



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**  
**SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro**  
**Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Livia Ribeiro Alves	Fundação CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicação	lalves@cpqd.com.br
Anderson Stano Durelli	DME Distribuicao	adurelli@dmepc.com.br
Carlos Alexandre Meireles Nascimento	CEMIG Distribuição S.A.	caxandre@cemig.com.br
Joao B. Rosolem	Fundação CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicação	rosolem@cpqd.com.br
Carolina Franciscangelis	Unicamp - Universidade Estadual de Campinas	t_60693@cpqd.com.br
Rivael S. Penze	Fundação CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicação	rpenze@cpqd.com.br
Claudio Floridia	Fundação CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicação	flordia@cpqd.com.br
Marcelo Dias Lochaiate	DME Distribuicao	mloichate@dme-pc.com.br

**Soluções inovadoras de sensoriamento à fibra óptica aplicadas ao setor elétrico**

**Palavras-chave**

Fiber Powering

Instrumentos virtuais LabVIEW

sensores de corrente elétrica

sensores distribuídos

sensores à fibra óptica

sensores ópticos baseados em polarização

**Resumo**

No presente trabalho é apresentada algumas das técnicas de sensoriamento à fibra óptica desenvolvidas pelo CPqD em parceria com empresas do setor elétrico nacional, que possuem potencial aplicação nesse setor. Estes sensores apresentam diversas vantagens de aplicação quando comparados aos sensores mecânicos e eletroeletrônicos convencionais. Dentre as tecnologias já desenvolvidas podem-se citar os sensores distribuídos de temperatura baseados em espalhamento Raman, que possibilitam a monitoração via fibra óptica do aquecimento de inúmeros pontos em uma extensão de até 10 km. Outra técnica denominada *Fiber Powering*, que consiste na alimentação de dispositivos eletrônicos por fibras ópticas de modo que esses possam atuar em regiões agressivas e poluídas de campos eletromagnéticos de fundo de alta intensidade. Adicionalmente, a técnica dedicada a medição de corrente elétrica por fibra óptica em sistemas de alta tensão por meio de dois métodos distintos são discutidos nesse trabalho. Por fim, exemplifica-se

alguns trabalhos de desenvolvimento realizados em *LabVIEW*<sup>TM</sup> para aquisição remota de dados com transmissão via rede *ethernet* para posterior análise e armazenamento, que permite ao usuário acesso aos dados de medição remotamente.

## **1. Introdução**

O setor elétrico vem se tornando cada vez mais sofisticado ao longo dos anos. O monitoramento de parâmetros que comprometam a distribuição de energia elétrica se faz necessário devido à complexidade dos sistemas aplicados e aos grandes impactos que este setor elétrico acarreta (MALMEDAL & SEN, 2007, p. 259-265). Os ambientes do setor elétrico por vezes se configuram como sendo ambientes agressivos a sensores eletroeletrônicos convencionais (VIAWAN & WANG & WANG & YANG, 2009, p. 1-7). Por esta razão, faz-se necessário o desenvolvimento de sensores dedicados, que sejam confiáveis, robustos e de baixo custo para monitoração de parâmetros de interesse e de alto valor agregado. Nos últimos anos, a crescente demanda por sensores à fibra óptica voltados para aplicações no setor elétrico, tem apontado como uma solução tecnológica versátil, capaz de atender diversos requisitos e aplicações, sendo estas: (i) sensores de temperatura utilizando grades de Bragg, (ii) sensores de corrente elétrica baseados em polarização, (iii) do tipo distribuídos de temperatura e deformação mecânica, (iv) de descargas parciais, entre outros (CULSHAW, 2004, p. 39-50). Os sensores em tecnologia óptica apresentam vantagens de: (i) serem desenvolvidos de forma dedicada para a aplicação à qual se propõe, (ii) serem imunes às interferências eletromagnética de fundo e de surtos atmosféricos e, (iii) além de apresentarem custos relativamente baixos e facilidade de instalação (HRABLIUK, 2002, p. 1478-1481).

No presente trabalho ressaltam-se algumas das tecnologias propostas para solução de problemas comuns ao setor elétrico, tais como: (i) em especial o controle de ampacidade de condutores de linhas de distribuição e transmissão, área e subterrânea; (ii) medição de corrente elétrica em situações extremas; (iii) alimentação de dispositivos eletrônicos utilizando luz como fonte de energia elétrica, e (iv) o controle dessa monitoração via internet. Nas tecnologias dedicadas a sensores à fibra óptica o acesso via internet às informações é possível devido ao conhecimento e a experiência do CPqD na área de aquisição de dados utilizando instrumentos virtuais desenvolvidos na plataforma *LabVIEW*<sup>TM</sup>. As transmissões das informações por meio de tecnologias de telecomunicação permitem a atuação dos sensores ópticos em consistentes projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados para os diversos setores, sendo estes setores de telecomunicações, energia, petróleo entre outros. Atualmente o CPqD apoia significativamente o setor elétrico, apresentando às concessionárias soluções inovadoras em sensoriamento via fibra óptica.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1. Sensores distribuídos baseados em espalhamento Raman**

#### **2.1.1 Breve introdução**

O desenvolvimento dos sensores distribuídos de temperatura baseados em espalhamento Raman (SR) iniciou-se no início da década de 80 por um grupo de pesquisadores da Universidade de Southampton, Inglaterra (DAKIN & PRATT & BIBBY & ROSS, 1985, p. 569-570). Inicialmente, os sensores Raman foram desenvolvidos com objetivo de suprir a demanda destes dispositivos na monitoração de cabos de transmissão (DAKIN & PRATT & BIBBY & ROSS, 1985, p. 569-570).

