XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

CB/GTL/12

GRUPO - XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

CONCEPÇÃO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE CAMPO DE SISTEMA ÓPTICO CWDM COMO PLATAFORMA DE MONITORAÇÃO DE ATIVOS E DE COMUNICAÇÃO DE DADOS EM BANDA LARGA PARA REDES SMART GRIDS

João Batista Rosolem (*)
CPQD

Eduardo Ferreira da Costa
CPQD

Rivael Strobel Penze
CPQD

Fabio Renato Bassan
CPQD

João Paulo Vicentini Fracarolli
CPQD

Danilo Cesar Dini
CPQD

Claudio Floridia
CPQD

Carlos Alexandre Meireles Nascimento
CEMIG D

RESUMO

Apresentamos neste trabalho um sistema óptico inovador que utiliza a tecnologia CWDM como plataforma de monitoração e comunicação de dados em banda larga para redes Smart Grids. O trabalho descreve a concepção, o desenvolvimento, os testes em laboratório do sistema que foram demonstrados em 50 km de fibra óptica monomodo com 4 canais CWDM transmitindo dados e vídeo em 1,25 GbE simultaneamente ao processo de monitoração e posteriormente a implantação e operação em campo do sistema em um enlace de 17 km de comprimento instalado na UniverCemig, em Sete Lagoas/MG.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de Transmissão, Monitoração, Comunicação de Dados, CWDM, Smart Grid, Banda Larga

1.0 - INTRODUÇÃO

A mais de três décadas as empresas de energia elétrica têm utilizado a tecnologia de fibras ópticas em aplicações distintas tais como telemetria, comunicação de dados, aluguel para as empresas de telecomunicações ou para sensoriamento de ativos diversos, tais como, transformadores, linhas de transmissão aéreas e subterrâneas, chaves seccionadoras, etc. Do ponto de vista de telecomunicações em longa distância as empresas de energia elétrica, sobretudo as empresas transmissoras, usam poucas fibras (em geral dois pares) instaladas em cabos OPGW (Optical Ground Wire) para telemetria/transmissão de dados. Se o restante das fibras do cabo é alugado para as empresas de telecomunicações outras eventuais aplicações que necessitam de fibras ópticas podem não ser possíveis.
Por outro lado, as empresas do setor elétrico têm interesses diversos na monitoração dos seus ativos, como por exemplo, na monitoração das faixas de segurança ou servidão de linhas aéreas de transmissão (LTs) de energia elétrica que são locais que possuem restrições quanto as suas utilizações. Estas restrições se dão por motivos de projeto eletromecânico, segurança e para garantir o acesso das equipes de manutenção às estruturas que sustentam os condutores das LTs.
Tendo em vista os problemas decorrentes da invasão das faixas de segurança, oriundas da construção de habitações irregulares, principalmente nas áreas próximas aos grandes centros urbanos, a CEMIG em pareceria com o CPqD, no âmbito do programa de P&D da ANEEL, desenvolveram uma solução inovadora com a adaptação da tecnologia CWDM (Coarse Wavelength Divison Multiplexing) para o monitoramento da integridade física dos condutores das LTs

(*) Rua Doutor Ricardo Benetton Martins, 1000 - Parque II do Polo de Alta Tecnologia, CEP 13086-902 Campinas – SP – Brasil. Tel: (+55 19) 3705-6796 – Email: rosolem@cpqd.com.br

nos trechos críticos, ou seja, nos trechos invadidos fazendo uso de fibras ópticas compartilhadas com aplicações de comunicações de dados em banda larga.
Uma vantagem e ao mesmo tempo uma premissa do sistema óptico CWDM é o compartilhamento de uma mesma fibra óptica com diversos canais independentes, que podem ser utilizados em diversas funções e aplicações para automatizar os ativos de GTD (Geração, Transmissão e Distribuição). Mas manter a função primordial da fibra óptica que é comunicações em banda larga também foi premissa para definição do projeto, formando assim uma plataforma tecnológica óptica muito robusta para Smart Grids do setor de GTD. Por último, mas não menos importante para atender as premissas definidas no projeto o sistema de monitoração utilizou a tecnologia CWDM que é largamente utilizada em comunicações de dados e que tem um custo de aquisição bem mais competitivo em relação às tecnologias convencionais.
O sistema CWDM desenvolvido tem disponível 16 canais ópticos operando de 1310 nm até 1610 nm, que podem ser divididos para monitoração dos diversos ativos de GTD e para comunicações em banda larga. Tanto a monitoração como a transmissão para comunicações de dados são feitas em apenas uma fibra óptica de forma bidirecional. O sistema de monitoração é baseado na detecção de sinais refletidos por dispositivos ópticos (espelhos em fibra óptica). Estes espelhos são colocados estrategicamente no final de cada segmento de enlace óptico monitorado. A presença dos sinais refletidos ópticos no equipamento de transmissão CWDM indica que o enlace está integro e a ausência indica que o cabo foi rompido. Redundâncias são utilizadas para garantir que o sinal detectado seja realmente do cabo rompido nos vãos críticos. O sistema foi desenvolvido com dispositivos de fibra óptica comerciais, tais como, transceivers SFP (Small Form-Factor Pluggable), add/drops CWDM e espelhos em fibra. Transceivers SFP possuem custo muito atraente no mercado além de propiciarem tempo de resposta na recepção abaixo do tempo dos relês tradicionais do mercado. Um cabo condutor e isoladores especiais com fibras ópticas embutidas foram especialmente desenvolvidos para o projeto para serem usados no vão crítico.
Neste trabalho são apresentados: a descrição do sistema óptico inovador que utilizou a tecnologia CWDM como plataforma de monitoração e comunicação de dados em banda larga para redes smart grids, o desenvolvimento e os testes em laboratório do sistema que foram validados e demonstrados em 50 km de fibra óptica monomodo com 4 canais CWDM transmitindo dados e vídeo em 1,25 GbE simultaneamente ao processo de monitoração e posteriormente a implantação e operação em campo do sistema em um enlace de 17 km de comprimento instalado na UniverCemig, em Sete Lagoas/MG.

