



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GLT/07
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO- GLT

**SENSOR HÍBRIDO DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA E CORRENTE PARA LINHAS DE
TRANSMISSÃO AÉREAS**

**Fábio Vieira Batista de Nazaré (*)
LIF/COPPE
Universidade Federal do Rio de
Janeiro**

**Marcelo Martins Werneck
LIF/COPPE
Universidade Federal do Rio de
Janeiro**

**José Luiz da Silva Neto
LIF/COPPE
Universidade Federal do Rio de
Janeiro**

RESUMO

O projeto de linhas de transmissão (LT) é, frequentemente, fundamentado em aspectos conservadores, de forma que os padrões de segurança sejam atendidos e que a deterioração dos materiais que compõem a linha seja evitada. Com a crescente demanda por energia a ideia do aumento da capacidade de transmissão de linhas já existentes, projetadas considerando coeficientes de segurança elevados, é bastante atrativa; e dessa forma procura-se reduzir ou evitar o investimento em novas linhas.

O aumento da capacidade de transmissão é interessante do ponto de vista econômico, especialmente em países em desenvolvimento como Brasil, onde o custo com a construção de novas linhas pode ser, em alguns casos, até eliminado. Neste âmbito, um dispositivo para monitoramento de corrente e temperatura de baixo custo para linhas de transmissão de 69 kV empregando tecnologia óptica é proposto. O sistema deverá prover informações para o desenvolvimento de uma relação corrente-flecha da linha analisada, e um consequente dimensionamento mais seguro da ampacidade, enquanto a linha é operada em sua capacidade total. Especificamente, os sensores que necessitam de contato direto ou parcial com o condutor para realização das medidas devem estar isolados do potencial terra, evitando assim danos ao sistema de medida e acidentes pessoais.

Outra questão que deve ser levada em consideração é a forma de obtenção da energia para alimentar tanto os sensores como seus circuitos auxiliares, visto que estes estão situados em ambiente inóspito. A tecnologia fotônica surge então como uma solução para ambos os requisitos de alimentação remota e isolamento elétrica, dada a capacidade isolante do óxido de silício. As fases de desenvolvimento do protótipo são apresentadas, incluindo a instalação em uma LT de 69 kV na Serra Gaúcha.

PALAVRAS-CHAVE

Medição de corrente, Fibras ópticas, Alimentação óptica, Flecha, Linhas de transmissão

1.0 - INTRODUÇÃO

A capacidade de transmissão de uma LT é definida pelo pico de máxima de corrente elétrica que a linha é capaz de suportar sem que sejam violadas normas de segurança e ou integridade dos materiais de sua construção. O aumento da corrente provoca maior aquecimento dos condutores e consequentemente a dilatação e o acréscimo da flecha, levando a uma possível violação de espaçamentos de segurança e isolamento.

Tradicionalmente as LTs são projetadas com base em premissas conservadoras para parâmetros de velocidade do vento, temperatura ambiente, radiação solar, dentre outros, sendo que são utilizados índices de até 98% de duração para o pior caso. Nestas condições, uma LT com 100% de sua capacidade em uso estará operando 98% do tempo subutilizada e os 2% restantes sob risco de exceder alguma margem de segurança.

Acompanhando o crescimento econômico do país, a demanda de energia não deixa de aumentar, fazendo com que exista um aumento substancial e progressivo da carga dos componentes do sistema do setor elétrico, principalmente das linhas de transmissão. Este problema vem se agravando pela falta de grandes investimentos nos últimos anos, não só em geração de energia, mas também na construção de novas linhas de transmissão.

(*) Laboratório de Instrumentação e Fotônica – Av. Horácio Macedo, 2030, Ilha do Fundão, Centro de Tecnologia, Bloco I – 036 (subsolo) – CEP 21941-219, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Tel: (+55 21) 2562-8200 – fabio@lif.coppe.ufrj.br

Existem meios para otimizar as linhas de transmissão com o uso de equipamentos modernos de compensação reativa série ou paralela. Outra forma de aumentar a capacidade das linhas já existentes é pela adoção de avanços tecnológicos que foram disponibilizadas nos últimos anos, os quais permitem uma análise com base em cálculos menos conservadores referentes às suas condições de operação.

Dados obtidos das condições das LTs já em uso são utilizados por especialistas, denominados Despachantes, que os utilizam para calcular e determinar, com base num certo fator de segurança, o quanto de energia pode ser enviado por uma LT num determinado horário do dia. Estes fatores de segurança podem estar superestimados levando a uma subutilização da linha. Por outro lado trabalhar com fatores além do limite crítico poderá levar a uma retirada da LT de operação, com resultados catastróficos para o sistema interligado de transmissão de energia. No entanto, como a capacidade de operação das LT está fortemente ligada a fatores ambientais, tais como temperatura, umidade, ventos, distância condutor-solo, poluição, entre outros, tais cálculos não se aplicam para uma definição em tempo real da capacidade.

