

4 Multiplexação TDM/WDM

A multiplexação de sensores utilizando a técnica de TDM possibilita a interrogação de vários sensores por fibra. No entanto, o número de sensores a serem interrogados é limitado e dependente das suas respectivas refletividades. Além disso, dependendo da fonte de luz utilizada no sistema de interrogação dos sensores, pode-se ter um desperdício de energia considerável. A luz no comprimento de onda em questão é distorcida devido às seguidas reflexões dos sensores. No entanto, grande parte espectral da energia acoplada no sistema pela fonte de luz permanece inutilizada nas outras faixas do espectro.

Por outro lado, a multiplexação de sensores utilizando a técnica de WDM também possibilita a interrogação de vários sensores. Mas neste caso, o número de sensores interrogados é limitado pela largura espectral.

Uma das soluções para aumentar a eficiência do sistema e o número de sensores interrogados, buscando soluções economicamente interessantes, reside na utilização da combinação das técnicas de multiplexação no comprimento de onda e multiplexação no tempo [30-32].

A idéia para aumentar o número de sensores interrogados e a eficiência espectral do sistema, sem que se tenha um significativo aumento de seu custo (utilizando a mesma fonte de luz e o mesmo sistema de leitura), está na utilização de sensores com diferentes comprimentos de onda dispostos em grupos. No artigo da referência [30] é proposto um sistema que combina as técnicas TDM e WDM para a interrogação de sensores a rede de Bragg dispostos em grupos utilizando um OTDR (“Optical Time Domain Reflectometer”) comercial.

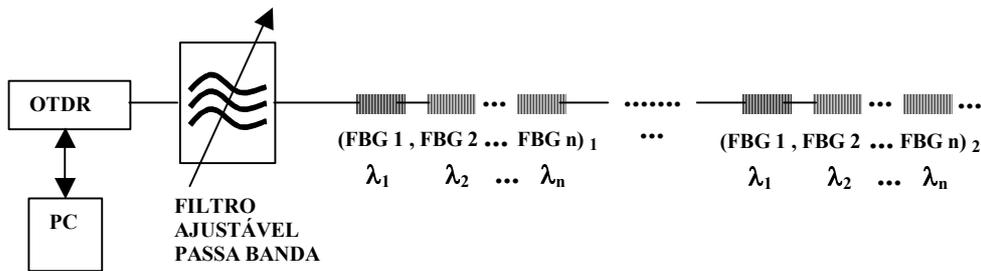


Figura 4.1 - Sistema de interrogação de sensores de baixa refletividade utilizando o OTDR

O arranjo experimental tratado nesse trabalho (figura 4.1) inclui um OTDR comercial, um filtro passa banda ajustável, uma conexão em série de vários grupos de redes de Bragg FBG1 ... FBG_n, cada qual com propriedades espectrais similares, em particular com os mesmos comprimentos de onda de Bragg nominais $\lambda_1 \dots \lambda_n$.

O OTDR como fonte de luz, utiliza lasers Fabry-Perot pulsados. Esses lasers possuem largura de banda entre 10-20 nm, a qual corresponde a algumas dezenas de modos longitudinais (figura 4.2). Os receptores ópticos destes OTDR comerciais possuem uma alta sensibilidade e grande faixa dinâmica. Se um filtro passa banda transmitindo apenas alguns modos deste laser é introduzido entre o OTDR e a fibra sob interrogação, uma significativa redução da intensidade da luz refletida irá ocorrer, por outro lado, se uma rede de Bragg com seu pico de reflexão coincidir com o espectro de transmissão do filtro, a rede irá refletir um sinal de fácil detecção, mesmo que a rede possua uma pequena refletividade de pico.

Para interrogar uma determinada família de comprimentos de onda é necessário que o filtro seja ajustado para que seja transmitida luz apenas no comprimento de onda de interesse. Para um espectro fixo do filtro, a potência refletida dependerá da posição espectral de pico do sensor. Como as redes utilizadas podem ser de baixa refletividade, outros sensores no mesmo comprimento de onda podem ser acessados ao longo da fibra em outros tempos de atraso correspondendo a sua posição espacial ao longo da fibra.

