

## **GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO - GDI**

### **SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SUBTERRÂNEAS**

**BRUNO NOGUEIRA AIRES(1);CLAUDIO FLORIDIA(1);FABIO RENATO BASSAN(1);JOÃO BATISTA  
ROSOLEM(1);JOAO PAULO VICENTINI FRACAROLLI(1);FERNANDO ROCHA PEREIRA(1);RIVAE  
STROBEL PENZE(1);RODRIGO PERES(1);RONALDO ANTONIO RONCOLATTO(1);CLÁUDIA MARIA  
COIMBRA(2);MARCELO DE MORAES(3);VICTOR BAIOSCHI RIBOLDI(4);FABIANO FRUETT(5)  
CPQD(1);CPFL PIRATININGA(2);CPFL PAULISTA(3);RGE SUL(4);UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
CAMPINAS(5)**

#### **RESUMO**

Este trabalho apresenta a tecnologia de sensores ópticos como solução de monitoração de redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica, conhecida como FBG, para a medição de múltiplos parâmetros, integrada em uma rede de sensoriamento também de fibras ópticas. O objetivo deste trabalho é a monitoração de múltiplos parâmetros, aplicados em elementos de rede subterrânea. Esses parâmetros por elementos são: condutor e conexão (temperatura e descargas parciais), transformador (temperatura e corrente), caixa de inspeção (nível de líquido e intrusão). A aplicabilidade do desenvolvimento deste sistema de monitoramento foi demonstrada por meio da verificação de suas funcionalidades durante ensaios em laboratório e testes de campo.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Redes de Distribuição Subterrâneas; Monitoração; Fibras Ópticas; Sensores Ópticos; FBG;

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

A monitoração permite uma operação mais eficaz nas redes subterrâneas de distribuição, com capacidade otimizada e operando dentro dos limites aceitáveis elétrico, térmico e mecânico (1-2). As distribuidoras de energia elétrica ao adotarem um sistema de monitoramento podem planejar adequadamente a frequência de manutenção e inspeção em suas redes subterrâneas, podendo inclusive aumentar a disponibilidade e reduzir os custos de operação. Para alcançar esses benefícios é necessário implementar o monitoramento em elementos estratégicos da rede subterrânea de distribuição, como condutores, conexões, caixas subterrâneas e transformadores.

Os sensores ópticos do tipo FBG (Fiber Bragg Grating), apresentam vantagens significativas no monitoramento de redes subterrâneas de energia elétrica (3-4), vantagens estas que vão desde a imunidade das fibras ópticas frente às interferências eletromagnéticas, capacidade de transmissão de sinais de elevada frequência e largura de banda, capacidade de multiplexação de sinais de vários sensores em uma única fibra óptica, compactação, até o uso de espaços reduzidos e possibilidades de medições não invasivas. Somando-se a isso, este tipo de sensor óptico não precisam de alimentação no ponto de medição, dispensando o uso de baterias e painéis solares, além de não serem sensíveis a danos por descargas atmosféricas.

Nesse sentido este artigo apresenta o desenvolvimento da tecnologia de sensores ópticos como solução de monitoração de redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica, conhecida como FBG para a medição de múltiplos parâmetros, integrada em uma única rede de sensoriamento também de fibras ópticas. cujo objetivo é a monitoração de múltiplos parâmetros, aplicados em elementos da rede subterrânea de distribuição de energia elétrica, medidos por meio de luz. Esses parâmetros são: temperatura semi-distribuída nos condutores, descargas parciais nas emendas e conexões dos condutores, temperatura e corrente no transformador e nível de líquido e intrusão na caixa subterrânea.

As principais contribuições do desenvolvimento deste sistema para o setor elétrico nacional são o monitoramento em tempo real das condições de operação e o planejamento eficaz das intervenções, permitindo estabelecer critérios e procedimentos para os serviços de inspeção e manutenção dos principais ativos da rede subterrânea de distribuição de energia elétrica. Considerando o caráter preventivo desse sistema de monitoramento, estima-se que os impactos econômicos do projeto em redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica, de média e baixa tensão, serão: no tempo de localização de falhas (redução de 36%), no custo de reparo (redução de 28%) e no número de ocorrências (redução de 50%).

A aplicabilidade deste sistema de monitoramento é demonstrada por meio da verificação de suas funcionalidades durante ensaios realizados em laboratório e testes de campo. Este sistema pode ser aplicado em qualquer rede de

distribuição subterrânea, seja ela nova ou existente, desde que a passagem de um cabo de fibras ópticas seja possível.

Este artigo descreve o desenvolvimento e os testes do sistema de monitoramento óptico implantado nas redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica da CPFL, em Campinas/SP, que está sendo realizado com os recursos financeiros do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico da ANEEL, através do projeto de P&D PD-00063-3055/2019, intitulado “DE3055 - Desenvolvimento de Sistema de Monitoração de Múltiplos Parâmetros Aplicado a Elementos de Distribuição de Energia Elétrica Subterrâneos” do grupo CPFL Energia”.

## 2.0 SISTEMA DE MONITORAÇÃO

O sistema idealizado é composto basicamente de um Interrogador e sensores ópticos baseados em FBG e é capaz de monitorar vários elementos e grandezas de uma rede subterrânea de energia elétrica, ou seja, trata-se de um sistema de monitoramento multiparâmetros integrado em uma única rede constituída de fibras ópticas. A Figura 1 apresenta a configuração do sistema.