Efeitos ópticos não lineares podem ser utilizados para implementar esta nova classe de sensores, sem a necessidade da construção de componentes individuais de sensores. A demanda crescente de energia elétrica tem forçando as empresas de distribuição e de transmissão a elevar o carregamento elétrico dos cabos até seu limite físico, de tal forma que, o controle sobre a segurança e eficiência operacional são parâmetros cada vez

mais críticos para estas empresas. Nesta condição operacional deve-se assegurar que os limites da temperatura máxima para o cabo não sejam excedidos. Sensores distribuídos à fibra óptica representam uma tecnologia chave para o desenvolvimento de estruturas inteligentes, uma vez que podem ser totalmente integrados aos materiais dessas estruturas. Hoje em dia, operadores da rede elétrica têm necessidade de restringir sua ampacidade devido às limitações térmicas. Para preservar a infraestrutura ou os ativos, elevadas margens de segurança na fase de projeto são aplicadas, limitando o uso eficiente da infraestrutura dos cabos de energia pela falta de um monitoramento contínuo.

O monitoramento térmico em tempo real equilibra a necessidade de proteção de ativos e otimiza o desempenho operacional das linhas e redes. As soluções fornecidas pelas empresas de DTS (*Distributed Temperature Sensing*) fornecem uma distribuição contínua por meio da monitoração da temperatura dos cabos de energia. Fibras ópticas sensíveis estão incorporadas no cabo de energia ou implantadas ao longo do exterior do cabo. Elas estão intrinsecamente imunes às interferências eletromagnéticas e fornecem medições confiáveis da temperatura em tempo real, sendo ideal para uso em ambientes de alta tensão. Estas soluções de gerenciamento auxiliam os operadores a otimizar suas linhas e redes de transmissão e distribuição (SAI, 1991, p. 2439-2443).

## 2.1. 2 Princípio de Funcionamento

O sensor distribuído de temperatura baseado em espalhamento Raman, ilustrado na Figura 1. É composto por um receptor que consiste em um laser de bombeamento de alta potência responsável pela geração do espalhamento, o qual é gerado em uma fibra óptica multimodo com até 10km de extensão. O sinal gerado na fibra óptica tem duas componentes com frequências ópticas distintas, denominadas Stokes e anti-Stokes. A medição da temperatura é realizada a partir da razão entre as intensidades das duas componentes ópticas e a localização da região aquecida é obtida a partir da implementação de um interrogador óptico temporal, denominado receptor OTDR, podendo-se associar o tempo transcorrido entre a medição do sinal Raman com a distância percorrida pelo sinal óptico.

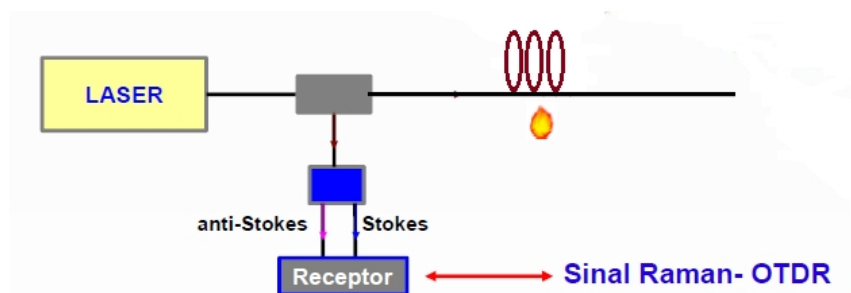


Figura 1. Representação ilustrativa do arranjo experimental utilizado para medição de temperatura distribuída baseada em espalhamento Raman (P&D 382 ANEEL - CEMIG D).

A correta implementação da técnica de interrogação espacial permite medir a temperatura ao longo de um enlace de fibra de até 10km de extensão, com resolução espacial de 1m e resolução amostral de 5m. A resolução em temperatura é menor do que 1°C e o tempo de medição é da ordem de 5 minutos.

## 2.1. 3 Resultados obtidos

A Figura 2 apresenta o resultado da medição de temperatura realizado em um enlace de 10km, tendo sido mantida uma extensão de 400m de fibra aquecida à temperaturas variando de 0 até 90°C. Os dados experimentais foram processados matematicamente a fim de se obter uma melhor resolução espacial. Os valores de temperatura foram calibrados utilizando um medidor externo do tipo termopar.

