



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

BR/GTL/03
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XV

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

MEDIÇÕES DE PMD – MÉTODOS DE MEDIÇÃO, RESULTADOS, LIMITES E CONSELHOS PRÁTICOS

Cristiano Henrique Ferraz(*)
Netcon Ltda.

Eduardo Lopes Vasconcelos
Netcon Ltda.

Eduardo Camargo Langrafe
Netcon Ltda.

RESUMO

Das fontes de distorção não-linear em guias de onda ópticas, a dispersão de modo de polarização (PMD) é a que apresenta maiores variações causadas por fatores externos e a que mais problemas práticos apresenta para sua medição e para a interpretação dos resultados, bem como para sua correção. Há vários métodos padronizados e procedimentos disponíveis para sua medição. Neste trabalho, busca-se descrever a problemática da medição, as aplicações dos resultados obtidos e as melhores práticas de medição de acordo com o método utilizado, particularmente para o caso de cabos OPGW. Também se faz uma breve menção dos limites a serem adotados e dos métodos para prevenção e correção do problema.

PALAVRAS-CHAVE

PMD, DGD, distorção, OPGW, fibras ópticas, GINTY, TINTY, analisador fixo, polarização

1.0 - INTRODUÇÃO

A demanda crescente de banda pelas novas aplicações tem aumentado constantemente a necessidade de transmitir sinais de velocidades binárias cada vez mais altas pelas redes de telecomunicações. As fibras ópticas utilizadas nos *backbones* das redes de empresas do setor elétrico não são exceção: para atender a demanda interna tanto dos serviços operativos quanto dos operativos, é usual que as fibras dos cabos OPGW (*Optical fiber composite overhead Guard Wire*) e dielétricos sejam exploradas cada vez mais intensamente. O aumento de capacidade é realizado através do uso de sinais ópticos de linha de 10 Gbit/s ou superiores, frequentemente com várias portadoras ópticas por fibra (técnica de DWDM – *Dense Wavelength Division Multiplexing*). Os sinais complexos de velocidades altas transmitidos nas longas distâncias típicas em redes de cabos OPGW exigem um controle estrito dos parâmetros das fibras utilizadas.

Os fatores de degradação básicos inerentes às fibras ópticas que devem ser tomados em conta, ou seja, a atenuação e a dispersão cromática (CD) são resolvidos, respectivamente, com o uso de amplificadores e com a inserção de módulos compensadores de dispersão (DCM) ou com o uso de fibras de dispersão deslocada não zero (NZ-DSF) nas linhas muito longas. Contudo, outro fator limitante e de difícil controle dessas fibras é sua dispersão de modo de polarização (PMD).

A PMD é resultante da propagação do sinal óptico em diferentes velocidades segundo o eixo de polarização do mesmo. É causado pela birrefringência das fibras (isto é por índices de refração diferentes para diferentes eixos de polarização do sinal). A birrefringência é, em parte, devida a irregularidades geométricas das fibras, causadas por problemas na técnica de fabricação das fibras ou por esforços mecânicos a que as mesmas são submetidas na fabricação dos cabos ou em etapas posteriores do processo. As técnicas de fabricação modernas possibilitam a obtenção de fibras ópticas com muito baixo coeficiente de PMD (abaixo de 0,2 ps/√km, contra 0,5 ps/√km em fibras mais antigas). Entretanto, fatores ambientais fazem variar o estado de polarização (SOP) e, em consequência, a PMD durante a operação normal dos sistemas, principalmente no caso de fibras submetidas a esforços nessa fase, o que torna necessária sua caracterização em redes já instaladas. As fibras aéreas são mais suscetíveis ao surgimento e variações da PMD com valores importantes (por exemplo, por efeito do vento, vibrações mecânicas e variações de temperatura a que são submetidos os OPGW). Cabe notar, entretanto, que cabos bem construídos e bem instalados devem isolar as fibras dos esforços que causariam mudanças na PMD das fibras desses cabos.

