

Desenvolvimento de Sistema de Monitoração de Corrente para Classe de Tensão de 13,8 a 138 kV

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

RESUMO

O trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de monitoração de corrente para aplicação em média e alta tensão, no intuito de atender uma necessidade básica das concessionárias do setor elétrico. A tecnologia proposta baseia-se em transdutores eletroópticos, utilizando fibras ópticas para o acesso remoto aos dados. O objetivo central do desenvolvimento é construir um equipamento híbrido, que envolva optoeletrônica e telemetria com fibras ópticas capaz de medir e monitorar em tempo real as correntes elétricas em linhas de média e alta tensão. O projeto desenvolveu dois protótipos utilizando tecnologia optoeletrônica para medida de corrente. Um dos sistemas visa a monitoração temporária de corrente em uma linha, e o outro fica permanente em uma subestação com capacidade de interação com subsistemas de segurança em caso de sobrecarga.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador de Corrente, TC óptico, Fibra óptica, Rede de distribuição.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia convencional utilizada nos transformadores de potencial e de corrente teve uma evolução substancial e, atualmente, são as mais empregadas pelas empresas do setor elétrico; entretanto, surgiram novas tecnologias de sensoriamento que estão atendendo melhor aos desafios atuais exigidos pelo setor. Dentre as novas tecnologias disponíveis, os equipamentos que combinam a optoeletrônica associada à fibra óptica são os que apresentam mais vantagens, tais como: imunidade à interferência eletromagnética, nãocondutividade elétrica, baixo peso, pequeno volume, alta sensibilidade, permite a construção de sistemas de sensoriamento remoto, passividade elétrica, sensoriamento multiponto e/ou contínuo, multiplexação etc. A tecnologia óptica tem demonstrado simplicidade de funcionamento, factibilidade, e, principalmente, confiabilidade.

O objetivo central do presente desenvolvimento é cons-

truir um equipamento híbrido, ou seja, envolvendo optoeletrônica e telemetria com fibras ópticas que seja capaz de medir e monitorar em tempo real as correntes elétricas em linhas de alta tensão. A técnica utilizada neste projeto baseia-se na combinação da forma convencional de medição com a fibra óptica. O núcleo magnético gera uma corrente-espelho da corrente a ser medida sem interromper a linha. O sensor mede a corrente, e a fibra óptica propicia o isolamento entre a alta tensão e o ponto de medida em potencial terra. A tecnologia proposta faz uso da bobina de indução eletromagnética (transformador de corrente convencional) em combinação com a tecnologia óptica. Trata-se portanto de um transformador de corrente híbrido. Um sensor óptico passivo é interrogado por luz através de uma fibra óptica onde o mensurando fica codificado e retorna, ou prossegue por transmissão através desta mesma. O transformador de corrente descrito não necessita de alimentação elétrica in-situ, exceto o acionamento exercido pelo próprio mensurando (corrente elétrica) que envia os sinais ópticos para o potencial de terra por meio da fibra óptica plástica (POF). Esta tecnologia possui grande sensibilidade, faixa dinâmica adequada e permite obter em tempo real a medida do valor médio da amplitude das correntes elétricas, assim como o seu formato de onda. Também incluído ao projeto está a telemetria remota e respectivo software para processamento de sinais, assim como testes em condições reais de campo.

As vantagens específicas esperadas do sistema são:

- Em média tensão pode ser instalado com técnicas de linha-viva sem necessidade do desligamento e a instalação se faz em poucos minutos.
- Os sistemas são intrinsecamente seguros pois a única ligação entre o potencial da linha e o terra é feito através de uma fibra óptica.
- Serve para o monitoração de corrente.
- Em alta tensão (138kV) pode ser utilizado no controle de corrente para proteção de equipamentos contra curto circuito ou surtos de corrente.
- É imune à descargas atmosféricas e outros surtos.
- Ocupa um espaço mínimo e tem peso reduzido e assim não utiliza pedestal; fica pendurado no cabo ou barramento, permitindo sua utilização em subestações confinadas que trabalhem com isolamento a gás ou pequenas subestações.

Estes trabalho foi apoiado parcialmente pela Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro – CERJ.

