

## GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

### USO DE TECNOLOGIAS ÓPTICAS PARA COMBATER A INTRUSÃO FÍSICA EM INSTALAÇÕES REMOTAS

**VICTOR DIAGO(1);EDUARDO FERREIRA DA COSTA(2);BRUNO NOGUEIRA AIRES(2);CARLOS  
ALEXANDRE MEIRELES DO NASCIMENTO(3);JOÃO BATISTA ROSOLEM(2)  
ALFA SENSE(1);CPQD(2);CEMIG(3)**

#### RESUMO

Com este trabalho objetivamos apresentar os resultados obtidos por meio do uso de tecnologia óptica inovadora aplicadas à cabos de fibra óptica para a detecção de ameaças e mitigação de riscos contra intrusão à infraestrutura física de instalações remotas do setor elétrico. A proteção à infraestrutura física utilizando redes de dados blindadas, em fibras ópticas, sem a necessidade de uso de redes wireless, também é apresentada como uma proposta factível para aumentar a segurança contra os ataques cibernéticos junto às estações remotas.

#### PALAVRAS-CHAVE

Intrusão; Subestações; Fibras Ópticas; Interferômetro; Sensores ópticos, Cercas

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

Com este trabalho objetivamos apresentar os resultados obtidos por meio do uso de tecnologia óptica inovadora aplicadas à cabos de fibra óptica para a detecção de ameaças e mitigação de riscos contra intrusão à infraestrutura física de instalações remotas do setor elétrico. A proteção à infraestrutura física utilizando redes de dados blindadas, em fibras ópticas, sem a necessidade de uso de redes wireless, também é apresentada como uma proposta factível para aumentar a segurança contra os ataques cibernéticos junto às estações remotas.

Intrusões não autorizadas são consideradas ameaças desde o início das civilizações. Barreiras físicas foram utilizadas ao longo da história para impedir ou mitigar riscos de intrusão de acesso não autorizado, sendo empregadas em grandes proporções tais como a Muralha de Jerusalém (3.000 A.C) e a Grande Muralha da China (300 A.C). Atualmente, ainda se usam as barreiras físicas para cercamento de diversas estruturas e edificações, incluindo instalações críticas no segmento de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.

Neste artigo iremos demonstrar a utilização de tecnologia de sensoriamento óptico, por meio da técnica de interferometria (1)-(7) aplicada em cabos de fibras ópticas convencionais para a detecção imediata de tentativas de intrusões físicas em qualquer perímetro de instalações críticas. A tecnologia é aplicada por meio de um equipamento interrogador de luz utilizando laser, que transforma o cabo de fibra óptica em um microfone distribuído de altíssima sensibilidade. A fibra óptica, tal como um microfone, capta as assinaturas de vibração da superfície em que está instalada, e um software permite traduzir essas vibrações e diferenciar ameaças de intrusões dos demais eventos irrelevantes, tais como: vento, chuva e ruído de veículos, etc.

Para avaliação da efetividade da tecnologia aplicada na UniverCemig foram selecionadas duas edificações, particularmente sensíveis às intrusões do setor elétrico, que vem sofrendo ataques constantes, sendo: i) uma subestação, e ii) uma galeria de rede de distribuição subterrânea, que são edificações utilizadas para realizar o treinamento técnico dos empregados e prestadores de serviços da Cemig. Na subestação, um cabo de fibra óptica monomodo para uso externo foi instalado na estrutura/tela metálica de cercamento, de forma a obter a melhor superfície de contato entre o cabo de fibra óptica e o cercamento perimetral. Para a câmara de rede de distribuição subterrânea, um trecho de cabo de fibras ópticas foi instalado na interface externa, para poder capturar e treinar o sistema de assinaturas com diferentes ocorrências, tais como tentativa de furto de cabos utilizando ferramentas de corte, por exemplo. Duas câmeras CFTV foram integradas ao sistema, para garantir a identificação visual das imagens em uma central de segurança. Ao detectar vibrações em uma tentativa de intrusão na subestação, ou manipulação dos cabos instalados na câmara subterrânea é gerado um alarme imediato, com a exibição automática da câmera e posição (preset) correspondente ao evento alarmando para o centro de operação e controle, local ou remoto, em um monitor. Desta forma, é possível fazer a confirmação visual da ocorrência e seguir os procedimentos de segurança patrimonial predefinidos em cada empresa, em um espaço de tempo bem reduzido. A implantação dessa tecnologia nacional foi colocada em operação na UniverCemig, em Sete Lagoas/MG, consistindo de rack,

computador com software de gravação e monitoramento, duas câmeras de vídeo IP sendo uma com controle de PAN, Tilt e Zoom, e uma central interrogadora com acessórios ópticos para delimitar as regiões de início e fim de zonas de monitoramento na rede de fibras ópticas.