O controle e a medição da PMD são de grande importância para a transmissão de sinais ópticos com uma velocidade de símbolos igual ou superior a 10 GBd (caso de sinais de 10 Gbit/s, 40 Gbit/s e 100 Gbit/s). Um pequeno aumento no retardo de grupo diferencial (DGD), que é a expressão da PMD em uma determinada linha real, pode afetar de maneira decisiva sinais cujo período seja da mesma ordem de grandeza que o DGD medido na fibra. Por exemplo, no caso de um sinal de 10 Gbit/s, o período do símbolo é de 100 ps. O limite recomendado para a DGD medida é de 10% desse valor (ou seja, de 10 ps). Sendo uma distorção que varia no tempo, o valor medido é um valor médio que pode ser excedido durante períodos variáveis. O limite recomendado é relativamente baixo porque já toma em conta essa natureza estatística da PMD.

A compensação da PMD é difícil justamente devido a sua natureza estatística e variável. Uma equalização no domínio óptico (mediante a divisão do sinal em dois eixos de polarização ortogonais e a inserção de uma linha de retardo no sinal do eixo rápido antes da recombinação dos sinais) pode melhorar o desempenho da PMD no caso de fatores estáticos que causem a birrefringência. Para o comportamento estatístico, essa técnica não é adequada. Entretanto, podem ser utilizadas técnicas de equalização no domínio do tempo, mediante a inserção de equalizadores transversais adaptativos no caminho do sinal elétrico recuperado. Esta técnica, assim como o uso de FEC (*Forward Error Correction*), é eficaz contanto que a distorção total não ultrapasse certos limites.

A necessidade de conhecer e de controlar a PMD é imperativa nos sistemas baseados em cabos longos, particularmente OPGW, e que operam em velocidades binárias elevadas. Antes da implantação de sistemas de altas velocidades binárias em fibras instaladas, portanto, é recomendável que a caracterização das fibras que se pretende utilizar inclua medições completas e prolongadas da PMD (para cobrir os períodos de variação estatística do fenômeno). Naturalmente, também é recomendável que as fibras tenham sua PMD medida durante a aceitação da rede óptica, assim como após intervenções nas linhas que envolvam o remanejamento dos cabos ou das fibras (tais como emendas novas, mudanças de posição dos cabos e obras e reparações diversas).

2.0 - A MEDIÇÃO DA PMD

A PMD é um tema complexo, especialmente em trechos longos de fibra instalada com seções concatenadas de diferentes procedências ou lotes de fabricação. As características de birrefringência das fibras variam devido a certas características aleatórias de cada fibra e dos esforços a que a mesma foi submetida. No caso particular de

fibras aéreas, ocorrem variações importantes de acordo com a temperatura e com a ação dos ventos sobre os cabos ópticos.

De maneira geral, a PMD deve ser medida durante a fabricação das fibras e durante a fabricação dos cabos ópticos. Em campo, é preciso medir a PMD quando se planeja utilizar as fibras para a transmissão de sinais de 10 Gbit/s ou mais, especialmente em trechos longos. É recomendável medir a PMD em todas as fibras instaladas para controlar sua qualidade mesmo no caso de não haver um planejamento inicial para utilizá-las com altas velocidades binárias. A duração das redes de fibras é prevista para durar décadas, e é provável que as fibras inicialmente utilizadas com sinais de baixa velocidade venham a ser utilizadas mais tarde com portadoras multiplexadas (em DWDM) de alta velocidade binária (de 10 Gbit/s ou mais). Como as intervenções nas redes de fibras já instaladas apresentam um risco potencial de aumento da PMD devido ao manuseio das fibras e cabos, também é recomendável que, além da atenuação, também a PMD volte a ser medida após essas intervenções. Ao contrário da PMD, a dispersão cromática (CD), uma vez que não é alterada por fatores externos, não apresenta essa exigência.

A auditoria da rede óptica existente inclui medições instantâneas de reflectometria (realizadas com um OTDR), de dispersão cromática (CD) e de PMD. Além da medição instantânea da PMD para conhecer sua distribuição na rede, também se levam a cabo as seguintes medições: (a) PMD em função do tempo, para conhecer a estabilidade da PMD em períodos de um dia; e (b) PMD em função da temperatura, para conhecer a estabilidade da PMD em função da temperatura. É recomendável que a auditoria também inclua, se possível, uma medição da taxa de erro (BER) à velocidade de 10 Gbit/s com a duração de 24 horas, que pode ser posteriormente correlacionada com a PMD observada em igual período e em condições similares de temperatura e de outros fatores relacionados com o período de um dia. A medição da taxa de erro permite conhecer a penalidade a aplicar no balanço de potência devido às condições de PMD, CD e reflexões encontradas.