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

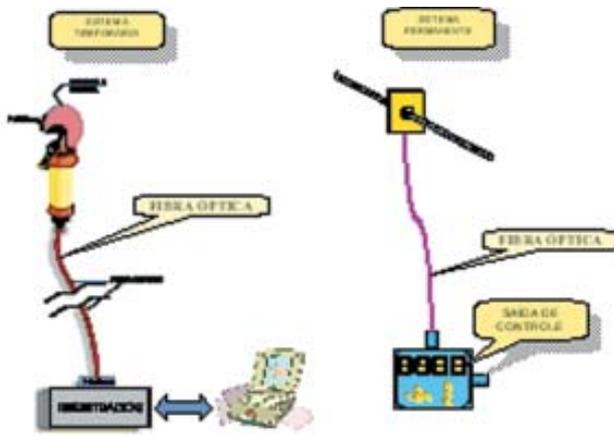


FIGURA 1. Diagrama geral do sistema.

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA E METODOLOGIA

O projeto do sistema completo foi segmentado em partes distintas de desenvolvimento: o sensor de corrente óptico (TC); hardware eletrônico de sensoriamento, transmissão e recepção; o hardware referente ao sistema de medição temporária; e o hardware do sistema de medição permanente. Cada um destes módulos ocupou uma fase do cronograma do projeto, resultando nos testes em laboratório e em campo ao longo do projeto. A Figura 1 apresenta um diagrama geral e básico dos sistemas desenvolvidos.

A. Sensor de Corrente Óptico - Transformador de Corrente (TC)

A tecnologia proposta faz uso da bobina de indução eletromagnética (transformador de corrente convencional) em combinação com a tecnologia óptica. Trata-se, portanto, de um transformador de corrente híbrido. A bobina de indução eletromagnética é prática, fácil e rápida de ser projetada, construída e instalada de forma a compor um circuito fechado em torno do condutor por onde flui a corrente elétrica que se deseja medir. Por outro lado, pode facilmente ser ajustada em sua sensibilidade no formato geométrico otimizado como bobinas toroidais e/ou quanto ao uso de materiais magnéticos como ar, ferro, ferrite etc., para compor o seu núcleo.

O sensor óptico é passivo e deve ser interrogado por luz através de uma fibra óptica onde o mensurando fica codificado e retorna, ou prossegue, por transmissão, através desta mesma fibra óptica, para demodulação remota. O TC descrito não necessita de alimentação elétrica in-situ, exceto o acionamento (modulação) exercido pelo próprio mensurando (corrente elétrica) que envia os sinais ópticos para o potencial de terra por uma fibra óptica. O uso de fibras ópticas plásticas de PMMA (polimetilmetacrilato) é particularmente interessante por serem robustas, fáceis e seguras de manipular, e consistir numa tecnologia de baixo custo.

As condições de projeto consideradas para otimização do TC são: baixa impedância de carga; dispersão de fluxo

menor possível; baixa corrente de excitação; e densidade de fluxo maior possível.

A corrente de excitação determina a máxima exatidão que pode ser obtida com um TC. Isso se torna uma fonte de erro, pois a corrente no secundário é proporcional à corrente no primário menos a corrente de excitação. Os fatores que mais geram erros em um TC são: dispersão de fluxo, perda por efeito Joule nos enrolamentos e perdas no núcleo. O núcleo do TC deve ser fabricado utilizando-se uma fita de material ferromagnético, enrolada como uma serpentina. Para minimizar a dispersão de fluxo deve-se ter o enrolamento secundário todo ao redor do núcleo.

Na maioria das aplicações que envolvem altas correntes (100 A), utiliza-se a liga de ferro-silício, chamada de Magnesil, que alia baixo custo e uma boa precisão. Neste sentido, foi indicado o núcleo do TC feito da liga de ferro-silício 3% grão orientado, com espessura de 0,3mm.

- O projeto do TC considerou as seguintes condições:
- cabo ACSR 477 MCM - máxima corrente a ser medida é de ≈ 800 A RMS, que representa 120 % da capacidade do cabo.
 - Corrente máx. no secundário = 50 mA RMS;
 - Corrente máx. no Led ≈ 25 mA RMS;
 - Número de espiras do primário = 1.