Uma vez que LTs requerem um alto grau de disponibilidade e confiabilidade, sistemas não monitorados, de forma geral, por segurança, nunca operam com sua capacidade total. O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de corrente e temperatura dos cabos condutores das linhas de transmissão, o qual realiza o sensoriamento dos parâmetros corrente e temperatura dos condutores da LT empregando tecnologia fotônica tanto para comunicação quanto para o fornecimento de energia para os circuitos eletrônicos remotamente situados. Medições em ambientes inóspitos, como o espaço ao redor de linhas de transmissão aéreas vivas, oferecem alguns desafios; como acesso ao local de avaliação dificultado e preocupação com condições de segurança, tanto de pessoal quanto de equipamentos (1).

Os sinais dos sensores de corrente e temperatura, dispostos nas proximidades da superfície do condutor, são digitalizados e enviados via fibra óptica para uma base central, situada em região de baixa tensão, e onde o sinal óptico é convertido de volta para sinal elétrico. Um laser de potência, localizado na base central, provê a potência óptica necessária para alimentar os sensores e circuitos na região de alta tensão, a qual é guiada por um segundo cabo de fibra óptica; um conversor fotovoltaico na extremidade oposta do guia de onda realiza a geração da energia elétrica a partir da energia óptica.

O sistema desenvolvido foi instalado em uma linha de transmissão de 69 kV operada pela companhia Rio Grande Energia (Caxias do Sul – RS), e após a constatação do mal funcionamento do sistema devido à susceptibilidade da eletrônica embarcada aos fortes campos elétricos envolvidos o sistema foi remodelado, passando por ensaios de alta tensão no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL – RJ), não apresentando falhas de operação e estando totalmente adequado para instalação e realização das medições requeridas.

2.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA

2.1 Visão Geral do Sistema de Medição de Corrente e Temperatura

O sistema de monitoramento de corrente e temperatura é composto por um transformador de corrente de base eletro-eletrônica e por um sensor para medição de temperatura. As medições são realizadas no ambiente de alta tensão, contudo, os dados precisam ser recuperados e processados em uma base central na região de baixa tensão, e esta é uma configuração bastante empregada em sistemas de medição em ambientes de alta tensão diversos (2).

O subsistema em alta tensão responsável pelas medidas de corrente elétrica e temperaturas do cabo é opticamente alimentado pelo subsistema situado na região de baixa tensão da seguinte maneira: na região de potencial terra um laser de potência injeta um feixe de luz com comprimento de onda de 830 nm em um cabo de fibra óptica multimodo dedicado. Este cabo é direcionado para a região de alta tensão através de um isolador polimérico projetado para proteger os dispositivos situados na região de baixa tensão.

Já na região de alta tensão a luz do laser é convertida para energia elétrica por meio de um fotodetector de silício. A energia obtida desta forma alimenta todos os circuitos situados no subsistema em alta tensão, são eles: sensores de corrente e temperatura, conversor DC/DC microcontrolador e transmissor serial de fibra óptica. Os dados das medições são enviados para a base central por um segundo cabo de fibra óptica multimodo, também por meio do isolador polimérico previamente citado.

Uma bobina de Rogowski, a qual consiste em uma bobina helicoidal envolvida em um núcleo não-magnético, é empregada como o sensor de corrente, oferecendo vantagens em relação a transformadores de corrente convencionais, tais como linearidade, fácil manuseio e não-saturação (3). As medições tanto da temperatura do cabo quanto da temperatura ambiente são realizadas por meio de sensores de temperatura integrados, devidamente protegidos das intempéries. Estes sensores, além de não serem caros, são práticos e de simples utilização. As saídas elétricas dos sensores são digitalizadas e processadas utilizando um microcontrolador de baixo consumo, e posteriormente enviados para o sistema receptor na região de baixa tensão através de um LED operando em 850 nm e conectado a uma fibra óptica.

