

“POLARIZATION MODE DISPERSION – PMD” UM ESTUDO SOBRE OS EFEITOS DO FENÔMENO EM LABORATÓRIO, ATRAVÉS DE SISTEMAS DE SIMULAÇÃO

*Sandra Maria Dotto Stump*¹, *Maria Lucia M. Carvalho Vasconcelos*² and *Paulo Sérgio Milano Bernal*³

Abstract — *Este trabalho permitiu explorar as possibilidades didático-pedagógicas dos modelos de simulação para a resolução de problemas complexos, envolvendo fenômenos de propagação em fibras ópticas, mais especificamente a “Dispersão Modal por Polarização” (PMD), cujo estudo dos efeitos e medição, em condições reais, tornaram-se extremamente difíceis na prática, devido à falta de acesso a longos enlaces de fibras ópticas (acima de dezenas de quilômetros), bem como à indisponibilidade de instrumentos de medição. Portanto, como forma de contorno para o problema mencionado, passamos a utilizar métodos de simulação em Laboratório. Estes por sua vez, uniram professores-orientadores e seus alunos em busca da aprendizagem efetiva, porque real. Se tecnicamente a experiência aqui relatada se apresenta como positiva, do ponto de vista da utilização de novos métodos de ensino, encontramos-nos diante de um novo paradigma, que já se apresenta indispensável ao ensino de Engenharia.*

Index Terms — *Inovações em Laboratório, Instrução Integrada com Uso de Laboratório, Differential Group Delay, Polarization Mode Dispersion.*

Este trabalho explora as possibilidades didático-pedagógicas dos modelos de simulação para a resolução de problemas complexos, envolvendo fenômenos de propagação em fibras ópticas, cujo projeto e medição, em condições reais, tornam-se extremamente difíceis na prática, devido à falta de acesso a longos enlaces de fibras ópticas (acima de dezenas de quilômetros), bem como à falta de disponibilidade de instrumentos de medição.

Tais métodos de simulação em Laboratório torna viável, tanto o desenvolvimento de solução para os problemas teóricos, quanto a medição simulada em condições próximas à real, contribuindo, assim, para o desenvolvimento e a formação dos alunos usuários deste Laboratório, que podem efetivar uma experiência transformadora dos procedimentos didáticos na área.

O uso educacional da tecnologia da simulação permite ao educando, diante de uma situação-problema, testar

alternativas de ação, buscando a mais adequada sem, no entanto, causar danos ou prejuízos, que em uma situação real poderiam ocorrer.

Os processos de simulação de medições apresentados aqui foram desenvolvidos no Laboratório de Telecomunicações e Computação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, através do software de simulação de enlaces de fibras ópticas denominado VPI (Virtual Photonics Inc), em experiências que uniram professores-orientadores e seus alunos em busca da aprendizagem efetiva, porque real.

Se tecnicamente a experiência aqui relatada se apresenta como positiva, do ponto de vista da utilização de novos métodos de ensino, encontramos-nos diante de um novo paradigma, que já se apresenta indispensável ao ensino de Engenharia.

Do ponto de vista da utilização da tecnologia com fins educacionais, que apresenta, com clareza, a derrubada de padrões anteriormente utilizados, porque agora considerados obsoletos, deve-se ressaltar que a necessidade de mudança nas formas didático-pedagógicas de se trabalhar em sala de aula e/ou laboratório, devem voltar-se não só ao apelo tecnológico, que é instrumental, voltado para a competência do manejo dos meios, assim como para o desenvolvimento da capacidade individual do aluno raciocinar, organizando suas ações, de maneira crítica e analítica. [1]

Apesar de todos os avanços nas últimas duas décadas, visando eliminar, ou pelo menos atenuar significativamente, os efeitos de dispersão nos sinais ópticos propagados em enlaces de fibras ópticas, o crescimento do tráfego de comunicações forçou o aumento das taxas de sinalização de pulsos ópticos, aplicados nos cabos de fibras até então instalados. Conseqüentemente, alguns efeitos, até então não significativos, tornaram-se importantes, pois passaram a afetar a capacidade de transmissão de bits. Estes novos efeitos de dispersão, que se constituíam como objeto de pesquisas, foram sendo devidamente compensados através de novos processos de fabricação de fibras ópticas e pelo uso de novos tipos de LASER emissores de sinais. Como última

¹ Profa. Dra. Sandra Maria Dotto Stump, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 896 - 6º andar, São Paulo, SP, Brazil, sstump@mackenzie.br

² Profa. Dra. Maria Lúcia M.C. Vasconcelos, Coordenadora Geral da Pós-Graduação, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 896 - 7º andar, São Paulo, SP, Brazil, vasconcelos.pos@mackenzie.br

³ Paulo Sérgio Milano Bernal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 896 - 6º andar, São Paulo, SP, Brazil, pbernal@terra.com.br

medida, foram desenvolvidos compensadores externos, que começaram a serem implantados nos enlaces de cabos de fibras instalados.