Essa infraestrutura foi adicionada a nova rede de distribuição sinérgica, em fase de desenvolvimento e testes na UniverCemig, Sete Lagoas-MG. O conceito “Redes Sinérgicas” (8) propõe a utilização de fibras ópticas integradas aos cabos condutores de distribuição de energia elétrica para atender as demandas de comunicação e sensoriamento das redes inteligentes (Smart Grid), além de trazer como benefício uma nova forma de compartilhamento de infraestrutura de energia e telecomunicações por meio de uma rede blindada fisicamente e mais protegida contra ataques cibernéticos. Dessa forma, esse caso de estudo com aplicação da tecnologia óptica em rede privada de dados agrega melhoria significativa na gestão de ativos, onde as intrusões irregulares nas instalações remotas do setor de energia elétrica têm demandado muito investimento.

## 2.0 - SISTEMA DE DETECÇÃO DE INTRUSÃO

O coração do sistema de detecção de intrusão é um interferômetro óptico do tipo Michelson. Neste interferômetro o sinal é dividido (sentido inicial) e recombinado (sentido do retorno) em um mesmo divisor por meio da utilização de refletores. Normalmente, um interferômetro Michelson é utilizado para medir variação de deslocamento em relação aos refletores, entretanto no conceito aplicado como detector de intrusão ele detecta vibrações em um cabo de fibra óptica (cabo sensoriado por meio de duas fibras) pela alteração de fase  $\Phi$  causada no sinal luminoso que trafega na fibra óptica. A vibração mecânica causa alteração na superfície do núcleo da fibra óptica e devido à diferença existente entre a velocidade da luz na fibra e a propagação da vibração mecânica, a vibração atinge os dois núcleos de fibra em momentos diferentes. A diferença entre os momentos é em essência idêntica (para efeitos de interferometria) ao deslocamento dos espelhos (alteração de comprimento óptico) resultando, portanto, na mesma sensibilidade. Na FIGURA 1 vemos um diagrama de um típico interferômetro Michelson ao ar livre (free air).

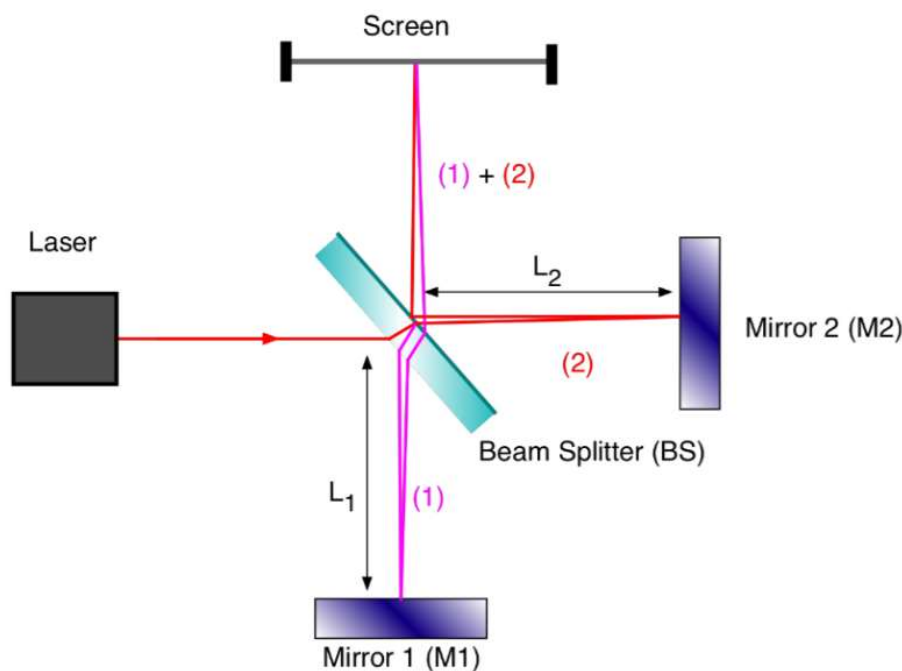


FIGURA 1 - Diagrama de um típico interferômetro Michelson ao ar livre.