Entretanto, como já mencionado, alimentar eletricamente os circuitos situados em um ambiente inóspito como o que circunda um cabo de linha de transmissão aérea não é uma tarefa simples. Todos os circuitos situados na região de alta tensão são alimentados opticamente por uma tecnologia conhecida como *Power over Fiber* (PoF): um laser de potência, situado na região de baixa tensão, provê até 1 W de potência óptica; esta potência óptica é injetada em um cabo de fibra óptica dedicado para a condução da energia óptica. Na extremidade oposta do cabo está situado o Conversor de Potência Fotovoltaico (*Photovoltaic Power Converter* - PPC), que compreende um vetor de

diodos semicondutores miniaturizado, que realiza a conversão de energia óptica em energia elétrica, assim como ocorre numa célula solar (4), porém, com uma alta eficiência de conversão. Alimentação e comunicações poderiam ter sido combinados em um único canal, ou seja, um único cabo de fibra óptica ligando as regiões alta e baixa tensão, entretanto, por questões de simplicidade e barateamento da eletrônica envolvida, foi feita a opção por dois cabos de fibra óptica dedicados. Um diagrama de blocos simplificado e que apresenta uma visão geral do sistema de medição de corrente e temperatura é apresentado na Figura 1.

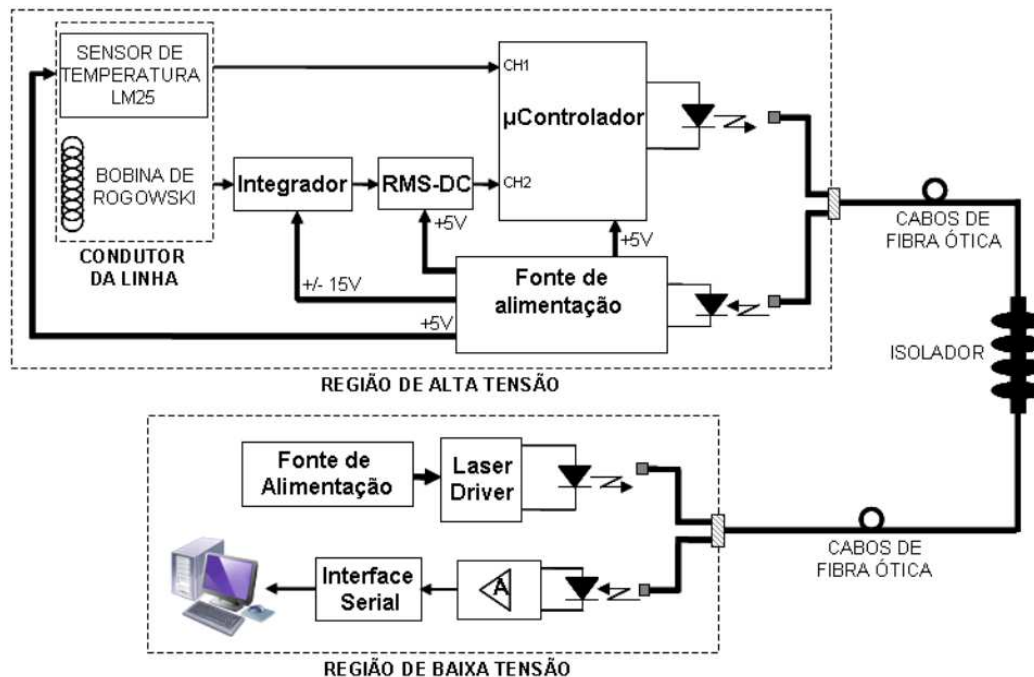


FIGURA 1 – Visão geral do sistema de medição de corrente e temperatura

O sensor de corrente implementado no projeto é uma bobina de Rogowski de utilização comercial que pode, todavia, também ser fabricada para aplicações específicas. A possibilidade de poder envolver a bobina em torno do condutor a ser monitorado, devido à utilização de terminais de enroscamento, concede ao dispositivo facilidade de manuseio e praticidade em situações de instalação em locais de acesso dificultado.

As bobinas de Rogowski oferecem algumas vantagens em comparação com outros transdutores de corrente (TC). Como não possuem núcleo ferromagnético, como os TCs convencionais, os sensores Rogowski não sofrem os efeitos de saturação magnética e a indutância mútua é independente da corrente sendo medida. Ou seja, as bobinas são dispositivos lineares. A utilização do sensor também se dá de maneira bastante prática, uma vez que o dispositivo é em geral leve, pequeno e flexível, podendo ser empregado no monitoramento em ambientes de difícil acesso ou de espaço restrito.

Uma vez que os sistemas de medição são alocados em campo aberto, todos os circuitos, incluindo a bobina de Rogowski, devem ser protegidos contra os problemas que podem surgir a partir de diferentes condições ambientais, tais como deterioração da sensibilidade do sistema e da estabilidade. Dessa forma, os circuitos são alocados em um invólucro classe IP66, provendo proteção contra chuva, umidade e poeira.