Pela relação no transformador, onde o índice p representa primário e s secundário:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \Rightarrow N_s = \frac{800}{50 \times 10^{-3}} = 16000 \text{ espiras} \quad (1)$$

Em relação ao cálculo da seção do núcleo, leva-se em conta o consumo de potência no secundário, a área da seção reta do núcleo deve ser dada por [2]:

$$A = 1,2 \cdot \sqrt{P} = 0,747 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

Onde P é a potência consumida no secundário em Watts, e A a área da seção em cm^2 . Foi utilizada uma área de 1 cm^2 , que fornece uma potência maior para compensar as perdas no núcleo e nos enrolamentos.

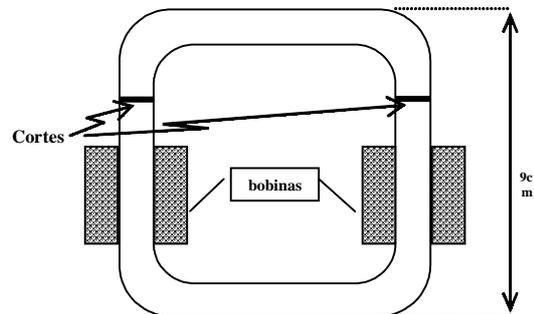


FIGURA 2 - Desenho técnico do TC.

As dimensões do núcleo do TC devem ser tais que o cabo de maior diâmetro (ACSR 795 MCM) possa caber no interior do núcleo, com alguma folga. Para que o cabo possa ser introduzido no interior do núcleo, este deve ser cortado e acoplado a uma carcaça, de tal forma que seja fácil o seu manejo de abertura e fechamento. Consideran-

do que o cabo ACSR 795 MCM possui diâmetro externo = 28,11 mm e seção nominal = 402,8 mm², o secundário teve que ser formado por 2 carretéis (enrolamentos de fio), dispostos nas laterais do núcleo (figura 2).

O fio escolhido para os enrolamentos suporta uma corrente de até 90 mA, fornecendo margem de segurança.

A potência máxima que o TC teoricamente poderá fornecer é extraída a partir da equação:

$$P = \left(\frac{A}{1,2} \right)^2 = 0,694 \text{ W} \quad (3)$$

Para o fio utilizado nos enrolamentos, devemos ter uma corrente no secundário de no máximo 90 mA, logo o sistema TC mais circuito de secundário deve limitar a corrente [3].

Na condição máxima de tensão sobre o secundário, quando o componente de segurança (transzorb) estiver conduzindo, tem-se uma tensão de valor 11,87 V (RMS), obtido experimentalmente. Suponhamos que a corrente atinja esse valor máximo, então a potência consumida no secundário deverá ser de: $P = 11,87 \times 0,09 = 1,0683 \text{ W}$

Este valor representa 54% a mais que o TC pode fornecer, logo pode-se ficar seguro quanto ao fato de haver um surto de corrente na linha de distribuição, pois o dispositivo irá saturar em potência, não danificando nenhum componente interno.

B. Sistema de Sensoriamento, Transmissão e Recepção

O circuito transmissor é constituído fundamentalmente por um led que ao ser sensibilizado pela corrente da linha, "ilumina" a fibra óptica plástica (POF) conectada ao receptor óptico, situado em potencial de terra e alimentado pela rede de baixa tensão. Desta forma, o sinal de saída do receptor contém a informação da corrente da linha. Este método proporciona isolamento elétrico entre a rede de alta tensão, e o potencial de terra, onde há o receptor óptico e os demais circuitos.

Visando proteger o sistema instalado em alta tensão há a necessidade de se evitar a tensão reversa e surtos de corrente aleatórios. Neste sentido, conecta-se um diodo em antiparalelo e um resistor em série com o circuito resultante para que consuma parte da potência fornecida pelo TC e este sature a partir de uma determinada corrente, protegendo o secundário de correntes acima do limite estabelecido.

Ainda dentro do conceito de proteção contra correntes de surto foi adotado um transzorb em paralelo com o circuito e uma indutância em série com o resistor. O transzorb funciona como um limitador de tensão, não muito rápido, portanto, uma indutância é adicionada proporcionando um retardo no crescimento da corrente no circuito, dando ao transzorb o tempo necessário para reagir.

A POF que retorna do sensor chega ao receptor e conecta-se a um fotodiodo através de um receptáculo especial.