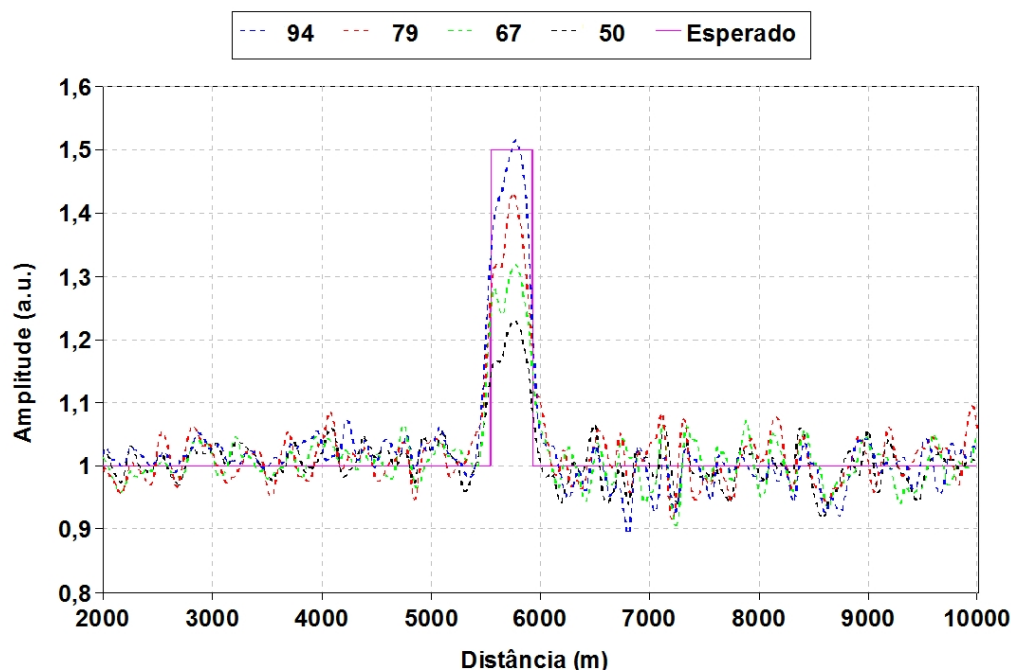


Figura 2. Mapa de temperatura obtido via sensor distribuído baseado em espalhamento Raman. Os valores de temperatura medidos são apresentados na legenda em graus Celsius, a resolução espacial é medida e comparada com o valor esperado, conforme apresentado na curva.

Muitas melhorias vêm sendo realizadas para aprimorar a resolução espacial e em temperatura. Os resultados obtidos até o presente são bastante promissores.

## 2.2. Alimentação de dispositivos elétricos por meio de fibra óptica para aplicação em sensores

### 2.2.1. Introdução

A transmissão de energia óptica pela fibra para propósitos outros que não a comunicação sempre foi uma indagação técnica presente na comunidade científica. A alimentação por fibra (Fiber Powering) de pequenos circuitos elétricos ou sensores é agora possível por meio de micro células voltaicas (LANDRY & RUPERT & MITTAS, 1991, p. 1052-1061), (PENA & ALGORA & MATIAS & AMO, 2009, p. 2463-2466). Estes pequenos conversores de energia podem converter a energia luminosa transmitida pela fibra em tensão e corrente elétricas, requeridas para a alimentação elétrica de dispositivos eletroeletrônicos de baixo consumo, tais como, micro-controladores. Estes conversores hoje são disponíveis comercialmente para operar em todo espectro de transmissão da fibra óptica que varia de 800 a 1600nm. Recentemente, foi proposto o uso desta técnica para uso em telecomunicações para a alimentação de unidades de assinantes por fibra óptica.

A técnica de utilização de Fiber Powering para alimentação de circuitos eletrônicos de sensoriamento ou de processamento de sinais no ponto remoto de sensoriamento, acoplados a dispositivos emissores de luz em fibra tais como Lasers, LEDs ou moduladores externos (HEINZELMANN, 1988, p. 1225-1228), (ROSOLEM & FLORIDIA & SANZ, 2010, p. 884-890) é bastante interessante, pois possibilita a utilização de circuitos eletrônicos de sensoriamento ou de processamento de sinais de alta complexidade em ambientes agressivos.

O sistema de sensoriamento com alimentação remota é mostrado na Figura 3. O sistema é composto em um lado por uma unidade de transmissão de energia óptica (unidade de controle) e uma unidade de recepção óptica dos sinais enviados pelo sensor (unidade remota). A fonte óptica é constituída por laser de alta potência operando em 1480 nm. O laser é controlado em potência e temperatura por um circuito eletrônico.

O controle da potência pode ser realizado opcionalmente por meio da leitura e realimentação da potência do foto-detector interno da cápsula do laser ou utilizando-se da realimentação de potência óptica externa do sinal do laser do sensor, que é obtida por meio da inserção de um splitter antes do receptor óptico. Duas ou apenas uma fibra conectam a unidade de transmissão e recepção com a unidade de sensoriamento. No presente trabalho utilizamos fibras multimodo ou 62,5 microns com fontes de transmissão operando em 810nm, tornando o sistema muito mais barato.

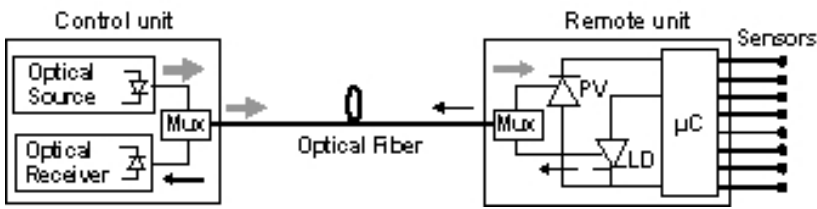


Figura 3. Sistema de sensoriamento com alimentação remota (P&D 446 ANEEL - CEMIG D).

A unidade de sensoriamento é composta por um conversor foto-voltaico (PV) de InP próprio para operar na região entre 1000 e 1600nm. Para operação na região de 810nm poderiam ser utilizadas células solares baseadas em Si, que são mais baratas. A utilização da janela de 810nm, porém reduz substancialmente a distância entre a unidade de sensoriamento e a unidade de controle de vários quilômetros para centenas de metros. A energia elétrica produzida pelo conversor fotovoltaico é utilizada para alimentação de um laser do tipo FP (Fabry-Perot) ou um laser DFB (Distributed Feedback Buried) e eventualmente para algum circuito eletrônico do sensor. Neste trabalho não foi utilizado sensores e circuitos eletrônicos acoplados ao laser. Em algumas circunstâncias as características do próprio laser podem ser utilizadas para sensoriamento, como é o caso do laser DFB que tem seu comprimento de onda alterado pela temperatura de operação, ou mesmo para o laser FP e o laser DFB que tem o limiar também alterado pela temperatura de operação. O conversor fotovoltaico alimenta o laser por meio de um resistor e o sinal do sensor quando de alta frequência é isolado do conversor fotoelétrico por meio de um choque de radio frequência.

