

Impacto da Alocação do Canal de Controle em EDFAs com Controle Automático de Ganho Totalmente Óptico

Júlio C. R. F. de Oliveira, João B. Rosolem e Aldário C. Bordonalli

Resumo—Neste trabalho, analisa-se experimentalmente o impacto da alocação do canal de controle de um EDFA com controle automático de ganho totalmente óptico nas características de ganho do amplificador e no desempenho de um sistema WDM com oito canais operando a 2,5 Gb/s.

Palavras-Chave—EDFA, redes ópticas, controle automático de ganho totalmente óptico.

Abstract—In this work, the consequences of the choice of the control channel wavelength of an all-optical gain controlled EDFA are experimentally analyzed in terms of the gain response of the amplifier and the performance of a 2.5 Gb/s 8-channel WDM system.

Index Terms—EDFA, optical networks, all-optical automatic gain controlled EDFA.

I. INTRODUÇÃO

A introdução de serviços banda larga e o crescimento e a difusão da Internet elevaram substancialmente a demanda pelo tráfego de informações, exigindo uma maior capacidade das redes de transmissão. Neste contexto, a tecnologia de multiplexação por divisão em comprimento de onda (WDM) apareceu como uma solução para o aumento do tráfego, habilitando os enlaces ópticos a operar em taxas de transmissão agregadas acima de alguns Tb/s. Com o aumento do tráfego nas redes ópticas, surgiu também a necessidade de desenvolvimento de técnicas adequadas para o gerenciamento deste tráfego, tornando-se necessário realizar o roteamento e a comutação com níveis de granularidade adaptados às altas taxas de transmissão impostas ao sistema. Como consequência destas necessidades, as redes ópticas têm gradualmente migrado para redes onde o roteamento e a comutação são realizados no próprio domínio óptico, dispensando o processamento desnecessário que ocorre em nós onde estas funcionalidades

J. C. R. F. Oliveira e J. B. Rosolem, fazem parte da Fundação CPqD, Rodovia Campinas-Mogi Mirim, km 118,5, Campinas, SP, 13086-902, Brasil, e-mails: julioc@cpqd.com.br e rosolem@cpqd.com.br. A. C. Bordonalli, compõe o Departamento de Microonda e Óptica, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6101, 13083-970, Campinas, SP, Brasil, e-mail: aldario@dmo.fee.unicamp.br; Este trabalho foi financiado pelo FUNTTEL através da PA NASCO (Novos Amplificadores para Sistemas de Comunicações Ópticas) e pela CAPES.

são executadas eletronicamente, após conversão optoeletrônica. Assim, diversas alterações em diferentes camadas das redes ópticas foram implementadas para as adaptar aos novos requisitos exigidos pela rede totalmente óptica.

O primeiro passo em direção a uma rede totalmente óptica foi dado com a introdução do OADM (*Optical Add/Drop Multiplexer*) e do OXC (*Optical Crossconnect*), dispositivos esses responsáveis pela comutação e roteamento dinâmicos dos comprimentos de onda. A introdução destes dispositivos coloca a rede óptica em um nível mais elevado de reconfigurabilidade, possibilitando-se a adição ou remoção de canais (OADM) ou o desvio destes (OXC) em cada nó. Desta maneira, o número de canais (comprimentos de onda) que se propaga pela fibra pode mudar aleatoriamente, provocando flutuações também aleatórias na potência de entrada dos amplificadores ópticos possivelmente localizados entre nós.

Quando canais são inseridos ou retirados, seja por reconfigurações ou falhas na rede, a potência na entrada dos amplificadores à fibra dopada com Érbio (EDFAs) varia, gerando alterações sensíveis no ganho do amplificador, que opera, normalmente, em regime saturado. Portanto, as oscilações de ganho com o nível de potência óptica na entrada do amplificador tornam-se críticas numa rede óptica onde há comutação e roteamento de comprimento de onda, uma vez que a recepção e a interpretação das mensagens em altas taxas podem ser comprometidas devido ao excesso, falta ou oscilação de potência óptica dos canais detectados por um nó. No intuito de evitar variações de ganho nos EDFAs utilizados em redes totalmente ópticas, a utilização de técnicas de controle automático de ganho se tornou necessária [1].

Neste trabalho, analisam-se experimentalmente as consequências da variação do comprimento de onda do canal de controle de um EDFA comercial com controle automático de ganho totalmente óptico em relação às características de ganho do amplificador durante a adição e retirada de canais e ao desempenho de um sistema WDM com oito canais operando a uma taxa de transmissão de 2,5 Gb/s.