C. Sistema Temporário

O Sistema Temporário possui especificidades de projeto nos subsistemas adjacentes ao Sensor - Transformador de Corrente (TC), tais como: Interface - circuitos de recepção; Registrador - sistema de aquisição de dados - Datalogger; e sistema de armazenamento, processamento e apresentação dos dados em notebook; e o projeto mecânico do TC (Figura 3).

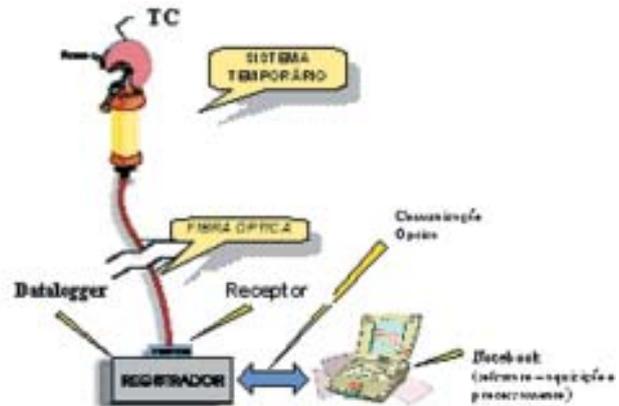


FIGURA 3 - Diagrama ilustrativo do Sistema Temporário Completo.

O sistema de registro compreende: a) circuito para recepção e transformação do sinal óptico em elétrico; b) circuito para cálculo do valor RMS do sinal elétrico; c) datalogger para digitalização e armazenamento do sinal da corrente por 8 dias corridos; d) sistema para transferência dos dados para um computador pessoal, tipo notebook, via comunicação serial, para posterior processamento e apresentação gráfica.

O subsistema Receptor é composto por dois circuitos distintos: recepção e conversão do sinal óptico em sinal elétrico; e cálculo analógico do valor médio RMS do sinal de entrada, para posterior digitalização. A Figura 4 apresenta o diagrama em blocos do sistema receptor.

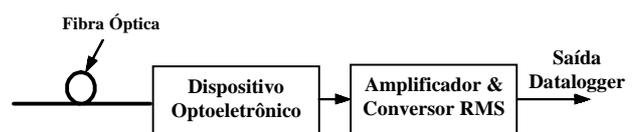


FIGURA 4 - Diagrama em blocos do circuito Receptor Óptico.

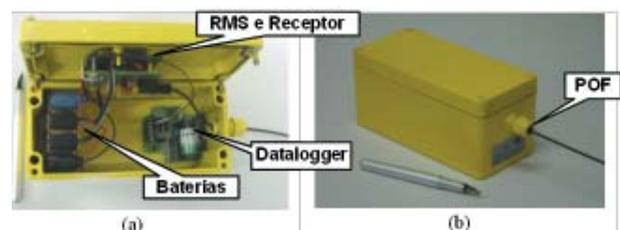


FIGURA 5 - Fotografias do Registrador: (a) vista interna; (b) vista externa.

O subsistema de Aquisição de Dados/Sinais consiste de um circuito microprocessado capaz de digitalizar e armazenar o valor médio RMS fornecido pelo estágio anterior. Este subsistema disponibiliza os dados na porta serial visando estabelecer comunicação com um computador externo.

A Figura 5 apresenta as fotografias, interna e externa, da caixa preparada para acomodar o sistema de recepção, o datalogger, e as baterias, para garantir, de forma segura, a autonomia dos circuitos de recepção e de RMS.

Implantado no computador externo existe um software responsável pela leitura dos dados, disponibilizados na porta serial, provenientes do Datalogger. Estes dados são armazenados em arquivos físicos e colocados sob a forma de planilhas/tabelas (Figura 12). Posteriormente, são manipulados e/ou processados por qualquer software comercialmente disponível, que seja capaz de produzir gráficos tal como aquele apresentado na Figura 13.

D. Sistema Permanente

Da mesma forma que o anterior, o Sistema Permanente possui especificidades de projeto que implica na descrição separada dos subsistemas desenvolvidos, ou seja, desde o sensor (TC), até o sistema de registro e alarme (Figura 6).