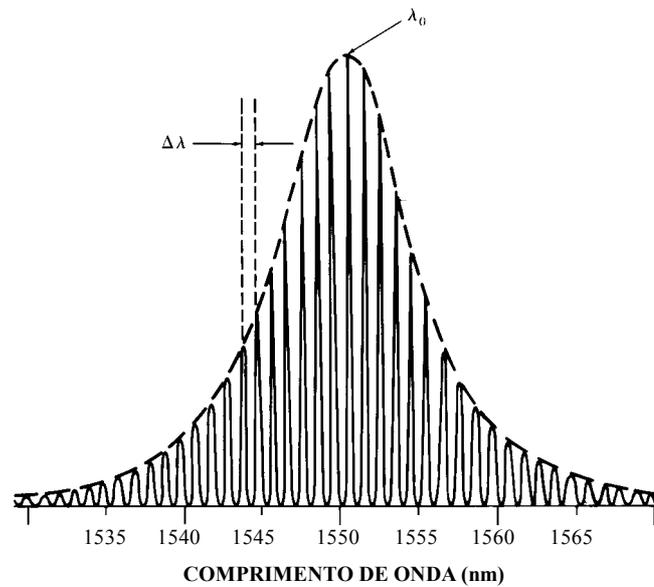


Figura 4.2 - Espectro do laser Fabry-Perot

O trabalho apresentou resultados para um sistema com 20 redes de Bragg dispostas em 4 grupos com 5 redes cada. O espaçamento entre grupos consecutivos de redes foi de 20 metros, enquanto o espaçamento entre redes do mesmo grupo era de 1 m. As cinco redes de cada grupo tinham posições espectrais separadas de 7 nm, de 1527 (FBG1) a 1555 nm (FBG5). O pico de reflexão individual de cada rede era de aproximadamente 0.8%. Todas as redes de Bragg foram projetadas para ter um FWHM de 1.5 nm. Para obter esta banda espectral, cada rede foi projetada para ter um FWHM de 0.5 nm com os comprimentos de onda de Bragg variando em uma faixa de 0.4 nm.

Para demonstrar a capacidade de discriminação tanto temporal quanto espectral de cada sensor, foi escolhida a quarta rede do segundo grupo (FBG4)₂, com comprimento de onda de Bragg de 1548 nm como sensor de prova.

Primeiramente, o efeito da deformação no comprimento de onda de Bragg do sensor escolhido foi verificado e calibrado pela medição do seu deslocamento espectral através de diferentes tensões aplicadas, utilizando um analisador de espectro óptico.

Após uma avaliação espectral, o OTDR e o filtro passa banda ajustável foram conectados a fibra contendo os grupos de sensores. O comprimento de onda de pico do filtro foi ajustado para maximizar a reflexão da família de redes com comprimento de onda em 1548 nm (FBG4)_{1...4}.

A tensão mecânica aplicada para realizar a calibração de deformação durante as medições espectrais, foi aplicada novamente ao sensor de prova selecionado (FBG4)₂ no comprimento de onda de Bragg de 1548 nm do segundo grupo. Foi verificado que enquanto os sinais refletidos por outras redes que não foram submetidas à deformação permanecessem constantes, o sinal refletido pela rede de prova decrescia com o aumento da deformação aplicada ao sensor devido ao deslocamento no comprimento de onda de Bragg. Nenhuma interferência entre redes da mesma família de comprimentos de onda foi detectada. Quando o filtro passa banda era ajustado para interrogar a família de comprimentos de onda vizinha, com o comprimento de Bragg de 1555 nm (FBG5), e o procedimento de aplicação de tensão no sensor de prova (FBG4)₂ era repetido, nenhuma mudança na potência refletida foi verificada, confirmando que estava sendo analisada uma outra família de redes

A estabilidade do sistema foi testada mantendo um nível de deformação constante no sensor de prova com o OTDR realizando médias de 5 minutos. Foi verificada uma incerteza de ± 0.07 dB correspondendo a uma resolução de $\pm 0.6\%$ do fundo de escala de extensão de medida de deformação.