II. CONTROLE AUTOMÁTICO DE GANHO TOTALMENTE ÓPTICO

Várias são técnicas de controle de ganho para o EDFA, onde se destacam as técnicas de controle totalmente óptico [2-4], eletrônico [5-6] e híbrido [7]. Dentre estas, a técnica de controle automático de ganho totalmente óptico baseada em um anel recirculante [2-8] apresenta certas vantagens, tais como simplicidade estrutural, baixo custo e operação com-

pleta no domínio óptico. O ganho de um EDFA sem controle automático de ganho mostra uma transição dinâmica de um nível de ganho para outro em resposta à variação de potência em sua entrada. No caso de um EDFA com controle automático de ganho totalmente óptico, o método de controle é projetado para que um canal de controle seja realimentado no amplificador e absorva as oscilações de ganho provocadas pelas variações da potência na entrada do EDFA, mantendo o ganho dos outros canais transmitidos praticamente constante.

A Fig. 1 mostra o diagrama esquemático de um EDFA que possui controle automático de ganho totalmente óptico. A técnica é baseada em uma realimentação positiva, onde uma parte do sinal de saída de um EDFA saturado passa por um filtro óptico sintonizável e um atenuador variável antes de ser novamente acoplada à entrada do amplificador pelo acoplador 1. Este sinal, juntamente com os canais transmitidos, é então amplificado pelo EDFA e mais uma vez amostrado pelo acoplador 2 para um novo ciclo de realimentação. Após vários ciclos, o sinal realimentado (canal de controle) adquire potência suficiente para suplantar as perdas e começar a competir com os canais transmitidos pelo ganho do EDFA. Assim, para um determinado nível de atenuação da realimentação óptica, o canal de controle se torna dominante em termos de potência óptica e, devido à saturação do amplificador, passa a absorver as oscilações de ganho provocadas pelas variações da potência óptica na entrada do EDFA, mantendo praticamente invariável o ganho dos outros canais. Por fim, a escolha ou a sintonia do comprimento de onda de operação do canal de controle é feita através do filtro óptico sintonizável, a partir da seleção de parte do ruído de emissão espontânea amplificado (ASE) do EDFA.

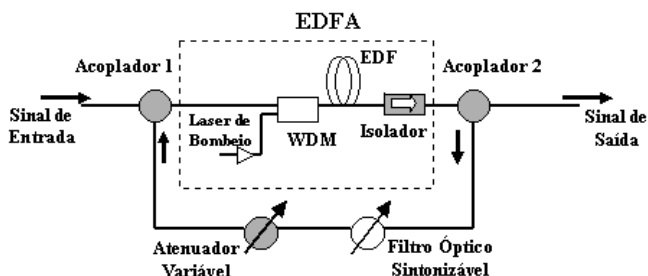


Fig. 1. Diagrama esquemático de um EDFA sob controle automático de ganho totalmente óptico. EDF: fibra dopada com Érbio.

III. INFLUÊNCIA DA ALOCAÇÃO DO CANAL DE CONTROLE NO DESEMPENHO DO EDFA

Como a técnica de controle automático de ganho totalmente óptico se baseia na troca de potência entre o canal de controle e os canais transmitidos, qualquer fator que possa alterar as condições nas quais esta troca de potência acontece possui um papel fundamental no desempenho e, consequentemente, no projeto do EDFA controlado. Assim, da mesma forma que o valor da atenuação do laço de realimentação óptica discutido em [9], a alocação do canal de controle também apresenta fundamental importância no projeto de EDFAs com controle automático de ganho totalmente óptico.

Para analisar a influência que a alocação do canal de controle tem sobre o desempenho de um EDFA opticamente con-

trolado quando este é submetido a uma condição de variações bruscas de sua potência óptica de entrada através da adição e remoção de canais em um sistema WDM, o arranjo experimental representado pelo diagrama de blocos da Fig. 2 foi implementado. O transmissor (Tx) é formado por 8 lasers DFB espaçados de, aproximadamente, 3 nm e localizados entre 1538 e 1559 nm (banda C). Um gerador de funções foi utilizado para alimentar um modulador óptico externo com sinais de onda quadrada de períodos 1 e 2 ms, no intuito de simular situações extremas de inserção e retirada de 7 dos 8 canais do transmissor no sistema, provocando, assim, as variações bruscas na potência total de entrada do EDFA. Deve-se observar que estes sete canais são sobrepostos na saída de Tx por um multiplexador (Mux 7:1) antes de serem acoplados ao modulador externo. A razão de extinção entre as condições de inserção e retirada de canais, provocada pela modulação dos sinais ópticos em onda quadrada, foi maior que 25 dB. Na seqüência, um primeiro acoplador direcional 90%-10% (A1) combina todos os oito sinais ópticos provenientes de Tx e os direciona ao acoplador de entrada (A2) do EDFA com controle automático de ganho totalmente óptico (EDFA-CAGTO). Após passar pelo EDFA comercial da marca Opriel, os sinais dos oito canais podem ser observados ora em um analisador de espectro óptico (AEO), ora em um osciloscópio (Osc). Na verdade, para este último caso, necessita-se a filtragem dos sinais no filtro óptico 2 (FO2), localizado a frente do fotodetector (PD), para a seleção e análise de operação apenas do canal de teste, chamado de canal sobrevivente (λ_s). Os acopladores A2 e A3, também do tipo 90%-10%, o filtro óptico 1 (FO1) e o atenuador variável (At), formam a realimentação óptica do EDFA.