O receptor monitora a corrente e, caso esteja maior ou igual à programada, o equipamento aciona, sincronamente, um alarme luminoso e um sinal de saída em nível TTL.

Os subsistemas adjacentes que completam o Sistema Permanente são: circuitos de transmissão e recepção; e Registrador (diagramado na Figura 7). O sistema de registro compreende os seguintes subsistemas: a) circuito para recepção e transformação do sinal óptico em elétrico; b) circuito para cálculo do valor RMS do sinal elétrico; c) Amplificador e Linearizador; d) Displays de monitoramento e programação de nível de alarme; e) Comparador e saída de controle TTL.

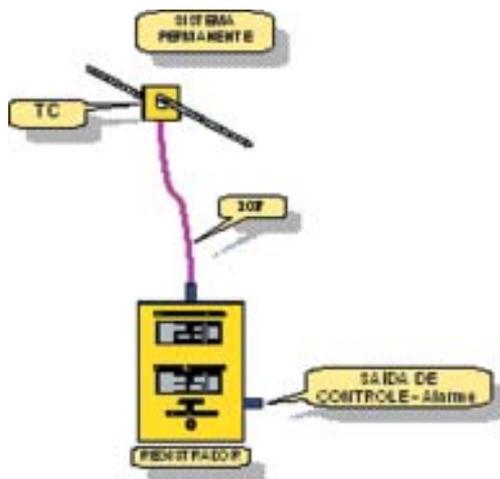


FIGURA 6 - Diagrama ilustrativo do Sistema Permanente Completo

O subsistema Linearizador implementa um polinômio de segundo grau capaz de linearizar a curva de resposta do sistema óptico de sensoriamento. O subsistema Comparador está com a sensibilidade reduzida a ruídos em função da implementação de um laço de Histerese em relação ao nível de tensão ajustado pelo operador.

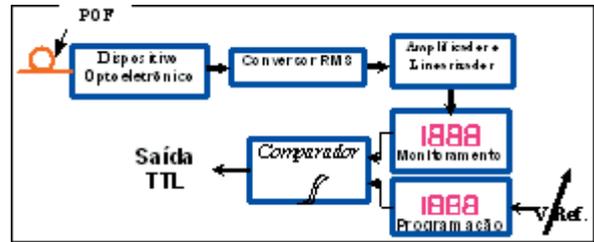


FIGURA 7 - Diagrama em blocos do Registrador.

III. RESULTADOS

O desenvolvimento do projeto resultou na implementação de três módulos básicos: TC; Sistema Temporário e Sistema Permanente. Cada um destes módulos aplicou técnicas distintas que se traduziram em resultados específicos. Sendo assim, a seguir são apresentados os resultados de cada um dos módulos incluindo o teste de campo.

A. Transformador de Corrente (TC)

O TC foi submetido a uma giga de corrente, visando o estabelecimento da linearidade. A Figura 8 apresenta a comparação entre a corrente que passa na giga e a corrente do secundário do TC.

O TC do Sistema Temporário foi levado a campo para teste ergométrico. Os resultados deste teste foram documentados em fotografias apresentadas na Figura 9. O TC foi revestido com material isolante elétrico e montado em sistema articulado permitindo a instalação com vara de manobra.

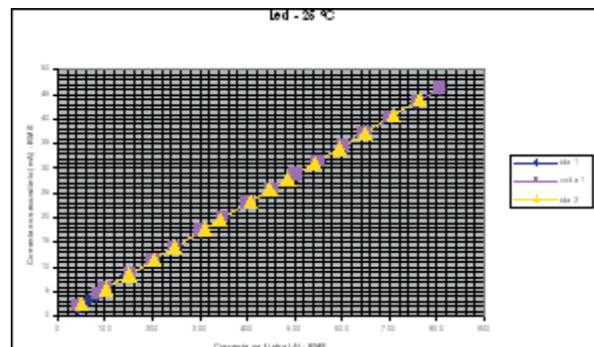


FIGURA 8 - Linearidade do TC.



FIGURA 9 - Fotografias do TC do Sistema Temporário. (a) Garra articulada aberta; (b) Garra fixada com vara de manobra no fio.



FIGURA 10 - Fotografias do TC do Sistema Permanente. (a) aberta mostrando as extremidades do núcleo do transformador; (b) vista inferior caracterizando a conexão com a POE.