As medições de temperatura são implementadas por sensores de temperatura de precisão LM35, alocados na superfície do condutor da linha. O sensor opera em 5 V, consome 60 μA da fonte de alimentação e possui uma sensibilidade de 10.0 mV/°C. Para cada vão entre duas torres a temperatura pode variar na medida em que a LT cruza micro-ambientes com condições meteorológicas variáveis. A temperatura de um condutor aéreo nunca é conhecida com precisão e a sua medição é dificultada, mesmo quando procedimentos de imagem térmica são empregados, a qual não possui uma resolução espacial apropriada. Por esta razão, considerando os projetos de linhas de transmissão, a temperatura é sempre considerada a do pior caso e a mesma ao longo da linha. Dessa forma, o valor da medida fornecido pelo equipamento é apenas indicativo, a melhor estimativa que vai determinar a flecha.

2.2 Potência Óptica Fornecida aos Sistemas de Medição

Conforme mencionado acima, a potência elétrica disponível para os sensores e os circuitos eletrônicos auxiliares situados na região de alta tensão é fornecida por meio de energia óptica. Além da isolação elétrica obtida, algumas outras vantagens podem ser citadas, como a imunidade ao ruído elétrico, facilidade de manuseio e a ausência de surgimento de centelhas. O enlace óptico, composto por dois cabos de fibra óptica multimodo, realiza as funções de prover energia para o sistema localizado em alta tensão e de transmissão das informações das medidas para a

estação-base, localizada na região de baixa tensão. O enlace de alimentação, todavia, requer um cuidado um pouco mais apurado, dados os níveis de potência óptica nele transmitidos.

Num enlace de 40 (quarenta) metros de comprimento, que é a distância aproximada entre o local de instalação dos sensores e a estação-base, emendas de fibra e conectores ópticos são utilizados, de maneira que as regiões de alta e baixa tensão possam ser interconectadas através do isolador óptico polimérico. Contudo, tanto as emendas como os conectores são elementos que introduzem atenuação no sinal óptico, e quando a alimentação fotônica é utilizada as perdas devem ser tratadas como um fator crítico.

No enlace de alimentação óptica projetado está prevista a utilização de duas emendas de fibra óptica e um conector de acoplamento. A estimativa da atenuação proporcionada pelas duas emendas é de aproximadamente 0.01 dB, valor fornecido pelo dispositivo (*fiber splicer*) que realiza a fusão por arco voltaico das duas terminações dos cabos. Após o procedimento de fusão o ponto de fibra nua emendada precisa ser protegido, ou então a junção estará fragilizada frente a esforços mecânicos. Para isso, um revestimento plástico do tipo termo-retrátil é instalado sobre o ponto de emenda, protegendo-a.

O conector de acoplamento, que permite a conexão do terminal do laser ao enlace de condução da potência óptica ao local remoto, ou seja, ao cabo de fibra óptica junto com o isolador polimérico, contabiliza mais 0.03 dB de atenuação. Finalmente, como o sistema atua na primeira janela de transmissão a atenuação óptica advinda do meio para o comprimento de onda utilizado também deve ser considerada. Dessa forma, para cabos de sílica a atenuação é relativamente alta, aproximadamente 3 dB/km. Como o enlace terá um comprimento aproximado de 40 metros, tem-se uma perda de aproximadamente 0.12 dB.

Portanto, a atenuação óptica (A) total do enlace é da ordem de 0.43 dB. Considerando que a potência máxima de saída do laser diodo é 1 W óptico, é possível conhecer a potência óptica máxima que pode ser obtida na extremidade oposta do enlace:

$$A = -10 \log \left(\frac{P_{ENTRADA}}{P_{SAÍDA}} \right) \quad (1)$$

$$-0.43 = -10 \log \left(\frac{1}{P_{SAÍDA}} \right) \therefore P_{SAÍDA} \cong 0.91 \text{ W}$$

onde $P_{ENTRADA}$ é a potência óptica de entrada em watts e $P_{SAÍDA}$ é a potência óptica de saída do enlace em watts, e A é expressa em dB.

Perdas ópticas devem ser mantidas no nível mais baixo possível, e todos os elementos conectores devem estar perfeitamente limpos. Dado que o esquema fotônico empregado lida com densidades de potência óptica relativamente altas, contaminantes podem oferecer risco à integridade do sistema óptico, causando falhas na fibra como fusão ou danos nos terminais conectores. Nos primeiros processos de conectorização este fato foi negligenciado, causando os danos nos terminais do laser de potência apresentados na Figura 2.

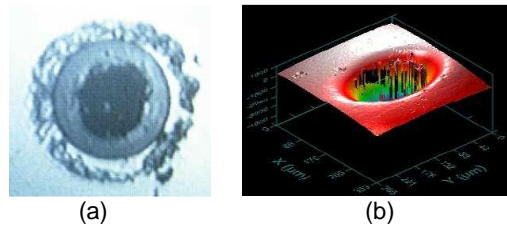


FIGURA 2 - Terminal conector do laser de potência danificado devido a partículas contaminantes: a) Imagem obtida com um microscópio de inspeção óptica, (b) Imagem em 3D do conector danificado obtida usando um sistema interferométrico.