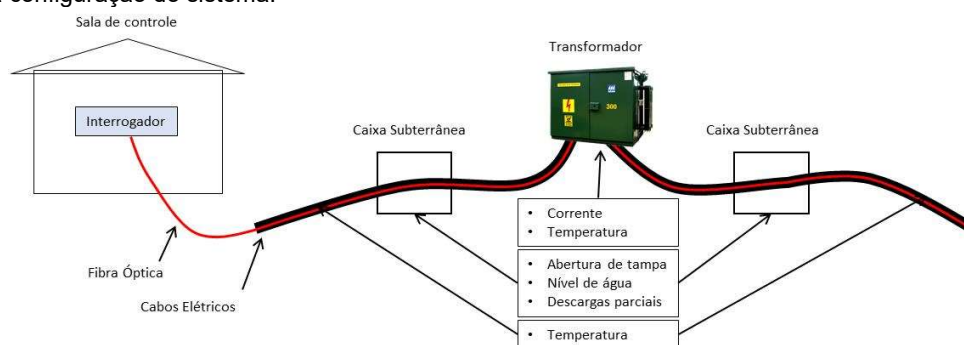


Figura 1 - Diagrama genérico do sistema de monitoramento multiparâmetros.

De acordo com a Figura 1, o interrogador é instalado em local protegido, normalmente uma sala de controle. A conexão entre interrogador e sensores é feita através de fibras ópticas que são lançadas no mesmo duto subterrâneo onde os cabos elétricos foram previamente acomodados. As grandezas a serem monitoradas pelo sistema são: corrente e temperatura do transformador, intrusão e nível de água em caixas subterrâneas, descargas parciais em emendas de cabos ou terminações e a temperatura ao longo dos cabos elétricos subterrâneos.

A utilização do monitoramento multiparâmetros permitirá a operação segura, redução da frequência de manutenção e os custos de O&M devido à rápida localização de eventos e antecipação de falhas. O monitoramento da temperatura e corrente do transformador pode determinar a carga real do ativo ao longo do dia e a eficiência do resfriamento do transformador, visando à operação dentro dos limites de temperatura, reduzindo a degradação térmica da isolamento do transformador e aumentando a vida útil deste ativo. Além de prevenir roubos de elementos da rede, o acompanhamento do estado da tampa de uma caixa subterrânea pode evitar acidentes (carros e pedestres) por motivo de abertura da tampa da caixa. Além disso, a ciência do nível de líquido, ou sua evolução, pode auxiliar na antecipação de falhas e/ou postergação de inspeções locais. As descargas parciais são extremamente danosas para os materiais isolantes, pois causam alteração das propriedades dielétricas do material, erosão, calor e podem levar o cabo/emenda/terminal ao colapso em pouco tempo. Neste sentido o acompanhamento da evolução de descargas parciais é necessário para a antecipação de falhas na rede. Outro ponto importante é o monitoramento da temperatura ao longo do cabo elétrico subterrâneo. A medição de temperatura semi-distribuída poderá subsidiar a determinação da ampacidade do cabo, permitindo potencializar o ganho associado a obras de reforma e expansão por meio da postergação de investimento para implantação de novas redes ou substituição do ativo depreciado, com consequente melhoria do fluxo de desembolsos da concessionária.

As vantagens da utilização de sensores ópticos estão ligadas à imunidade a interferências eletromagnéticas, a não necessidade de alimentação local do sensor, o peso e tamanho reduzidos. Estes parâmetros são alinhados à utilização desse tipo de sensor em redes subterrâneas, uma vez que serão instalados em redes legadas onde a imunidade, a ausência de alimentação e as dimensões dos sensores são mandatórios. Sensores ópticos também permitem a formação de redes de sensores, ou seja, diversas grandezas sendo medidas em uma rede. Além disso, é possível utilizar as fibras ópticas tanto para sensoriamento quanto para a transmissão de dados de telecomunicações.

## 3.0 DESENVOLVIMENTO DO INTERROGADOR E SENSORES

Nesta seção apresentamos o desenvolvimento dos elementos do sistema de monitoração, a saber: o desenvolvimento do interrogador e dos sensores. Neste último caso, tratamos dos sensores de temperatura semi distribuídos baseados em FBG array e dos sensores pontuais de intrusão, descarga parcial, corrente, temperatura e nível de líquido.

### 3.1 Interrogador

O interrogador é o elemento do sistema de monitoramento responsável pela aquisição e interpretação dos dados vindos dos sensores. Este equipamento recebe os comprimentos de onda refletidos pelas FBGs e os converte para as grandezas que serão monitoradas. Internamente ao interrogador existem módulos de análise distintos, sendo um para análise de sinais de baixa frequência, como temperatura, corrente, nível de líquido, intrusão e outro para a recepção dos sinais de alta frequência das descargas parciais. A Figura 2(a) apresenta o seu diagrama de blocos, enquanto que a Figura 2(b) ilustra a visão real do interrogador desenvolvido e seus módulos constituintes.

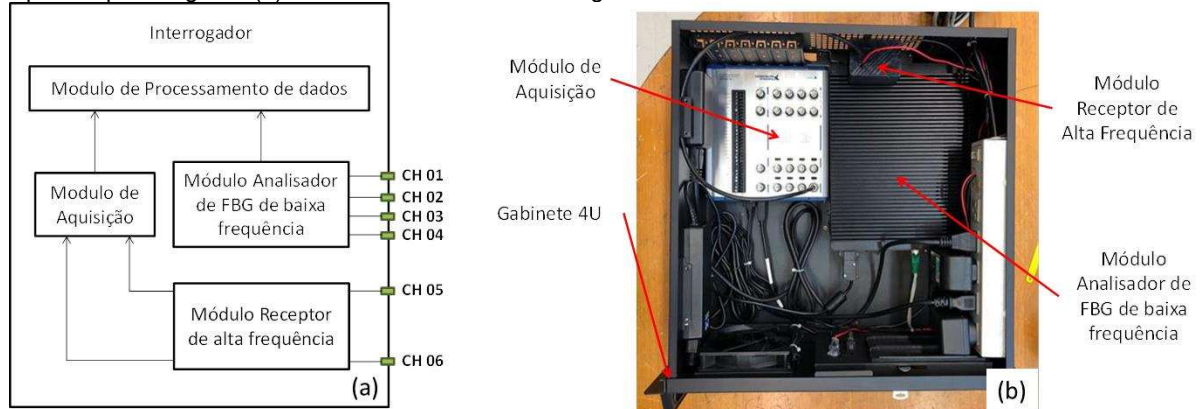


Figura 2 - (a) Diagrama de blocos do interrogador - (b) visão real do interrogador e seus módulos.