2.0 - PLATAFORMA DE MONITORAÇÃO E COMUNICAÇÃO DE DADOS EM BANDA LARGA PARA REDES SMART GRIDS

As premissas definidas para o projeto foram: o sistema deve ser rápido o suficiente para atuar antes do relé de proteção evitando o religamento automático indesejável da LT (com condutor rompido) e deverá ser previsto o compartilhamento da fibra utilizada no sistema de monitoramento com sistemas de telecomunicações de banda larga tradicionais. Considerando estas premissas foi proposto o sistema de monitoramento inovador utilizando a tecnologia CWDM [1] que é largamente utilizada em telecomunicações.

2.1 Arquitetura Genérica do Sistema

O sistema de monitoramento será composto por: cabo condutor com fibra sensora (OPPC – OPtical Phase Conductor), dispositivos de interligação (isolador), cabo com fibra de transmissão (ex. OPGW) e a unidade óptica de transmissão/detecção (Transponder CWDM) conforme mostrado na Figura 1. O princípio de funcionamento do sistema baseia-se no fato de que dispositivos reflexivos colocados ao longo da linha de transmissão interrompam a reflexão de luz caso algum dano ocorra ao longo da linha, em particular na seção da fibra sensora, que deve ser instalada nos vãos críticos.

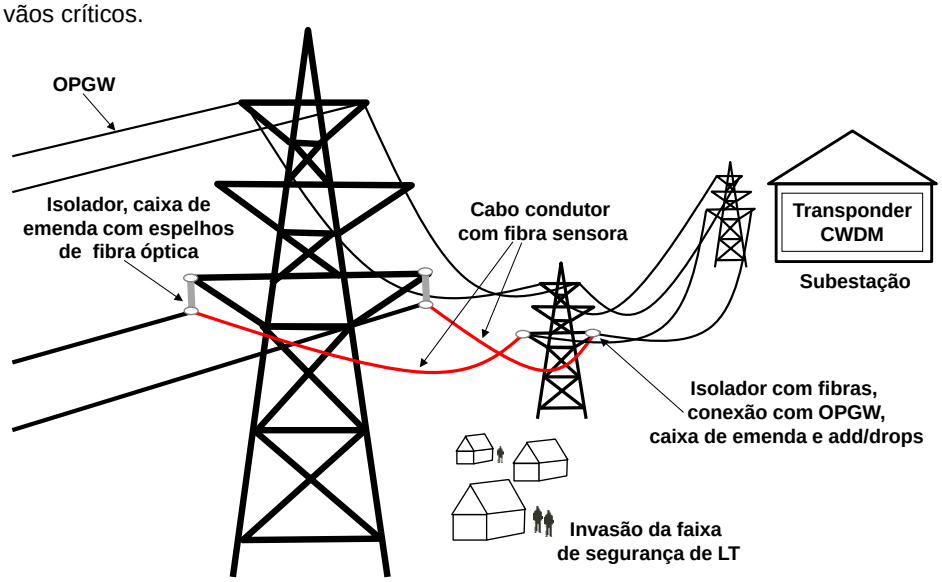
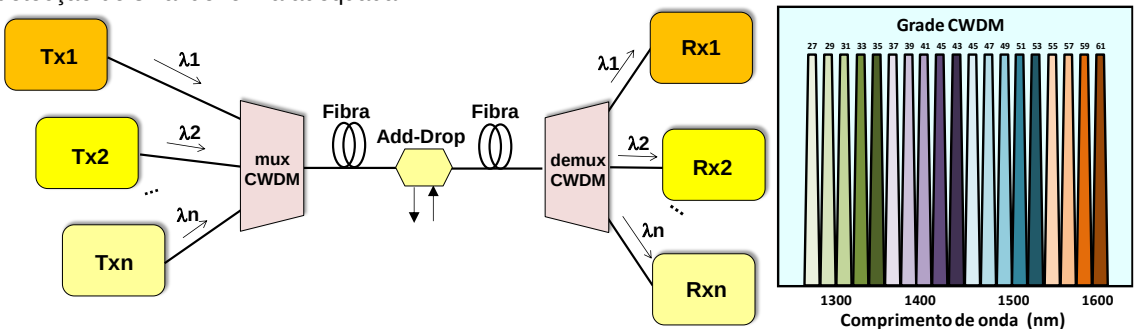


FIGURA 1 – Composição do sistema de monitoramento.