Antes da realização das medições, é preciso contar com um inventário atualizado e completo da planta óptica, preferivelmente em um sistema de gerência de rede baseado em inventário. No que concerne à auditoria, é importante alimentar a base de dados com os resultados das medições, o que permitirá estabelecer uma relação entre os resultados obtidos e os tipos de redes, com a idade dos cabos e até mesmo com os fabricantes das fibras e dos cabos e com os tipos de cabos, o que, por sua vez, facilitará o planejamento das expansões futuras do sistema.

Vários métodos de medição PMD encontram-se padronizados. Alguns dos métodos padronizados são adequados para laboratório, porém têm aplicação restrita nas medições em campo. Entretanto, dois métodos têm-se mostrado especialmente adequados para as medições em campo. A Tabela 1 traz um resumo dos principais métodos de medição da PMD e dos padrões respectivos. Os métodos utilizados em medições em campo, destacados na tabela, são o Método de Analisador Fixo e o Método Interferométrico (particularmente, o Método interferométrico Generalizado, ou GINTY). Ambos permitem medições exatas, e são adequados para medições em fibras de cabos aéreos OPGW.

Neste trabalho, não será analisado com maior detalhe o Método de JME (*Jones Matrix Eigenanalysis*), que, embora seja preciso, permita a medição direta da PMD de primeira e segunda ordens, não seja sensível ao acoplamento modal nem à polarização do sinal de entrada e possibilite uma gama dinâmica de mais de 50 dB, apresenta um alto custo para uso em campo e tem medições demoradas; o método exige uma fonte de laser sintonizável, e requer várias medições, sendo uma medição para cada comprimento de onda.

Descrição	Método de teste	Padrões
PMD para fibras ópticas monomodo utilizando o método do analisador fixo	Contagem de extremos (EC)	FOTP-113
	Transformada de Fourier	
Medição de PMD para fibras monomodo através da medição dos parâmetros de Stokes	Jones Matrix Eigen-analysis (JME)	FOTP-122
	Análise da esfera de Poincaré	
Medição de PMD para fibras monomodo e cabos por interferometria	Interferometria tradicional (TINTY)	FOTP-124
	Interferometria generalizada (GINTY)	
Regras para a medição de PMD e DGD em componentes e dispositivos para fibra óptica monomodo	Método de medição do analisador fixo (EC / FT)	FOTP-124
	Método de avaliação de Stokes (JME / PSA)	
	Método interferométrico (TINTY)	
Conjuntos de teste de PMD portáteis para a análise de fibras monomodo		GR-2947-CORE
Definições e métodos de teste para atributos não-lineares e estatísticos de fibras e cabos monomodo	Técnica de avaliação dos parâmetros de Stokes (JME e PSA)	ITU-T G.650.2
	Método do estado de polarização (SOP)	
	Métodos interferométricos (TINTY e GINTY)	
	Técnica do analisador fixo (EC / FT / análise de cossenos de Fourier)	

Tabela 1: Técnicas de medição de PMD e respectivos padrões

2.1 Breve análise dos valores de PMD

Como mencionado acima, o limite recomendado para o valor do DGD médio medido em toda a banda é de 10% do período do pulso no caso de sinais digitais. O valor de 10% contempla a natureza estatística da PMD, e permite esperar que em nenhum momento o PMD exceda um valor que cause uma taxa de erros significativa.