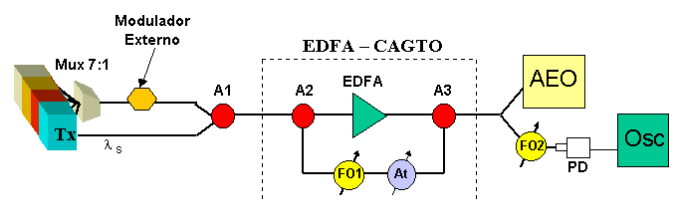


Fig. 2. Arranjo experimental utilizado para análise do EDFA com controle automático de ganho totalmente óptico (EDFA-CAGTO).

A Fig. 3 mostra uma comparação entre os resultados obtidos no osciloscópio para o sinal fotodetectado do canal sobrevivente, durante a inserção e retirada de sete dos oito canais do sistema, quando o comprimento de onda do canal de controle é de (1) 1535 nm, (2) 1547,7 nm, (3) 1554 nm e (4) 1557 nm. Deve-se ressaltar que o comportamento da amplitude de medida do canal sobrevivente se relaciona diretamente à resposta do ganho do EDFA controlado quando este é submetido a variações de potência em sua entrada e a diferentes comprimentos de onda do canal de controle. A potência na entrada do EDFA foi ajustada em -20 dBm/canal e o canal oito (1558,5 nm) foi escolhido como canal sobrevivente. A atenuação da malha de realimentação óptica foi de 10 dB. Para estas medidas, a inserção e a retirada de canais aconteceram a cada 500 μ s (período da onda quadrada de 1 ms). A Fig. 3 mostra que a amplitude do canal sobrevivente na saída

do EDFA-CAGTO se comporta de maneira distinta para diferentes valores do comprimento de onda do canal de controle, evidenciando, de forma também distinta, os efeitos de *spectral hole burning* (SHB) (degraus de variação da amplitude) [3] e das oscilações de relaxação (oscilações periódicas amortecidas da amplitude) [3]. Com o canal de controle operando em 1535 nm (1), a variação na amplitude do sinal do canal sobrevivente é ainda acentuada, porém, com a ausência de grandes oscilações periódicas. Já quando o canal de controle é posicionado em 1547,7 nm (2), observa-se uma diminuição do degrau na amplitude do canal sobrevivente e um aumento das oscilações de relaxação. Aparentemente, a amplitude das oscilações de relaxação permanece inalterada para o canal de controle em 1554 nm (3), mesmo com uma diminuição ainda maior do degrau na amplitude do canal sobrevivente. No entanto, o efeito destas oscilações para este comprimento de onda do canal de controle é maior que aquela para o caso anterior, pois, a partir deste comprimento de onda, o canal de controle passa a competir mais fortemente com o canal sobrevivente pelo ganho do EDFA, diminuindo a potência do canal sobrevivente no receptor. Finalmente, com o comprimento de onda do canal de controle em 1557 nm (4), próximo daquele do canal sobrevivente, tanto o degrau quanto as oscilações de relaxação voltam a aumentar e influenciar o canal sobrevivente de forma mais acentuada. Este último resultado contraria conclusões baseadas em simulações previamente publicadas [3], que afirmam que o efeito de SHB deveria ser minimizado à medida que os canais de controle e sobrevivente se aproximassem.

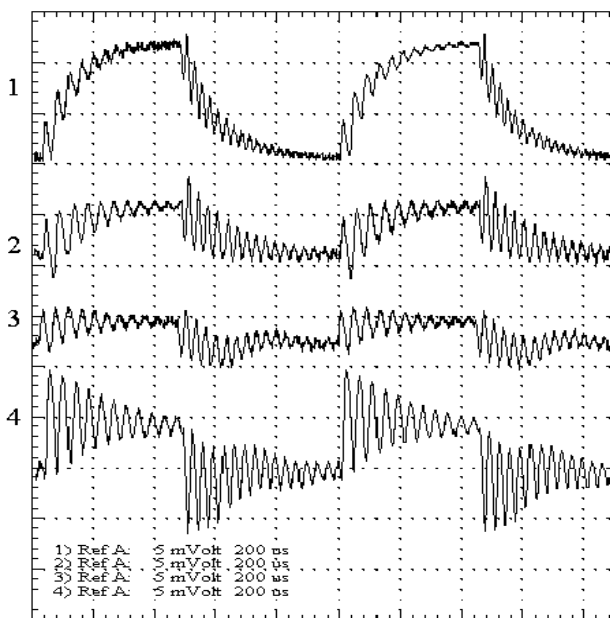


Fig. 3. Formas de onda do sinal fotodetectado do canal sobrevivente para quatro posições do canal de controle, (1) 1535 nm, (2) 1547,7 nm, (3) 1554 nm e (4) 1557 nm, com inserção e retirada de canais a cada 500 μ s.