A unidade de sensoriamento é composta por um conversor foto-voltaico (PV) de InP próprio para operar na região entre 1000 e 1600nm. Para operação na região de 810nm poderiam ser utilizadas células solares baseadas em Si, que são mais baratas. A utilização da janela de 810nm, porém reduz substancialmente a distância entre a unidade de sensoriamento e a unidade de controle de vários quilômetros para centenas de metros. A energia elétrica produzida pelo conversor fotovoltaico é utilizada para alimentação de um laser do tipo FP (Fabry-Perot) ou um laser DFB (Distributed Feedback Buried) e eventualmente para algum circuito eletrônico do sensor. Neste trabalho não foi utilizado sensores e circuitos eletrônicos acoplados ao laser. Em algumas circunstâncias as características do próprio laser podem ser utilizadas para sensoriamento, como é o caso do laser DFB que tem seu comprimento de onda alterado pela temperatura de operação, ou mesmo para o laser FP e o laser DFB que tem o limiar também alterado pela temperatura de operação. O conversor fotovoltaico alimenta o laser por meio de um resistor e o sinal do sensor quando de alta frequência é isolado do conversor fotoelétrico por meio de um choque de radio frequência.

### 2.2.2. Aplicação

A técnica de alimentação por fibra óptica para sensoriamento é implementada usando eletrônica e sensores eletrônicos. Estes sensores apresentam grandes vantagens pela simplicidade de implementação, construção simples, baixa potência de ativação, alta precisão (com possibilidade de processamento inteligente integrado), tamanho compacto, sinal de saída (analógico, frequência, digital) é de fácil avaliação por meio de computador ou processador de sinal, elevada disponibilidade e baixo custo. Exemplos destes sensores eletrônicos são: sensores de temperatura, de deformação, pressão, de campos magnético e elétrico, detectores de gás, microfones, detectores infravermelhos e câmeras de vídeo. A Figura 4 mostra alguns típicos sensores eletrônicos disponíveis no mercado.

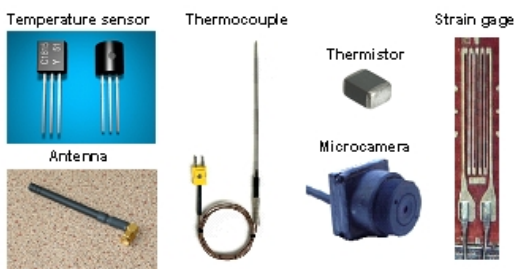


Figura 4. Sensores eletrônicos típicos disponíveis no Mercado.

### 2.2.3. Resultados

O arranjo experimental consiste em uma placa de alumínio onde os sensores estão fixados, conforme mostra a Figura 3. A placa foi aquecida em um dos lados por um resistor de potência. A unidade remota alimentada por fibra, alimenta e coleta informações de 4 dos sensores LM35C. A unidade de controle do sistema de alimentação por fibra é constituída por um laser operando a 810 nm e um fotodiodo PIN seguido por um amplificador de transimpedância e um circuito de conversão TTL. Foram utilizados alguns metros de um par de fibras multimodo 62.5/125 um para conectar a unidade de controle à unidade remota. A unidade remota contém um microcontrolador 8051, um conversor fotovoltaico GaAs e um laser Fabry-Perot de baixo custo operando em 1310nm.

As características do sensor eletrônico LM35C são: intervalo de temperatura de operação = - 40 a 110°C, repetibilidade =  $\pm 0.50^\circ\text{C}$ , sensibilidade = 10 mV/°C e estabilidade =  $\pm 0.08^\circ\text{C}$ . Na Figura 5 (b) é mostrada a característica temporal dos sinais digitais transmitidos pela unidade de remota alimentada por fibra óptica. Como este sinal é digitalmente codificado, a atenuação da fibra ou dos conectores não alteram a informação da temperatura lida pelos sensores LM35C. Observa-se ainda nesta figura que o alcance máximo obtido em laboratório pelo sistema alimentado por fibra óptica seria de algumas centenas de metro porque a saída do laser de alta potencia é de 700mW. Utilizando-se lasers operando em 810 nm com potencia de saída de 2W, o alcance pode chegar a até 2km, considerando a atenuação da fibra neste comprimento de onda de dB/km.