Ao longo da última década, os métodos de fabricação das fibras e dos cabos tornou possível obter valores reais bastante inferiores aos limites para os cabos plasmados nos padrões respectivos do ITU-T. Hoje, os principais fabricantes especificam o Valor de Projeto do Enlace LDV (*Link Design Value*), que pode ser inferior a 0,04 ps/√km com o cabo já instalado em campo (ou seja, um valor de DGD de cerca de 0,400 ps para um trecho de 100 km de fibra). Os valores práticos encontrados em boas fibras mostram resultados compatíveis com essa expectativa, sendo o valor médio encontrado próximo a esse, com uma variação de $\pm 3,5\%$ a $\pm 17,5\%$ segundo o método de medição, embora com variações por um fator próximo a 3 para a variação em um dia. Em caso de fibras aéreas, a variação em um dia, devido às solicitações mecânicas causadas por ventos e outros fatores e devido à variação de temperatura, a variação pode ser ainda maior. Daí a importância da caracterização da PMD pelo menos em um ciclo diurno.

Em todo caso, os valores encontrados nos trechos longos novos e bem construídos não inviabilizam a transmissão de altas velocidades binárias. Por exemplo, em um trecho de 200 km seria esperável um valor de DGD de 0,565 ps para esse LDV (ou seja, de $0,04 \times \sqrt{200}$). Mesmo com as variações esperadas em um dia, esse valor dificilmente chegaria a causar erros em um sinal de 10 Gbit/s, cujo período é de 100 ps e cujo limite prático sugerido para DGD é, portanto, de 10 ps.

Para uma auditoria, é importante definir um LDV para cada tipo de projeto, de cabo e de fibra, bem como para cada idade e fabricante dos sistemas presentes nos trechos a serem medidos, e utilizar esse valor como uma referência básica para comparação com os resultados obtidos em medições reais. Também é importante fixar os limites para os valores medidos.

2.2 Breve descrição do método do analisador fixo

Um método usual para a medição da PMD em campo é o método do analisador fixo, descrito em detalhe no item 5.1.4 do padrão ITU-T G.650.2 (referência [2]), descrito também no padrão EIA/TIA-455-113 – FOTP-113 (referência [18]) e no item 2.2.2 do padrão GR-2947-CORE, da Telcordia. Esse método permite obter o valor do DGD médio em toda a faixa coberta de forma direta, mediante um de dois tratamentos matemáticos, sendo mais comum e confiável aquele que usa a função de transformada rápida de Fourier para localizar os mínimos que permitem determinar o valor eficaz do DGD. Trata-se de um método aplicável diretamente e sem maiores preocupações às medições em campo. Trata-se de um método de fácil uso, e não requer ajustes de parâmetros específicos. Permite realizar medições rápidas e precisas, medir valores baixos de DGD com precisão e medir através de vários amplificadores EDFA.

O método está limitado a valores de PMD menores que <60ps, e cobre os valores usuais em sistemas reais. O método também é sensível à polarização da entrada, motivo pelo qual os fabricantes de instrumentos de teste que utilizam este método passaram a incluir aleatorizadores (*scramblers*) da polarização do sinal em ambos extremos do trecho sendo medido para melhorar esta característica, especialmente em medições em trechos muito longos.

O método também permite alcançar grandes distâncias ao medir, pois possibilita o uso de amplificadores (EDFA) para aumentar o alcance do sinal de medição.

O método exige que seja feita uma média dos valores medidos, o que dificulta a obtenção de valores instantâneos de DGD em fibras cuja PMD varia fortemente em períodos muito curtos. Entretanto, a média somente é necessária quando a atenuação do trecho medido supera cerca de 30 dB. E o uso de sinais amplificados pode ampliar o comprimento dos trechos que podem ser medidos instantaneamente, sem que seja preciso tirar a média.

Os valores de PMD de segunda ordem, que o método não permite medir diretamente, são calculados.

A Figura 1 contém um esquema da medição segundo o Método do Analisador Fixo utilizando a transformada rápida de Fourier (FFT). O método emprega uma fonte de banda larga seguida de um polarizador, cuja função é tornar o sinal aplicado coerente com um único plano de polarização. No receptor, utiliza-se um analisador (polarizador rotativo) para obter, com auxílio de um analisador de espectro, o espectro do sinal de chegada nos dois eixos ortogonais de polarização.