Conforme o comprimento de onda do canal de controle aumenta a partir de 1535 nm, observa-se na Fig. 3 que as oscilações de relaxação começam a apresentar uma maior duração. Por exemplo, no caso do canal de controle em 1557 nm, verifica-se a amplitude destas oscilações ainda é considerável

quando os canais são novamente inseridos ou retirados. A Fig. 4 mostra as medidas da Fig. 3 considerando um intervalo entre a inserção e a remoção dos canais de 1 ms. De uma maneira geral, pode-se concluir que a duração das oscilações de relaxação aumenta com a proximidade entre os canais de controle e sobrevivente.

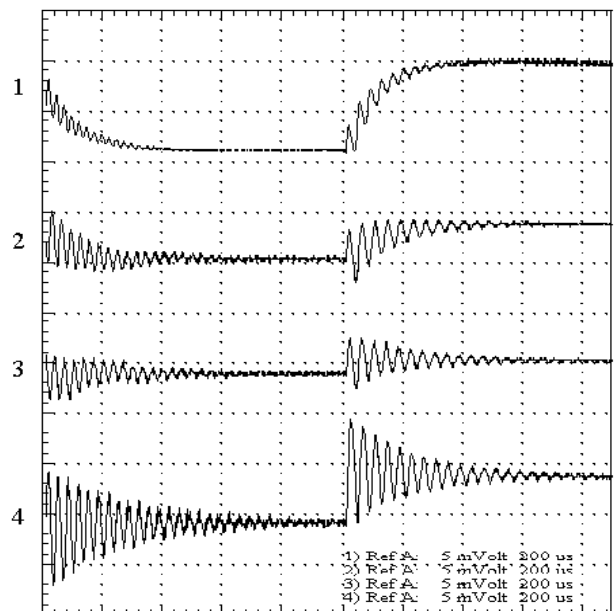


Fig. 4. Formas de onda do sinal fotodetectado do canal sobrevivente para quatro posições do canal de controle, (1) 1535 nm, (2) 1547,7 nm, (3) 1554 nm e (4) 1557 nm, com inserção e retirada de canais a cada 1 ms.

Analisando-se as Fig. 3 e 4, verifica-se que a alocação do canal de controle é um importante parâmetro de projeto para EDFAs com ganho controlado pela técnica totalmente óptica, pois determina o comportamento dos níveis de potência de saída dos canais sendo amplificados. No caso particular do experimento realizado, observou-se que variações bruscas da potência de entrada do EDFA controlado causam respostas de ganho distintas para o amplificador quando o comprimento de onda do canal de controle é variado. Quanto maior a proximidade entre o canal de controle e o canal sobrevivente, verificou-se que as oscilações de relaxação tendem a ser mais duradouras. Os resultados experimentais sugerem que é possível se determinar um comprimento de onda otimizado para o canal de controle, onde se atinge um grau de comprometimento entre as variações e oscilações de ganho do amplificador. Conclusões mais específicas sobre este ponto serão apresentadas após a análise sistêmica da próxima seção.

IV. ANÁLISE SISTÊMICA DA ALOCAÇÃO DO CANAL DE CONTROLE

Na seção anterior, observou-se que a alocação do canal de controle influencia diretamente o desempenho de ganho de um EDFA com controle de ganho totalmente óptico. Dependendo de como a potência óptica é acoplada à entrada do EDFA, o sinal do canal sobrevivente apresentou oscilações abruptas e periódicas distintas em seu nível de potência na

saída do amplificador, conforme o comprimento de onda do canal de controle era variado. Conseqüentemente, para completar a análise, deve-se também avaliar qual o impacto que a alocação do comprimento de onda do sinal de controle de um EDFA com controle de ganho totalmente óptico tem em um sistema que utiliza tal amplificador entre transmissor e receptor. A Fig 5 ilustra o diagrama de blocos do arranjo da Fig. 2 modificado para este experimento, onde o gerador de onda quadrada foi substituído por um gerador de padrões com uma seqüência binária pseudo-aleatória de $2^{23}-1$, que modula cada um dos oito canais ópticos de saída do transmissor a uma taxa de 2,5 Gb/s, e a associação fotodetector-osciloscópio por um medidor de taxa de erro de bit (BER). O canal 8 (1558,5 nm), tomado como canal sobrevivente, foi modulado diretamente pelo gerador de padrões. Os outros sete canais foram modulados externamente pelo mesmo gerador.