Para obter o mesmo efeito utilizando cabos de fibra óptica ao invés de ar, o interferômetro fica como mostrado na FIGURA 2. Neste caso, a interferência construtiva e destrutiva ocorrerá devido a alteração de fase da onda recombinada após ser refletida. Parte da luz refletida será enviada de volta ao laser e parte será coletada pelo fotodetector. Seu princípio de funcionamento e operação baseiam-se na transmissão de luz laser com largura de linha estreita por um cabo de fibra óptica onde não existe a interferência/sensibilidade (denominado de Lead-In) até o ponto de monitoração, onde ocorre uma divisão em dois braços de monitoração (Sensing Arms) realizada por um acoplador óptico do tipo PLC. Na extremidade de cada um dos braços de monitoração há espelhos de reflexão total. A luz refletida em cada braço retorna ao acoplador PLC, onde ocorre interferência (construtiva ou destrutiva). O sinal resultante da interferência retorna pelo cabo Lead-In até o equipamento, onde é convertida em corrente elétrica por um fotodetector PIN e digitalizada para processamento e análise.

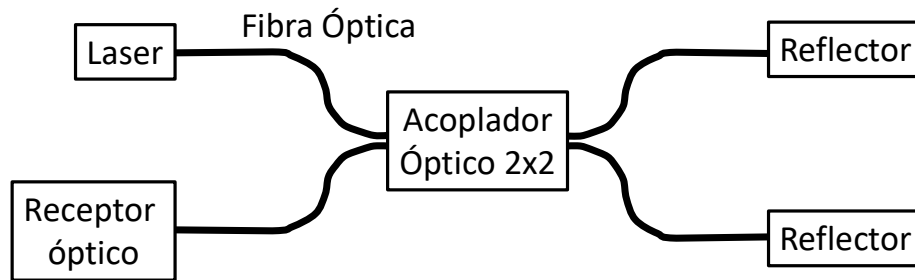


FIGURA 2 - Diagrama de um típico interferômetro Michelson em um circuito com fibras ópticas.

Esta tecnologia com idêntica abordagem possui diversas aplicações, entre as quais, notadamente podemos mencionar a detecção de ondas gravitacionais no projeto LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory). Uma das principais características de sistema é a proteção e garantia de inviolabilidade de perímetros para detecção de intrusão. Neste ponto existem necessidades específicas com diferentes níveis de criticidade, com produtos distintos para atender a proteção de perímetros residenciais, comerciais, industriais e de alta segurança como instituições financeiras, presídios, paióis de armas e explosivos, condomínios residenciais, etc. Este sistema de detecção de intrusão atende especificamente a necessidade de perímetros críticos, pequenos e médios (até 4km por equipamento interrogador) que necessitam de uma tecnologia para detectar uma eminente ameaça da intrusão, com identificação imediata da ZONA física alarmada. Para os ativos do setor de energia elétrica, como subestações e postos de transformação e outras edificações críticas, o perímetro de até 4 km atende satisfatoriamente.

Este sistema possibilita a integração a diferentes sistemas e equipamentos que componham a infraestrutura de segurança eletrônica existente nas empresas, tais como câmeras, sistemas de vídeo monitoramento (VMS), gravadores de vídeo digitais e em rede (DVR/NVR), sistemas de controle de acesso, sistemas PSIM e sistemas supervisórios de monitoramento, de forma a ampliar ainda mais sua aceitabilidade e permitir sua utilização em um ambiente completo de monitoramento. Esta integração é realizada por meio da utilização de relés de contato seco e/ou TCP/IP em diferentes protocolos aplicados na camada de software do equipamento. Adicionalmente, a solução pode receber integração de outros equipamentos de resposta automatizada, tais como sirenes e/ou refletores em campo, fornecendo não somente a detecção da tentativa de intrusão, mas também uma resposta instantânea e imediata à ameaça.