O TC do Sistema Permanente apresentado na Figura 10 consiste de caixa feita de resina dividida em duas partes. Cada parte, internamente, contém um pedaço do núcleo e as respectivas bobinas. O sistema de fixação é realizado por quatro parafusos que atravessam as duas partes da caixa. Foi previsto um orifício com diâmetro equivalente a um cabo padrão de linha de distribuição pertinente às especificações iniciais do projeto.

B. Sistema Temporário

Foram elaborados experimentos laboratoriais para caracterização do desempenho do Sistema Temporário, o qual fez uso da giga de corrente disponível no LIF. O experimento objetivou simular condições próximas da realidade operacional. Desta forma, foi montado o sistema considerando desde o TC até o computador (Figura 11). Ao longo de 3 minutos foram realizadas variações forçadas na corrente da giga que foram opticamente transmitidas, recebidas, digitalizadas e armazenadas na memória do Datalogger. Posteriormente, os dados foram transferidos serialmente para o computador, que os armazenou em forma de tabela (Figura 12) em um arquivo físico.

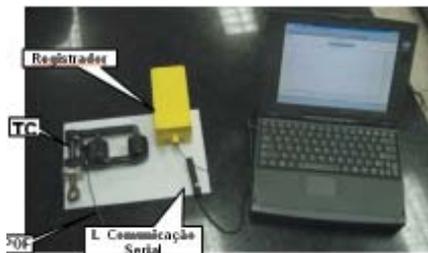


FIGURA 11 - Fotografia ilustrativa do Sistema Temporário Completo montado em bancada.

Os dados dispostos sob a forma de tabela podem ser processados e dispostos graficamente como apresentado na Figura 13.

Num. Registro	Data - Hora	Corrente (A)	Temp. °C
1	05/12/02 - 13:24:21	345,8935	25,3
2	05/12/02 - 13:24:36	347,0230752	25,3
3	05/12/02 - 13:24:51	348,3016342	25,3
4	05/12/02 - 13:25:06	348,5916342	25,3
5	05/12/02 - 13:25:21	316,1822902	25,3
6	05/12/02 - 13:25:36	187,35885	25,3
7	05/12/02 - 13:25:51	169,6054488	25,3
8	05/12/02 - 13:26:06	137,99	25,3
9	05/12/02 - 13:26:21	64,3941582	25,3
10	05/12/02 - 13:26:36	289,0938888	25,3
11	05/12/02 - 13:26:51	295,7131982	25,3
12	05/12/02 - 13:27:06	292,2376128	25,3
13	05/12/02 - 13:27:21	292,2376128	25,3
14	05/12/02 - 13:27:36	328,39728	25,3
15	05/12/02 - 13:27:51	347,0230752	25,3

FIGURA 12 - Dados armazenados no Datalogger e transmitidos para o computador. Valores de corrente extraídos a cada 15 segundos durante um período de 3 minutos de aquisição.

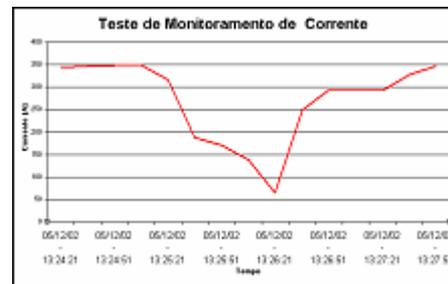


FIGURA 13 - Gráfico da medida de corrente na giga de teste.

C. Sistema Permanente

O sistema foi avaliado segundo os parâmetros de linearidade e à incerteza das medidas ao longo da faixa dinâmica de operação. A Figura 14 apresenta o conjunto montado para realização do experimento em laboratório. No lado direito encontra-se o TC fixado à giga de corrente (700 A máx.). O valor da corrente foi obtido através de monitoração da tensão, por meio de um osciloscópio digital de alta precisão, em uma resistência Shunt em série.



FIGURA 14 - Fotografia ilustrando o experimento montado para realização dos testes de desempenho do sistema.

Foram realizadas seqüências de medições ao longo da faixa dinâmica possível para teste, ou seja, de 20 a 700 A. As medições foram processadas e produziram o gráfico apresentado na Figura 15(a); com uma barra de incerteza de 2%. O gráfico da Figura 15(b) apresenta uma visão ampliada da sub-faixa de 20 a 200 A, permitindo uma observação mais detalhada dos valores medidos.