### 3.1 Sensor de temperatura semi-distribuída FBG array

O sensor de temperatura semi-distribuída usa como elemento fundamental o FBG array, que é uma fibra óptica produzida usando a técnica de gravação de múltiplas FBGs ao longo do seu comprimento, sem pontos de emenda entre cada FBG. Esta opção permite que a aplicação destas fibras seja mais compacta, flexível e tenha uma resistência mecânica superior às aplicações que usam várias FBGs emendadas entre si. O FBG array permite a escolha de comprimentos de onda e espaçamentos físicos entre FBGs tornando-se ideal para medições de temperatura em longa distância. A Figura 3 ilustra esquematicamente a estrutura de um FBG array.

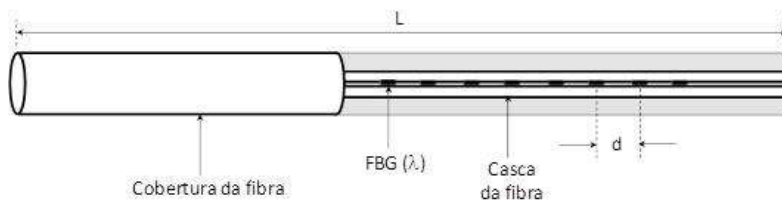


Figura 3 - Esquema de um FBG array.

Cada FBG presente no array é caracterizada por uma série de parâmetros, como comprimento de onda de operação ( $\lambda$ ), refletividade, comprimento da FBG, etc. Já o FBG array como um todo apresenta alguns parâmetros adicionais como: número de FBGs, distância entre cada FBG, encapsulamento da fibra, etc.

Uma das questões mais importante para uso de FBG array se relaciona ao tipo de encapsulamento que protege a fibra óptica. A escolha correta do encapsulamento da fibra permite que a mesma seja utilizada com segurança em variadas aplicações. Foram desenvolvidas FBGs array com dois tipos de encapsulamento, GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) e acrilato, esta última, para ser inserida dentro de um cabo óptico dielétrico para instalação em dutos. Os elementos desenvolvidos são mostrados na Figura 4.

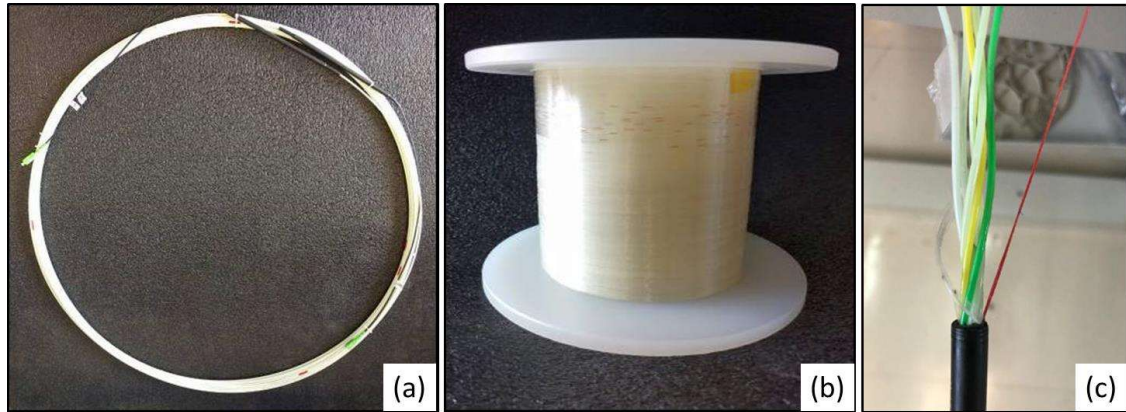


Figura 4 - (a) FBG array de GFRP, (b) FBG array de acrílato, (c) FBG array no cabo óptico.

### 3.1 Sensor de intrusão

Para o desenvolvimento do sensor de intrusão foram adquiridos extensômetros FBG com comprimentos de onda específicos de acordo com a necessidade do projeto. Sua fixação dentro da caixa subterrânea é feita através de um dispositivo mecânico, conforme apresentado na Figura 5(a). A haste do extensômetros FBG é pressionada pela tampa da caixa subterrânea. Desta forma, quando esta for retirada/levantada, o comprimento de onda do sensor é alterado e um aviso é apresentado para operação. O esquema de instalação é mostrado na Figura 5(b).

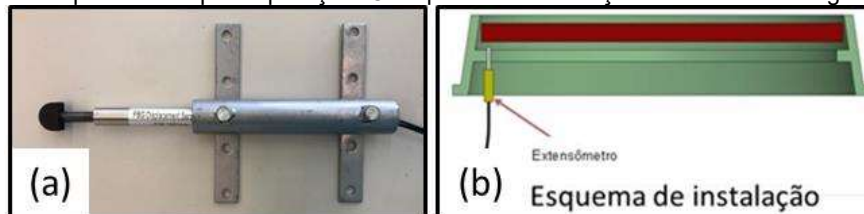


Figura 5 - (a) Sensor de intrusão e mecânica de instalação - (b) esquema de instalação.

### 3.4 Sensor de descargas parciais

O sensor de descargas parciais é um elemento eletro-óptico que capta o campo elétrico das descargas em altas frequências ( $>10$  MHz) e transforma o campo elétrico em uma tensão e posteriormente em um sinal óptico. O sensor DP-DFB é composto por terminais de captação do campo elétrico e um laser semicondutor do tipo DFB (Distributed Feedback). A Figura 6(a) apresenta a concepção do sensor DP-DFB. A Figura 6(b) apresenta o empacotamento para desenvolvimento da aplicação em campo e a Figura 6(c) mostra o sensor desenvolvido pronto para a instalação.