Para que o sistema proposto tenha alta confiabilidade e um tempo de resposta suficientemente rápido, imagina-se que a fibra óptica sensora deva ser conectada diretamente à subestação através de uma fibra óptica de transmissão. A fibra óptica de interligação entre o cabo sensor e a subestação poderá ser uma fibra de um cabo OPGW ou de um cabo aéreo. Em relação aos isoladores elétricos a serem utilizados para conectar o sinal óptico da baixa tensão para a alta tensão foi desenvolvida uma técnica para passar a fibra óptica pelo núcleo do bastão de fibra de vidro dos isoladores poliméricos, inclusive foram disponibilizados vários protótipos para instalações experimentais no projeto. Entretanto ainda existe a necessidade de adequação dos terminais metálicos dos isoladores para permitir o acoplamento com o cabo de fibra óptica. A adequação dos terminais deve ser realizada de acordo com as necessidades das aplicações específicas e também devem ser considerados os aspectos relativos aos requisitos mecânicos e ópticos para a terminação do cabo no terminal do isolador.
O sistema de detecção utilizará a tecnologia CWDM como mostra a Figura 2(a). Nesta técnica diversos sinais ópticos em comprimentos de onda diferentes são conectados em uma única fibra usando dispositivos conhecidos como multiplexadores (mux). Ao longo de um enlace óptico alguns destes sinais podem ser removidos ou inseridos novamente no enlace por meio do uso de dispositivos conhecidos como add-drops ópticos. Os transmissores são os responsáveis pelas interfaces de transmissão do sistema óptico, tanto para transmitir os sinais de forma apropriada em comprimentos de onda específicos, mas com taxas de transmissão adequadas. Os receptores são os responsáveis pela detecção do sinal de forma adequada.



(a) (b)

FIGURA 2 – (a) Diagrama genérico da técnica WDM e (b) distribuição espectral do CWDM

Atualmente transmissores e receptores são integrados em um formato mecânico padronizado que permite uma grande redução do espaço ocupado em estações. Um destes formatos é o SFP [2].
O espaçamento espectral CWDM é mostrado na Figura 2(b) e foi padronizado pela norma ITU-T G.694.2 [3]. Basicamente 18 canais separados por 20 nm são distribuídos entre 1270 a 1610 nm, que é a faixa de transmissão com baixa atenuação na fibra óptica. Uma das grandes vantagens do CWDM é que o mesmo tem custo reduzido em relação a outros sistemas WDM.

2.2 Transponder CWDM para Uso em Monitoração e Comunicação de Dados

Para usar a monitoração da LT e simultaneamente permitir o uso de comunicação entre subestações na mesma fibra utilizamos a arquitetura de rede mostrada na Figura 3 que é uma topologia CWDM em barramento. Neste caso são utilizados dois elementos de transmissão/recepção denominados de transponders CWDM em cada subestação. O sinal vindo de qualquer equipamento de transmissão com saída óptica genérica é conectado na entrada (Rx) de um dado transceiver SFP do transponder. O transceiver providencia a adaptação deste sinal no comprimento de onda correto para transmissão no transponder CWDM. Outro transponder situado na estação oposta providencia a entrega deste sinal ao equipamento de transmissão associado.
A unidade Transponder de transmissão tem por função converter os sinais ópticos de até 16 clientes recebidos em suas entradas em até 16 sinais CWDM padronizados na sua saída. A conversão é realizada por unidades transceivers SFP “plugáveis”. Os sinais de entrada chegam ao Transponder de transmissão por meio de cordões ópticos com conectores LC/PC provenientes de equipamentos de transmissão genéricos.
A unidade Transponder de transmissão é composta de uma placa principal (placa mãe) na qual são acopladas duas placas de fonte de alimentação uma placa de supervisão e 16 transceivers SFP CWDM com os seguintes comprimentos de onda 1310, 1330, 1350, 1370, 1390, 1410, 1430, 1450, 1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590 e 1610 nm. As interfaces elétricas de entrada e saída de cada transceiver do tipo SFP são internamente e eletricamente conectadas de tal forma a formar um circuito tipo 2R (amplificação e reformatação, mas não de regeneração do sinal). Trilhas de circuito levam informações dos transceivers até a placa de supervisão. Os alarmes de falha de transmissão e ausência de sinal de recepção e comandos para desabilitar o funcionamento do laser são do tipo “0” e “1” TTL. A placa de supervisão exterioriza estes dados via Ethernet 10/100 Base-T/TX.
O transceiver do tipo SFP é um transceptor compacto, hot-pluggable usado tanto para aplicações de telecomunicações como de dados. O fator de forma e interface elétrica é especificado por um acordo multi-source (MSA) [2]. Transceivers SFP são projetados para suportar SDH, SONET, gigabit Ethernet, Fibre Channel, e outros padrões de comunicação.
Cada SFP possui internamente tanto os componentes optoeletrônicos de transmissão como de recepção, bem como circuitos eletrônicos de amplificação de sinal e de detecção de falhas, exteriorização de alarmes e diagnósticos digitais de desempenho dos módulos. Destes alarmes os que são importantes para o sistema de monitoração são de falha do laser (Tx Fault) e perda de sinal de recepção (LOS).

Como pode ser observado na Figura 3 foram adicionados na saída do Transponder dispositivos circuladores ópticos cuja função é permitir o retorno ao receptor de cada transceiver a potência óptica refletida pelos elementos reflexivos (add-drops com espelhos de fibra óptica) instalados ao longo da linha de transmissão.
Os sinais refletidos para os transceivers são a base para a detecção de rompimento do cabo de energia nos vãos críticos ou onde os condutores OPPC estiverem disponíveis nas linhas aéreas. Estes sinais são detectados pelos receptores dos transceivers e um circuito eletrônico interno dos transceivers exterioriza uma saída de nível “1” TTL quando estes sinais não estão presentes, ou seja, quando os elementos refletores por motivo de rompimento do cabo passam a não refletir este sinal. Cada saída TTL de alarmes de cada transceiver é levada a placa de supervisão do Transponder onde por meio de um circuito eletrônico apropriado é verificado se os alarmes correspondem à queda do cabo condutor ou se trata de uma falha de outra natureza. Em caso de confirmação de sinais de queda do cabo condutor esta placa aciona outro sinal usando uma interface elétrica apropriada e que comunica com o relê de proteção da linha de proteção, de forma a evitar o religamento da linha.
Como os sinais de reflexão podem ter sua potência reduzida drasticamente devido a outros fatores, tais como degradação do laser do transceiver e rompimento do enlace óptico da fibra transmissora, prévia ao vão crítico, outros sinais de saída são levados à placa de supervisão para garantir a informação correta dos fenômenos ocorridos. Na topologia da Figura 3 o comprimento de onda de 1470 nm monitora a situação do enlace antes do vão crítico.
Na Figura 3 ainda é mostrado o multiplexador óptico MUX2. Este elemento tem a função de conectar no enlace o sinal de um equipamento OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) que tem como função também de monitoração do enlace óptico principal. Essa funcionalidade do sistema, usando o OTDR, é muito útil na avaliação precisa na localização da ocorrência de qualquer defeito na fibra óptica (ou na integridade do condutor em outras topologias de monitoração), sem a necessidade de uma inspeção terrestre de todo o trecho da linha aérea pela equipe de manutenção. Esta inspeção geralmente demanda várias horas e tem um elevado custo operacional com penalizações regulatórias para a Cemig pela indisponibilidade do ativo.

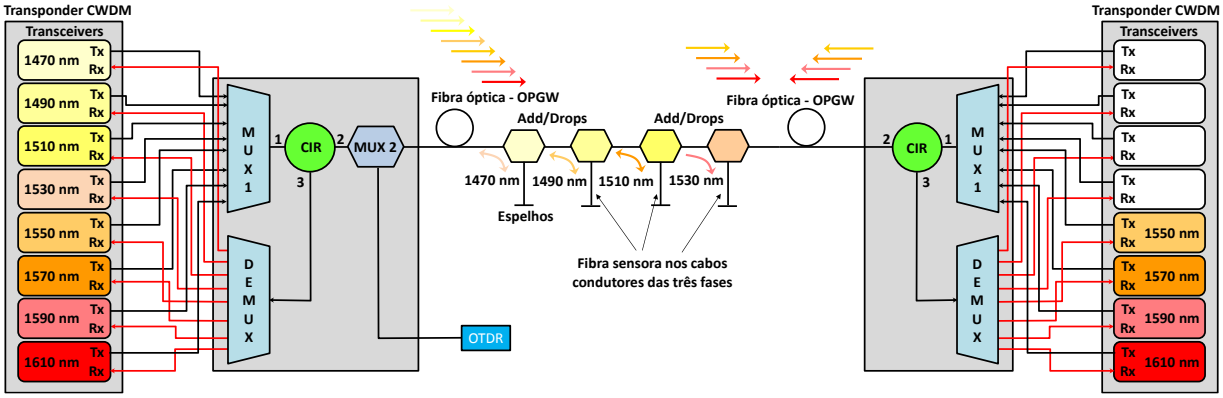


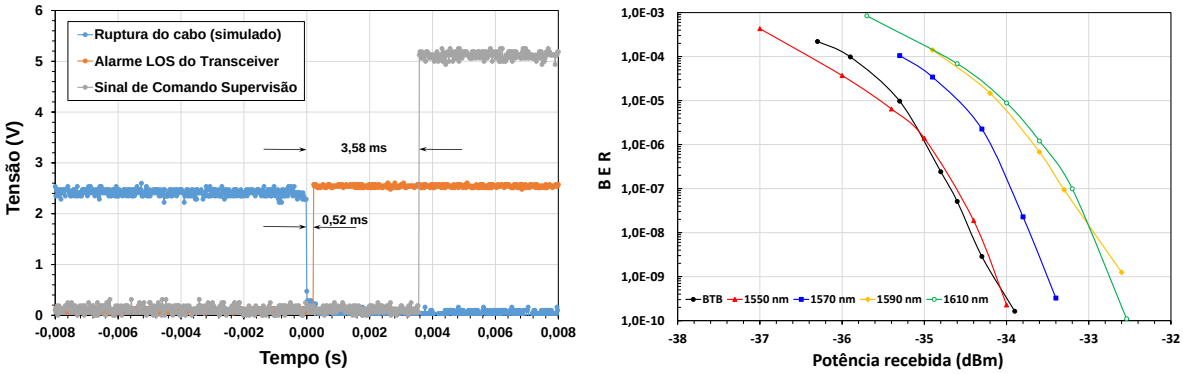
FIGURA 3 - Diagrama de uso do Sistema CWDM para a monitoração do vão crítico e para comunicação de dados.

Existem várias formas e arranjos de dispositivos reflexivos para monitorar um vão crítico de linha aérea de transmissão considerando as três fases. Mostramos na Figura 3 de forma simplificada um arranjo para monitoração paralela das três fases de um vão crítico. Nesta concepção os comprimentos de onda de 1470 a 1610 nm são transmitidos no enlace óptico, mas somente os comprimentos de onda de 1470 a 1530 nm se destinam a monitoração do vão crítico em questão. Estes comprimentos de onda são enviados para as três fases condutoras A, B e C a partir de add-drops posicionados no enlace óptico. Neste caso cada comprimento de onda refletido no final de cada cabo condutor, em cada fase, retorna pelo mesmo caminho até o Transponder CWDM. A ausência de um destes sinais vincula então o rompimento dos cabos sensores pela queda com rompimento do cabo condutor. O comprimento de onda de 1470 nm é refletido antes dos cabos sensores para sinalizar que a fibra transmissora antes dos cabos sensores se encontra funcionando normalmente. Os outros comprimentos de onda 1550 a 1610 nm podem ser usados para serviços de telecomunicações ou para monitorar outros vãos críticos passam integralmente pelos add-drops e são recebidos na estação oposta independentemente se ocorrer o rompimento do cabo condutor uma vez que estes comprimentos de onda não são derivados para o vão crítico.

3.0 - TESTES EM LABORATÓRIO

O sistema proposto foi submetido a testes de laboratório no CPqD antes da instalação em campo. O sistema apresentado na Figura 3 foi montado com 50 km de fibra monomodo. O valor de 50 km representa o limite de operação do sistema de monitoração com os elementos especificados para o sistema atual. Foram utilizados transceivers com sensibilidade de -35 dBm. Para valores de potência recebida abaixo ou igual a -35 dBm o parâmetro Loss é ativado.
O primeiro teste realizado refere-se ao tempo de resposta do sistema para o comprimento do enlace de 50 km. No diagrama mostrado na Figura 3 o sinal do laser de um transceiver SFP modulado com um pulso elétrico é injetado no enlace de fibras ópticas de 50 km. Para uso no sistema de monitoração que funciona por reflexão o tempo de trânsito do sinal deve ser multiplicado por 2, uma vez que o sinal percorre duas vezes a distância do transceiver até o add-drop/espelho. O sinal é detectado na volta pelo receptor óptico do transceiver SFP sendo processado por seu circuito eletrônico e o sinal de saída elétrico correspondente ao alarme Loss é enviado para a supervisão.

A resposta temporal do sistema de monitoração depende do tempo de propagação do sinal por diversos elementos, sendo que os que mais contribuem com este tempo são: o enlace de fibra óptica, o circuito eletrônico dos transceivers SFP e a placa supervisão que será a unidade interface com o sistema de desligamento/religamento da linha de transmissão da concessionária. A Figura 4(a) mostra os resultados do tempo de resposta do sistema de monitoração com um enlace de fibras ópticas de 50 km. Pode se observar que o tempo de resposta do transceiver mais fibra é da ordem de 0,52 ms. Já para o tempo de resposta de sistema incluindo a placa de supervisão o valor do atraso seria da ordem de 3,58 ms. Este tempo é mais rápido do que o sistema de atuação do sistema elétrico de proteção [4].
O sistema foi também testado em termos de desempenho sistêmico do sistema de comunicação de dados. Para tanto cada canal destinado a comunicações de dados foi avaliado pela taxa de erros de bits (BER) usando um gerador e medidor de taxa de erros em 1 Gbit/s. A Figura 4(b) mostra o desempenho livre de erros do sistema (BER < 10^{-9}) para os canais de 1550 a 1610 nm).



(a) (b)

FIGURA 4 – (a) Tempo de resposta para os elementos do sistema de monitoração e (b) taxa de erros de bits dos canais nos testes sistêmicos.

Conforme já relatado o sinal de um OTDR pode ser também transmitido pelo enlace por meio do multiplexador óptico MUX2. O OTDR neste caso tem função complementar de monitoração do enlace óptico principal. No entanto o mesmo não pode ser utilizado na função de monitoração dos vãos críticos em tempo real uma vez que seu tempo de resposta é demasiado lento (> 60 s) devido à necessidade de realização de médias. A Figura 5 mostra o traço do OTDR operando de forma simultânea com o sistema de monitoração de vãos críticos. O OTDR opera na faixa espectral de 1310 nm, onde nenhum canal escolhido para este projeto CWDM opera.

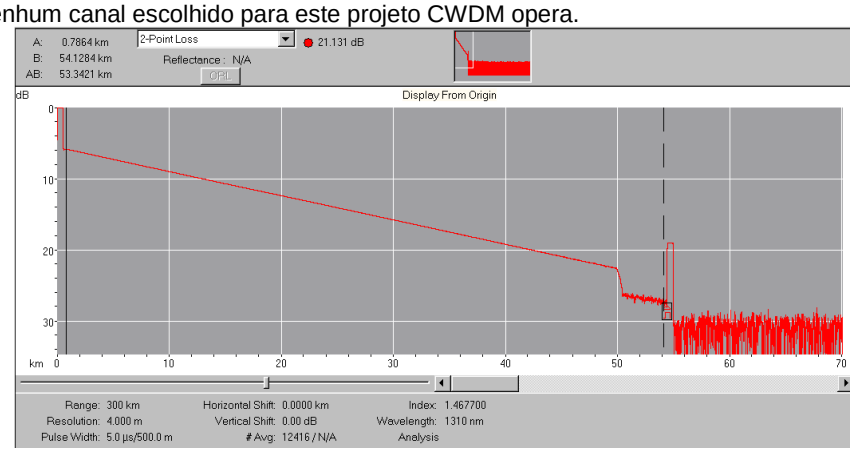


FIGURA 5 - Traço do OTDR operando de forma simultânea com o sistema de monitoração de vãos críticos.

4.0 - IMPLANTAÇÃO EM CAMPO E RESULTADOS

A UniverCemig na cidade de Sete Lagoas em MG foi o local escolhido para instalação e testes das diversas partes que compõe o sistema detalhado nas seções anteriores. A UniverCemig é a universidade corporativa da Cemig que tem como finalidade integrar empregados e esforços em torno do provimento e compartilhamento de conhecimento. Os conhecimentos consolidados e desenvolvidos na UniverCemig são baseados em experiências e tecnologias empregadas na empresa, proporcionando um processo contínuo de aprendizagem e aumento do desempenho no trabalho.
A instalação do sistema compreendeu todos os elementos mostrados na Figura 3 inclusive o cabo sensor que foi especialmente desenvolvido pela Furukawa para esta aplicação, bem como os isoladores elétricos com fibras embutidas desenvolvidos pela Balestro e CPqD. A Figura 6(a) mostra uma foto da realização das emendas na base do isolador com fibras. A Figura 6(b) mostra uma foto da instalação do cabo sensor e dos isoladores em uma das torres de transmissão existentes na UniverCemig. Na Figura 6(c) é mostrado o rack com todos os elementos do sistema CWDM detalhados na Figura 3. Este rack foi instalado na sala de controle.

FIGURA 6 - Instalação na UniverCemig do sistema de monitoração e transmissão de dados: (a) realização das emendas na base do isolador, (b) instalação do cabo sensor e (b) rack do equipamento CWDM.

A Figura 7 ilustra uma foto aérea mostrando a disposição da rede óptica e dos elementos instalados na UniverCemig. Após a implantação da rede de monitoramento, todas as fibras ópticas foram caracterizadas com OTDR para verificação da atenuação óptica ao longo dos enlaces, e foi observado que todas as emendas e a atenuação da fibra óptica ao longo dos enlaces estavam de acordo com os requisitos de operação para o teste de campo. Os dispositivos add-drops e espelhos ficaram instalados na sala de controle no DGO para possibilitar a configuração de diversas topologias de redes ópticas de monitoramento e também permitem simular falhas em pontos distintos do enlace, bem como as combinações de diferentes tipos de falhas. Em uma aplicação real ficarão instalados em caixas de emendas usadas nos vãos críticos da linha aérea a ser monitorada, como por exemplo a caixa mostrada na Figura 6(a).

FIGURA 7 - Foto aérea mostrando a disposição da rede óptica e dos elementos instalados.

No campo de teste na UniverCemig o cabo sensor foi suportado por duas torres metálicas e um pórtico de madeira (Figura 6(b)). Para validação do sistema de monitoramento de vãos críticos foi adotada uma configuração de rede de cabos ópticos conforme apresentada no esquemático da Figura 7. Foram implantados dois lances de cabos OPPC. Para interligação do OPPC terminado na torre B ao DGO na sala de controle, localizada na sala 70 da UniverCemig, foi implantado um microcabo em duto enterrado. O cabo OPPC terminado na torre A foi interligado ao DGO utilizando um cabo óptico aéreo autossustentado de 12 FO. Algumas fibras saem também da torre A pelo cabo OPPC até a torre C e retornam a torre A pelo mesmo cabo. No DGO foram adicionadas duas bobinas de fibras monomodo de 5 km cada uma. Desta forma o enlace total apresenta 17 km de comprimento. A Figura 8 mostra uma foto da tela do

OTDR do sistema com o traço de atenuação do enlace óptico. Os três pontos de reflexão na tela correspondem a reflexão dos add/drops espelhos em 1470, 1490 e 1510 nm. A fase C da linha de transmissão não foi monitorada num primeiro momento.

A partir da aceitação do sistema instalado foram repetidos os testes sistêmicos e de desempenho do sistema de monitoração feitos anteriormente em laboratório.

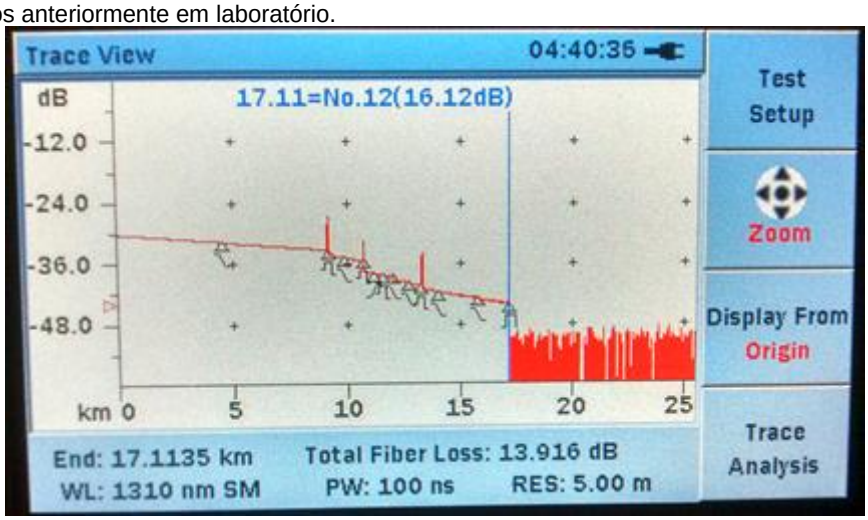


FIGURA 8 -Tela do OTDR do sistema com o traço de atenuação do enlace óptico.

Os testes de monitoração foram realizados basicamente simulando uma ruptura do cabo sensor. Neste primeiro momento isto é feito desconectando no DGO a conexão óptica do add-drop com o espelho, provocando desta forma uma ausência de sinal no transceiver correspondente. Isso foi feito para todas as fases monitoradas e para a simulação de uma eventual falha do cabo AS ou microcabo. Posteriormente deve ser desenvolvido um estudo para simular a atenuação mais realística provocada na queda de um cabo de transmissão.

A Figura 9 mostra as telas do sistema de supervisão para cada falha simulada. A Figura 9(a) indica que o sistema e a rede estão em condições normais de operação (sem falhas), na Figura 9(b) indica que o cabo sensor e a fase B estão com falhas, neste caso não foi indicado alarme do sistema porque a falha ocorreu antes do vão crítico. A Figura 9(c) indica que ocorreu falha no cabo sensor no vão crítico, neste caso foi indicado alarme e o sistema atuará no relê de proteção da linha. Na Figura 9(d) existe a indicação de falha em duas fases e no cabo OPPC antes do vão critico, neste caso não foi indicado alarme do sistema porque a falha ocorreu antes do vão crítico.