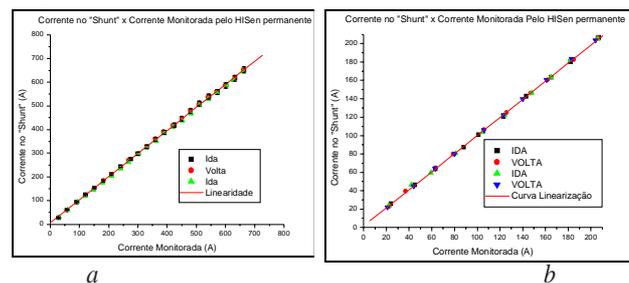


FIGURA 15 - (a) Gráfico da corrente no "Shunt" versus a corrente monitorada pelo Sistema com barra de incerteza de 2%; (b) Gráfico ampliado com medições entre 20 e 200 A.

TABELA 1.
VALORES DE CORRENTES NOMINAIS E AS INCERTEZAS PARA A RETA REGREDIDA LINEARMENTE

Corrente (A)	Corrente nominal (A)	Incerteza (%)
40	41,036	2,59
100	100,003	0,003
200	198,270	0,86

Os valores medidos permitiram realização de uma regressão linear na curva. A partir dos coeficientes obtidos para curva (reta) pôde ser calculada a incerteza de três correntes escolhidas (40, 100 e 200 A) quando comparadas aos valores obtidos segundo a curva regredida. A Tabela 1 apresenta os valores de incerteza encontrados para as correntes selecionadas.

D. Teste de Campo

A concessionária CERJ, através de sua equipe operacional de engenharia, viabilizou o teste de campo dos dois sistemas: temporário e permanente. Uma equipe de "linha-viva" foi deslocada para a subestação do município de Cabo Frio no Rio de Janeiro, exclusivamente para realizar a instalação do TC. As fotografias da Figura 16 ilustram o processo de instalação do sensor (TC, circuito transmissor e fibra óptica) em uma das linhas de distribuição de 13,8 kV da subestação. A Figura 17 apresenta o conjunto instalado na torre da linha de distribuição.

Para realização dos testes com Sistema Temporário, a fibra óptica proveniente do TC foi inserida no datalogger. O computador notebook foi conectado ao datalogger (comunicação serial) para averiguação na tela, em tempo real, da corrente da linha. Ainda com o notebook, foram programados os parâmetros da aquisição da corrente. A frequência de amostragem ajustada foi de 1 amostra a cada 2 minutos o que resultou em uma janela de observação de 11 dias corridos.

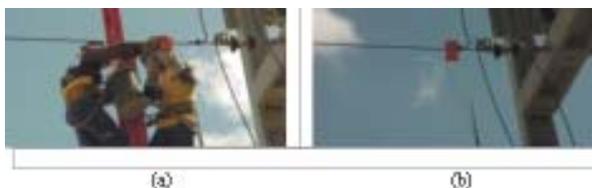


FIGURA 16 - Fotografias ilustrando o processo de instalação do TC. (a) equipe de linha-viva colocando o TC na linha; (b) TC instalado.



FIGURA 17 - Fotografias apresentando o local e o método de instalação do Sistema Temporário na subestação.

Após o período de 11 dias a equipe de linha-viva procedeu a retirada do equipamento e, através de um notebook, foi realizada a leitura do dados que estão no gráfico apresentado na Figura 18. A massa de dados é muito grande, portanto, este gráfico abrangendo os 11 dias apenas permite fazer uma análise generalista do comportamento do consumo de energia elétrica nesta linha ao longo dos dias. A percepção mais detalhada implica na análise separada de pequenos intervalos de tempo, pois temos cerca de 720 pontos medidos por dia. O gráfico permite rápidas conclusões, tais como: a corrente média oscila entre 80 e 120 A; o pico do consumo diário está no período de 18 à 19h; e houve problemas nesta linha no dia 02 de maio, que posteriormente foi confirmado pela concessionária.