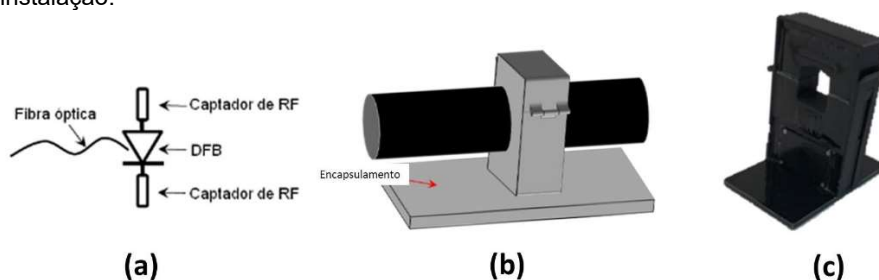


Figura 6 - (a) Concepção do sensor de descargas parciais - (b) empacotamento proposto - (c) sensor real.

### 3.5 Sensor de corrente

O desenvolvimento do sensor de corrente baseia-se no uso de um material magnetostritivo (Terfenol-D) em uma FBG. Este material expande-se na presença do campo magnético e consequentemente altera o comprimento de onda lido pelo interrogador FBG. A concepção do sensor é ilustrada na Figura 7(a). Em termos da mecânica desenvolvida, esta consiste de duas partes, conforme a apresenta a Figura 7(b), a saber: um suporte para o material magnetostritivo e fibra óptica com FBG inscrita e um suporte do núcleo ferromagnético bipartido. A Figura 7(c) mostra o detalhe do suporte para o material magnetostritivo (transdutor), FBG e o espaço para acomodação da fibra óptica. A Figura 7(d) mostra o aspecto final do sensor desenvolvido pronto para a instalação. O método construtivo separa, portanto, a parte com a transdução da luz da mecânica que permite a rápida instalação do elemento na rede de energia.



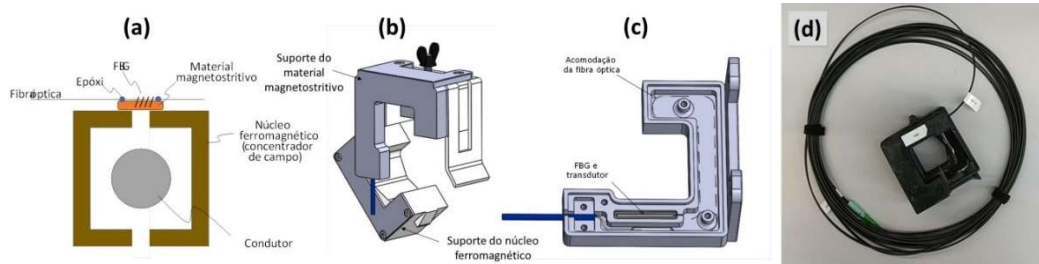


Figura 7 - (a) Concepção do sensor de corrente - (b) mecânica desenvolvida - (c) detalhamento do suporte para o transdutor - (d) sensor real.

### 3.6 Sensor de temperatura pontual

O sensor de temperatura pontual utilizado neste desenvolvimento para monitorar a temperatura externa de um transformador é um sensor comercial e de baixa complexidade quando comparado aos demais sensores. Este sensor apresenta uma relação linear entre a temperatura medida e o comprimento de onda refletido pela FBG no interior de seu encapsulamento. A Figura 8(a) mostra uma imagem de três elementos sensores em comparação com uma caneta comum e a Figura 8(b) mostra o local de instalação desses sensores.

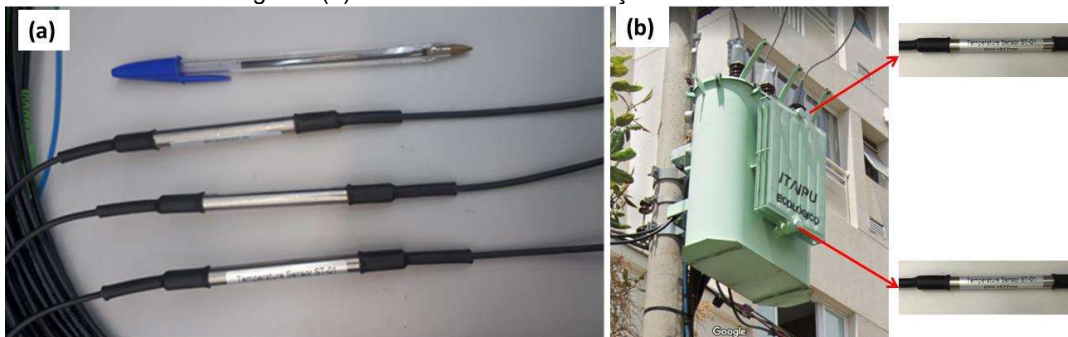


Figura 8 - (a) Sensores de temperatura pontual - (b) local de instalação dos sensores de temperatura pontual

### 3.7 Sensor de nível de líquido

Para construção do sensor de nível de líquido, foram adquiridos sensores de pressão FBG com comprimentos de onda específicos de acordo com o projeto de alocação dos comprimentos de onda dentro da faixa espectral do interrogador. O sensor é inserido em um tubo fixado na caixa subterrânea. O sensor apresenta resposta linear em comprimento de onda com a variação da altura de coluna de água. A Figura 9(a) mostra o sensor de pressão FBG sendo inserido dentro de um tubo metálico de 1 metro, e a Figura 9(b) apresenta o esquema de instalação.