Para que os circuitos situados na região de alta tensão sejam projetados com precisão, se faz necessário o conhecimento da potência elétrica que o conversor pode fornecer. Para uma dada corrente do laser, há uma quantidade de energia elétrica que pode ser obtida a partir da conversão fotovoltaica.

Na Figura 3 é apresentado o gráfico da potência elétrica entregue para uma corrente de laser de aproximadamente 3.3 A. Para obtenção desta curva característica, a impedância de carga, conectada aos terminais do conversor, é variada entre as configurações de curto-circuito e circuito aberto, enquanto os níveis de tensão e corrente são monitorados.

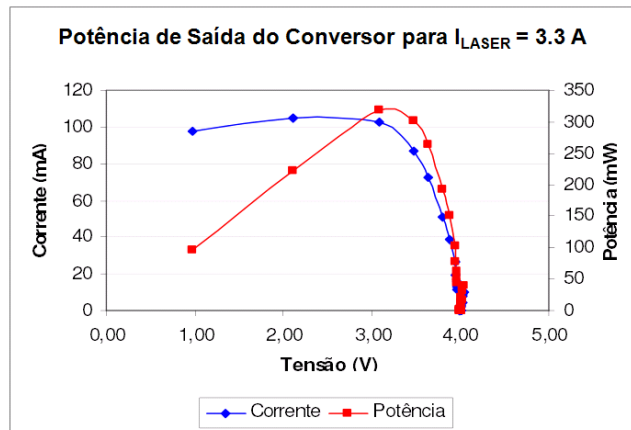


FIGURA 3 - Potência elétrica fornecida conversor, para uma corrente de laser de aproximadamente 3.3 A

2.3 Isoladores Ópticos Poliméricos

A interconexão entre as seções do sistema de medição proposto situadas em ambiente de alta tensão e na região de baixa tensão (estação-base) é realizada por meio de fibras ópticas, fato que provê ao equipamento condições de isolamento elétrico aprimoradas. O aperfeiçoamento das condições de segurança elétrica, contudo, requer o emprego de isoladores, dado o nível de tensão no qual o sistema deve operar. Para o sistema proposto foram desenvolvidos isoladores poliméricos para utilização junto às linhas de alta tensão, onde são alocados cabos de fibra óptica que farão parte do enlace óptico. A Figura 4 apresenta as etapas de montagem deste tipo de isolador. Este é composto por uma haste-suporte, feita de fibra de vidro, sobre a qual é envolvida pelo menos uma fibra óptica. Essa disposição da fibra sobre a haste procura minimizar os esforços físicos sobre a fibra, principalmente devido a bruscas mudanças de temperaturas. Esse conjunto (fibra e haste) é coberto por uma luva isolante feita de silicone contendo as saias. Esse tipo de formato serve para aumentar o caminho elétrico. Essa luva aperta a fibra contra a haste podendo mesmo assim, gerar alguns “espaços” adjacentes a ela. Um gel de silicone é disperso ao longo da fibra para preencher esses espaços. Mesmo minúsculas bolsas de ar são ionizadas em alta tensão, por isso a importância desse preenchimento.

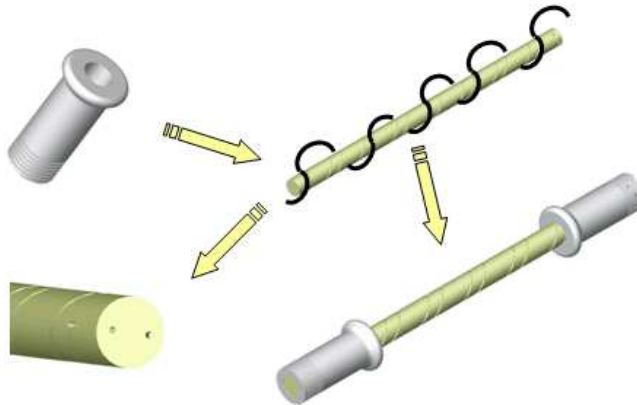


FIGURA 4 - Montagem do isolador polimérico

A fibra óptica é inserida no orifício da haste de fibra de vidro. Posteriormente, o núcleo é recoberto com uma luva isolante com as saias; neste caso, as saias não possuem nervuras. Este processo é mostrado na figura 5.