No entanto, a configuração apresentada encontra alguns problemas. Para realizar a interrogação das diferentes famílias de comprimentos de onda, o filtro deve ter um ajuste específico para o comprimento de onda desejado. Para realizar o ajuste do filtro é necessário realizar uma avaliação espectral para ajustar o comprimento de onda de pico do filtro para maximizar a reflexão da família de comprimentos de onda. Este procedimento não é muito prático e modificar o ajuste do filtro sempre que for necessário interrogar uma diferente família de comprimentos de onda não é interessante, pois o menor descasamento do filtro com o comprimento de onda dos sensores pode prejudicar a repetibilidade das medições. Além disso, não é possível realizar a interrogação de diferentes famílias de comprimentos de onda simultaneamente.

Outro problema que deve ser levado em conta é a variação de potência dos modos do laser e a descontinuidade da distribuição de intensidades destes modos, causada pelas condições de medição espectral não apropriadas, sem sincronização com a taxa de pulso do laser. Uma possível configuração com uma solução para estes problemas é mostrada a seguir.

4.1. Modelo teórico do sistema implantado

Para solucionar os problemas encontrados na configuração do sistema descrito anteriormente deve-se considerar o esquema da figura 4.3. O arranjo deste sistema consiste de uma fonte pulsada de banda larga com largura de banda suficiente para cobrir toda a faixa espectral dos sensores, um circulador óptico, uma conexão em série de vários grupos de redes de Bragg FBG1 ... FBG_n, cada qual com propriedades espectrais similares, em particular com os mesmos comprimentos de onda de Bragg nominais $\lambda_1 \dots \lambda_n$, um filtro DWDM e fotodetectores.

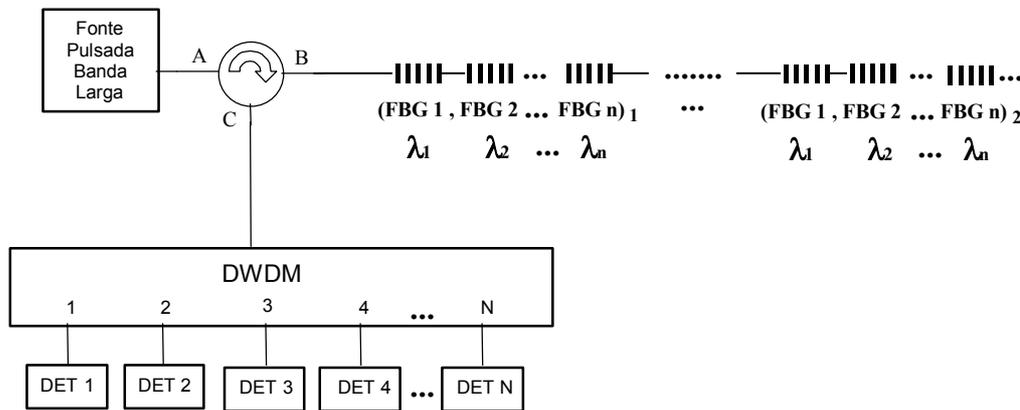


Figura 4.3 - Sistema de interrogação de grupos de sensores de baixa refletividade dispostos em série

A luz gerada pela fonte pulsada de banda larga segue para um circulador óptico. O circulador óptico dá seqüência ao sinal que passa através da porta A para a porta B, e isola o sinal de possíveis interferências geradas por outras portas. A luz agora segue para a conexão em série dos vários grupos de redes de Bragg FBG1 ... FBG_n. A luz é refletida pelos sensores e segue da porta B para a porta C do circulador óptico. A figura 4.4 mostra um exemplo do espectro de reflexão de um arranjo de sensores dispostos em cinco grupos (cinco famílias de comprimentos de onda).