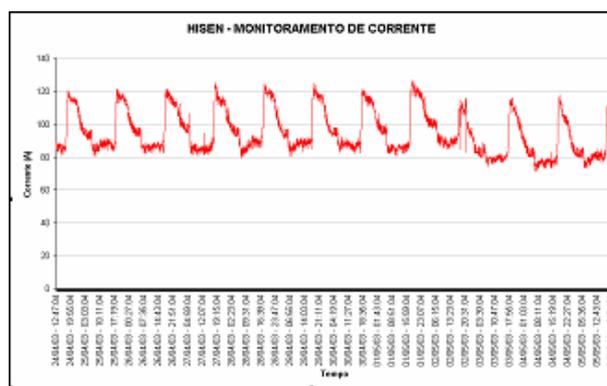


FIGURA 18 - Gráfico da corrente versus os 11 dias de monitoramento.

IV. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os resultados alcançados foram amplamente superiores aos esperados na medida que houve um depósito de patente no INPI (nº PI0205845-6), e a publicação científica de dois artigos no "11th e no 12nd International POF Conference 2002 e 2003", Japão (Tokyo) e EUA (Seattle), respectivamente.

O sistema desenvolvido proporcionou, como esperado, total isolamento entre o potencial e o terra, pois a única ligação entre os dois foi a fibra óptica plástica.

O ponto crítico do projeto, sem dúvida, foi a busca da menor incerteza do equipamento de tal forma que se conseguisse atender à faixa de operação de 0 a 800 A. Este problema da incerteza foi mais premente no Sistema Permanente, pois o processamento do sinal é analógico, e a linearização do sinal, oriundo do sensor (resposta em forma polinomial), teve que ser feita por circuito analógico. No caso, do Sistema Temporário, a linearização do processo é feita digitalmente, o que proporciona uma incerteza bem inferior àquelas apresentadas na Tabela 1.

A tecnologia de Led e POF empregada pelo sensor de corrente desenvolvido neste trabalho leva vantagens sobre as outras técnicas adotadas nos últimos anos, pois são: eficientes, de fácil manuseio, resistentes, confiáveis,

descartáveis, e possibilita à 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 tecnologia desenvolvida possui ampla aplicação no setor elétrico, possibilitando os seguintes desdobramentos, entre outros:

- a) Versão trifásica para aplicação temporária com medição de corrente de neutro.
- b) Idem ao item (a) acrescentando o fator telemetria.
- c) Idem ao item (a) para medição de uma linha-tronco e três ramais simultaneamente, com e sem telemetria.
- d) Desenvolvimento de uma versão para 13.8 e 34.5 kV mono, bi ou trifásica embutida em um isolador de cerâmica para medição permanente de corrente em alimentadores das supracitadas classes de tensão.
- e) Pesquisa de um TC óptico com de exatidão de 0,3%.

■ 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 (LIF) COPPE/UFRJ.

■ VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. B. Briggs, "Leakage current monitoring system and method", U.S. Patent 3,947,759; 1976.
- [2] Quevedo, Carlos Peres. "Eletromagnetismo". Ed. Loyola, 1993.
- [3] Nichia Chemical Corporation, "Nichia Chemical Corporation Lamp Type LED Product Guide Brochure", Maio, 1999.
- [4] Toshihiko Yoshino, "Optical fiber sensors for electric industry", Proceeding SPIE, vol. 798, 258-265, 1987.
- [5] R.M. Ribeiro and M.M. Werneck, "Leakage current optoelectronic sensor", WO patent pending, Brasil, 2002.
- [6] B. Culshaw & J. Dakin (editors), Optical Fiber Sensor, Artech House, London, 1989 and 1997.
- [7] R. M. Ribeiro e M. M. Werneck, "Plastic Optical Fibre Technology for High Voltage Current Measurements", 11th International Plastic Optical Fibres Conference 2002 (POF 2002), Tokyo, September 18-20, Japan.
- [8] D. A. Ward e J. La T. Exon, "Using Rogowski coils for transient current measurements", Engineering Science And Education Journal, Junho 1993
- [9] R. M. Ribeiro, "High temperature nitride sources for plastic optical fibre data buses", 10th International Plastic Optical Fibres Conference 2001, Amsterdam/Holanda.
- [10] William Koon, "Current sensing for energy metering", Analog Devices, 2002.