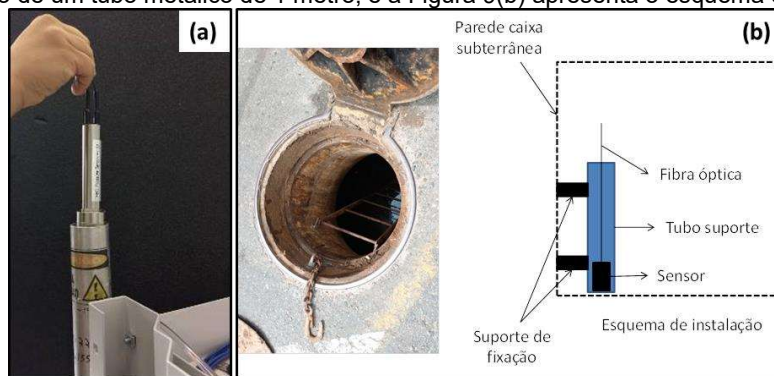


Figura 9 - (a) Sensor de nível de líquido - (b) esquema de instalação sensor de nível de líquido

## 4.0 TESTE DE CAMPO

Para validar os sensores e o sistema desenvolvido, foi realizado um teste de campo na SE Campinas Centro e entorno. Esse local foi escolhido por apresentar maior facilidade na gestão dos acessos às instalações e também por garantir a integridade dos desenvolvimentos.

### 4.1 - Projeto da rede de sensores

A escolha do circuito a ser utilizado para fornecer as grandezas a serem monitoradas, considerou basicamente os aspectos de menor distância e maior acessibilidade aos ativos elétricos. Com isso, foram escolhidos dois alimentadores da CPFL para serem monitorados, o CAM 22 e o CAM 35.

Na SE Campinas centro e no seu entorno foi construída uma rede de fibras ópticas para interligar os sensores para o monitoramento dos alimentadores escolhidos, conforme esquemático da rede apresentado na Figura 10.

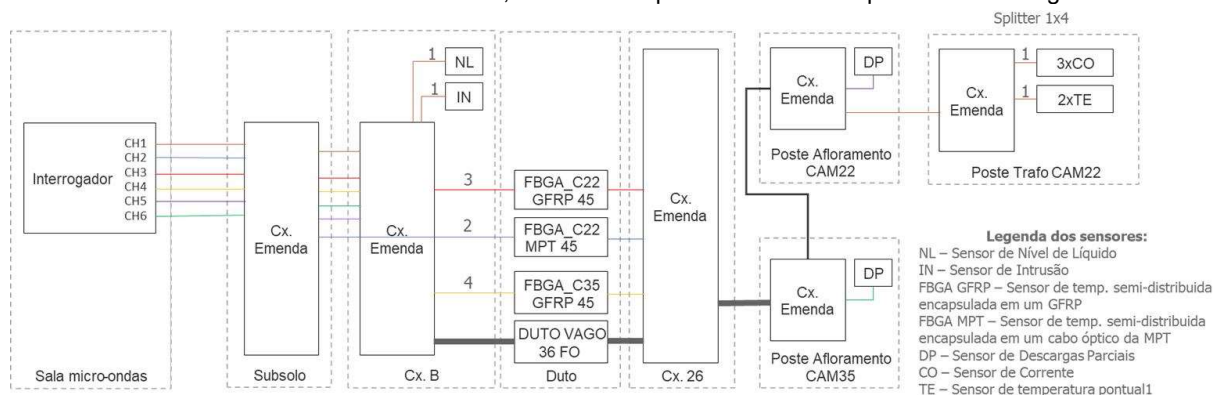


Figura 10 - Esquemático rede de sensores

#### 4.2 - Implantação da rede de sensores

Conforme observado na Figura 10 os sensores foram separados e instalados em locais estratégicos para a sua aplicação. Na caixa subterrânea (CS) B foram instalados os sensores de intrusão e de nível de líquido, e foi onde se iniciou o monitoramento de temperatura semi-distribuída dos alimentadores CAM 22 e CAM 35. A Figura 11 apresenta a instalação desses sensores na caixa subterrânea B, sendo que Figura 11(a) apresenta o sensor de intrusão, a Figura 11(b) o sensor de nível de líquido e a Figura 11(c) os sensores de temperatura semi-distribuída instalados dentro de micro dutos e diretamente no duto junto com os cabos condutores de energia.

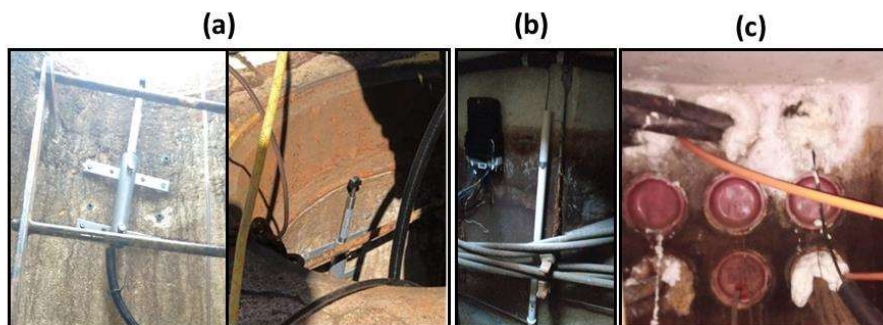


Figura 11 - (a) Sensor de intrusão - (b) Sensor de nível de líquido - (c) sensores de temperatura semi-distribuída

Outro local de instalação dos sensores foi a rede aérea de distribuição de energia, onde foram instalados sensores de descargas parciais (DP) nos afloramentos dos CAM 22 e CAM 35, além de sensores de temperatura e corrente no transformador de distribuição que é alimentado pelo CAM 22. A Figura 12 apresenta a instalação desses sensores, sendo Figura 12(a) sensor de descarga parcial, Figura 12(b) sensor de corrente e Figura 12(c) sensor de temperatura pontual.