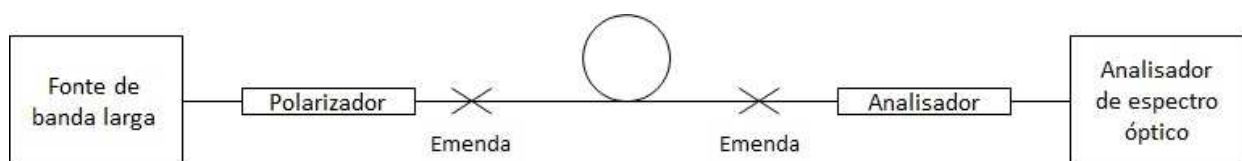


Figura 1: Esquema básico do Método do Analisador Fixo usando FFT.

2.3 Breve descrição do método interferométrico (INTY/TINTY/GINTY)

O método interferométrico é descrito em detalhe no item 5.1.4 do padrão ITU-T G.650.2 (referência [2]), descrito também no padrão EIA/TIA-455-113 – FOTP-113 (referência [18]) e no item 2.2.2 do padrão GR-2947-CORE, da Telcordia.

O método interferométrico tradicional (TINTY) encontra-se bem estabelecido no mercado, e apresenta uma incerteza de medição baixa em valores absolutos, porém sistemática (devido à remoção do pico central). Outra

vantagem do método é possuir um grande alcance dinâmico (de até 65 dB, dependendo da fonte de luz utilizada).

Entretanto, o método tradicional (TINTY) tem as desvantagens de não medir através de EDFAs, ser sensível à polarização de entrada e exige que o usuário entre com a gama de DGD antes de iniciar os testes. Também exige que se obtenha uma média e, à semelhança do método do Analisador Fixo) não mede a PMD de segunda ordem.

O método interferométrico tradicional, baseado no padrão original FOTP-124, baseia o tratamento matemático dos dados obtidos sobre algumas premissas que, quando se cumprem, conferem precisão ao método. São elas:

- Acoplamento aleatório ideal do objeto de teste, com uma razão de acoplamento infinita (condição raramente encontrada na realidade);
- Um interferograma perfeitamente gaussiano (também uma condição rara);
- Um espectro suave, sem ondulações de frequência alta, gaussiano na recepção (o pico central criado por uma fonte de banda larga e que eliminaria a informação de PMD é removido do interferograma, mas na realidade, uma correlação cruzada ocorre quando a função apresenta ondulações ou mudanças abruptas – testes através de multiplexores para inserção e retirada de sinais ópticos, OADM, e EDFAs torna-se impossível); e
- Uma relação PMD x largura espectral muito maior que 1.

O método interferométrico generalizado (GINTY), mais recente, tem as mesmas vantagens e desvantagens que o TINTY, porém resolve alguns de seus problemas. A principal mudança tem a ver com o abandono das premissas do TINTY que não se encontram na realidade. O método GINTY também tem alta gama dinâmica com a fonte de alta potência (até mais de 47 dB), e é insensível à polarização de entrada, pois o problema da sensibilidade à polarização é resolvido com o uso de aleatorizadores ou *scramblers*. Contudo, o uso de fontes portáteis limita o alcance dinâmico.

O método engenhoso do GINTY consiste em utilizar dois detectores para gerar dois interferogramas, sendo um para cada eixo ortogonal de polarização. A Figura 2 ilustra essa disposição. Somando os dois interferogramas, elimina-se a correlação cruzada, mas mantém-se a autocorrelação. Subtraindo um interferograma do outro, a autocorrelação é que se cancela. O uso dos dois interferogramas na análise elimina a dependência das premissas do método TINTY, tornando o GINTY apto para medir em condições reais com exatidão, inclusive através de EDFAs.

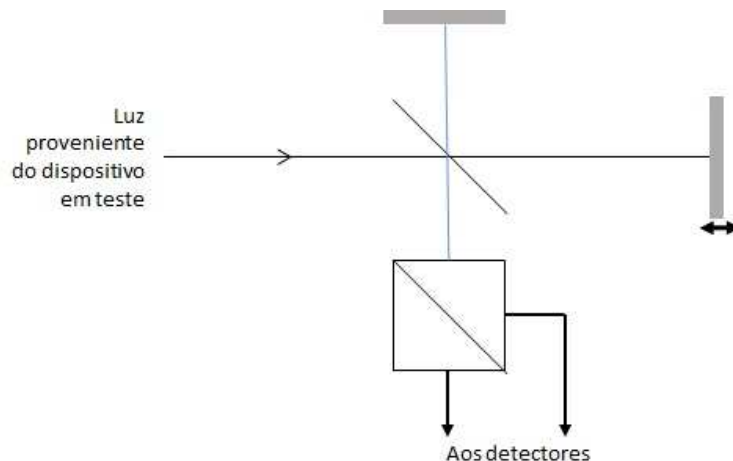


Figura 2: Esquema da detecção de interferogramas ortogonais do método GINTY.