O sistema foi projetado para a realidade do mercado nacional, portanto possui capacidade para quatro diferentes zonas individuais, de forma que um quadrante perimetral possa ser protegido em cada um dos diferentes lados (Leste, Oeste, Norte e Sul) com a utilização de somente um equipamento. Cada zona poderá ter capacidade de até 1 km sensoriado. Devido à complexidade e diversidade dos cenários de perímetros encontrados, a solução foi projetada para permitir a proteção de diferentes tipos de cenário, presentes em uma mesma zona, oferecendo simultaneamente detecção de tentativas de intrusão por cortes, escalada, escavação, quebra ou depredação da barreira perimetral. Para atender à especificação de possuir quatro zonas diferentes e ainda assim ter baixo custo, foi desenvolvido um conceito utilizando divisores ópticos do tipo planar (PLC) em dois níveis juntamente com um diodo laser, conforme mostrado na FIGURA 1. Desta forma, foi dispensado a necessidade de equipamentos mais complexos e onerosos, como circuladores e isoladores, permitindo uma sensível economia com relação a componentes. Na última fase de validação em laboratório, foram executados testes de bancada para validar esse conceito, utilizando os mesmos componentes e analisando o sinal luminoso coletado com a ajuda de um osciloscópio. A Figura 3 mostra algumas demonstrações de sensibilidade do sistema. Na FIGURA 3(a) é mostrado o sinal detectado quando se toca o cabo óptico e na FIGURA 3(b) é mostrado o sinal quando uma superfície é tocada a uma certa distância do cabo óptico.

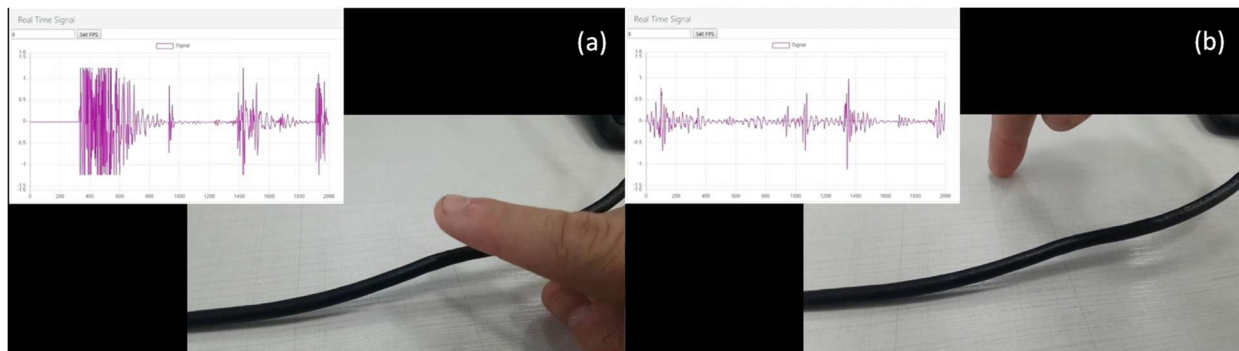


FIGURA 3 – Exemplos de demonstração de sensibilidade do sistema de intrusão: (a) sinal detectado quando se toca o cabo óptico e (b) sinal detectado quando uma estrutura é tocada a uma certa distância do cabo óptico.

Para ilustrar as formas de utilização do cabo sensor a FIGURA 4 mostra quatro diferentes instalações do cabo sensor em cercas e muros.



FIGURA 4 – Diferentes instalações do cabo sensor em cercas e muros.

### 3.0 - IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA NA REDE SINÉRGICA DA UNIVERCEMIG

A Instalação em campo, na UniverCemig, foi projetada para que o equipamento interrogador fosse instalado fisicamente distante dos locais monitorados, de forma a validar sua capacidade de cobrir longas distâncias utilizando-se o cabo Lead-in. Conforme mostra a FIGURA 5 selecionamos para a instalação do equipamento interrogador na central de monitoramento e controle, o local denominado LTO (Laboratório de Tecnologias Ópticas). A zona (parece faltar texto aqui). Das zonas disponibilizadas pelo equipamento interrogador, foram designadas para utilização as zonas como: 01 (Câmara Subterrânea) e 02 (subestação). O cabeamento pré-existente, interligando os locais demarcados foi utilizado como o Lead-In da zona, permitindo a implantação de forma simplificada e com economia de recursos e infraestrutura.



FIGURA 5 – Vista aérea mostrando a rede óptica e os pontos de instalação do sistema de detecção de intrusão.

A FIGURA 6 mostra a subestação (Zona 02) com cercamento perimetral convencional, consistindo de barreira de arame, com mourões de concreto. Após análise, se optou por realizar a instalação da fibra óptica de forma a possuir



interface mecânica para sensibilidade de vibração com todos os arames da cerca, potencializando a sensibilidade da detecção. Uma câmera com capacidade Pan Tilt Zoom foi instalada em um dos postes próximos do local, para que pudessem ser realizados os testes de integração, com a detecção seguida de alerta com exibição da imagem ao operador no LTO.