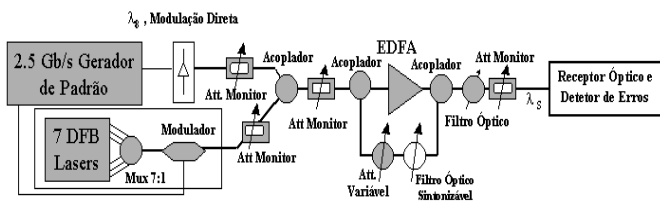


Fig. 5. Arranjo experimental utilizado na análise sistêmica do EDFA com controle automático de ganho totalmente óptico.

A Fig. 6 mostra a variação de sensibilidade do enlace para o canal sobrevivente, tendo o comprimento de onda do canal de controle em 1535 nm, 1547,7 nm, 1554 nm e 1557 nm como parâmetro. A atenuação do laço foi de 10 dB. A potência óptica dos canais foi ajustada em -20 dBm/canal e todos eles foram simultaneamente amplificados pelo EDFA,

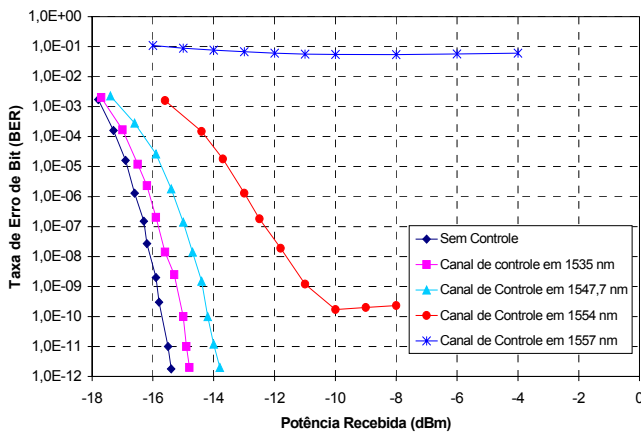


Fig. 6. Sensibilidade do enlace que possui um EDFA com controle automático de ganho totalmente óptico, tendo o comprimento de onda do canal sobrevivente como parâmetro.

O canal sobrevivente sofre um efeito semelhante àquele da adição ou remoção de canais, uma vez que todos os outros são modulados simultaneamente por um mesmo modulador externo situado a uma distância de A1 que permite a descorrelação com a modulação direta do sinal do laser 8. Pode-se verificar na Fig. 6, através da degradação da BER, que um

acréscimo no comprimento de onda do canal de controle causa um acréscimo de penalidade ao sistema WDM. Para comprimentos de onda do canal de controle alocados até 1547,7 nm, o sistema com EDFA consegue ainda manter níveis aceitáveis de BER para baixos valores de potência recebida. Contudo, quando os comprimentos de onda do canal de controle ultrapassam 1554 nm, a penalidade cresce rapidamente a ponto de impedir que níveis toleráveis de BER para sistemas de comunicações ópticas (BER de, no mínimo, 10^{-9}) sejam atingidos, mesmo com o aumento do nível de potência no receptor. De fato, quando o canal de controle atinge 1557 nm (comprimento de onda do canal de controle mais próximo do canal sobrevivente), a Fig. 6 mostra que o sincronismo do sistema é completamente perdido.

Para ilustrar as distorções causadas pela variação da posição do canal de controle de 1535 nm para 1557 nm, a Fig. 7 apresenta os bits detectados para o canal sobrevivente. Por limitações do osciloscópio digital utilizado, a taxa de transmissão foi de 52 Mb/s.

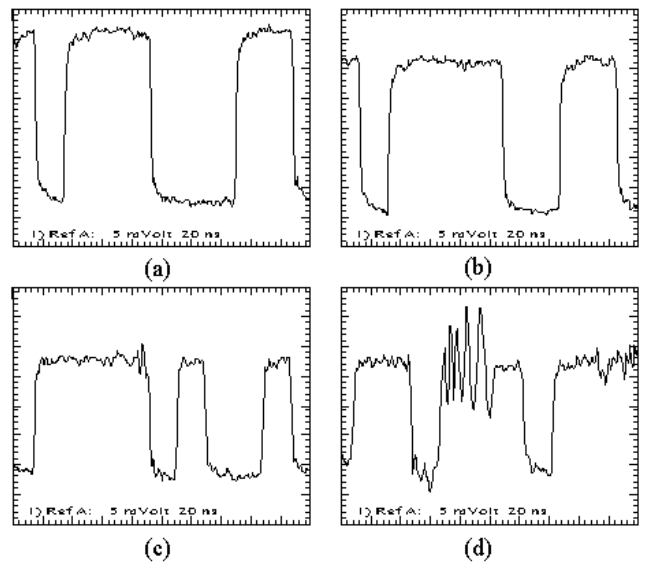


Fig. 7. Bits detectados para o canal sobrevivente quando o canal de controle opera em (a) 1535 nm, (b) 1547,7 nm, (c) 1554 nm e (d) 1557 nm.