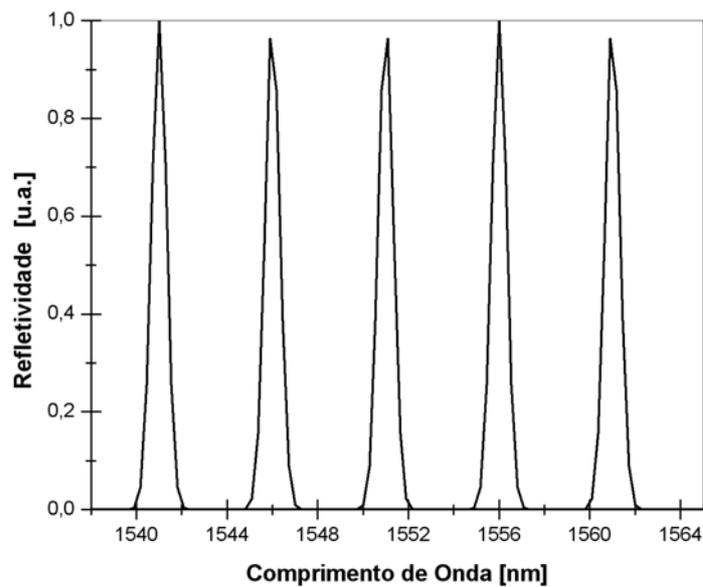


Figura 4.4 - Exemplo com os espectros de reflexão de um grupo composto por cinco sensores com comprimentos de onda distintos

Neste sistema, para realizar a separação por comprimento de onda dos pulsos refletidos pelos diversos sensores, é utilizado um filtro DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). O DWDM é um dispositivo composto por vários filtros fixos centrados em diferentes comprimentos de onda.

A detecção é realizada utilizando a técnica de demodulação com dois filtros fixos apresentada na seção 3.4. Para cada família de comprimentos de onda são alocados um par de canais do DWDM.

Na figura 4.5 (a) é mostrada a posição espectral do sensor em relação aos filtros do DWDM alocados para uma família de comprimentos de onda, em uma situação onde o sensor está em repouso. Na figura 4.5 (b) o comprimento de onda de Bragg do sensor é deslocado, diminuindo a área de superposição dos espectros do sensor e do filtro referente ao canal 1, enquanto a área de superposição dos espectros do sensor e do filtro referente ao canal 2 aumenta.

A luz que atravessa cada canal do DWDM é detectada por um fotodetector. Será detectado um sinal proporcional a superposição do espectro de reflexão do sensor e de transmissão do filtro. Para cada pulso de luz gerado pela fonte de banda larga, cada detector receberá um número de pulsos correspondente

ao número de sensores de cada família de comprimentos de onda que atravessará seu canal correspondente no DWDM.

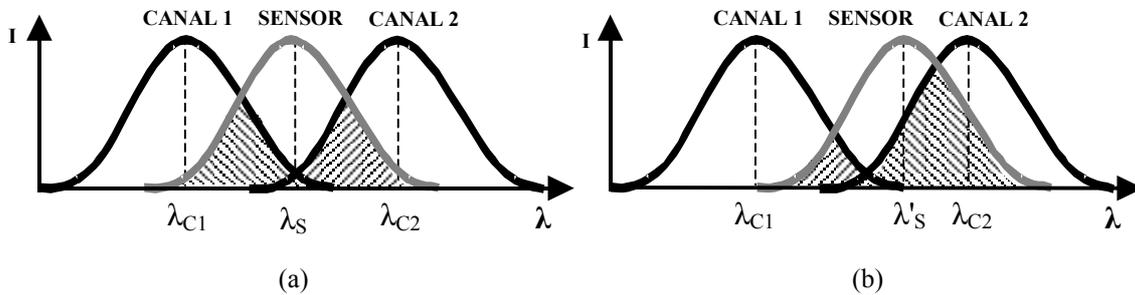


Figura 4.5 - Espectro do sensor e de dois filtros fixos do DWDM: (a) sensor em estado inicial (b) sensor sendo deformado

A figura 4.6 mostra um exemplo com os pulsos detectados por dois detectores correspondentes a um par de canais do DWDM e a reflexão de uma família de comprimentos de onda de um pulso gerado pela fonte.