FIGURA 6 – Subestação para treinamentos técnicos na UniverCemig onde foi instalado o sistema de monitoração de intrusão.

Tecnologias tradicionais possuem limitação de sensibilidade diretamente proporcional ao acoplamento mecânico entre o sensor transdutor e as vibrações recebidas, entretanto devido à grande sensibilidade da técnica interferométrica, uma pequena superfície de contato do cabo de fibra óptica é suficiente para que as vibrações sejam corretamente detectadas. Superfícies metálicas, tais como alambrado e cercas de arame farpado, também oferecem maior capacidade de propagação das ondas de vibração, configurando-se em um cenário tecnicamente ideal e comercialmente viável, visto que possui também menor custo em comparação a muros ou outros cercamentos mais aprimorados. Assim, pode-se observar na FIGURA 7(a) como o cabo sensor foi instalado, fazendo-se um loop ao redor de um dos mourões de concreto. Na FIGURA 7(b) observa-se o instalador executando a fixação do cabo de fibra óptica à cerca, utilizando abraçadeiras de nylon com tratamento UV, que são propícias a instalações em ambientes externos e exposta à intempéries e radiação solar direta.



FIGURA 7 – Instalação do cabo óptico na cerca. (a) loop ao redor de um dos mourões de concreto e (b) fixação do cabo de fibra óptica à cerca.

Após instalado, o interrogador normaliza os sinais recebidos por meio de filtros de frequência, processando os sinais recebidos no domínio do tempo, em um espectrograma no domínio das frequências, com o objetivo de suprimir ruídos tradicionalmente problemáticos tais como vento, chuva, veículos próximos, entre outros. Após instalado e ativado o

sistema, observa-se a inexistência de sinal de vibração detectado, configurando um cenário silencioso, conforme é o registro da FIGURA 8. Ainda na FIGURA 8 é mostrado a operação do sistema com as imagens das câmeras em operação normal.

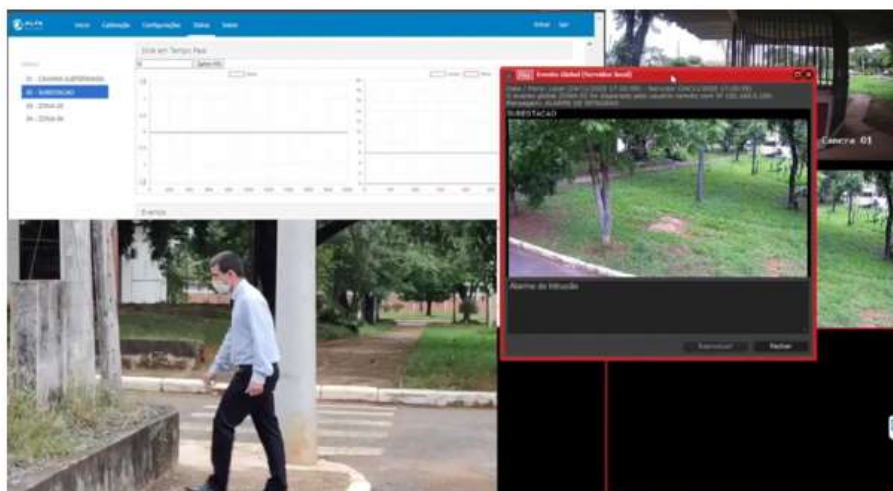


FIGURA 8 – Operação do sistema com inexistência de sinais, bem como as imagens das câmeras em operação normal.

Assim que a cerca é tocada, os sinais são detectados, e processados pelo equipamento interrogador, conforme mostra a FIGURA 9. O sinal detectado é dividido em amostras temporais, chamadas de assinaturas, que contém a informação da vibração detectada, e então processado com algoritmos de análise comportamental, levando-se em consideração a duração, amplitude, recorrência, intensidade e padrão de repetição. Ao final do ciclo de processamento, que leva poucos segundos, o sistema identifica a ameaça e então dispara um alarme sonoro ao operador, e também inicia o posicionamento da câmera integrada, para confirmação visual da ocorrência no local. Em poucos segundos a câmera é posicionada para a zona de alerta ou interesse, conforme mostra a FIGURA 10. Nesse momento, a gravação das imagens é realizada no sistema de vídeo monitoramento e uma marcação “Alarme de Intrusão” é gravada em seu banco de dados, permitindo a emissão de relatórios analíticos posteriores. Opcionalmente, sirenes e alertas em campo podem ser disparados, incluindo o estabelecimento de um canal de áudio ao vivo, onde o operador pode alertar pessoalmente o invasor, potencialmente dissuadindo o mesmo de prosseguir com a tentativa de intrusão.