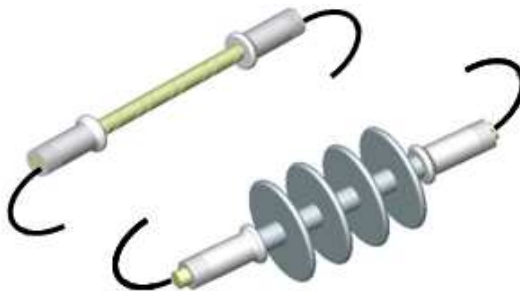


FIGURA 5 - Núcleo com fibra óptica e luva isolante

3.0 - TESTES DO SISTEMA EM LABORATÓRIO

A análise completa do sistema foi realizada empregando o enlace de corrente apresentado na Figura 6. Um condutor de corrente, preparado em enlace fechado, é monitorado pelo sensor de corrente (bobina de Rogowski mais circuito integrador) e pelo sensor de temperatura, acoplado à sua superfície. A corrente desenvolvida no condutor é variada por meio de um transformador variável, ligado a transformadores de corrente. Visto que o enlace é construído com material condutor, na medida em que a corrente é alterada, a temperatura do cabo também varia.

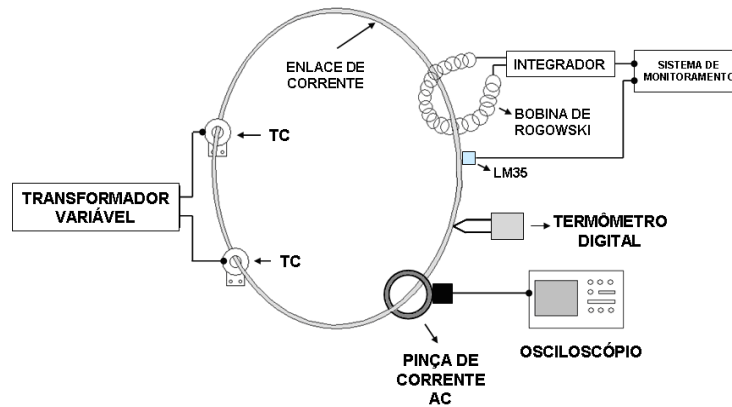


Figura 6 - Esquema do dispositivo de testes do sistema de medição de corrente e temperatura.

A título de comparação uma pinça de corrente AC conectada a um osciloscópio digital e um termômetro digital de precisão são alocados junto ao cabo do enlace; os valores fornecidos por esses instrumentos são considerados valores de referência, uma vez que são calibrados em fábrica.

O estudo é procedido estabelecendo no enlace de testes correntes com magnitudes entre $100 A_{RMS}$ e $650 A_{RMS}$, com intervalos de $50 A_{RMS}$. Com o intuito de simular uma operação em estado permanente, as medidas de corrente e temperatura são armazenadas com intervalos de tempo de dez minutos entre cada intervalo.

As medidas de corrente fornecidas pelo sistema de monitoramento versus os dados indicados pela pinça de corrente AC são apresentadas no gráfico da Figura 7, para quatro ciclos de medição. No eixo das abscissas estão os valores de corrente adquiridos com o instrumento comercial, enquanto que nas ordenadas estão dispostos os dados do sistema desenvolvido. O gráfico da Figura 7 é praticamente linear, apresentando um coeficiente de correlação para os quatro ciclos de medição de 0.9999. O desvio padrão máximo observado foi de 5.46, quando uma corrente $650 A_{RMS}$ de referência foi observada e um valor médio de $647.84 A_{RMS}$ foi fornecido pelo sistema projetado.

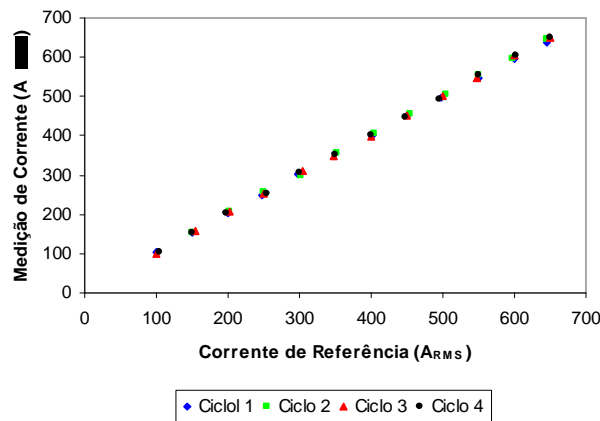


FIGURA 7 - Calibração de corrente

A avaliação entre os valores de referência e os valores de temperatura fornecidos pelo sistema desenvolvido é realizada sobre o gráfico apresentado na Figura 8. No eixo das abscissas, novamente, estão dispostos os dados coletados pelo instrumento de referência, e no eixo das ordenadas a informação adquirida pelo sensor de temperatura alocado na superfície do condutor e apresentada pelo sistema é mostrada. A dependência linear entre os dados de temperatura medidos e os dados fornecidos pelo instrumento de referência, dada pelo coeficiente de

correlação, é 0.9995; revelando assim um gráfico bastante linear, assim como o é o gráfico que trata do teste do sistema de calibração de corrente.

