

1

Introdução

Os sistemas de comunicações ópticas modernos são cada vez mais complexos e cheios de funcionalidades. A transmissão em fibras ópticas está sujeita a uma série de eventos que podem degradar o sinal. Entre os problemas estão ASE (*Amplified Spontaneous Emission* - Emissão Espontânea Amplificada), dispersão cromática, não-linearidades, ganhos e perdas dependentes da polarização, e dispersão dos modos de polarização (PMD). Este último, tem natureza aleatória, dependente da variação do ambiente e, portanto, gera grande incerteza no que concerne à sua compensação [53].

A PMD (*Polarization Mode Dispersion*) é considerada um dos grandes obstáculos para a realização dos sistemas com altas taxas de transmissão, 40 Gbit/s ou maiores. Simular fielmente as estatísticas e a dinâmica da PMD em sistemas reais de transmissão em fibras ópticas é um desafio no combate aos efeitos desse fenômeno [54].

Um dos primeiros problemas detectados em relação à PMD, foi a alta birrefringência residual que as fibras apresentavam devido ao processo de fabricação e que era a grande responsável pelo aparecimento dessa dispersão. Atualmente, a tecnologia de fabricação se encontra em estado tecnológico avançado e as fibras são fabricadas com baixa PMD. Entretanto, o alto custo de substituição das fibras antigas não permite que essa seja a melhor solução a ser adotada. Portanto, o estudo do comportamento da PMD e de métodos de compensação para esse problema continuam sendo um tópico de grande interesse [53].

1.1

Revisão Bibliográfica

Como o foco principal deste trabalho é o estudo da PMD, a revisão bibliográfica se propõe a rastrear o desenvolvimento do estudo da PMD, em seus diversos aspectos.

A PMD foi identificada no final dos anos 70 [5] e, desde então, muito esforço tem-se realizado no entendimento e minimização dos efeitos desse fenômeno.

Conforme mencionado anteriormente, a PMD sofre variações ao longo do tempo. As fontes dessas mudanças são as variações na magnitude ou na orientação das birrefringências na fibra ao longo do tempo e perturbações como temperatura, pressão, estresse, curvaturas, etc., são esperadas que realizem variações na PMD [55]. Essa sensibilidade da PMD às variações do ambiente foi apresentada em [9], para observações dentro do laboratório. Também foram medidas variações no SOP (*State of Polarization*) do sinal pra cabos subterrâneos [11] e [8].

Com o aumento das taxas de transmissão, o problema da PMD tornou-se mais relevante, a necessidade da utilização de compensadores tornou-se uma realidade e os estudos sobre esse recurso, uma questão de extrema importância. A princípio, as transmissões envolviam o uso de apenas um canal mas, a partir dos anos 90, foi introduzida a transmissão com múltiplos comprimentos de onda. Algumas técnicas para compensação foram propostas:

A- Lançamento no PSP (*Principal State of Polarization*):

Para compensação pelo lançamento no PSP, o sinal transmitido, quando chega ao fim da linha de transmissão, é separado em 2 partes e uma delas é utilizada como canal de realimentação para o controlador de polarização localizado antes da transmissão [31] e [1]. A Figura 1.1 mostra um esquemático de compensação de PMD através do lançamento no PSP.

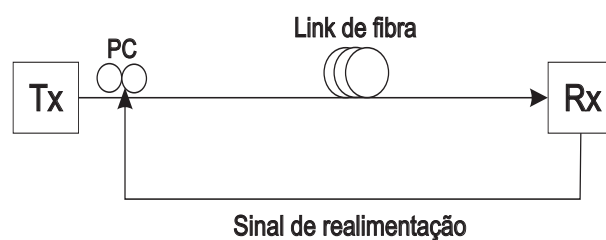


Figura 1.1: Esquema de compensação de PMD através de lançamento no PSP.

B- Compensação de PMD através da adição de uma linha de atraso controlada:

Nessa técnica, a polarização do sinal no receptor é analisada e então, lançada numa linha de atraso, fixa ou variável, em série com o receptor, através de um controlador de polarização [2] e [3]. O controlador de

polarização e também a linha de atraso, no caso de linha variável, são controlados de acordo com o sinal de realimentação e escolhidos para otimizar o sinal recebido [23], [30]. A Figura 1.2 mostra um esquemático de compensação de PMD com utilização de linha de atraso.