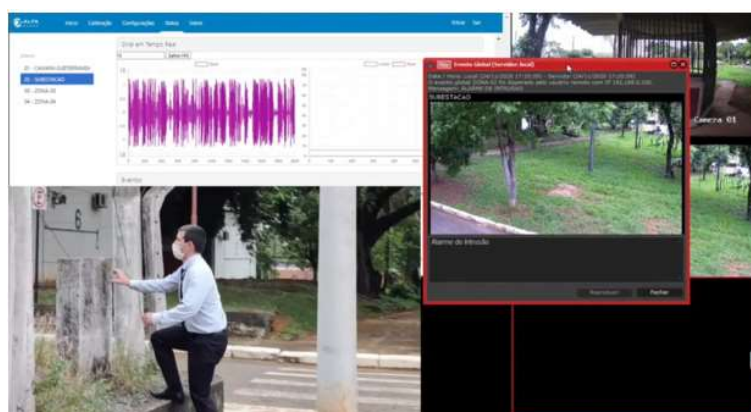


FIGURA 9 – Operação do sistema com detecção de intrusão.

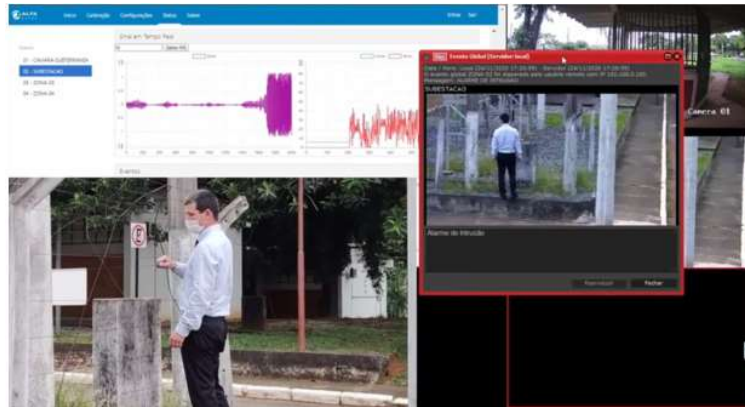


FIGURA 10 – Após a detecção de intrusão a câmera é posicionada para a zona de interesse.

Para a proteção dos pontos de entrada aos recintos protegidos, a solução pode ser utilizada como apoio à auditoria de controle de acesso a instalações críticas, permitindo identificar e otimizar acessos indevidos ou não desejados, mesmo que ocorram por meio de uma entrada válida, como um portão. A FIGURA 11 mostra a inexistência de sinal de intrusão, enquanto não existe qualquer interação com o portão de entrada da subestação. Neste portão a fibra óptica foi instalada de forma a proteger contra tentativas de intrusão, mantendo sua operação mecânica, conforme detalhe mostrado no diagrama da FIGURA 11.

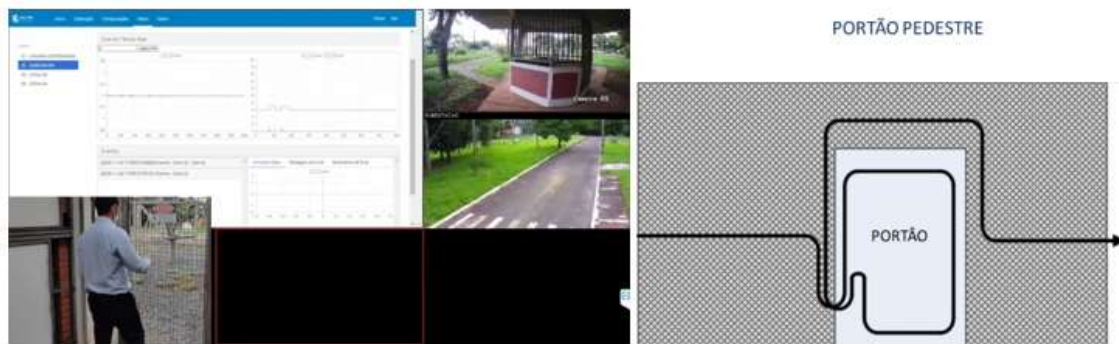


FIGURA 11 – Inexistência de sinal de intrusão, enquanto não existe qualquer interação com o portão de entrada da subestação e o esquema de instalação do cabo óptico no portão de acesso.