Ambos os métodos (TINTY e GINTY) requerem partes móveis, que exigem maior cuidado no manejo dos equipamentos em campo.

2.4 Problemática das fibras OPGW e aéreas em geral

Um enlace de fibra óptica pode ser representado por um modelo de seções discretas curtas, no qual cada seção apresenta uma assimetria do núcleo ligeiramente diferente, o que resulta na birrefringência. Quando a luz polarizada se propaga de seção a seção, ocorrem variações importantes acoplamento de modo de polarização, o que causa mudanças no estado de polarização (SOP) do sinal óptico.

2.2.1.. Oscilações nos cabos aéreos causadas por fatores climáticos

A Figura 3: Exemplo de cabo OPGW. Figura 3. Ilustra um cabo OPGW. Conforme cada projeto construtivo, os cabos OPGW podem estar arrançados em uma estrutura tubular contendo uma ou mais fibras soltas (*loose fibers*), com camadas de cabos internos de aço e de alumínio a seu redor; ou podem substituir alguns dos cabos internos por tubos de aço inoxidável contendo fibras soltas. Os cabos OPGW são instalados entre as torres de transmissão, e são autoportantes.



Figura 3: Exemplo de cabo OPGW.

Há vários fatores ambientais que podem afetar os cabos aéreos:

- a. **Velocidade do vento:** quando o vento alcança velocidades altas, alguns efeitos podem afetar a transmissão pela fibra; as oscilações podem entrar em ressonância, o que pode causar curvaturas e pode afetar a birrefringência, o que, por sua vez, pode afetar o DGD (*Differential Group Delay*) em função do comprimento de onda ou até mesmo a PMD total.
- b. **Lufadas de vento:** aumentos súbitos e breves podem fazer o vento alcançar velocidades até 50% acima do valor médio; essas lufadas podem causar oscilações e movimentos amplos, que, por sua vez, podem curvar e modificar levemente a forma dos cabos, afetando a birrefringência e a PMD.
- c. **Galope do cabo (vibrações):** este fenômeno ocorre quando a temperatura é baixa e sob certas condições de vento; consiste em vibrações de baixa frequência e grande amplitude, afetando o estado de polarização (SOP) e, possivelmente, a PMD das fibras dos cabos que sofrem esse tipo de esforço.
- d. **Oscilações induzidas pela corrente (hum, ou zumbido):** este tipo de vibração, audível sob linhas de alta tensão, faz os cabos vibrarem, e pode gerar oscilações do SOP de 50 ou 60 Hz; podendo levar a uma birrefringência tanto pelo efeito mecânico da vibração quanto induzida magneticamente por efeito magnético-óptico, a qual pode afetar a variação da PMD.

2.2.1.. Impacto sobre a polarização e a dispersão

Os efeitos descritos traduzem-se em mudanças temporárias da resposta de DGD x comprimento de onda e na resposta de estados principais de polarização x comprimento de onda. Também o DGD (PMD) médio do enlace flutua.

O método, o procedimento e as ferramentas de medição utilizadas devem refletir fiel e adequadamente essas variações.

O efeito das mudanças dos estados principais de polarização (PSP) afetam as medições em que o método de medição é sensível ao estado de polarização na entrada e na saída da fibra em teste. Esta condição pode ser combatida com o uso de aleatorizadores (*scramblers*) que fazem variar aleatoriamente o estado de polarização e evitam assim um viés causado pelo acoplamento variável. A obtenção de médias de várias medições também ajuda a remover o viés.