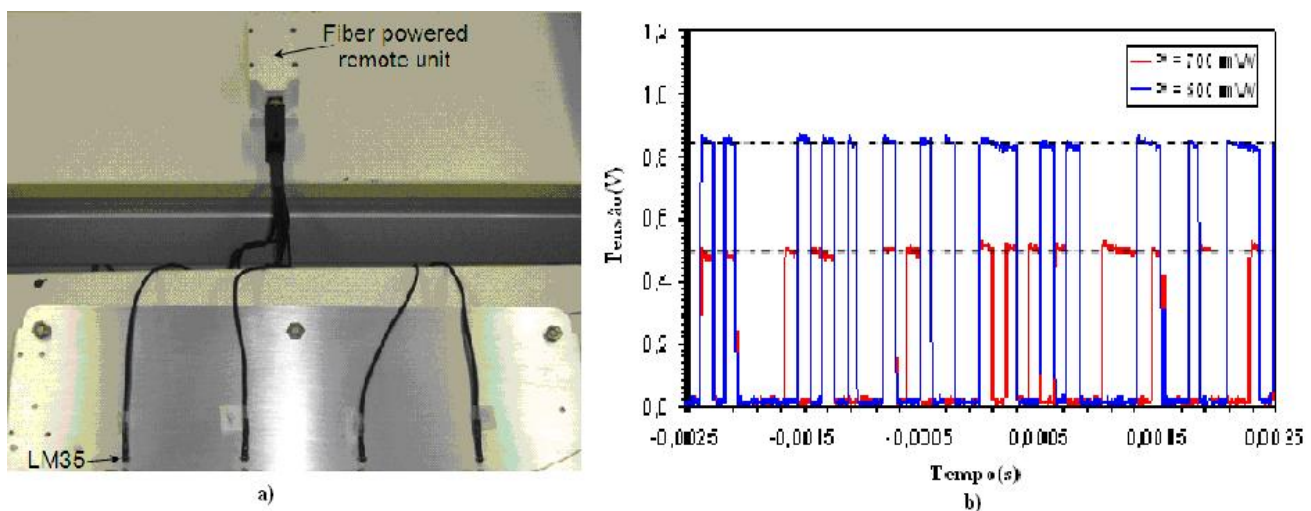


Figura 5. (a) Foto mostrando elemento alimentado por fibra óptica, e sensores de temperatura LM35C; (b) característica temporal do sinal transmitido pela unidade remota alimentada à fibra óptica.

Na Figura 6 é mostrado o resultado do aquecimento dos 4 elementos sensores dispostos sobre a placa de alumínio em função do tempo. Observamos que os sensores mais próximos da resistência de potencia atingiram temperaturas mais elevadas enquanto que os sensores mais distantes apresentam temperaturas mmenores. O ensaio completo de um ciclo de aquecimento e desaquecimento levou 1 hora e 30 minutos. Observamos que todos os sensores têm respostas temporais análogas, como era espera



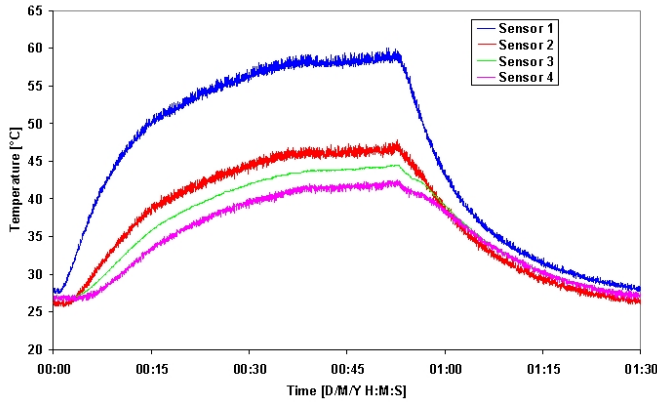


Figura 6. Resposta dos elementos sensores LM35C submetidos a um ensaio de aquecimento e resfriamento.

## 2.3. Sensores de corrente elétrica baseados em polarização da luz

### 2.3.1 Introdução

Esta tecnologia foca na importância do estudo e desenvolvimento de sensores de corrente para sistemas de potência, tendo em vista a importância em monitorar este parâmetro a fim de evitar possíveis falhas e perdas de potência nas linhas de transmissão de alta tensão [16]. É apresentado um estudo comparativo entre duas técnicas de medição de corrente, uma utilizando-se de potência óptica e outra por meio de grau de polarização da luz (DOP), ambas baseadas em polarização da luz e no Efeito Faraday.

O Efeito Faraday (GUERRERO & REAL & CALEYA & ROSA, 1999, p. 3702-3704) é um fenômeno que causa a rotação do plano de polarização da luz propagante em um meio que está sob o efeito de um campo magnético cuja direção é a mesma da direção de propagação da luz. No caso dos esquemas propostos para medidores de corrente elétrica, a fibra óptica padrão é enrolada ao redor do condutor elétrico cuja corrente deseja-se medir e o campo magnético gerado por esta é o responsável pelo giro do plano de polarização luminoso.

A Equação (1) modela matematicamente o Efeito Faraday.

$$\theta = \nu N I \quad (1)$$

Onde  $\nu$  é a constante de Verdet, valor intrínseco do guia de luz que depende do comprimento de onda desta e da temperatura e que determina o quão intenso é o Efeito Faraday sobre o material guia,  $N$  é o número de voltas de fibra óptica ao redor do condutor elétrico,  $I$  é a corrente elétrica a ser medida e  $\theta$  é o ângulo que o plano de polarização da luz propagante rotaciona.

### 2.3.2 Métodos

#### A) Método da Potência Óptica

Este método permite a medição de corrente DC, que flui através de um condutor elétrico, por meio da análise da potência óptica da luz propagante pelo sistema (KATO & BRAGA & VALENTE & SALVINI & FORTIER & NOGUEIRA, 2007, p. 1-7). A Figura 7 ilustra o aparato proposto para tais medidas.

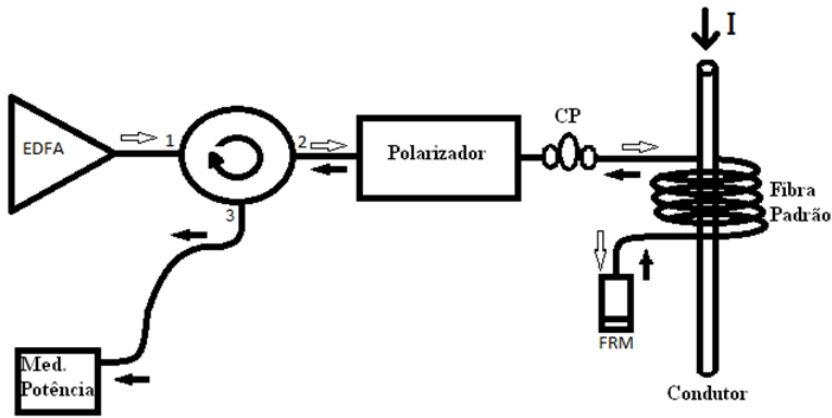


Figura 7. Aparato para medir correntes DC por meio do método da potência óptica.