Ao iniciar-se a abertura do portão, o cabo de fibra óptica detecta as vibrações, envia para o software de processamento de assinaturas, que procede sua análise, concluindo que se trata de uma real tentativa de intrusão, disparando imediatamente um alarme sonoro ao operador e posicionando a câmera configurada para confirmação visual da ocorrência, conforme mostra a FIGURA 12. Após o alerta sonoro, o operador também recebe uma tela interativa (pop-up) com a imagem da área de interesse para averiguação (FIGURA 13). Opcionalmente, sirenes e alertas em campo podem ser disparados, incluindo o estabelecimento de um canal de áudio ao vivo, onde o operador pode alertar pessoalmente o invasor, potencialmente dissuadindo o mesmo de prosseguir com a tentativa de intrusão.

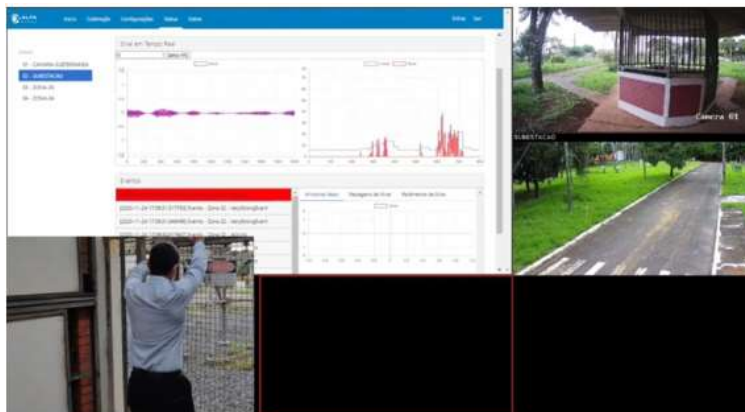


FIGURA 12 – Detecção de uma tentativa real de intrusão pelo portão.



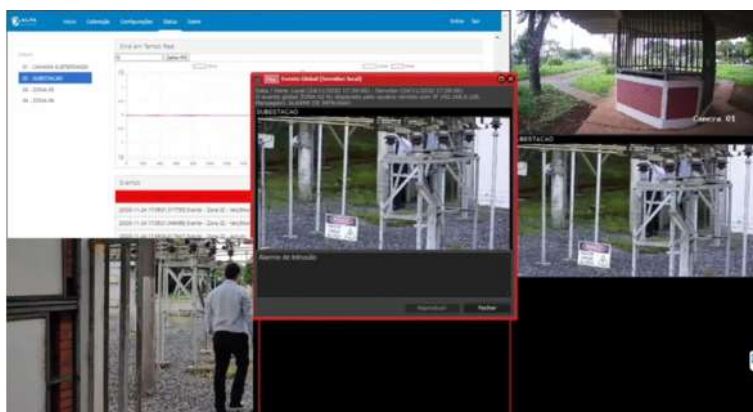


FIGURA 13 – Tela interativa (pop-up) com a imagem da área de interesse para averiguação.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

Apresentamos neste trabalho um sistema de detecção de intrusão baseado no uso de tecnologia de fibras ópticas para aplicação na detecção de ameaças e mitigação de riscos contra intrusão à infraestrutura física de instalações remotas do setor elétrico.

Outra vantagem do sistema em teste é sua proteção à infraestrutura física utilizando redes de dados blindadas, em fibras ópticas, sem a necessidade de uso de redes wireless, que vem se tornando uma proposta factível para aumentar segurança nos ataques cibernéticos junto às estações remotas.

Esse sistema foi instalado na infraestrutura da Rede de Distribuição Sinérgica na UniverCemig, Sete Lagoas-MG onde diversos testes estão sendo realizados. Dessa forma, esse caso de estudo com aplicação da tecnologia óptica em rede privada de dados pode agregar melhoria significativa na gestão de ativos, onde as intrusões irregulares nas instalações remotas do setor de energia elétrica têm demandado muito investimento.

Para a proteção dos pontos de entrada aos recintos protegidos, a solução pode ser utilizada como apoio à auditoria de controle de acesso a instalações críticas, permitindo identificar e otimizar acessos indevidos ou não desejados, mesmo que ocorram por meio de uma entrada válida.