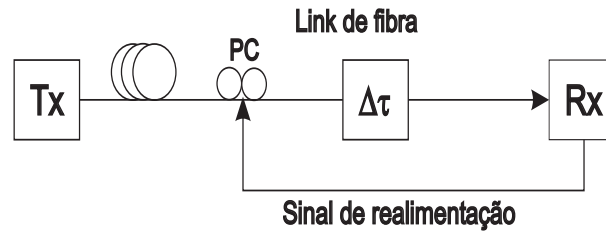


Figura 1.2: Esquema de compensação de PMD com utilização de linha de atraso.

C- Filtragem Eletrônica Adaptativa:

Equalização eletrônica no receptor óptico foi proposta para corrigir PMD e dispersão cromática em 10 GB/s [13], mas a técnica esteve indisponível para frequências mais altas até recentemente, quando foi publicado um trabalho em 40 GB/s [46].

D- Códigos Corretores de Erro:

A combinação de código corretor de erro em conjunto com misturador de polarização foi proposta como método para mitigação de PMD [20]. Os códigos corretores de erros têm a capacidade de corrigir um grande número de erros, mas são incapazes de atuar corretamente quando esses erros acontecem em rajadas. Daí a necessidade de se combinar essa técnica com outra, como por exemplo, o uso de misturadores dos estados de polarização, que produzem alternância entre distorções altas e pequenas, diminuindo assim, a probabilidade de longas rajadas de erro [56].

No caso de sistemas de transmissão de múltiplos comprimentos de onda, a busca por uma relação custo-benefício vantajosa é bastante desejável. Os sistemas desenvolvidos para um único comprimento de onda geralmente retornam resultados ruins quando utilizados em sistemas de múltiplos comprimentos de onda, devido à descorrelação apresentada para canais vizinhos. Nos primeiros estudos, algumas técnicas foram propostas, entre elas o uso de um compensador para cada canal, o uso de uma quantidade de compensadores menor que a quantidade de canais (compensação sem demultiplexação do sinal e compensação com demultiplexação

do sinal), e também, o uso de um sistema de redirecionamento de canais [32, 21, 15, 33]. Mais recentemente foi proposto a utilização de um controlador de polarização localizado no meio da linha de transmissão. Essa configuração é chamada de *midspan* e também utiliza um canal de realimentação [37]. A compensação de PMD através da aplicação de FEC e misturadores de polarização também tem sido alvo de recentes estudos.

O conhecimento da autocorrelação do DGD em função do comprimento de onda possibilita um maior entendimento dos efeitos da PMD sobre canais vizinhos num sistema WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) e, portanto, dos esquemas e métodos de compensação e monitoramento de PMD. Estes métodos são diferenciados e utilizam conceitos de correlação entre canais para compensação com ou sem demultiplexação do sinal [21], [15] e [33].

O estudo de correlação dos DGD's ainda pode ser realizado sob o aspecto de correlação ao longo do tempo. Esta linha foi recentemente estudada através de medidas experimentais por [38] e [24], onde é mostrada uma alta correlação entre variações no estado do DGD e variações na temperatura ambiente.

Algumas publicações mais recentes mostram uma modelagem que pode representar sistemas reais com bastante precisão. Esse modelo é conhecido como *hinge model*. Nele, supõe-se que o sistema é formado por seções de fibra com comportamento “congelado” conectadas por *hinges*, ou rotadores de polarização aleatórios. Os primeiros trabalhos assumindo esse modelo foram publicados por Brodsky *et al.* em [39], [40] e [53].

1.2

Motivação do Trabalho

O cerne desse trabalho é o estudo dos efeitos da PMD, considerando-se que existe uma evolução temporal. Os efeitos negativos da PMD acontecem quando, numa transmissão qualquer, esta dispersão gera falhas no sistema devido a sua atuação no domínio do tempo. Logo, a motivação para desenvolver um trabalho com ênfase na variação temporal deste determinado fenômeno, está na importância que um maior conhecimento do comportamento estatístico temporal destes efeitos tem na caracterização da PMD nos sistemas de comunicações ópticas atuais [53].