Dentre os efeitos que causam sérias limitações nos projetos de enlaces de fibras ópticas, a Dispersão Modal por Polarização (PMD) tornou-se uma das mais importantes limitações da capacidade de transmissão de informações, pois os efeitos decorrentes da PMD impõem limitações na recuperação das informações moduladas ou codificadas, tanto nos sistemas de comunicação óticos analógicos (CATV), como nos sistemas digitais de longa distância, cujas taxas de bits encontram-se acima de 10Gbps.

Nos anos oitenta, com a popularização das fibras monomodo, a principal preocupação quanto à dispersão em enlaces de fibras ópticas para telecomunicações passou a ser a Dispersão Cromática. Porém, com a criação das fibras “*Dispersion-Shifted*” e das fontes de sinal baseadas em Laser “*Single-frequency*”, o problema da Dispersão Cromática foi contornado, o que levou diversos pesquisadores a concentrarem esforços para o entendimento, caracterização e compensação dos efeitos da PMD.

O efeito da PMD é particularmente importante nos sistemas multigigabits de longa distância, pois causa a perda de polarização e o espalhamento dos pulsos ópticos transmitidos, o que dificulta a detecção das informações nos receptores, ocasionando o aumento significativo da taxa de erros (BER) [2][3].

Com a introdução comercial dos sistemas de portadoras óticas, baseados em taxas de 10Gbps e 40Gbps, a PMD, tornou-se a maior fonte de preocupação, pois a grande maioria das fibras até então instaladas, não foram construídas para compensar o efeito degenerativo da PMD e, portanto, este efeito limitaria a capacidade de expansão da velocidade de propagação dos pulsos em longas distâncias. Devido ao fato da PMD não ter sido discutida até o início dos anos noventa, aproximadamente 30% das fibras monomodo fabricadas e instaladas até 1995 teriam características construtivas que as tornariam problemáticas em taxas de transmissão acima de 10Gbps, e evidenciariam um forte efeito decorrente da PMD. Como consequência, seria inviável tecnicamente a expansão destes sistemas de transmissão para as taxas atualmente suportadas, a menos que fossem introduzidos equipamentos de compensação dinâmica da PMD, ou que as fibras fossem substituídas.

PMD – CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

A PMD causa a dispersão dos pulsos ópticos enviados pela fibra, de forma crescente e aleatória com a distância. Portanto, a dispersão dos sinais óticos causa o incremento a níveis inaceitáveis da taxa de bits errados transmitidos e recebidos pelo enlace óptico, limitando a largura de banda de transmissão, com conseqüente limitação da taxa máxima de pulsos óticos conduzidos, comprometendo o comportamento linear do pulso propagado no meio fibra ótica.

Podemos definir a dispersão de sinais óticos conduzidos em fibras óticas como o efeito de espalhamento do sinal no tempo, ocasionando a sobreposição dos pulsos adjacentes, nos casos de grandes taxas de pulsos e largo espectro de freqüências, quando a PMD de segunda ordem torna-se mais aparente. Em decorrência da dispersão dos pulsos e da sobreposição, os pulsos perdendo o seu formato característico, torna-se difícil detectar o código da informação binária pelos receptores na extremidade final da fibra.

O efeito da PMD nos pulsos óticos transmitidos nas fibras é normalmente definido e medido através do Atraso de Grupo Diferencial – DGD (Differential Group Delay), que descreve a diferença no tempo de chegada das duas componentes ortogonais que formam o pulso. Desta forma, o sinal composto conduzido nos duas componentes com planos polarizados de forma ortogonal se “separarão” pelo efeito das diferentes velocidades de Grupo em cada plano de polarização. O sinal sofrerá então um espalhamento pela defasagem em tempo que cada componente de polarização terá em relação ao outro, formando o DGD. Como as fibras óticas são anisotrópicas, possuindo diferentes valores para as constantes de propagação em cada direção, as duas componentes ortogonais da onda que sofreu birrefringência terão diferentes índice de refração entre si e, passarão a ter diferentes velocidades de propagação em cada direção. Como consequência, ocorre a dispersão por polarização, que é agravada pelo acoplamento do modo de polarização resultante de pequenas variações randômicas na birrefringência ao longo da extensão da fibra [4]. Desta forma, para extensões superiores a 100 metros de fibra, torna-se difícil prever o comportamento da polarização resultante. Portanto, o modelo de propagação linearmente polarizada com duas ondas ortogonais aplica-se para pequenos comprimentos de fibra. Para contornar esta dificuldade, usa-se o modelo no qual diversos pequenos pedaços de fibras birrefringentes são concatenados, formando uma longa fibra, cujos efeitos individuais de cada pedaço são sobrepostos, representando o efeito total. A aplicação desse modelo mostrou-se inviável experimentalmente para enlaces de fibras maiores do que 1 Km. [2]

O modelo no qual foi baseado esse trabalho, supõe a consideração de duas componentes inicialmente ortogonais (os principais estados de polarização – PSP), propagando-se com a mesma velocidade; mas, devido à birrefringência randômica ao longo da fibra, as componentes ortogonais do sinal passam a ter diferentes velocidades de propagação nas diferentes direções em que podem seguir, causando a separação no tempo (Δt) das duas componentes ortogonais, após algumas dezenas de quilômetros, o que é caracterizado como o “Atraso Diferencial”. Na Figura 1 são ilustradas as duas componentes simuladas do sinal óptico numa fibra birrefringente.

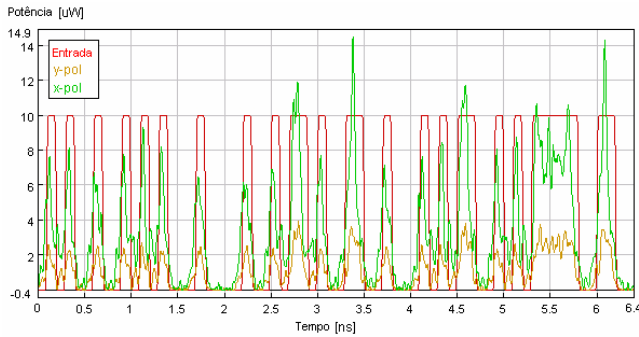


FIGURE. 1

SIMULAÇÃO DAS COMPONENTES DO SINAL ÓPTICO NUMA FIBRA BIRREFRINGENTE, USANDO O SOFTWARE VPI DA PHOTONICS.

No limite do modo de acoplamento extensível, os principais estados de polarização e o tempo de atraso diferencial na fibra não são fortemente correlacionados com as propriedades locais da fibra, desde que eles dependam dos efeitos resultantes de todos os efeitos locais ou pontuais, do modo de acoplamento randômico, por todo o caminho de propagação. Então, espera-se que os PSP e o tempo de atraso diferencial irão variar aleatoriamente de fibra para fibra, com o Atraso Diferencial de Grupo exibindo um comportamento que pode ser aproximado por uma distribuição de probabilidades de Maxwell [5].

Desta forma, o Atraso Diferencial entre as componentes ortogonais, passa a ser tratado como um valor médio para uma família de fibras ópticas com as mesmas características estatísticas. Para a realização de medições práticas, assume o valor do DGD médio em pico segundo (ps). Sabendo-se que este cresce com o quadrado da distância percorrida na fibra entre a entrada e a saída do sinal [4], pode ser calculado o valor do parâmetro PMD para a família de fibras ópticas em questão pelo uso da equação (1):

$$PMD = \frac{\langle \Delta \tau \rangle}{\sqrt{L}} \quad (1)$$

A solução proposta na referência [6] é do uso de um modelo de simulação de Monte Carlo para atingir a solução calculada e comprovar que o a função densidade de probabilidade (PDF) se aproxima a uma distribuição de probabilidade de Maxwell.

Uma vez conhecido o comportamento estatístico aproximado de um fenômeno, sua descrição prática pode ser feita, de modo aproximado, mas satisfatório, segundo a função distribuição de probabilidades.

Então, podemos caracterizar a PMD de uma família de fibras ópticas, estatisticamente equivalentes, pelo conhecimento do valor médio e dispersão em torno deste valor.

MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO

Diversos processos são atualmente utilizados para a medição do DGD e da PMD em laboratório, ou em campo. Para a realização deste trabalho utilizamos o software de simulação VPI da Photonics Inc. Este software é disponível no Laboratório de Telecomunicações e Computação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie. O mesmo permite a simulação de sinais ópticos, se propagando em enlaces de fibras ópticas, bem como a simulação de sistemas de comunicação e a medição simulada dos efeitos da PMD.

Utilizando as simulações disponíveis no software VPI, podem ser realizadas medições simuladas do DGD médio de uma família de fibras simuladas, estatisticamente equivalentes, de modo a comparar os resultados experimentais, com os resultados de cálculos teóricos solucionados com simulação por Monte Carlo.

O desenvolvimento teórico para a simulação de Monte Carlo toma como base o desenvolvimento expresso a partir da equação que descreve a birrefringência intrínseca ao meio, fibra óptica e pela variação vetorial do sinal acoplado com esse meio em polarização [6].

É significativo o resultado positivo, no campo de ensino de Engenharia, resultante deste procedimento. Não só a compreensão dos processos fica facilitada, como são ampliadas, em muito, as possibilidades de pesquisa na área. Nesse contexto, a utilização das tecnologias de informática com finalidade educacional, oferece suporte pedagógico às atividades do processo de ensino-aprendizagem, objetivando a qualidade, a flexibilidade e a real experimentação na educação. [8]

METODOLOGIA

Inicialmente estudamos a Dispersão Modal por Polarização (PMD) de primeira ordem em fibras ópticas monomodo, enfocando o modelo dos Principais Estados de Polarização (PSP), introduzido por Poole e Wagner na referência [2], acompanhando, em seguida, a evolução do modelo proposto, nos demais trabalhos das referências [3], [4], [5] e [6]. A revisão bibliográfica foi complementada pelo cálculo de sistemas matemáticos complexos e pelas medições simuladas em computador de enlaces de fibras com manifestação da PMD.

A seguir, estabelecem-se processos para solucionar sistemas de equações probabilísticas dinâmicas, por simulação do tipo Monte Carlo, comparando então os resultados com medições simuladas dos efeitos do PMD de uma família de fibras monomodo estatisticamente compatíveis, através do software de simulação Photonics-VPI. Este procedimento permitiu obter resultados equivalentes às medições realizadas em campo, em enlaces de fibras ópticas de muitas dezenas de quilômetros e com instrumentos de medição sofisticados.

Os resultados obtidos com estas medições simuladas e com os processos de resolução de sistemas de equações por método de simulação, permitiram a incorporação do conhecimento adquirido ao conjunto de técnicas ministradas aos alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie, na forma de aulas de laboratório que dão suporte às disciplinas teóricas do Programa.

Aos alunos são oferecidas possibilidades de realizar diversas medições e previsões teóricas de sistemas práticos, através de processos simulados, permitindo projetar enlaces e analisar problemas de situações reais encontradas em campo.

Do ponto de vista das teorias da aprendizagem, a compreensão, por parte do aluno, daquilo que lhe é apresentado, é condição essencial para sua aprendizagem. Num curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, a possibilidade de trabalhar com simuladores, além das evidentes vantagens científicas, as questões motivacionais, contributivas para a efetivação do processo de ensino-aprendizagem, não podem ser menosprezadas.

REFERENCES

- [1] Demo, P.. Desafios Modernos da Educação; Editora Vozes – Petrópolis-RJ, 1993.
- [2] Poole, C.D. e Wagner, R.E.. Phenomenological Approach to polarisation dispersion in long single-mode fibres; Electronics Letters Vol.22, No.19 – September 1986.
- [3] Andresciani, F. Curti, F. Matera e Daino B.. Measurement of the group-delay difference between the principal states of polarization on a low-birefringence terrestrial fiber cable; Optics Letters Vol12, No.10 – October 1987.
- [4] Poole, C.D.; Bergano, N.S.; Wagner, R.E. e Schulte, H.J.. Polarization Dispersion and Principal States in a 147-Km Undersea Lightwave Cable; IEEE Journal of lightwave technology Vol.6 No.7 – July 1988.
- [5] Poole, C.D.. Statistical treatment of polarization dispersion in single-mode fiber; Optics Letters Vol.13, No.8 – August 1988.
- [6] Poole, C.D.; Winters, J.H. e Nagel, J.A.. Dynamical equation for polarization dispersion; Optics Letters Vol.16, No.6 – March 1991.
- [7] Keiser, Gerd. Optical Fiber Communications; Mc-Graw-Hill Higher Education – Boston Burr Ridge, IL – USA, 2000.
- [8] Weiss, J.M.G.. Aplicações da Tecnologia de Informação á Educação: Tendências e Perspectivas. IN: Moreira, D.A. (Org.). Didática do Ensino Superior: Técnicas e Tendências; Editora Pioneira – São Paulo-SP, 1997.