

1 Introdução

Com o avanço do conhecimento, o desenvolvimento do estudo da eletricidade, do magnetismo e a formulação da teoria do eletromagnetismo tornaram-se os pilares de muitas invenções que revolucionaram a maneira na qual o ser humano poderia transportar informações. Com o advento do telégrafo, usando a eletricidade como base, teve início a Era das comunicações elétricas. O nome telegrafia é derivado das palavras gregas “tele”, significando distância e “grapho” que quer dizer escrever. A telegrafia, portanto, significa escrever a distância [1]. A utilização deste dispositivo revolucionário chegava à taxa de aproximadamente 10b/s, por uso de técnicas de codificação, como o código Morse [1]. A invenção do telégrafo foi um evento que revolucionou o modo de comunicação a longa distância e abriu o caminho para o progresso na forma de se comunicar da sociedade. As ondas de rádio, prevista na teoria eletromagnética da luz, foram inicialmente confirmadas experimentalmente por Heirich Hertz em 1877. Essa confirmação da teoria da existência de ondas de rádio foi mais um evento relevante para a ampliação do modo de disseminação da informação. No começo do século XX, a transmissão de rádio já era uma realidade. Além dos eventos citados acima, os resultados mais importantes do avanço no campo dos sistemas de comunicação foram a criação do telefone, dos componentes eletrônicos, da televisão, da comunicação digital, da comunicação via satélite e as comunicações ópticas.

A evolução histórica da tecnologia dos sistemas de comunicação culminou nos dias atuais no que é conhecido como sistemas de comunicações ópticas, capazes de transportar uma quantidade enorme de informação por meio de uma longa distância. A enorme transformação que o mundo tem vivido com a globalização, a democratização do acesso à Internet, a *smartphones* multimídia e, por consequência, o progresso da tecnologia em aplicações direcionadas à transmissão de dados pelo mundo por meio de aplicação de vídeo em alta definição, músicas digitalizadas e tantos outros aplicativos, vem aumentando

rapidamente a demanda de envio de dados. Os sistemas de comunicações ópticas também possuem limitações e, para maximizar a capacidade de transferência de dados nas redes de comunicações espalhadas mundialmente, um grande esforço é investido, uma vez que o espectro disponível é finito.

Nesta dissertação, a principal proposta consiste em demonstrar a viabilização de um enlace de comunicação óptica ponto a ponto com capacidade de transmissão de dados de 50 Gbit/s por meio de uma grade de 50 GHz DWDM utilizando o legado dos sistemas de 10 Gbit/s. A escolha pelo uso do legado de 10 Gbit/s foi devida à facilidade e ao menor custo do uso de componentes de ampla utilização comercial com essa faixa de operação. Para realização da demonstração, uma série de configurações foram realizadas, a fim de avaliar diversas técnicas para a melhor utilização do enlace óptico.

No capítulo 2 encontra-se um relato geral da tecnologia existente na área de comunicação óptica com a apresentação das características e configurações dos principais transmissores e receptores ópticos e das principais técnicas utilizadas de multiplexação e modulação atualmente.

No capítulo 3 o enfoque é direcionado para as técnicas de multiplexação e modulação utilizadas neste trabalho, por meio de uma apresentação mais detalhada, buscando garantir o melhor entendimento das configurações experimentais executadas.

No capítulo 4 é apresentada toda a série de configurações experimentais realizadas e seus respectivos resultados.

Por fim, no capítulo 5, são apresentadas conclusões do trabalho, juntamente a comentários sobre os tópicos considerados mais importantes.

1.1. Sistema Básico de Comunicação Óptica utilizando Fibra Óptica

Um sistema de comunicação óptica ponto a ponto, como pode ser observado na Figura 1, é composto por três componentes básicos. São eles: o transmissor, o meio de propagação e, no final, o receptor.