Os métodos de medição que são afetados por flutuações rápidas das propriedades de transferência da polarização ocorridas durante cada medição o efeito é combatido com a introdução de intervalos variáveis de medição

Cada método lida com as variações de maneira diferente, segundo suas características. Por exemplo, o método do Analisador Fixo tem a vantagem de poder possuir uma gama de varredura de 190 nm, o que minimiza os efeitos da dependência do estado de polarização na entrada e na saída da fibra. Entretanto, a varredura do filtro sintonizável é executada em um tempo finito. Portanto, a varredura deve ser rápida para evitar o efeito das flutuações rápidas das propriedades de transferência da polarização. Essa característica é apresentada pelos melhores instrumentos que adotam o método do Analisador Fixo.

O método de interferometria generalizada (GINTY), definida no padrão OEC 61280-4-4 possui, como visto acima, uma solução para evitar o pico de autocorrelação ao utilizar dois sinais em um esquema de detecção de diversidade de polarização. Esta vantagem somente se torna perceptível caso sejam usados aleatorizadores (*scramblers*) em ambos lados da fibra medida. Quanto ao efeito das mudanças dos estados principais de polarização, o método GINTY tem a desvantagem de possuir uma banda de varredura relativamente pequena, o que aumenta a incerteza da medição. Por outro lado, o método apresenta a vantagem ser teoricamente imune aos movimentos da fibra.

2.5 Recomendações para as medições

Os testes efetuados por operadoras em vários locais do mundo indicam que, se usados com critério, os métodos padronizados de medição da PMD conduzem a resultados certos e muito coerentes entre si, com variações muito pequenas entre os resultados obtidos pelos diferentes métodos. Na realidade, as variações temporais no ciclo de 24 horas de medição são muito mais importantes que as variações relativas entre os diversos métodos de medição.

A medição de PMD não é trivial. Ao conduzir uma auditoria da rede óptica, que deve incluir medições de PMD, os técnicos encarregados devem estar cientes e familiarizados com os efeitos sofridos pelas fibras em cabos OPGW. Os procedimentos de medição e o registro dos resultados devem ser compatíveis com o método de medição utilizado, com o ambiente onde se realizam os testes, com o tipo de fibra e cabo e com a finalidade das medições. Somente conhecimentos sólidos sobre os efeitos ambientais sobre a fibra em OPGW, sobre as limitações e características dos instrumentos utilizados e a criação rigorosa de procedimentos de medição pode conduzir a resultados úteis e significativos da auditoria realizada.

O registro de resultados em uma base de dados aliada a um sistema de inventário da rede óptica é essencial para que os resultados obtidos na auditoria sejam úteis a longo prazo, servindo como base de comparação para medições futuras.

3.0 - CONCLUSÃO

Os testes realizados em laboratório e em campo por vários operadores de grandes redes de fibras ópticas a nível mundial indicam que os três métodos de medição conduzem a resultados coerentes e comparáveis (além do Método do Analisador Fixo com FFT – Transformada Rápida de Fourier e do método interferométrico INTY – particularmente o GINTY, em alguns casos de testes foram efetuadas medições com o Método de JME – *Jones Matrix Eigen-analysis*).

A consistência entre os métodos foi de uma gama de $\pm 3,5\%$ a $\pm 17,5\%$, a depender das condições particulares de cada trecho medido. É importante notar que a variação na PMD medida a longo prazo excedeu qualquer variação devida ao método de medição utilizado.

A experiência confirma que a PMD de trechos de fibra concatenados pode ser estimada com o cálculo da raiz quadrada da soma dos quadrados dos valores medidos em cada trecho.

Sugere-se que o método de medição de PMD e o equipamento utilizado, desde que sejam robustos, precisos e tenham uma gama dinâmica suficiente para testar trechos com o comprimento encontrado na rede que irá ser auditada, sejam aqueles com os quais os técnicos se sintam cómodos. Para o caso de DWDM, é bom lembrar que um fator que pode ser importante é a banda de comprimentos de onda testada. Os três métodos cobrem a Banda C (convencional), sendo que os métodos de Analisador Fixo e JME cobrem a faixa de 1525 nm a 1610 nm, e o método interferométrico cobre a faixa de 1525 a 1570 nm.