Com o canal de controle operando em 1535 nm e 1547,7 nm, os bits recebidos praticamente não apresentaram deformações. Porém, as amplitudes dos bits recebidos com o canal de controle em 1547,7 nm foram menores que às dos bits recebidos em 1535 nm. A tendência de redução das amplitudes dos bits com o aumento do comprimento de onda do canal de controle se confirmou quando este foi alocado em 1554 nm. Neste mesmo comprimento de onda, verificou-se também que os bits recebidos começavam a apresentar distorções aparentes. Com o canal de controle operando em 1557 nm, observou-se a presença de fortes oscilações nos bits recebidos, que distorcem e podem comprometer a correta decisão do receptor. O comportamento observado concorda com as medidas de sensibilidade apresentadas na Fig. 6.

A Fig. 8 mostra os diagramas de olho do canal sobrevivente em função de cada um dos quatro comprimentos de onda do canal de controle sob análise, para operação em 2,5 Gb/s

por canal. Devido à potência do canal sobrevivente na saída do EDFA possuir um valor acima de 0 dBm independentemente da posição do canal de controle, necessitou-se ajustar a potência óptica no receptor para evitar a saturação de seu fotodetector. Desta maneira, com o canal de controle em 1535 nm, a potência recebida pelo receptor foi ajustada através do atenuador localizado após o filtro óptico 2 de forma a maximizar a abertura do diagrama de olho da Fig. 8 (a). O ajuste da atenuação foi então mantido para servir de referência para as demais medidas. Com o canal de controle posicionado em 1547,7 nm, 1554 nm e 1557 nm, as inserções de penalidade em relação à referência foram de 0,7, 1,3 e 1,1 dB, respectivamente. Os diagramas de olho associados a estas posições do canal de controle estão ilustrados nas Fig. 8 (b), (c) e (d). Como se pode observar, o diagrama apresenta uma maior abertura quando o canal de controle se situa em 1535 nm. A maior proximidade entre os canais de controle e sobrevivente causa a diminuição da abertura do olho até uma total perda de sincronismo com o canal de controle em 1557 nm.

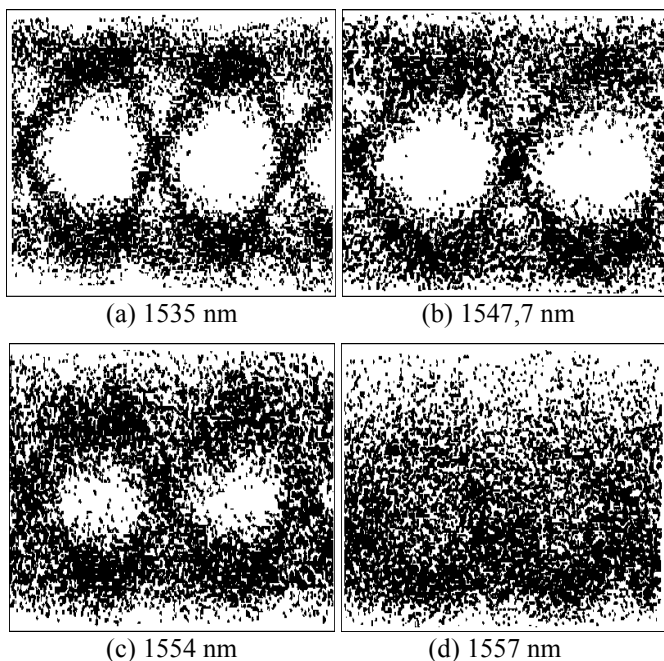


Fig. 8. Diagramas de olho do canal sobrevivente quando o canal de controle opera em (a) 1535 nm, (b) 1547,7 nm, (c) 1554 nm e (d) 1557 nm.

Um fato interessante observado nos resultados experimentais é que a penalidade de potência obtida com o canal de controle posicionado em 1557 nm é menor que aquela quando o mesmo se situa em 1554 nm. Numa primeira análise, isto contrariaria o esperado, uma vez que o olho é mais degenerado quando o canal de controle opera em 1557 nm. Porém, uma análise mais detalhada das Fig. 3 e 4 mostra que a presença das oscilações de relaxação é mais intensa quando o canal de controle está localizado em 1557 nm. Desta forma, mesmo permitindo uma menor penalidade em potência para o canal sobrevivente, o desempenho da transmissão com o canal de controle situado em 1557 nm se torna comprometido pela considerável amplitude das oscilações induzidas na potência do canal sobrevivente.

