distribuição. A criação de índices seria o resultado da análise de uma amostra diversificada de dados oriundos da instalação de sensores nos pontos mais críticos de poluição marítima da área de concessão da empresa. Estes índices determinariam um "ponto" ótimo para interferência no processo (lavagem dos isoladores). Na mesma linha analítica, seria estabelecida uma comparação entre isoladores de diferentes tipos em situações de poluição idênticas, criando um indicador de performance de cada isolador sob aquelas condições. Essa metodologia propiciaria a comparação de diversos isoladores, auxiliando a escolha do isolador mais adequado para cada condição geo-meteorológica. Por fim, seria adequado o desenvolvimento de um software que tivesse a capacidade de gerenciar e processar todas as informações geradas, permitindo ao usuário/administrador o total domínio sobre os eventos gerados.

## V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio operacional do centro operativo de Cabo Frio e da coordenação de P&D da CERJ.

Da mesma forma, agradecemos a contribuição de toda equipe do Laboratório de Instrumentação e Fotônica (LIF) COPPE/UFRJ.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. G. Kanashiro e G. F. Burani, "Leakage Current Monitoring of Insulators Exposed to Marine and Industrial Pollution", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 271-274, Quebec, Canada, (1996).
- [2] J. B. Briggs, "Leakage current monitoring system and method", U.S. Patent 3,947,759 (1976).
- [3] Felix Amarh, "Electric transmission line flashover prediction system", PhD Thesis, Arizona State University, May (2001).
- [4] R. A. Maraio, A. T. McMahon and H. B. Hart Jr., "Method and detector for identifying insulator flashover", U. S. Patent 5,136,248 (1992).
- [5] Toshihiko Yoshino, "Optical fiber sensors for electric industry", Proceeding SPIE, vol. 798, 258-265 (1987).
- [6] Joachim Niewisch, "POF Sensors for High Temperature Superconducting Fault Current Limiters", 6th International Plastic Optical Fibre Conference (POF'97), Kawai, Hawaii, 130-131 (1997).
- [7] "Nichia Chemical Corporation Lamp Type LED Product Guide Brochure", Nichia Chemical Corporation, Japan. Maio. (1999)
- [8] B. Corbett et al, "High temperature nitride sources for plastic optical fibre data buses", 10th International Plastic Optical Fibre Conference (POF'01), Amsterdam, The Netherlands, pps. 81-87 (2001).
- [9] J. Marcou (editor), "Plastic Optical Fibers: Practical Applications", Club des Fibres Optiques Plastiques, Wiley & Sons, France (1997).
- [10] Eskamega - Mitsubishi Rayon - [www.mrc.co.jp](http://www.mrc.co.jp).
- [11] R.M. Ribeiro and M.M. Werneck, "Leakage current optoelectronic sensor", WO patent pending, Brasil (2002).
- [12] B. Culshaw & J. Dakin (editors), Optical Fiber Sensor, Artech House, London, 1989 and 1997.