O valor sugerido do limite a ser adotado para o DGD encontrado é de 10% do período do sinal óptico esperado. Não se sugere um valor para o caso de vídeo em cabos OPGW, pois é pouco provável que venham a ser utilizados para sinais analógicos.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] *Field trial of PMD test methods and investigation into the dynamics of polarisation effects in a variety of installed cable environments*. Richard Ednay, Optical Technology Training Ltd., Escócia, Reino Unido.

[2] *ITU-T Recommendation G.650.2 – Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable*. ITU-T.

- [3] *Case Study: PMD Measurement on Aerial Fiber under Wind-Induced Oscillations and Vibrations*. Raymond Roberge, Ph.D., Senior Technical Advisor, EXFO.
- [4] *Testing Polarization Mode Dispersion on Aerial Cables*. Vincent Lecoecue, PhD, Gabriel Jagot, Gregory Lietaert, JDSU.
- [5] *PMD measurements using Fixed-Analyzer technique on a 1000km amplified link that includes ROADMs*. Vincent Lecoecue, Fabien Sauron and André Champavère, Alexey Turukhin e Enrico Gonzales, JDSU.
- [6] *Single end measurement of polarization mode dispersion based on interferometry*. Samuel K. Fosuhene, Timothy B. Gibbon and Andrew.W.R. Leitch, Nelson Mandela Metropolitan University, Austrália.
- [7] *Single-end Measurement of Polarization Mode Dispersion in Optical Fibers with Polarization-dependent Loss*. H. Dong and P. Shum, Nanyang Technological University, Cingapura.
- [8] *Mitigación de la Dispersión por Polarización en redes de F.O. respecto al método de instalación*. Peretti Gastón, Depetris Leonardo, Alegre Leandro, Vignolo Agustín. UTN San Francisco, Córdoba, Argentina.
- [9] *PMD and CD Measurement on Optical Cables for Bandwidth Computation*. Joaquim Anacleto, Universidade de Trás-os-Montes, e Modesto Morais, Instituto Electrotécnico Português, Vila Real e Matosinhos, Portugal.
- [10] *Measuring Ultra-Low PMD with High Reliability*. Vincent Lecoecue. PhD e Gregory Lietaert, JDSU.
- [11] *Updated Summary of Telcordia PMD Measurement of Optical Fiber – Audit of Existing Cable Plant*. John Peters, Senior Engineer and Analyst, Telcordia.
- [12] *PMD Measurement: the EXFO interferometric method*. Francis Audet, Eng., Normand Cyr, Ph.D., EXFO.
- [13] *Measuring and Compensating for PMD in High-Speed Optical Networks*. Aaron Deragon e Jeff Ferry, NetTest.
- [14] *Artigo: Choices ease PMD test burden*, Richard Ednay, Lightwave, setembro de 2006.
- [15] *PMD measurement techniques and how to avoid the pitfalls*. Paul Williams, NIST, no livro *Polarization Mode Dispersion*, Springer.
- [16] *Investigation of the Fixed Analyzer Technique for Polarization Mode Dispersion Measurements on Optical Fibres*. Romeo R. G. Gamatham, Tim B. Gibbon, Lorinda Wu and Andrew W. R. Leitch, Nelson Mandela Metropolitan University, Austrália.
- [17] EIA/TIA-455-124A(FOTP-124A) *Polarization-Mode Dispersion Measurement for single-mode Optical Fibers by Interferometric Method*. (TINTY e GINTY)
- [18] EIA/TIA-455-113(FOTP-113) *Polarization-Mode Dispersion Measurement of Single-Mode Optical Fibers by the Fixed Analyzer Method*.

DADOS BIOGRÁFICOS

Eng. Cristiano Henrique Ferraz

Consultor sênior da empresa Netcon Ltda., dedicado a soluções de engenharia e consultoria sobre as mais recentes tecnologias utilizadas em telecomunicações. Possui longa experiência de medições e auditorias em sistemas de telecomunicações.

O engenheiro Ferraz tem atuado como professor convidado dos cursos de pós-graduação em telecomunicações e extensão de várias universidades latino-americanas. É coautor de um livro sobre Carrier Ethernet a ser publicado em breve no Brasil pela Editora Ciência Moderna.