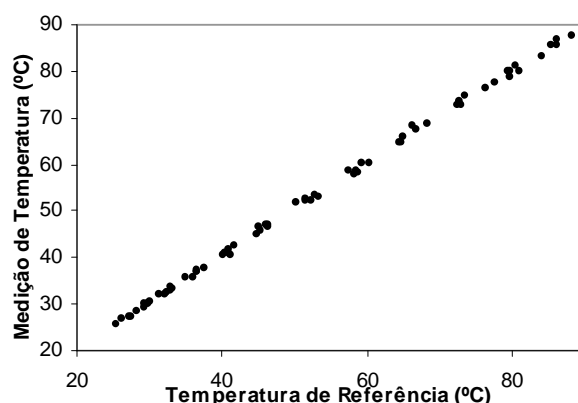


FIGURA 8 - Calibração de temperatura

4.0 - INSTALAÇÃO EM CAMPO

Desenvolver uma solução que permita transpor o sistema operante em laboratório para suportar as condições ambientais de locais inóspitos, como um campo aberto, talvez seja tão complexo quanto o projeto do sistema de medição em si. Alguns requisitos precisam ser atendidos pelo equipamento desenvolvido para operação em linhas de transmissão aéreas, como ser facilmente instalável, robusto, de baixo peso e compacto.

A proposta de montagem mecânica e de instalação é mostrada na Figura 9, onde um grampo de aterramento acoplado à linha proporciona ancoragem física para os sensores, os quais necessitam estarem próximos do condutor, ao mesmo tempo em que provê o suporte do isolador polimérico (consequentemente do enlace óptico) via junção por pressão.

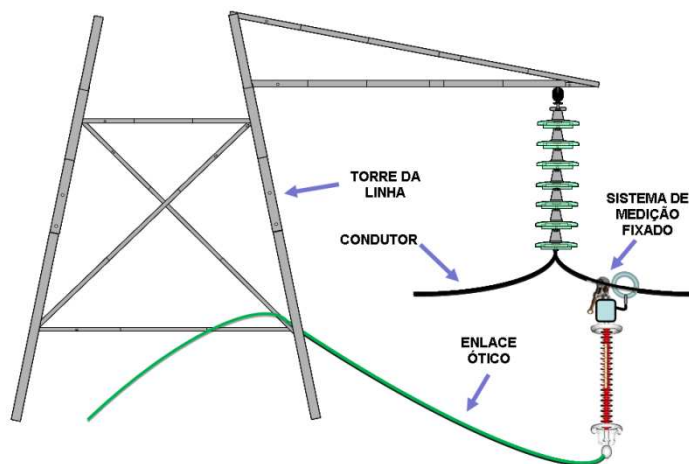
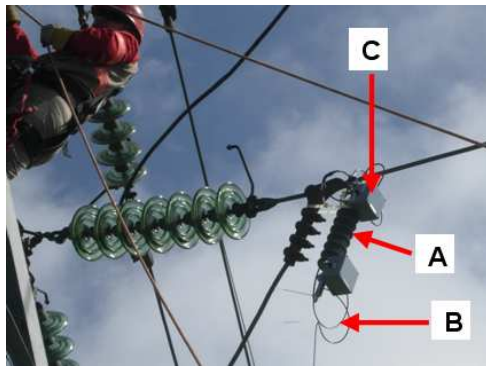


FIGURA 9 - Proposta para fixação do sistema na linha de 69 kV

Além do emprego de isoladores cujo objetivo é a proteção de todo o sistema localizado em baixa tensão no caso de faltas na linha devido a curtos-circuitos, por exemplo, também há a preocupação acerca da imunidade eletromagnética dos circuitos localizados na região de alta tensão, isto é, próximos ao condutor. Após bem sucedidos testes realizados em laboratório, submetendo o sistema de medição de corrente e temperatura a campos elétricos gerados por uma tensão de 25 kV (dadas às limitações do Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal do Rio de Janeiro) e a campos magnéticos gerados por correntes de aproximadamente 1000 A, o protótipo do sistema foi instalado em uma linha de transmissão de 69 kV operada pela empresa Rio Grande Energia, em Caxias do Sul – RS (Figura 10 – (a)).

Contudo, esta seção específica do sistema de avaliação de flecha apresentou falhas devido aos altos campos elétricos envolvidos. Um novo protótipo foi alocado no interior de uma caixa metálica para proteção contra os efeitos do campo elétrico, e o novo sistema foi submetido a campos condizentes com uma tensão de linha de 69 kV no laboratório de testes do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), em Nova Iguaçu – RJ (Figura 10 – (b)).