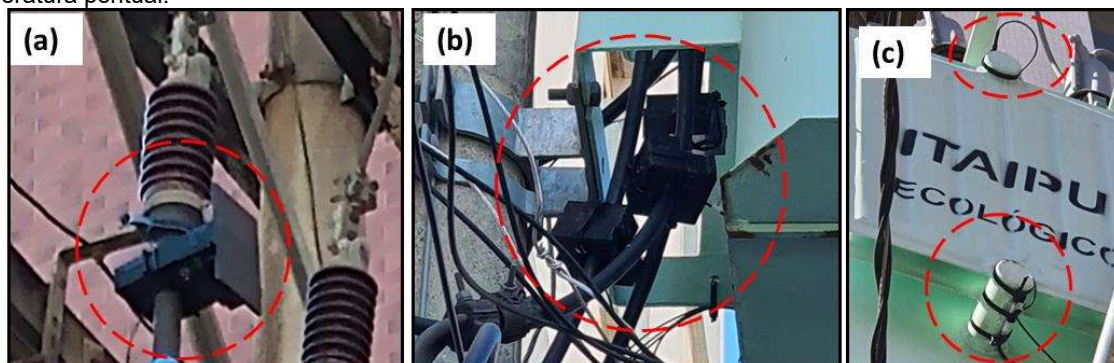


Figura 12 - (a) Sensor descarga parcial – (b) Sensor de corrente – (c) sensores de temperatura pontual

Nota: Apesar do sistema de monitoramento ser focado em redes subterrâneas nesse teste piloto estão sendo monitorados elementos de rede aérea por inexistência dos mesmos na rede subterrânea.

#### 4.3 Resultados obtidos até o momento

Os resultados obtidos até o momento são mostrados nas Figura 13 a Figura 15. A Figura 13 ilustra a resposta dos cabos de FBG array instalados nos alimentadores CAM 22 e CAM 35. As temperaturas mais elevadas são observadas nos extremos dos cabos que estão em contato com a água existente no interior destas caixas. Nestes extremos as temperaturas atingiram até 25°C. Ao longo do duto, entretanto, os cabos apresentam temperaturas mais baixas da ordem de 20°C, como esperado por este estar isolado no interior do duto. Nenhuma anomalia de alta temperatura de sobreaquecimento foi identificada no período.

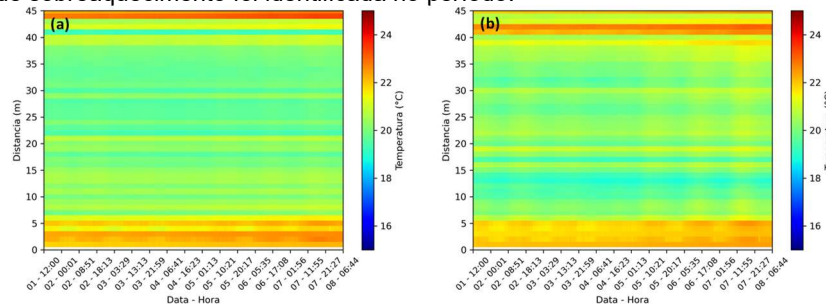


Figura 13 - Respostas das leituras de temperatura dos cabos FBG array (a) CAM 22 - (b) CAM 35.

Na Figura 14(a) são mostrados os valores do sensor de intrusão e na Figura 14(b) os valores do sensor nível de líquido. O sensor de intrusão manteve-se estável não superando o limiar de transição definido em 72 mm. Em outras palavras não houve abertura da tampa da caixa subterrânea. Quanto ao nível de líquido este se manteve constante em aproximadamente 1.65 metros.

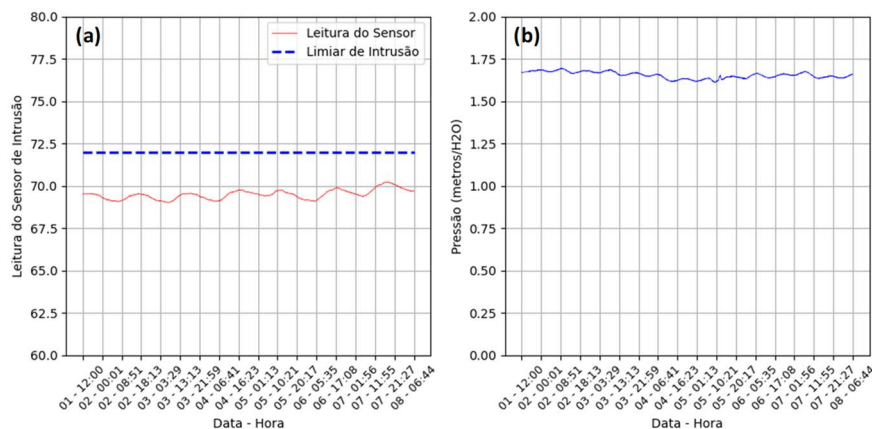


Figura 14 - (a) Leituras dos sensores de intrusão - (b) nível de água na caixa subterrânea.

Na Figura 15(a) temos as leituras das temperaturas no topo e base do transformador. Pode-se observar que a temperatura no topo é superior que a temperatura na base com uma diferença de 5°C. A periodicidade da temperatura devido à variação diurna, também é visível neste gráfico. Na Figura 15(b) observamos a variação da corrente medida para as três fases do transformador, picos de consumos são observados por volta das 19 horas de cada dia durante a monitoração.



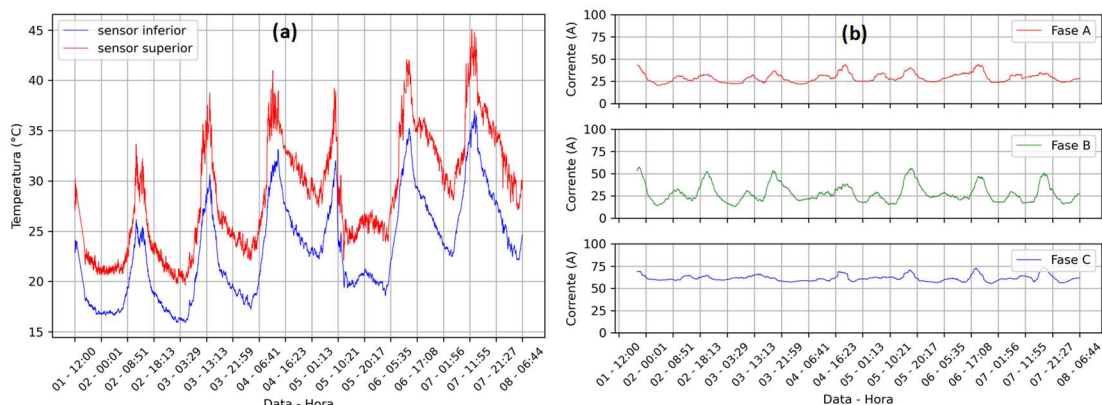


Figura 15 - Leituras dos sensores no transformador (a) sensores de temperatura - (b) corrente.