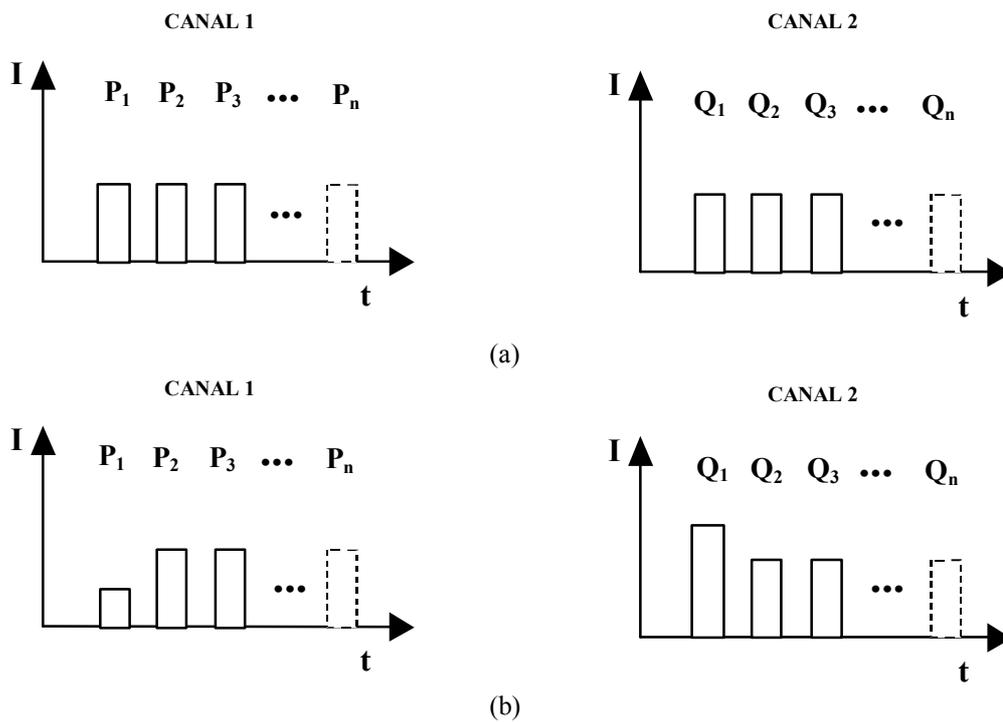


Figura 4.6 - Pulsos referentes às reflexões de sensores da mesma família de comprimentos de onda sendo detectados utilizando um par de canais de filtros fixos do DWDM: (a) sensores sem deformação; (b) o primeiro sensor da família sendo deformado: o pulso correspondente a este sensor diminui no canal 1 e aumenta no canal 2.

Na configuração deste sistema é utilizado um detector para cada canal do DWDM. Na figura 4.6 (a), pode-se verificar a seqüência de pulsos recebida pelos detectores em uma situação onde nenhum dos sensores sofre deformação. Na figura 4.6 (b), o primeiro sensor da família de comprimentos de onda sofre deformação. Conseqüentemente a leitura do primeiro detector referente ao canal 1 do DWDM diminui, enquanto a leitura referente ao canal 2 feita pelo outro detector aumenta.

Para realizar a leitura da seqüência de pulsos detectados pode-se conectar aos detectores um osciloscópio. Assim os sinais detectados podem ser diferenciados no domínio do tempo.

A utilização do filtro DWDM neste sistema resolve a limitação de medidas dinâmicas presentes no sistema do artigo da referência [30]. Enquanto neste sistema é realizado um processo de filtragem de comprimentos de onda com vários canais operando simultaneamente, o que significa acessar simultaneamente informações referentes a todos os sensores, o sistema da referência [30] desempenha, a cada momento, uma atuação semelhante à de apenas um dos canais do DWDM.