Figura 1 - Diagrama em blocos dos elementos básicos de um Sistema de Comunicação Óptica

A função do transmissor é realizar a conversão do sinal elétrico de uma sequência de bits que representam a informação a ser enviada pelo transmissor para um sinal óptico com características compatíveis com o meio de propagação. A fonte luminosa, responsável por fornecer um sinal de portadora, pode ser utilizada um laser ou um LED. O laser é particularmente mais indicado para sistemas de transmissão de dados multicanaís, devido à sua largura de linha estreita, o que permite melhor utilização do potencial que uma fibra óptica tem para o tráfego de dados. Quando apenas um canal é transmitido por fibra óptica, um LED pode ser suficiente e mais econômico dependendo da taxa de transmissão. A modulação é o processo no qual o transmissor adequa a sequência de bits que será enviado ao meio de propagação. Desta forma, a modulação pode ser realizada diretamente por meio do controle de corrente do laser, resultando em um formato de modulação binária (OOK *On Off Keying*). Apesar do menor custo, a modulação direta tem como principal desvantagem o seu *chirp*, a modulação residual de fase acompanhando a modulação desejada de amplitudes, que implica o alargamento do espectro óptico do sinal, limitando o uso em sistemas WDM, por exemplo. Um modulador externo pode ser utilizado para contornar problemas de *chirp* do sinal óptico e, assim, obter um desempenho superior do sistema no caso que engloba essa dissertação.

O papel de um meio de propagação é transportar o sinal óptico do transmissor para o receptor sem distorcê-lo. A maioria dos sistemas de comunicação óptica usa fibras ópticas como canal de comunicação porque as fibras de sílica podem transmitir a luz com perdas substancialmente pequenas, com o valor de aproximadamente de 0,2 dB/km. Mesmo assim, com o descolamento do sinal óptico na fibra óptica por uma distância por volta de 100 km, reduz a potência óptica para apenas 1% do valor inicial. Por esta razão, perdas

de fibra continuam a ser um problema importante no projeto para o uso de amplificadores em sistemas transmissão óptica de longo comprimento, para compensação de perdas de potência do sinal óptico no decorrer dos sistemas [4].

O receptor converte o sinal óptico oriundo do enlace novamente em sinal elétrico, na melhor das hipóteses, igual ao enviado pelo transmissor. O componente que realiza essa conversão é o fotodetector. Além do fotodetector, um receptor básico pode ainda conter um amplificador elétrico e um demodulador que depende da modulação empregada. [4].

1.2. Motivação da utilização de Sistemas de Comunicação Óptica

Um enlace de sistema de telecomunicação pode ser caracterizado pela máxima taxa de transmissão de dados suportado e pelo fator de atenuação por quilômetro que determinará a distância máxima de alcance do sistema. As comunicações ópticas atendem essas características de forma sublime, potencialmente superior a qualquer outro sistema de comunicação de alta capacidade, e ainda possuem várias outras vantagens que serão listadas e comentadas a seguir.

As principais vantagens do uso de fibra óptica são:

- **Banda Passante**

A capacidade de tráfego de dados é enorme em uma fibra óptica. Nos dias atuais, o fator limitante da transmissão de dados em fibra óptica encontra-se na parte eletrônica presente no sistema de modulação e demodulação do sinal que contém a informação transmitida.

- **Baixa Atenuação**

Houve uma grande evolução da tecnologia de produção da fibra óptica. Uma fibra óptica simples, atualmente, apresenta um fator de atenuação por volta de 0,2 dB/km. A atenuação do sinal transmitido em um sistema clássico equipado com cabo coaxial é extremamente superior em altas frequências em função da distância percorrida. Esse fato exige o uso

reduzido de repetidores no enlace total do sistema de comunicação ponto a ponto.

- **Tamanho e Peso**

O volume de um cabo de fibra óptica é pequeno quando considerada a sua capacidade de transmissão. Essa característica facilita seu transporte, armazenagem e necessita de menor espaço físico para sua instalação.

- **Isolamento Elétrico**

A matéria-prima da fibra óptica é a sílica que é um elemento com altíssima resistência elétrica. A fibra óptica não precisa ser aterrada e quando um cabo se rompe não existe a presença de faísca.

- **Matéria-Prima**

A sílica (SiO_2) é um dos materiais mais abundantes do planeta Terra.

- **Imunidade às Interferências Eletromagnéticas**

Como já mencionado acima, a fibra óptica é constituída de material dielétrico, por isso são imunes às interferências eletromagnéticas. As fibras ópticas podem ser instaladas perto de locais com interferência de natureza eletromagnética sem ter perda da qualidade de sinal do canal transmitido.

As comunicações ópticas apresentam várias vantagens frente aos sistemas clássicos, como o via cabo coaxial, mas possuem algumas desvantagens, tais como:

- Dificuldade para emendar e conectar fibras ópticas;
- Impossibilidade de conduzir corrente elétrica;
- Custo elevado para sistemas de taxa de transmissão de dados baixa;
- Efeitos de degradação do sinal em fibra óptica como: dispersão cromática, perda por curvatura.