Na Figura 16, temos as leituras de descarga parcial (DP) coletadas no afloramento da rede subterrânea (CAM 22 e CAM 35). Nos gráficos são apresentados em (a) e (c) a quantidade DP por hora, e em (b) e (d) a média das DP's por hora.

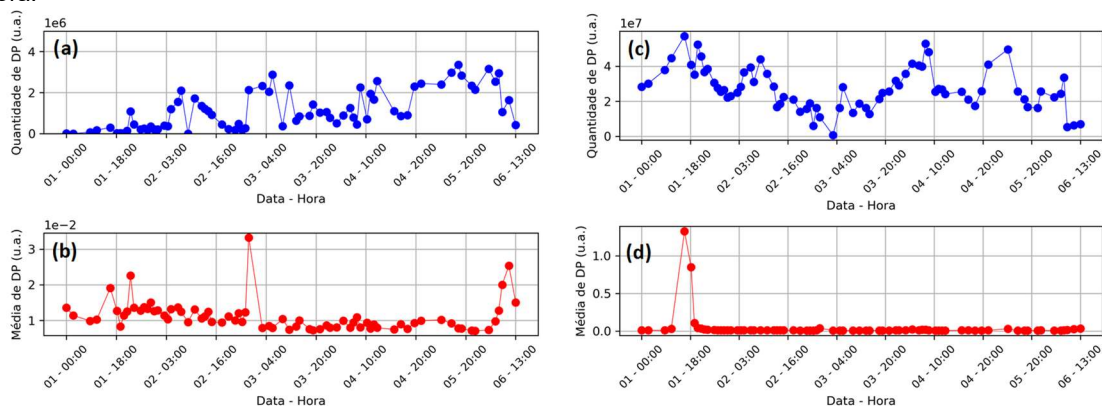


Figura 16 - Leituras dos sensores de descargas parciais (a) e (b) CAM 22 - (c) (d) CAM 35.

## 5.0 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a tecnologia de sensores ópticos como solução de monitoração de redes subterrâneas de distribuição de energia elétrica, conhecida como FBG, para a medição de múltiplos parâmetros, integrada em uma rede de sensoriamento também de fibras ópticas.

Foram realizados testes em laboratório em campo que demonstraram bom desempenho do sistema medindo diversos parâmetros como temperatura dos condutores, corrente e temperatura dos transformadores, monitoramento das caixas subterrâneas como presença de líquido e intrusão e descargas parciais nas muflas.

## 6.0 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do setor elétrico (ANEEL), através do projeto de P&D (PD-00063-3055/2019) intitulado "DE3055 - Desenvolvimento de Sistema de Monitoração de Múltiplos Parâmetros Aplicado a Elementos de Distribuição de Energia Elétrica Subterrâneos" do grupo CPFL Energia e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelas bolsas D.T. de João B. Rosolem e Rivaél S. Penze de números 304626/2017-1 e 302600/2020-5 respectivamente.

Os autores agradecem também o apoio técnico da empresa, fabricante de cabos, MPT - FIOS E CABOS ESPECIAIS S.A, na pessoa do Eng. Evandro Lee Anderson por apoiar o projeto com o encapsulamento da FBG Array na estrutura de um cabo óptico dielétrico para instalação em dutos.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- (1) Cho, J.; Kim, J.-H.; Lee, H.-J.; Kim, J.-Y.; Song, I.-K.; Choi, J.-H., "Development and Improvement of an Intelligent Cable Monitoring System for Underground Distribution Networks Using Distributed Temperature Sensing", *Energies* 2014, 7, 1076-1094. DOI: 10.3390/en7021076
- (2) Parejo, A.; Personal, E.; Larios, D.F.; Guerrero, J.I.; García, A.; León, C. Monitoring and Fault Location Sensor Network for Underground Distribution Lines. *Sensors* 2019, 19, 576. DOI: 10.3390/s19030576.
- (3) C. E. Campanella, A. Cuccovillo, C. Campanella, A. Yurt, and V. M. N. Passaro, "Fibre Bragg grating based strain sensors: Review of technology and applications," *Sensors*, vol. 18, no. 9, pp. 1–27. Sep. 2018, DOI: 10.3390/s18093115.
- (4) Shi, J., "The Research of Power Cable On-line Measurement System Based on Fiber Bragg Grating Sensor". *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 51, 2016.

#### DADOS BIOGRÁFICOS



BRUNO NOGUEIRA AIRES possui graduação em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (2012). Atualmente trabalha na Fundação CPQD desde 2011. Tem experiência na área de infraestrutura de Redes Ópticas, atuando em projetos de relacionados a cabos com fibras ópticas e acessórios. Participou do desenvolvimento de microcabos ópticos, com participação em fóruns para a especificação de requisitos e elaboração de normas técnicas. Desenvolve trabalhos de pesquisa e coordenação em projetos do setor elétrico no desenvolvimento de sistema com cabos condutores com fibras ópticas integradas e sensores ópticos para monitoramento de barragens. Atua também no laboratório de certificação de cabos ópticos e acessórios.

(2) CLAUDIO FLORIDIA nasceu em Ancona, Itália, em 1971, é bacharel em Física pela USP (1995), é mestre em Geofísica pela UFBA (1998), e obteve seu Ph.D. em Física pela UFPE em 2003. Desde 2005, ele é pesquisador do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD). Ele tem se envolvido com sensores e sistemas de fibra óptica, sensoriamento distribuído, sensores ópticos de tensão e corrente, técnicas de espectroscopia óptica, entre outros. O Dr. Floridia é autor de mais de 70 artigos em periódicos e conferências e é o titular de 2 patentes norte-americanas, 8 patentes no Brasil.