(a)



(b)

FIGURA 10 – (a) Instalação do protótipo na linha de transmissão de 69 kV em Caxias do Sul: A-isolador polimérico, B-cabos de fibra óptica, C-envólucro dos circuitos em alta tensão; (b) Teste de suportabilidade no CEPEL (Nova Iguaçu)

5.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta a proposta de um sistema de medição de baixo custo de corrente e temperatura do condutor – fase de uma linha de transmissão, capaz de fornecer dados confiáveis. Uma vez que cabos de fibra óptica de sílica são empregados nos enlaces de comunicação e de alimentação elétrica dos sensores, isolamento entre a cabeça do dispositivo sensor em alta tensão e a região de operação do usuário é garantida, eliminando o uso de cabeamento de cobre convencional.

A energia elétrica fornecida aos circuitos localizados na região de alta tensão é transmitida através de um enlace de fibra óptica, uma técnica conhecida como alimentação fotônica. Um circuito de baixo consumo foi projetado de forma que a capacidade de fornecimento de energia do conversor fotovoltaico de potência seja atendida. Os valores fornecidos pelos sensores foram comparados com valores de referência, estes últimos sendo fornecidos por instrumentos comerciais de laboratório; e pequenos erros foram observados, tanto para os dados de corrente como os de temperatura.

Depois de constatados problemas de interferência elétrica na instalação em campo, medidas de mitigação foram conduzidas, ou seja, todos os circuitos em alta tensão foram alocados no interior de uma caixa metálica (gaiola de Faraday). Foram, então, procedidos testes em laboratório de alta tensão, e o novo protótipo do sistema de medição apresenta-se operacional, e atualmente uma nova janela temporal de instalação é esperada, uma vez que é necessário o desligamento da linha para a instalação. Espera-se que os valores fornecidos pelo sistema completo instalado em linhas problemáticas permitam o conhecimento do comportamento de cada vão específico concernente ao alongamento do condutor, e consequente aumento da flecha, em função da temperatura do cabo.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C. A. M. Nascimento, A. F. Souza, E. B. Giudice, et al., "Aplicação de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real para Aumentar a Capacidade de Transmissão em LTs Aéreas". XVI *SNPTEE*, GLT/004, Campinas, Brasil, outubro de 2001.
- F. V. B. de Nazaré e M. M. Werneck, "Development of a Monitoring System to Improve Ampacity in 138kV Transmission Lines Using Photonic Technology", apresentado na 2010 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Nova Orleans, EUA, 2010.
- D. A. Ward e J. L. T. Exon, "Using Rogowski coils for transient current measurements", *Eng. Sci. Education J.*, vol. 2, pp. 105-113, 1993.
- J. G. Werthen e M. Cohen, "Photonic Power: Delivering Power Over Fiber for Optical Networks", 2006 *International Conference on Photonics in Switching*, pp. 1 – 3, outubro de 2006.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

FÁBIO VIEIRA BATISTA DE NAZARÉ nasceu em Maceió, Alagoas, e possui graduação em Engenharia Elétrica/Eletrônica pela Universidade Federal de Pernambuco (2007), Recife - PE. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Instrumentação Eletrônica. Mestre em Ciências pelo Programa de Engenharia Elétrica (PEE), COPPE/UFRJ, na sub-área de Instrumentação e Fotônica (2010), Rio de Janeiro - RJ. Atualmente é engenheiro eletrônico da Universidade Federal do Rio de Janeiro e estudante de doutorado pelo Programa de

Engenharia Elétrica (PEE) - COPPE/UFRJ.

MARCELO MARTINS WERNECK nasceu em Petrópolis, Rio de Janeiro, e graduou-se em Engenharia Eletrônica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC) em 1975. Obteve seu M.Sc. pelo Programa de Engenharia Biomédica da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1977. Em 1978 ingressou para o Departamento de Eletrônica e Computação da UFRJ onde é professor Associado desde 1978. Seu PhD foi obtido pela University of Sussex, no Reino Unido em 1985. Atualmente é coordenador do Laboratório de Instrumentação e Fotônica do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE onde desenvolve pesquisas na área de instrumentação e transdutores a fibra óptica. Atualmente é também Professor Titular da COPPE e tem desenvolvido pesquisas nas áreas de Engenharia Elétrica e Fotônica, atuando principalmente nos seguintes temas: Instrumentação eletrônica e sensores a fibra óptica.

JOSÉ LUIZ DA SILVA NETO possui graduação em Engenharia Elétrica Eletrotécnica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1988), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1993) e doutorado em Engenharia Elétrica - Université Laval - Québec, Canada (1999). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro.