



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

BR/GTL/01
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XV

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

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FIBRAS ÓPTICAS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE

**Ricardo Roscoe
ELETROBRAS ELETRONORTE**

RESUMO

Os sistemas de informação e telecomunicações utilizam a cada vez mais as redes de fibras ópticas. O desenvolvimento de novas tecnologias de multiplexação permite que seja trafegado um volume cada vez maior de informações, em um único par de fibras ópticas, e que são utilizadas por diversas aplicações pelas empresas do setor elétrico.

A Eletrobras Eletronorte possui um *backbone* óptico que se estende pelos estados do Acre, Amapá, Distrito Federal, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Este *backbone*, composto em sua maioria por cabos OPGW, está implantado em um cenário adverso, caracterizado por longas distâncias, altas temperaturas e grande umidade. Neste contexto podem ocorrer fenômenos que causam a degradação ou interrupção do sinal óptico tais como:

- Enfraquecimento da fibra e atenuação do sinal óptico, causados por infiltração de umidade;
- Atenuação e/ou perda do total do sinal óptico causados pelo deslocamento das fibras ópticas no interior do cabo OPGW. Este deslocamento pode causar tração e folgas das fibras nas pontas dos enlaces do cabo OPGW;
- Enfraquecimento e rompimento das fibras ópticas devido a ataques biológicos (insetos, microorganismos e roedores).

A monitoração das fibras ópticas do cabo OPGW é de suma importância, uma vez que permite a identificação precoce de problemas e uma maior agilidade no acionamento das equipes de manutenção.

Existem no mercado alguns sistemas de supervisão de fibras ópticas, porém devido às características da infraestrutura de fibras ópticas da Eletrobras Eletronorte e do alto custo destes sistemas, estas soluções tornaram-se pouco atrativas.

Como solução, foi desenvolvido o SIMFO (Sistema de Monitoramento de Fibras Ópticas), que é um sistema de supervisão de fibras ópticas, implantado através de software livre.

O objetivo do Informe Técnico será demonstrar o SIMFO, apresentando os benefícios para a operação e manutenção de telecomunicações da Eletrobras Eletronorte e efetuando um comparativo com as soluções de mercado existentes.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento, Fibra óptica, SIMFO, OPGW, Macro-curvatura, Micro-curvatura

1.0 - EFEITOS MECÂNICOS E AMBIENTAIS EM CABOS ÓPTICOS

Existem diferentes tipos de cabos ópticos (OPGW, dielétrico, submarinos e outros) que podem ser instalados em diferentes arranjos (aéreo, subterrâneo, submarinos, em dutos, etc). Dependendo do processo de fabricação e lançamento dos cabos ópticos e das condições ambientais de operação destes, existem vários efeitos mecânicos e ambientais que podem causar defeitos físicos nas fibras ópticas ou a degradação do sinal óptico que nelas trafegam.

Tabela 1: Efeitos mecânicos e ambientais em cabos ópticos.

FATORES EXTERNOS (NATURAIS)		EFETOS MECÂNICOS E AMBIENTAIS EM CABOS ÓPTICOS						
		DEFORMAÇÃO RESIDUAL	DEFORMAÇÃO IMPULSIVA	MACRO- CURVATURA DE FIBRA	MICRO- CURVATURA DE FIBRA	REAÇÃO FÍSICA OU QUÍMICA		
						ÁGUA E UMIDADE	HIDROGÊNIO	DESGARGA ATMOSFÉRICA
Temperatura	Alta e Baixa	-	-	-	Aumento de atenuação	-	-	-
Vento	Pressão	Diminuição da força do cabo	Ruptura da fibra	Aumento de atenuação	Aumento de atenuação	-	-	-
Água e Umidade	Penetração	Diminuição da força do cabo	-	Diminuição da força do cabo e Aumento da atenuação				-
Fluxo de água		Diminuição da força do cabo	Ruptura da fibra	-	-	-	-	-
Descarga Atmosférica		Diminuição da força do cabo	Ruptura da fibra	-	-	-	-	Aumento de atenuação

1.1 Deformação Residual

A deformação residual de uma fibra óptica pode ser causada por tensão, torção e flexão que ocorrem no processo de fabricação, instalação e no ambiente operacional do cabo óptico.

A ocorrência de deformação residual pode diminuir a vida útil da fibra devido ao aumento de fissuras na presença de contaminantes ambientais. Além disso, o nível de deformação residual irá afetar o nível de esforço dinâmico que a fibra pode suportar antes de romper.

1.2 Deformação Impulsiva

Deformação impulsiva de uma fibra óptica pode ser causada por impacto ou a incidência de uma carga súbita sobre o cabo óptico que ocorrem no processo de instalação e na vida útil, em operação, deste. As fibras ópticas do cabo óptico podem se romper dependendo da magnitude da deformação impulsiva.

1.3 Água e Humidade

Água e humidade podem penetrar nas fibras ópticas através de defeitos na estrutura do cabo ou por problemas de vedação das caixas de emenda. Como consequência, há um enfraquecimento das fibras ópticas que pode causar a diminuição da resistência de tração e micro-curvaturas.

1.4 Descargas Atmosféricas

A ocorrência de descargas atmosféricas é um fato relativamente comum em cabos OPGW. O impacto mecânico e a energia dissipada pela descarga atmosférica podem danificar a estrutura do cabo e suas fibras ópticas.

1.6 Micro-curvaturas

Consiste em uma deformação local, de alguns micrômetros, do núcleo da fibra em relação ao seu eixo, devido a uma pressão transversal. Pode ocasionar atenuação óptica e são causadas por defeitos no processo de fabricação, deformações durante a instalação e devido a variações ambientais (temperatura, humidade ou pressão) que ocorrem durante a vida útil do cabo em operação. A sensibilidade de micro-curvatura é função da diferença do índice de refração do núcleo e da casca, assim como do diâmetro do núcleo e da casca.

1.7 Macro-curvaturas

Consiste em uma curvatura, que é grande com relação ao diâmetro da fibra, causada pela flexão da fibra óptica depois do processo de fabricação e instalação. Pode ocasionar atenuação óptica, dependendo do raio da curvatura, e em cabos OPGW são causadas pelo deslocamento da fibra óptica no interior do cabo devido a variações ambientais (temperatura ou vento).

O diâmetro do campo modal (MFD – Mode Field Diameter) de uma fibra monomodo representa a seção de uma fibra aonde trafega a maior parte da potência óptica. O MFD é maior que o diâmetro no núcleo, uma vez que parte da potência trafega pela bainha da fibra.

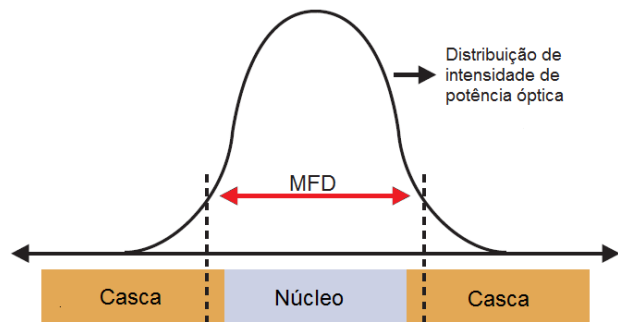


Figura 1 – Diâmetro do Campo Modal (MFD) de uma fibra monomodo.

Em fibras monomodo o diâmetro do campo modal aumenta com o comprimento de onda do sinal óptico, tornando as fibras ópticas mais sensíveis às perdas por curvatura para comprimentos de onda da banda C (1530-1565 nm) e banda L (1565-1625 nm).

As perdas de macro-curvatura ocorrem continuamente ao longo de uma secção curva de uma fibra óptica. A parte exterior da distribuição modal do campo necessita de percorrer uma maior distância para que o sinal óptico seja propagado, e por isto, parte do sinal é perdido. Por sua vez, quando a luz viaja numa fibra curva, a distribuição modal de campo é distorcida, estendendo radialmente para o exterior, e assim ocasionando que uma maior parte do sinal óptico trafegue pela casca (Figura 2).

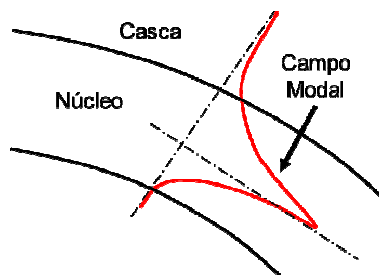


Figura 2 – Deslocamento do Campo Modal de uma fibra monomodo com macro-curvatura.

2.0 - MONITORAMENTO DE CABOS ÓPTICOS

As empresas do setor elétrico possuem uma quantidade imensa de cabos ópticos instalados, principalmente cabos OPGW. Em sua maioria o monitoramento das fibras ópticas destes cabos é feito através dos sistemas de transmissão que trafegam por estas fibras (por meio da observância das taxas de erros de acordo com as recomendações ITU-T).

Quando o cabo de fibra óptica está danificado ou está partido, uma ação deve ser tomada imediatamente em resposta a um alarme do sistema de transmissão ou a uma reclamação de um cliente. Porém, a utilização do sistema de transmissão é insuficiente para determinar se o problema se encontra no equipamento de transmissão ou na fibra óptica, ocasionando assim um tempo maior no processo de manutenção.

Podem existir várias soluções de monitoramento e supervisão de fibras ópticas, mas estas utilizam basicamente um dos métodos a seguir de aquisição e medição do sinal óptico:

- Monitoramento do sinal óptico através de OTDR (Optical Time Domain Reflectometer);
- Monitoramento da potência óptica.

Os sistemas de supervisão baseados em OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) são capazes de efetuar medições periódicas de atenuação das fibras ópticas e, em caso de alguma anomalia detectada, são capazes de localizar o ponto geográfico aproximado da falha e encaminhar mensagens de suas coordenadas para a equipe de manutenção. Os sistemas que utilizam OTDR podem ser utilizados em fibras "apagadas" (dark fibers) ou em fibras ativas (em sistemas DWDM), desde que não existam amplificadores ópticos no enlace.

Outros sistemas de supervisão, baseados no monitoramento contínuo da potência óptica na recepção de uma fibra, são capazes de proporcionar a detecção de degradação do sinal óptico e anomalias na fibra, proporcionando assim um acionamento mais rápido e eficaz da equipe de manutenção. Como o sistema é baseado no monitoramento da potência óptica, após o acionamento, a equipe de manutenção deverá efetuar testes com OTDR para efetuar a localização da anomalia. Os sistemas baseados em monitoramento da potência óptica podem ser utilizados em fibras apagadas ou em fibras ativas, através da utilização de um comprimento de onda específico (sistemas DWDM), derivação do sinal óptico ou de portas de monitoramento de equipamentos ópticos.

A utilização de um sistema de supervisão baseado no monitoramento contínuo da atenuação óptica, seja utilizando fibras “apagadas” ou através de amostras do sinal óptico, proporciona os seguintes benefícios:

- a. Capacidade de detecção de anomalias e falhas. É possível detectar os fenômenos que ocasionam o aumento da atenuação, independentemente de sua natureza ou duração, que podem afetar a qualidade ou causar a perda do serviço de transmissão de dados (SDH, DWDM e outros). Esta característica permite uma economia de custo e tempo de reparo, uma vez que quanto maior for a degradação maior será a complexidade de reparação desta. Geralmente as primeiras indicações de alarme de uma possível situação crítica são causadas por efeitos transitórios (temperatura, umidade, vibração eólica, etc) que não são detectadas em inspeções periódicas;
- b. Não intrusivo. O sistema de supervisão baseado no monitoramento contínuo do sinal óptico, através da derivação e medida de uma amostra do sinal recebido, evita a interrupção do tráfego de dados durante as medições e evita utilização de fibras adicionais. Os OTDR's são necessários para localização e caracterização dos eventos quando ocorre um problema, mas não podem ser utilizados em fibras ativas devidos às suas características intrusivas e dos requisitos operacionais de multiplexação por divisão de longitude de onda e filtros ópticos;
- c. Monitoração de grandes distâncias. O sistema de supervisão baseado no monitoramento contínuo do sinal óptico, através de uma derivação e medida de uma amostra do sinal recebido ou através da utilização de uma fibra “apagada” permite o monitoramento de longas distâncias. Quando utilizado em fibras sem sinal óptico é possível utilizar amplificadores ópticos e, além disto, existem geradores e medidores ópticos a preços acessíveis e um bom range de potência.

A supervisão continua da atenuação óptica das fibras “apagadas” e em serviço permitem o monitoramento deste parâmetro mediante a introdução de capacidade de detecção dos efeitos de degradação, qualquer que seja sua natureza e duração. Em particular, podem-se detectar as variações e flutuações de perda de potência óptica casual e periódica (de curta duração) e assim efetuar uma análise mais precisa do problema antes que este ocasione um problema mais grave para o usuário.

Estes dois tipos de sistemas são capazes de diminuir o tempo de resposta aos eventos que podem degradar ou interromper a transmissão em fibras ópticas uma vez que são capazes de possibilitar uma atuação preventiva e uma atuação mais eficiente da manutenção.

Após a instalação de um cabo óptico, funções tais como supervisão e controle da qualidade da fibra devem ocorrer sem que haja interrupção do sinal de tráfego de dados. O monitoramento de fibras ópticas em serviço fornece informações reais sobre o comportamento do sinal óptico e a detecção de anomalias. No entanto, este tipo de monitoramento deve ser feito de forma não intrusiva ao sinal de tráfego de dados, o que limita os tipos de sistemas que podem ser utilizados. Realizando o monitoramento de fibras sem sinal óptico (fibras “apagadas”) é possível obter uma indicação aproximada das fibras em serviço, uma vez que eventos que causam a degradação e interrupção do sinal óptico geralmente afetam a maioria das fibras em um cabo óptico.

3.0 - SOLUÇÃO DESENVOLVIDA NA ELETROBRAS ELETRONORTE

Eletrobras Eletronorte possui um backbone óptico com as seguintes características:

- Cabos ópticos OPGW antigos constituídos por fibras standards;
- Longas distâncias;
- Condições geográficas adversas (altas temperaturas e grande umidade);
- Topologia ponto-a-ponto.

Devido à grande variação de temperatura e grande humidade da região norte do país, as fibras ópticas sofrem um grande deslocamento do eixo longitudinal do cabo que causam macro-curvaturas e tração nas fibras ópticas. Para sistemas antigos de baixa capacidade (sistemas SDH STM-1, por exemplo) a influência destes fenômenos é pequena uma vez que a sensibilidade, no que diz respeito à taxa de erro, destes sistemas com relação à

atenuação é menor. Porém, quanto maior for a taxa de transmissão, mais danosa será a influência da atenuação nos sistemas de dados (vide Figura 3).

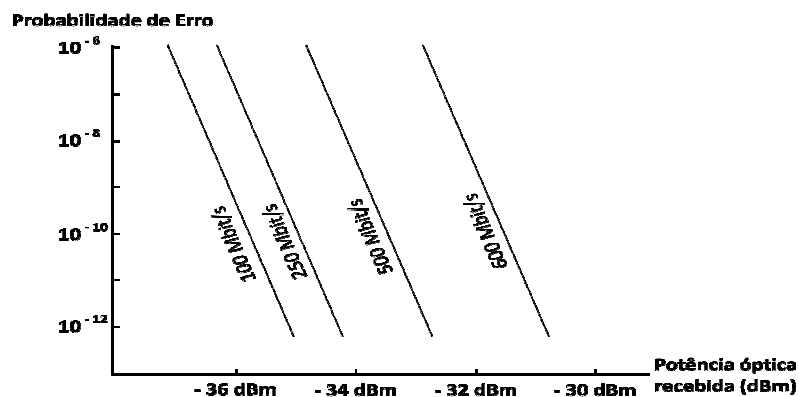


Figura 3 – Probabilidade de erro *versus* potência óptica recebida de acordo com a taxa de transmissão.

Diante deste cenário foi desenvolvido o SIMFO (Sistema de Monitoramento de Fibras Ópticas), que é uma solução de supervisão de fibras ópticas, utilizando software livre, baseada no monitoramento contínuo da atenuação óptica, uma vez que utilização de sistemas de supervisão que utilizam OTDR se torna muito onerosa, porque o range dinâmico do OTDR tem que ser muito grande, ou tecnicamente inviável, visto que estes elementos não podem ser utilizados em conjunto com amplificadores ópticos.

Para o monitoramento do sinal óptico através do SIMFO pode ser escolhida uma única fibra “apagada” ou uma amostra do sinal do sinal óptico. No caso da utilização de uma fibra apagada a geração e a medição do sinal óptico é fornecida através de um laser e um fotodetector, respectivamente, que permitem a configuração remota de seus parâmetros. A aquisição das medidas ópticas é feita através da Unidade de Aquisição de Dados (UAD) que as repassa periodicamente para o servidor de aplicação. Este, por sua vez, armazena estas medidas em um banco de dados para que o aplicativo possa plotar os valores no domínio do tempo.

3.2 Arquitetura do Sistema

O SIMFO possui uma arquitetura básica conforme a Figura 3 a seguir:

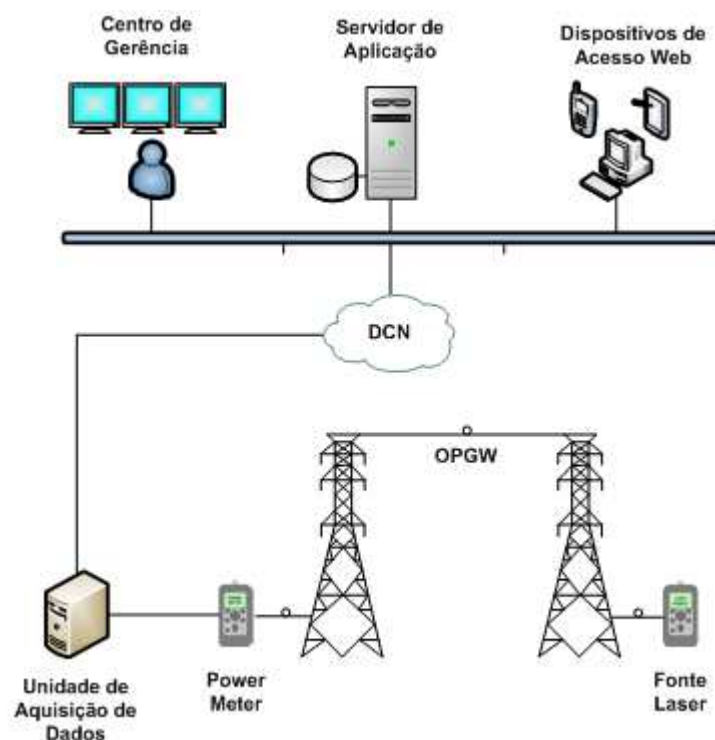


Figura 4 – Arquitetura do Sistema de Monitoramento de Fibras Ópticas (SIMFO).

O servidor de aplicação é centralizado e possui sistema operacional Linux Ubuntu. A aplicação responsável pelo SIMFO é o software livre Cacti (www.cacti.net), uma ferramenta administrativa de rede multiplataforma (Linux, Unix e Windows), capaz de armazenar os dados recolhidos e por gerar gráficos em um banco de dados MySQL.

Este servidor de aplicação é responsável por funções operacionais e administrativas do SIMFO e, tais como:

- Disponibilização de interface web para acesso e configuração do SIMFO;

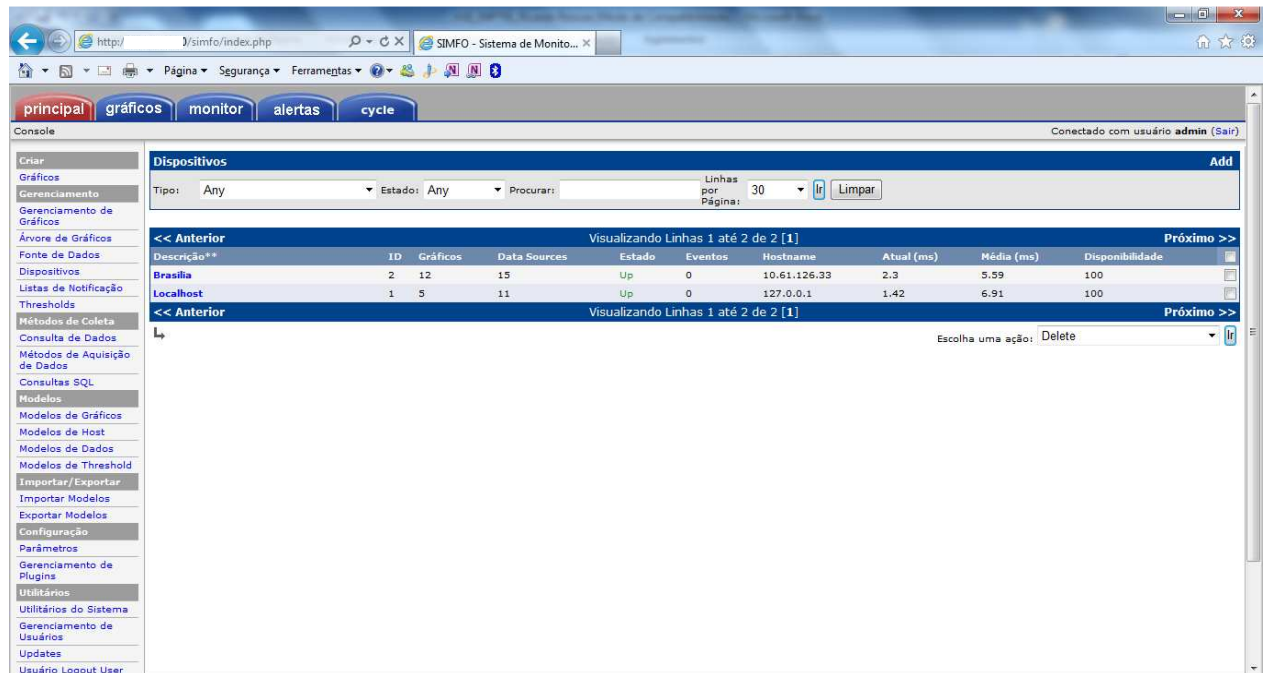


Figura 5 – Interface web de acesso ao SIMFO.

- Gerenciamento de usuários e permissões de acesso ao sistema;
- Configurações de parâmetros e limiares de alarme de atenuação;
- Envio de e-mails de alerta em caso de ser ultrapassado algum limiar de alarme previamente definido ou perda de comunicação com as UAD's. O SIMFO permite configurar um valor de nível óptico que ao ser atingido ou ultrapassado gera um alarme e envia um e-mail;
- Cadastro e monitoramento das Unidades de Aquisição de Dados (UAD);



Figura 6 – Gráfico de medidas de sinal óptico.

- Visualização dos alarmes correntes e seu histórico;

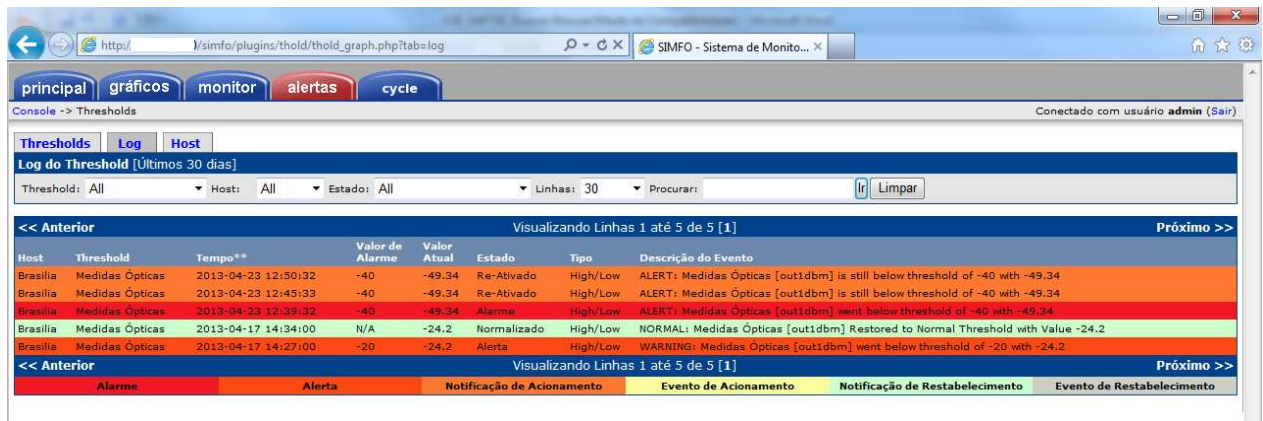


Figura 7 – Tela de visualização de alarmes.

- Visualização das medidas dos sinais ópticos de forma gráfica. Através do gráfico de potência óptica é possível verificar o valor atual, máximo e o mínimo no range de tempo escolhido;

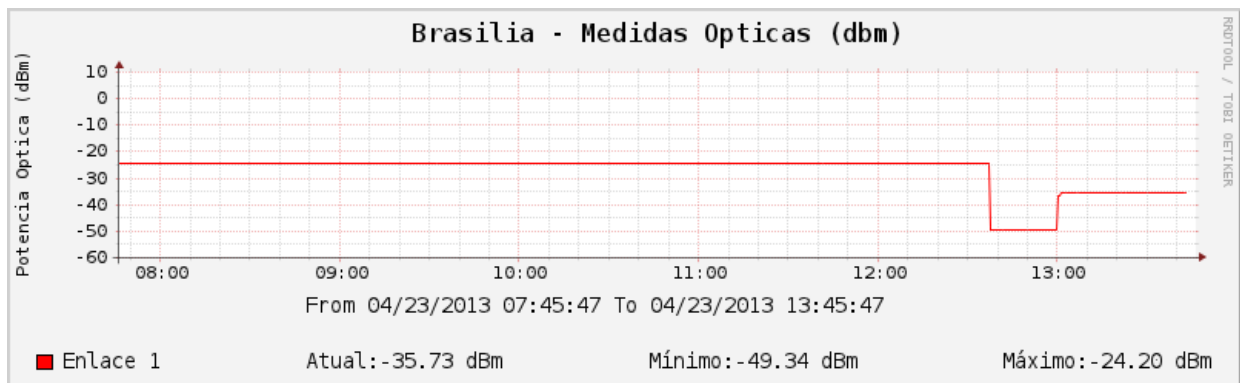


Figura 8 – Gráfico de medidas de sinal óptico.

- Armazenamento das medidas ópticas em um banco de dados, com possibilidade de disponibilização da base histórica das medidas;

- Possibilidade de acesso através de tablets e smartphones com sistema operacional IOS (Apple) e Android.

Como o SIMFO possui uma interface de trabalho web este poderá ser facilmente acessado pelo Centro de Gerência de Redes e pelas equipes de manutenção da Eletrobras Eletronorte.

As Unidades de Aquisição de Dados (UAD's) são responsáveis pela coleta das medidas de atenuação e armazenamento temporário destas para que o servidor de aplicação possa lê-las. Esta coleta é feita através de acessos periódicos (≈ 5 minutos) entre a UAD e o fotodetector. Foi desenvolvido um código em C# que lê um arquivo de configuração, e a partir daí acessa o fotodetector, efetua a leitura de medida de potência óptica e a armazena.

O fotodetector utilizado para o SIMFO foi um power meter. A utilização de um power meter permite a leitura das medidas ópticas, feita pela UAD, através de uma interface USB. Os motivos para escolha do power meter, dentre outros, foram:

- Possibilidade de leitura e execução de comandos remotos;
- Capacidade de leitura de baixos sinais ópticos (até -65dBm);
- Custo de aquisição razoável.

4.0 - CONCLUSÃO

Conforme visto neste Informe Técnico a supervisão de cabos ópticos, através do monitoramento das fibras ópticas, é um procedimento importante para auxiliar as empresas do setor elétrico, uma vez que permitirá a evolução de uma manutenção reativa para uma manutenção preventiva, permitindo assim uma identificação precoce de problemas que podem degradar ou até mesmo interromper os serviços de telecomunicações.

A utilização do SIMFO, que é uma solução que utiliza software livre, poderá proporcionar, através do monitoramento contínuo dos níveis ópticos, uma visualização atualizada do estado das fibras ópticas. Além de ser uma solução economicamente viável, o SIMFO permite várias configurações de monitoramento que podem se adequar às realidades e topologias de telecomunicações de diversas empresas.

Como o SIMFO utiliza somente um laser e um fotodetector para prover o sinal óptico, apesar de possuir um custo bem menor, não é possível determinar a localização da falha. Porém, uma vez detectada qualquer anormalidade na fibra óptica, a equipe de manutenção poderá ser acionada com maior precisão e assim o tempo de reparo será menor.

Além dos benefícios para Operação e Manutenção do *backbone* óptico da Eletrobras Eletronorte o SIMFO poderá auxiliar a equipe de projetos uma vez que será possível efetuar a visualização, em tempo real, da atenuação dos cabos OPGW da empresa.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ITU - TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. Recommendation L40: Optical fibre outside plant maintenance support, monitoring and testing system. Montreal, 2000.
- (2) ITU - TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. Recommendation L25: Optical fibre cable network maintenance. Montreal, 1996.
- (3) ITU - TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. Recommendation L26: Optical fibre cables for aerial application. Montreal, 1996.
- (4) ITU - TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. ITU Manual: Optical fibres, cables and systems. Montreal, 2010.
- (5) Laferrière, J.; Lietaert, G.; Taws R.; Wolszczack, S. Reference Guide to Fiber Optic Testing: Volume 1 - JDSU. França, 2007.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Ricardo Roscoe

Nascido em Brasília-DF em 10 de junho de 1975.

Graduado (2003) em Engenharia de Redes de Comunicações pela Universidade de Brasília – UnB

Empresa: Eletrobras Eletronorte, desde 2008.

Atua na Gerência de Redes de Telecomunicações – OETR