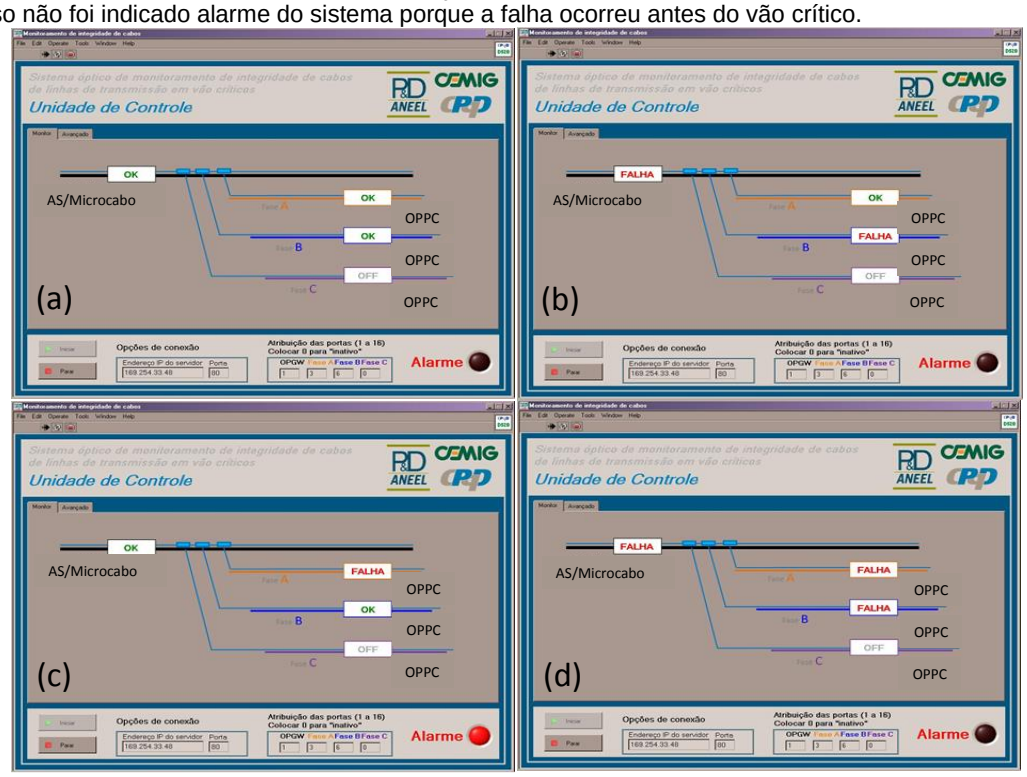


FIGURA 9 –Telas do sistema de monitoração indicando as falhas simuladas.

Os testes do sistema de comunicação de dados foram realizados simultaneamente com a operação do sistema de monitoração. Para a realização dos testes de validação foi utilizado o analisador de redes (modelo Convergente Service Analyzer-CSA) para gerar um trafego de dados. O tráfego de dados em 1,25 GbE foi inserido em um dos

canais de comunicação de dados, e simultaneamente foram transmitidos vídeos de alta resolução em ambos os sentidos do enlace óptico. A Figura 10(a) mostra fotos das telas dos monitores com o sistema de monitoração e os vídeos em andamento e a Figura 10(b) mostra o analisador de dados medindo a taxa de erros no sistema.
O trafego gerado em ambos os sentidos, downstream e upstream, foi de 100%, 95%, 93%, e 90%, respectivamente. Nos testes executados verificou-se que cada sistema (sistema de monitoração e o de transmissão de dados de telecomunicações) funcionou adequadamente e de forma independente.
Portanto os resultados obtidos demonstraram a viabilidade da utilização simultânea de uma rede de fibras óptica para operação conjunta do sistema de monitoramento e de transmissão de dados em banda larga. Um vídeo do teste de campo é disponível em [5].

FIGURA 10 - (a) fotos das telas dos monitores com o sistema de monitoração e os vídeos em andamento e (b) analisador de dados medindo a taxa de erros no sistema.

5.0 - CONCLUSÃO

Tendo em vista os problemas decorrentes da invasão das faixas de segurança, oriundas da construção de habitações irregulares, principalmente nas áreas próximas aos grandes centros urbanos, a CEMIG em pareceria com o CPqD, no âmbito do programa de P&D da ANEEL, desenvolveram uma solução inovadora com a adaptação da tecnologia CWDM para o monitoramento da integridade física dos condutores das LTs nos trechos críticos, ou seja, nos trechos invadidos fazendo uso de fibras ópticas compartilhadas com aplicações de comunicações de dados em banda larga.
Neste trabalho foram apresentados: a descrição do sistema óptico inovador que utilizou a tecnologia CWDM como plataforma de monitoração e comunicação de dados em banda larga para redes smart grids; o desenvolvimento e os testes em laboratório do sistema que foram validados e demonstrados em 50 km de fibra óptica monomodo com 4 canais CWDM transmitindo dados e vídeo em 1,25 GbE simultaneamente ao processo de monitoração e posteriormente a implantação e operação em campo do sistema em um enlace de 17 km de comprimento instalado na UniverCemig, em Sete Lagoas/MG.
Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade da utilização simultânea de uma rede de fibras óptica para operação conjunta do sistema de monitoramento e de transmissão de dados em banda larga. Além disso deve-se salientar que outros tipos de sensoriamento ou medição das LTs podem ser integrados ao sistema CWDM, tais como, de corrente, tensão, ou de parâmetros ambientais (temperatura, velocidade do vento, pluviometria etc).