Dada a importância da alocação do canal de controle para a operação do EDFA com controle automático de ganho totalmente evidenciada pelas medidas anteriores, um segundo experimento sistemático procurou investigar mais detalhadamente o comportamento da penalidade de potência imposta ao canal sobrevivente pelo aumento da proximidade entre o mesmo e o canal de controle. Utilizando-se o mesmo arranjo experimental representado pela Fig. 5, as Fig. 9 e 10 mostram as medidas da BER e da potência recebida pelo receptor, respectivamente, em função do comprimento de onda do canal de controle. Neste caso, o comprimento de onda do canal de controle foi variado em passos de 1 nm entre 1532 e 1562 nm, cobrindo toda a banda C, enquanto que o nível de potência recebida pelo receptor era ajustado para produzir, quando possível, uma BER de 10^{-9} para cada medida.

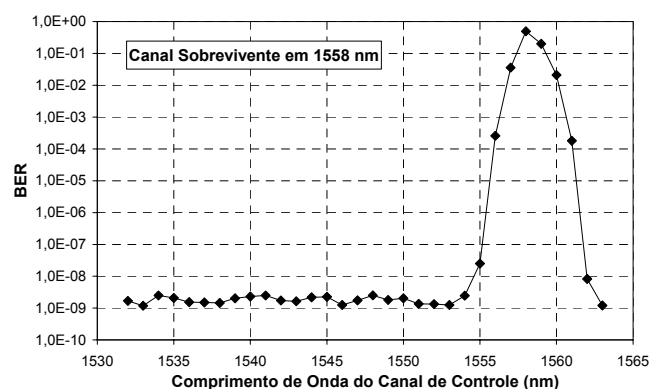


Fig. 9. BER do canal sobrevivente em função de comprimentos de onda do canal de controle na banda C.

A Fig. 9 mostra que a BER para o canal sobrevivente se mantém praticamente próxima a 10^{-9} enquanto o comprimento de onda do canal de controle se localiza abaixo de 1551 nm. Após este comprimento de onda, a BER do canal sobrevivente amplificado pelo EDFA controlado se deteriora rapidamente, demonstrando uma perda total de sincronismo quando o canal de controle situa-se entre 1557 nm e 1560 nm, ou seja, comprimentos de onda muito próximos daquele do canal sobrevivente. Este comportamento é causado pela forte influência que o canal de controle passa a ter no mecanismo de ganho do EDFA, absorvendo portadores que poderiam providenciar ganho ao canal sobrevivente e provocando oscilações de potência durante os transitórios dos outros canais sendo transmitidos. Para comprimentos de onda acima de 1560 nm, o canal de controle volta a se afastar de forma considerável do canal sobrevivente e a BER volta a cair.

A Fig. 10 exibe os níveis de potência no receptor associados às medidas de BER da Fig. 9. Como pode ser observado, para comprimentos de onda do canal de controle abaixo de 1550 nm, a inserção de penalidade em potência se mantém inferior a 1 dB. Como esperado, a partir de 1551 nm, a penalidade cresce acentuadamente. Em particular, para comprimentos de onda do canal de controle entre 1555 e 1561 nm, as próprias limitações experimentais advindas das condições de operação do sistema não permitiram que a potência do canal sobrevivente no receptor pudesse ser maior que os valores medidos de -9 dBm, impedindo que a BER do sistema

pudesse ser mantida em 10^{-9} . A Fig. 9 mostra que nesta mesma faixa de comprimentos de onda, para este mesmo nível de potência, a BER apresenta um comportamento distinto durante a aproximação e o afastamento do canal de controle em relação ao canal sobrevivente. A variação do valor da BER para um mesmo nível de potência recebida pelo receptor é devida ao aumento significativo da amplitude das oscilações de relaxação, que passam a degradar significativamente a forma do bit recebido e dificultar, assim, a sua correta recepção.

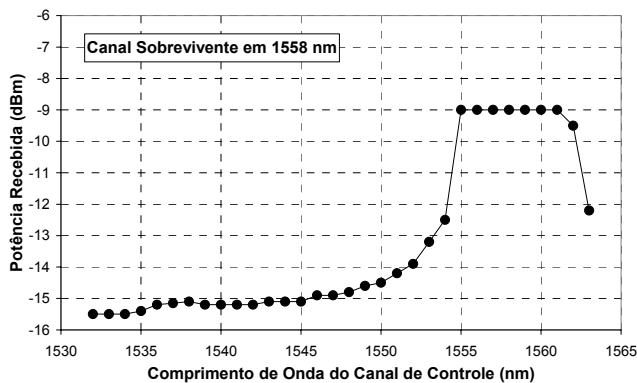


Fig. 10. Potência do canal sobrevivente em função de comprimentos de onda do canal de controle na banda C.