(3) FABIO RENATO BASSAN é natural de Americana, SP. Em 2017 concluiu o Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e em 2010 concluiu a graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Salesiana (UNISAL). Desde 2011 atua em projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados ao setor elétrico no CPQD.

(4) JOÃO BATISTA ROSOLEM concluiu o doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo em 2005. Atualmente é pesquisador do CPQD. É líder técnico do laboratório LSMO (Laboratório de Sensoriamento e Monitoração Óptica) do CPQD. Suas áreas de atuação em sensoriamento são: dispositivos de fibras ópticas, sensores de fibra óptica, sensores para sistemas de energia Elétrica. Desde 2020 coordena o grupo de trabalho Low Power Instrument Transformers (LPIT) do CIGRE Brasil. É bolsista de Produtividade e Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 1D. Em 2021 foi nomeado como Embaixador do CPQD.

(5) JOAO PAULO VICENTINI FRACAROLLI possui mestrado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (2018) e graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2013). Trabalha como pesquisador no CPQD, atuando nas seguintes áreas: sensores ópticos (FBG, Power over Fiber, DTS, DTSS), sensores para o setor elétrico (campo magnético do rotor de hidrogeradores, temperatura de linhas de transmissão, descargas parciais em transformadores), sensores para o setor de petróleo e gás (detecção de emissões fugitivas de metano), desenvolvimento de firmware de microcontroladores para os setores de energia, petróleo e gás, telecomunicações e automotivo.

(6) FERNANDO ROCHA PEREIRA é natural de Jundiaí-SP. Em 2009 concluiu a graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Desde 2008 atua em projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados ao setor elétrico e de sistemas embarcados no CPQD, em Campinas-SP.

(7) RIVAEEL STROBEL PENZE é doutor em Engenharia Elétrica pela UNICAMP desde 2016. É pesquisador da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD). Suas áreas de atuação são: IoT, Comunicações ópticas, Sensores de fibra óptica (Power over Fiber, Fiber Bragg Grating, Distributed Temperature Sensing, Bending fibers). Já participou de mais de 20 projetos de pesquisa e desenvolvimento, tem participação em mais de 27 artigos em periódicos. Ele possui mais de 8 registros de softwares, mais de 10 pedidos de patentes no Brasil. É também Bolsista de Produtividade Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 2.

(8) RODRIGO PERES possui graduação em Engenharia Física pela Universidade Federal de São Carlos (2011). Atualmente, cursa mestrado na Faculdade de Tecnologia na Unicamp, e é pesquisador da Fundação CPQD, atuando em projetos de P&D para o setor elétrico no desenvolvimento de sensores ópticos para o monitoramento e supervisão de linhas de transmissão, subestações e em barragens de usinas hidrelétricas, também é um dos responsáveis pelos ensaios ópticos no laboratório de homologação de cabos ópticos. Tem experiência na área de Física, com ênfase em redes de sensoriamento óptico, desenvolvimento de software na plataforma LabVIEW e projetos mecânicos utilizando ferramenta computacional SolidWorks.

(9) RONALDO ANTONIO RONCOLATTO graduado em Engenharia Elétrica pela Unicamp (1981) Com pós-graduação em Administração de Empresas pela EAESP/FGV, MBA em Gerência de Projetos e Especialização em Planejamento Energético. Ingressou na CPFL em 1982 e fez carreira na área de Engenharia de Distribuição, onde exerceu o cargo de Gerente de Engenharia de Manutenção e Normas e Padrões. Atualmente é Pesquisador Sênior na Área de Sistemas de Energia do CPqD e consultor nas áreas de distribuição de energia elétrica, geração fotovoltaica, armazenamento de energia e integração de projetos.

(10) CLÁUDIA MARIA COIMBRA é natural do Rio de Janeiro, RJ. Graduada em Engenharia Elétrica. Mestrado em Planejamento Energético pela UFRJ/COPPE. Desde 2006 no Grupo CPFL Energia, na Diretoria de Engenharia, na área de Normas, Padrões e Manutenção da Distribuição, desenvolvendo atividades de normatização e padronização de materiais, montagens, instalações, inspeção e manutenção, com foco no segmento da Iluminação pública e redes subterrâneas de distribuição de energia. De 2011 até então, também professora concursada do Centro Paula Souza.

(11) MARCELO DE MORAES engenheiro eletricista especialista em normas e padrões de redes de distribuição, com especialização em gerência de projetos. Atua na área elétrica desde 1985, com experiência em materiais e estruturas de redes de distribuição em 15kV e 25 kV.

(12) VICTOR BAIOSCHI RIBOLDI graduação em Engenharia Elétrica com Habilitação em Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas em 2016. Graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas em 2017. Premiação por Mérito Científico em 2012 e Menção Honrosa em 2016 pelo desenvolvimento de projetos de Iniciação Tecnológica e Inovação. Tem especialização pela Stanford University Centre for Professional Development Energy Innovation and Emerging Technologies - em 2019. Mestrado em andamento pela Universidade Estadual de Campinas na área de sistemas de energia. Tem experiência na área de gestão de projetos de pesquisa desenvolvimento e inovação (PD&I)

(13) FABIANO FRUETT recebeu o grau de engenheiro eletricista pela UNESP-Ilha Solteira, e o grau de mestre em microeletrônica UNICAMP. Fabiano obteve seu Ph.D. em setembro de 2001 pela Universidade de Tecnologia de Delft, Holanda. Os principais resultados de seu trabalho de doutorado foram publicados em mais de uma dezena de artigos científicos além de um livro de sua autoria. Desde 2002 trabalha como docente na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da UNICAMP. Seus interesses em pesquisa estão no campo dos Sistemas Microeletromecânicos (MEMS), eletrônica analógica, sensores, instrumentação eletrônica e internet das coisas (IoT).