Neste aparato, luz despolarizada proveniente de um EDFA é transmitida por meio de um circulator óptico, é incidida em um polarizador antes de entrar de ser lançada em um enrolamento de fibra óptica padrão, que envolve o condutor de corrente DC. Ao final do enrolamento, a luz incidente é refletida por um espelho de Faraday, FRM, e retorna pelo caminho percorrido até o medidor de potência óptica.

O modelamento matemático do sistema que relaciona as potências ópticas de entrada e saída do sistema é

dado pelas Equações 2 e 3. 
$$S_0^{out} = \frac{S_0^{in}}{2} (1 + s_1^{in} \cos(2\theta) + s_2^{in} \sin(2\theta)) \quad (2)$$

Sendo,

$$s_1^{in} = \frac{S_1^{in}}{S_0^{in}} \quad (2) \quad \text{e,} \quad s_2^{in} = \frac{S_2^{in}}{S_0^{in}} \quad (3)$$

os elementos do vetor de Stokes normalizados.

### B) Método de DOP

Este método permite medir corrente elétrica de uma forma mais precisa, sem ter os resultados afetados por perturbações externas (LIU & YE & GENG & QU & FANG, 2005, p. 267-269). É baseado na relação existente entre grau de polarização, DOP e corrente elétrica em um condutor. A Figura 8 descreve a estrutura do sensor proposto.

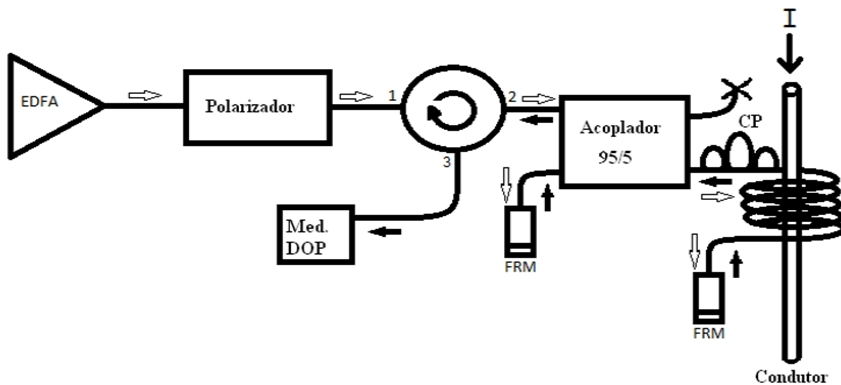




Figura 8. Aparato experimental para medição de corrente DC através da técnica de DOP.

O diferencial neste aparato é o acoplador óptico 95/5, capaz de despolarizar momentaneamente a luz e, desta forma, tornar seu grau de polarização dependente do campo magnético gerado pela corrente que flui pelo condutor.

A Equação 4 modela matematicamente o sistema. A Equação 5 é multiplicada por dois por ser um sistema reflexivo.

$$DOP = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0} = \frac{1 - K^2}{\sqrt{1 - 2K^2 \cos(\theta) + K^4}} \quad (4)$$

$$\theta = 2 \nu N I \quad (5)$$

sendo,  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  são os módulos dos vetores de Stokes e  $K$  o fator de acoplamento.

### 2.3.2 Resultados e Análises

Testes foram realizados a fim de verificar a robustez do sistema proposto. Para isto, a corrente aplicada foi variada de 0 a 100A para três diferentes estados de polarização, SOP, obtidos por meio do controlador de polarização, CP, e simulando desta forma, perturbações externas tais quais torções, compressões e aquecimentos na fibra óptica em teste. Os resultados se encontram nas Figuras 9 (a) e (b) e são representados pelas legendas SOP1, SOP2 e SOP3 e as expectativas teóricas representadas por SIM1, SIM2 e SIM3

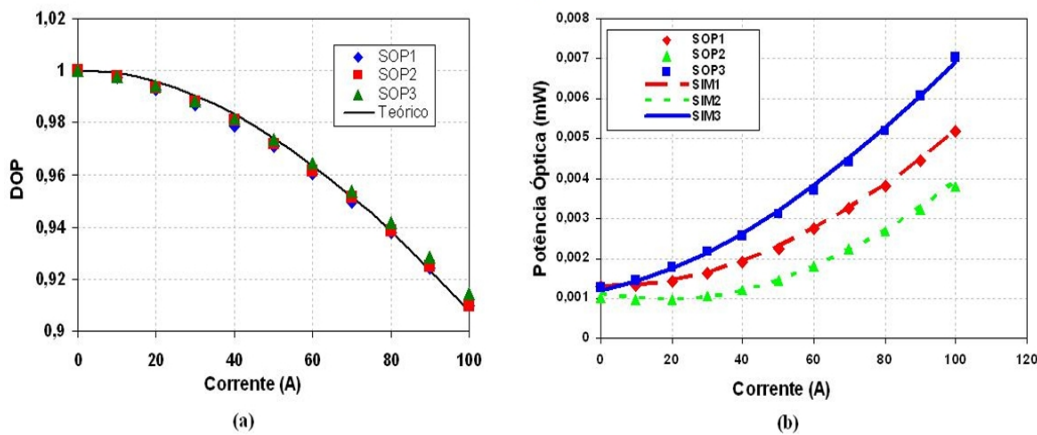


Figura 9. Resultados obtidos nos testes de robustez para o método de DOP (a) e para o método da potência óptica (b).