Tecnologias tradicionais de detecções de intrusões possuem limitação de sensibilidade diretamente proporcional ao acoplamento mecânico entre o sensor transdutor e as vibrações recebidas. Entretanto devido à grande sensibilidade da técnica interferométrica, uma pequena superfície de contato do cabo de fibra óptica já é suficiente para que as vibrações sejam corretamente detectadas. Sendo assim, a tecnologia da interferometria detalha nesse artigo pode ser aplicada com sucesso nessa lacuna crítica da segurança patrimonial do setor de energia elétrica.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) B. Griffiths, "Development in and applications of fibre optic intrusion detection sensors," Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers 29th Annual 1995 International Conference, p. 325-330, 1995
- (2) M. Szustakowski, W. Ciurapinski, N. Palka and M. Zyczkowski, "Recent development of fiber optic sensors for perimeter security", Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings, p. 158-162, 2002
- (3) M. C. Maki and J. K. Weese, "Fiber optic fence sensor developments," in Proc. IEEE 37th Annu. Int. Carnahan Conf. Secur. Technol., Oct. 2003, pp. 17–22.
- (4) M. Kondrat, M. Szustakowski, N. Palka, W. Ciurapinski and M. Zyczkowski, "A Sagnac –Michelson fiber optic interferometer: Signal processing for disturbance localization", Opto electronics review, Vol.15, No. 3, p. 127-132, 2007
- (5) A. Yousefi, A. A. Dibazar, and T. W. Berger, "Intelligent fence intrusion detection system: Detection of intentional fence breaching and recognition of fence climbing," in Proc. IEEE Int. Conf. Technol. Homeland Secur., Boston, MA, USA, May 2008, pp. 620–625.
- (6) S. S. Mahmoud and J. Katsifolis, "Robust event classification for a fiber optic perimeter intrusion detection system using level crossing features and artificial neural networks," Proc. SPIE, vol. 7677, p. 767708, Apr. 2010
- (7) G. Allwood, G. Wild, and S. Hinckley, "Optical fiber sensors in physical intrusion detection systems: A review," IEEE Sensors J., vol. 16, no. 14, pp. 5497–5509, Jul. 2016.



- (8) Projeto P&D ANEEL / CEMIG D0613, CEMIG D566 Continuidade Fase II: Desenvolvimento de redes sinérgicas para aplicações em redes de distribuição de energia; CEMIG Distribuição S/A; Entidade executora: CPqD e Balestro; 2018.

## 6.0 DADOS BIOGRÁFICOS



VICTOR DIAGO - Autodidata, teve contato com o segmento de eletrônica ainda no início de sua carreira, porém optou por seguir a área de T.I. Com foco em sistemas baseados em Unix/Linux, atuou durante mais de 10 anos com a administração de redes e servidores, especializando-se em segurança digital e em seguida atuando como perito em criminalística digital, com foco em espionagem industrial e fraudes no sistema financeiro. A partir de 2014, teve contato com sistemas de sensoriamento por fibra óptica e iniciou estudos para o desenvolvimento de soluções 100% nacionais

### (2) EDUARDO FERREIRA DA COSTA

Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é engenheiro da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em circuitos eletrônicos e optoeletrônicos, atuando principalmente nos seguintes temas: óptica, fibra óptica, sensores a fibra óptica, Smart Grid, Power Line Communications (PLC) e telecomunicações em geral. Tem atuado como pesquisador e coordenador de projetos de P&D para o Setor Elétrico.

### (3) 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 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.

### 4) CARLOS ALEXANDRE MEIRELES DO NASCIMENTO

Engenheiro de TECNOLOGIA da Cemig D. Doutor em Engenharia Elétrica pela UFMG (2009), com graduação e mestrado em engenharia mecânica. Experiência em Engenharia de Energia Elétrica, com ênfase em Inovações, atuando: monitoramento de ativos GTD, projetos de linhas e redes, ampacidade, fibras ópticas, condutores especiais, supercondutores. Atua nos estudos de tecnologias emergentes, tais como: Energias Alternativas; Hidrogênio; Robótica Aplicada; Digitalização; Redes Inteligentes e Eletrificação. Premiação: Prêmio Cigre Internacional Distinguished Member Awards 2020; Paper Award Japão 2021 em Tecnologias Ópticas; 1º. Prêmio Mineiro de Inovações e outros prêmios internacionais e nacionais. Possui 15 registros de patentes, marcas e softwares no INPI.

### (5) JOÃO BATISTA ROSOLEM

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.