Com base nas Fig. 9 e 10, para o EDFA utilizado e para as condições de realização dos experimentos, pode-se concluir que o canal de controle deve ser alocado a uma distância mínima de 8 nm do canal sobrevivente, garantindo-se com isto penalidades inferiores a 1 dB e baixa degradação da BER.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, a influência da variação do comprimento de onda do canal de controle de um EDFA comercial submetido a um controle automático de ganho totalmente óptico foi experimentalmente observada em duas situações distintas. Na primeira, analisou-se a resposta das características de ganho do amplificador controlado em relação a quatro valores de comprimento de onda para o canal de controle, quando até oito canais WDM eram acoplados a sua entrada. Na segunda, investigou-se, através de medidas da taxa de erro de bits no receptor, o impacto que diferentes valores de comprimentos de onda para o canal de controle do EDFA-CAGTO exercia no desempenho de um sistema WDM com oito canais individualmente modulados a uma taxa de 2,5 Gb/s.

Ao se empregar a técnica de controle automático de ganho totalmente óptico, um cuidado especial deve ser tomado na

escolha do comprimento de onda do canal de controle, uma vez que a proximidade entre o canal de controle e os canais sendo transmitidos regula as oscilações de potência as quais estes mesmos canais são submetidos. De fato, verificou-se que estas oscilações tendem a ser intensificadas quando o canal de controle se aproxima de forma demasiada do canal de interesse. Como consequência, esta proximidade entre os comprimentos de onda induziu a degradação da transmissão quando o EDFA-CAGTO foi utilizado em um enlace WDM de oito canais. A penalização foi confirmada por medidas da BER e por análises dos diagramas de olho do sistema, para diferentes posições do canal de controle. A partir dos dados experimentais, para o EDFA utilizado e para as condições de realização dos experimentos, observou-se que, no intuito de evitar penalidades severas aos canais transmitidos, o canal de controle deve ser alocado, no mínimo, a 8 nm dos canais amplificados pelo EDFA opticamente controlado.

AGRADECIMENTOS

À Fundação CPqD, ao CNPq, ao CePOF/CEPID-FAPESP e ao FAEPEX/UNICAMP.

REFERÊNCIAS

- [1] Q. Yu e C. Fan, "Simple dynamic model of all-optical gain-clamped erbium-doped fiber amplifiers", *OSA/IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 17, no. 7, pp. 1166-1171, 1999.
- [2] E. Develaque, T. Georges, J. F. Bayon, M. Monerie, P. Niay e P. Bernage, "Gain control in erbium doped fibre amplifiers by lasing at 1480 nm with photoinduced Bragg gratings written on fibre ends", *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 12, pp. 1112-1114, 1993.
- [3] D. Richards, J. Jackel e M. Ali, "A theoretical investigation of dynamic all-optical automatic gain control in multichannel EDFAs and EDFAs cascades", *IEEE J. Select. Topics in Quantum Electron.*, vol. 3, no. 4, pp. 1027-1036, 1997.
- [4] S. Y. Ko, M. W. Kim, D. H. Kim, S. H. Kim, J. C. Jo e J.H. Park, "Gain control in erbium-doped fibre amplifiers by tuning centre wavelength of a fibre Bragg grating constituting resonant cavity", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 10, pp. 990-991, 1998.
- [5] S. Y. Park, H. K. Kim, G. Y. Lyu, S. M. Kang e S. Y. Shin, "Dynamic gain and output power control in gain-flattened erbium-doped fiber amplifier", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 6, pp. 787-789, 1998.
- [6] N. Jolley, F. Davis e J. Mun, "Out-of-band electronic gain clamping for a variable gain and output power EDFA with low dynamic gain tilt", *Proc. OFC'97*, Dallas, TX, EUA, pp.134-135, 1997.
- [7] M. Fukutoku e M. Jinno, "Pump power reduction of optical feedback controlled EDFA using electrical feedforward control," *Proc. Optical Amplifiers and their Applications*, pp. 32-35, 1998.
- [8] J. Chung, S. Y. Kim e C. J. Chae, "All-Optical gain-clamped EDFAs with different feedback wavelengths for use in multiwavelength optical networks," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 23, pp. 2159-2161, 1996.
- [9] J.C.R.F de Oliveira, A.C. Bordonalli e J. B. Rosolem, "Impacto da atenuação da realimentação óptica em EDFAs com controle de ganho totalmente óptico," *Submetido ao MOMAG 2004*.