Ambos os métodos validaram as expectativas teóricas referentes a cada SOP. Porém, analisando os resultados presentes na Figura 9, constata-se que o método da potência óptica, apesar de menos complexo, é menos robusto e preciso em relação ao método da DOP. Isso se deve ao fato de que alterações no estado de polarização de luz causadas por fatores externos afetam diretamente a potência óptica do sistema, o que não ocorre com o grau de polarização. Tal efeito indesejado pode ser corrigido por meio da substituição de fibras ópticas padrão por fibras PANDA, que mantém a polarização. Porém, tal substituição acarretaria em um aumento de custo do sensor proposto (BOHNERT & GARBUS & BRANDLE & GUGGENBACH, 2005, p. 210-213). Os resultados experimentais obtidos demonstram, portanto, a viabilidade e a vantagem em utilizar o método de DOP para implementar um sensor de corrente por meio óptico. Um detalhe notável a ser

ressaltado é que pela primeira vez foi obtida DOP unitária para o caso em que não há corrente fluindo pelo condutor, conforme previsto pela expectativa teórica.

#### **2.4. Sistema integrado em labview com transmissão de dados ethernet**

O *LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)* é uma linguagem de programação gráfica originária da National Instruments. A primeira versão surgiu em 1986 para o Macintosh e atualmente existem também ambientes de desenvolvimento integrados para os sistemas operacionais Windows, Linux e Solaris. Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais ou, simplesmente, VI's no Inglês. É um aplicativo baseado em linguagem de programação gráfica que emprega ícones ao invés das tradicionais linhas de programação em texto para criar aplicações. A programação em Labview é baseada em fluxo de dados que traz vantagens em aplicações desenvolvidas em engenharia para aquisição e manipulação de dados. É composto por um painel frontal, que contém a interface, e pelo diagrama de blocos, que contém os códigos gráficos. O programa não é processado por um interpretador, mas sim compilado. Deste modo, o seu desempenho é comparável à exibida pelas linguagens de programação de alto nível. A linguagem gráfica do LabVIEW é chamada "G".

Os recentes desenvolvimentos da tecnologia de redes permitem-nos separar fisicamente o computador do restante da instrumentação. Muitas tecnologias podem ser usadas para transmissão de dados entre os instrumentos de medição e o computador, tais como RS232, GPIB, USB, Ethernet, SCSI entre outras, dependendo das taxas de transferência de dados necessários e das distâncias entre os componentes, sendo importante destacar o fator econômico do custo-benefício. Assim sendo, não importa onde esteja o instrumento, as suas diversas partes podem estar espalhadas por vários locais de trabalho, ou até do mundo, se usamos a internet para comunicação entre os vários módulos.

Com a introdução de novas tecnologias, como por exemplo o Bluetooth, os módulos nem sequer necessitam estar fisicamente interligados. Usando ligações de alta velocidade, os dados podem ser adquiridos num local, processados em diversos sistemas computacionais distribuídos e, colocados numa base de dados comum a vários usuários. Ademais, as informações processadas podem ser apresentadas nas mais diversas formas gráficas e de negócios, de acordo com o perfil do usuário que acessa essas informações (Diretor, engenheiro, técnico, entre outros). Como exemplo de integração de dados utilizando Labview pode-se destacar o projeto elaborado para a DME Distribuição S.A. – de Poços de Caldas, MG. Neste projeto de P&D com a DME o CPqD está desenvolvendo um sistema de sensoriamento de barragens de terra por meio de sensores de fibra óptica por curvatura. Os sensores irão monitorar em tempo real as condições de infiltração de água no maciço da Barragem do Ribeirão do Cipó (Represa Lindolpho Pio da Silva Dias).

O rompimento de uma barragem pode gerar uma catástrofe sem precedentes, prejuízos de ordem financeira e, sobretudo, prejuízos humanos e ambientais. Em virtude disso foi proposto o emprego da tecnologia de fibra óptica para o monitoramento da barragem. Esta tecnologia deverá substituir o atual procedimento e ampliar a segurança do monitoramento. Outras tecnologias de sensoriamento tradicionais, baseadas em sensores eletrônicos, são muito afetadas devido a descargas atmosféricas, comuns na região das barragens. Junto desse sistema está sendo instalados outros sensores auxiliares, tais como: pluviômetro, câmeras de vídeo e sensores de presença.

A Figura 10 apresenta a Interface Homem – Computador (IHC) implementada para o projeto da DME para integrar os sensores ópticos, câmeras e os sensores auxiliares. A interface foi desenvolvida utilizando o Labview versão 2009. Pode-se observar que esta interface é constituída por abas o que facilita a navegação para visualização das informações coletadas dos sensores. Na primeira aba podemos observar os sensores ópticos de curvatura que são responsáveis por monitorar em tempo real as condições de infiltração de água no maciço da barragem. Na aba subsequente têm-se duas câmeras IP responsáveis por monitorar vandalismo e invasões. Qualquer invasão detectada ativa um alarme e as imagens são enviados para o centro de operações juntamente com uma mensagem eletrônica com as imagens para os usuários cadastrados. Na

terceira aba tem-se integrado ao sistema de monitoramento uma estação meteorológica que informa a temperatura, pressão atmosférica, umidade, velocidade e direção do vento em tempo real, e ainda uma última aba de relatório e configuração.