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. B. Rosolem et al., “Arquiteturas baseadas em WDM para as próximas redes PON”, Cad. CPqD Tecnologia, Campinas, v. 6, n. 1, p. 65-76, jan./jun. 2010. Disponível em: http://www.cpqd.com.br/cadernosdetecnologia/Vol6_N1_jan_jun_2010/pdf/artigo6.pdf
[2] SFF Committee, “INF-8074i Specification for SFP (Small Formfactor Pluggable) Transceiver”, Rev 1.0, Maio, 2001.
[3] ITU-T, “G.694.2: Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid”, dezembro de 2003.
[4] M. G. M. Silva, “Avaliação de Desempenho de Relés de Proteção Digitais”, Monografia de Graduação, Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
[5] C. A. M. Nascimento. “Redes Sinérgicas: Sistema óptico de monitoração de linhas de transmissão e comunicação de dados”, Vídeo disponível em: https://youtu.be/2LqW1XYYH6Mhttps://youtu.be/2LqW1XYYH6M

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

- João Batista Rosolem, nascido em Fartura/SP em 1963, concluiu o Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo em 2005. Atua na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Comunicações Ópticas. Suas áreas de atuação são: Sensores de fibra óptica (Fiber Powering, FBG, DTS, Bending fibers), Sensores para Sistemas de Energia Elétrica (temperatura de rotor, temperatura de barramentos e linhas de transmissão, descargas parciais de estator de hidrogeradores e de buchas de transformadores, qualidade de contato de chaves seccionadoras, nível de água de barragens e piezômetros, corrente e tensão). Comunicações ópticas (Amplificadores ópticos EDFA, Raman, SOA e RSOA, WDM, DWDM CWDM, WDM-PON e G-PON).

- Eduardo Ferreira da Costa, nascido em Campinas/SP em 1982, concluiu o Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas em 2009. Atualmente é engenheiro da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em circuitos eletrônicos, optoeletrônicos, sistemas de telecomunicações e desenvolvimento de firmware e software na plataforma LabVIEW, 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 em projetos de soluções de monitoramento e supervisão de sistemas elétricos de potência, linhas de transmissão e distribuição e equipamentos de subestações e usinas hidrelétricas.

- Rivael Strobel Penze, nascido em Bandeirantes/MS em 1973, concluiu o Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas em 2016. Atualmente é pesquisador da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). Suas áreas de atuação são: Comunicações ópticas, Rede de óptica de acesso, Amplificadores ópticos, Dispositivos de fibras ópticas, Sensores de fibra óptica (Power over Fiber, Fiber Bragg Grating, Distributed Temperature Sensing, Bending fibers), sensores para sistemas de energia Elétrica (temperatura de rotor, temperatura de barramentos e linhas de transmissão, descargas parciais de estator de hidro geradores e de buchas de transformadores, qualidade de contato de chaves seccionadoras, nível de água de barragens e piezômetros, corrente e tensão).

- Fabio Renato Bassan, nascido em Americana/SP em 1985, concluiu a Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Salesiana de São Paulo em 2010. Atualmente é Engenheiro na Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). Publicou 10 trabalhos em anais de eventos e possui 4 pedidos de patente em análise. Entre 2010 e 2014 participou de 7 projetos de pesquisa e desenvolvimento. Atua na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Comunicações Ópticas e Sensores a fibra óptica. Suas áreas de atuação são: Sensores de fibra óptica (Power over Fiber, DTS, Bending fibers), Sensores para Sistemas de Energia Elétrica (temperatura de linhas de transmissão, descargas parciais de buchas de transformadores, qualidade de contato de chaves seccionadoras), Comunicações ópticas (Amplificadores ópticos EDFA), Desenvolvimento de placas de circuito impresso voltados para altas taxas de transmissão (OTN, 100GbEth).

- João Paulo Vicentini Fracarolli, nascido em Itápolis/SP em 1989, concluiu a Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo em 2013. Trabalha como pesquisador no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (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 buchas de transformadores), sensores para o setor de petróleo e gás (detecção de emissões fugitivas de metano), desenvolvimento de firmware para microcontroladores e Linux embarcado para os setores de energia, petróleo e gás, telecomunicações e automotivo.

- Danilo César Dini, nascido em Bueno Brandão/MG em 1956, concluiu o Mestrado em Engenharia Elétrica pela UNICAMP-Universidade Estadual de Campinas em 1989. Possui certificação PMP-Project Management Professional pelo PMI-Project Management Institute desde 2004. Atualmente é pesquisador em telecomunicações no CPqD - Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Comunicações Ópticas prestando consultoria em caracterização de fibras ópticas e atuando na coordenação e caracterização de redes ópticas de longa distância e metropolitanas. Tem atuado em P&D para o Setor Elétrico em projetos de sensores ópticos para o monitoramento e supervisão de linhas de transmissão, subestações e em barragens de usinas hidrelétricas.

- Claudio Floridia, nascido em Ancona/ITA em 1971, concluiu o Doutorado em Física pela Universidade Federal de Pernambuco em 2003. Atua na área de Física com ênfase em óptica com trabalhos científicos em sensores ópticos, extinção de polarização, amplificadores paramétricos em fibras ópticas, sistemas de comunicação óptica e amplificadores ópticos.

- Carlos Alexandre Meireles Nascimento, nascido em Conselheiro Lafaiete/MG em 1968, concluiu o Doutorado em Engenharia Elétrica pela UFMG em 2009. Atualmente é engenheiro de tecnologia e normalização da Companhia Energética de Minas Gerais S/A atuando pela empresa Cemig D desde 1989. Tem experiência na área de Engenharia de Distribuição e Transmissão de Energia, com ênfase em Novas Tecnologias, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento de ativos de energia, linhas de transmissão, projetos de linhas de transmissão, ampacidade, fibras ópticas, novos tipos de condutores e supercondutores.