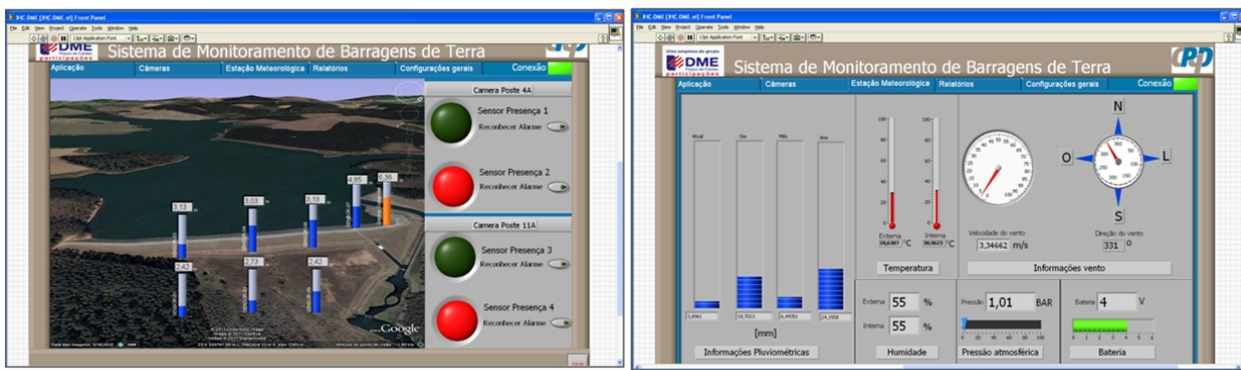


Figura 10. IHC desenvolvido para DME para integração dos sensores e câmeras.

### 3. Conclusões

Neste trabalho foram apresentadas algumas das soluções que o CPqD, em parceria com empresas do setor elétrico, estão desenvolvendo em monitoração de parâmetros dedicados ao setor elétrico, utilizando técnicas baseadas em fibras ópticas. Dentre as tecnologias de sensoriamento é destaque a tecnologia dos sensores distribuídos de temperatura baseados em espalhamento Raman para monitoração e controle de ampacidade de linhas áreas e subterrâneas. O sistema de alimentação óptica de dispositivos e sensores eletrônicos para operar em regiões nas quais a alimentação elétrica é inviável mostra ser uma ótima oportunidade de agregar valor aos sensores eletroeletrônicos e à fibra óptica. A função de monitoração óptica de corrente elétrica em regiões de acesso restrito foi viabilizada e, finalmente, a facilidade de acesso aos dados de monitoração promovida pela aquisição remota das informações e transmissão das mesmas utilizando as técnicas de comunicação disponíveis na atualidade são resultados expressivos agregados aos projetos do CPqD. Existem outras tecnologias que podem ser empregadas tais como a utilização de fibras com grades de Bragg e propagação de feixes ópticos no espaço livre que não foram abordadas no presente trabalho e, no entanto, fazem parte de projetos de P&D por meio de parceria do CPqD com a CEMIG. Os autores agradecem a CEMIG D S/A pelo financiamento do projeto através do P&D 382 ANEEL e DME S/A pelo financiamento do projeto Monitoração de Barragens de Terra.

### 4. Referências bibliográficas

1. MALMEDAL, Keith, SEN, P. K. Sen. Potential of massively deployed sensors applications in substation engineering. IEEE 2007.
2. VIAWAN, Ferry A., WANG, Jianping, WANG, Zhao, YANG, Winnary-Ying. Effect of current sensor technology on distance protection. IEEE 2009.
3. CULSHAW, Brian. Optical fiber sensor technologies: opportunities and, perhaps, pitfalls. Journal of Lightwave Technology, Vol.22, N°1, January 2004.
4. HRABLIUK, J. D. P. Optical current sensors eliminate CT saturation. NxtPhase Corporation, IEEE 2002.
5. DAKIN, J. P., PRATT, D. J., BIBBY, G. W., ROSS, J. N. Distributed optical fibre Raman temperature sensor using a semiconductor light source and detector. Electronics Letters v.21, n. 13, p. 569-570, 1985b.
6. SAI, Y. Optimization of optically powered sensors. International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1991.

7. LANDRY, M. J., RUPERT, J. W., MITTAS, A. Powered by Light systems and their Components: an Evaluation. *Applied Optics*, Vol.30, N° 9, March 1991.
  8. PENÃ, R., ALGORA, C., MATIAS, I. R., LÓPEZ-AMO, M. Fiber Based 205 mW (27% Efficiency) Power Delivery System for All Fiber Network with Optoelectronic Sensor Units. *Applied Optics*, Vol.38, N° 12, April 1999.
  9. MIYAKAWA, H., TANAKA, Y., KUROKAWA, T. Design Approaches to Power Over Optical Local Area Network Systems. *Applied Optics*, Vol.43, N° 6, February 2004.
  10. HEINZELMANN, R. Optically powered remote optical field sensor system using an electro absorption-modulator. *Microwave Symposium Digest, 1998 IEEE MTT-S International, Baltimore*, p. 1225-1228, July 1998.
  11. ROSOLEM, J. B. et al. Passive and Active Optical Sensing System for Monitoring Partial Discharge on Hydrogenerators. *OFS 2008, Paper ThB3*, 2008.
  12. MACLEAN, E., JAIN, V. K. A Power Transmission Line Fault Distance Estimation VLSI Chip: Design and Defect Tolerance. *IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems*, 2011.
  13. GUERREIRO, H., DEL REAL, R. Pérez, CALEYA, R. Fernández, ROSA, G. Magnetic field biasing in Faraday effect sensors. *Applied Physics Letters*, vol. 74, N° 24, June 1999.
  14. KATO, C. C., BRAGA, A. M. B., VALENTE, L. C. G., SALVINI, L. P., FORTIER, C., NOGUEIRA, M. M. Sensor à fibra óptica para medição de correntes elevadas em linhas de transmissão. ANEEL P&D program.
  15. LIU, Feng, YE, Qing, GENG, Jianxin, QU, Ronghui, FANG, Zujie. Study of fiber-optic current sensing based on degree of polarization measurement. *Chinese Optics Letters*, Vol. 5, N°5, May 2007.
  16. BOHNERT, K., GARBUS, P., BRÄNDLE, H., GUGGENBACH, P. Fiber-optic dc current sensor for the electro-winning industry. 17<sup>th</sup> Int. Conference on Optical Fibre Sensors, Bruges, Belgium, May 2005.
-