

Reuso da Portadora Óptica em Altas Taxas com Amplificador Óptico a Semicondutor Ultra Longo

Napoleão S. Ribeiro, Cristiano M. Gallego e Evandro Conforti

Resumo—Apresentam-se resultados experimentais de reuso de portadora óptica para possíveis aplicações em redes de acesso ópticas. A portadora, inicialmente modulada em altas taxas (sinal *downstream*, < 50 Gb/s) foi remodulada em 3,8 Gb/s (sinal *upstream*). A técnica de reuso é baseada na saturação do ganho de um amplificador óptico a semicondutor ultra-longo (UL-SOA). A influência da taxa de modulação e da razão de extinção do sinal *downstream* na qualidade do sinal *upstream* é investigada. As penalidades apresentadas são inferiores a 1 dB, excetuando-se os casos de elevada razão de extinção do sinal *downstream*.

Palavras-Chave— *amplificadores ópticos a semicondutor, redes ópticas de acesso, reuso da portadora óptica.*

I. INTRODUÇÃO

As redes WDM-PON (*wavelength division multiplexing – passive optical network*) se apresentam como importantes soluções para a implementação das futuras redes de acesso [1]. Normalmente, estes tipos de rede usam dois comprimentos de onda: um para o canal *downstream* (da central para o usuário final) e outro para o canal *upstream* (do usuário final para a central). O reuso da portadora é uma técnica com objetivo de utilizar um só comprimento de onda tanto para o canal *downstream* como *upstream*. Esta técnica permite a duplicação da quantidade de canais disponíveis para as redes WDM-PON [2].

O reuso da portadora pode ocorrer: apagando a modulação em amplitude do sinal *downstream* e remodulando também em amplitude o sinal *upstream*, ou enviando o sinal *downstream* modulado em fase e remodulando o sinal *upstream* em amplitude [3]. As duas formas possuem vantagens e desvantagens. A principal vantagem da última forma é possibilitar taxas maiores de utilização, porém sua complexidade torna-se muito maior. Desta forma, o presente trabalho está relacionado à primeira forma de reuso da portadora óptica, na qual tanto o sinal *downstream* quanto *upstream* estão modulados em amplitude.

Diversas técnicas já foram apresentadas visando implementar o reuso da portadora óptica por meio do apagamento da modulação em amplitude [4-8]. Contudo, a maioria destas técnicas apresenta limitações, principalmente quando operam em altas taxas (> 10 Gb/s) e/ou com elevada razão de extinção do sinal *downstream* (> 8 dB).

Uma técnica capaz de apagar a modulação em amplitude baseada na saturação profunda de um amplificador óptico a semicondutor ultra-longo (*ultra-long semiconductor optical amplifier – UL-SOA*) foi apresentada na ref. [9]. Esta técnica se baseou na proposta inicial baseada no apagamento por

casateamento de SOAs apresentada na ref. [10]. Estas técnicas baseiam-se na redução da razão de extinção do sinal *downstream*. Os resultados iniciais demonstraram bom desempenho no apagamento para sinais *downstream* com razão de extinção de até 12 dB e modulados em taxas de até 12.5 Gb/s [9]. A qualidade do sinal remodulado (*upstream*) obtido também foi testada, apresentando uma boa qualidade ilustrada por curvas de taxa de erro de bit (*bit error rate – BER*) [11].

Contudo, com o aumento da demanda de informações por parte do usuário final, um aumento na taxa de transmissão também será necessário. Desta forma, buscou-se analisar as limitações em taxa da técnica proposta. Bons resultados de apagamento foram observados para sinais *downstream* modulados em até 50 Gb/s e com razão de extinção de até 12 dB [12]. Contudo, o alargamento espectral (uma desvantagem da técnica proposta) sempre ocorre e é devido ao efeito de auto-modulação de fase (*self-phase modulation – SPM*). Este efeito se eleva com o aumento da taxa [13], o que tornou uma incógnita a possibilidade de remodulação do sinal apagado. Assim, este trabalho apresenta resultados do sinal remodulado após o apagamento de sinais *downstream* em elevadas taxas, demonstrando ser possível modular o sinal apagado, apesar de seu elevado alargamento espectral. Os resultados da qualidade do sinal remodulado foram demonstrados pelas curvas de BER, obtidas para diferentes taxas e diferentes razões de extinção do sinal *downstream*. Os resultados aqui apresentados limitam-se a testes sem a utilização de enlaces de fibras, estando esta parte da pesquisa em estudo no presente momento. Embora, haja essa limitação nos testes, as baixas penalidades obtidas sugerem que tais sinais remodulados poderão ser enviados em enlaces de fibras de redes de acesso.

II. MONTAGEM EXPERIMENTAL

A montagem experimental está ilustrada na Fig. 1. Para geração do sinal *downstream* em elevadas taxas, o sinal PRBS (*pseudo-random bit sequence*) com palavra de $2^{23}-1$ obtido na saída do gerador de pulsos foi multiplexado (4:1) e depois amplificado e utilizado no modulador óptico (*Mach-Zehnder*). Desta forma, sinais em 50 Gb/s foram obtidos a partir do gerador de 12,5 Gb/s. O laser foi centrado em 1565 nm, por ser este o pico da curva de espectro de ganho, possibilitando uma maior profundidade da saturação e assim um melhor desempenho do processo de apagamento [9]. A razão de extinção do sinal *downstream* (ER_{in}) foi modificada por meio da variação da tensão de polarização do modulador óptico. O conjunto de dispositivos proposto para realizar o apagamento e posterior remodulação do sinal apagado é composto de: um SOA linear usado como pré-amplificador, o UL-SOA,

Napoleão S. Ribeiro e Evandro Conforti, Departamento de Microondas e Óptica, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de Campinas – Unicamp, Campinas-SP, Brasil, E-mails: napoleaoribeiro@gmail.com, conforti@ieee.org.

Cristiano M. Gallego, Divisão Tecnológica de Telecomunicações, Faculdade de Tecnologia, Unicamp, Limeira-SP, Brasil, E-mails: gallego@ft.unicamp.br

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e Fapesp (2007/56024-4, 2005/51689-2 e 2009/08537-8)

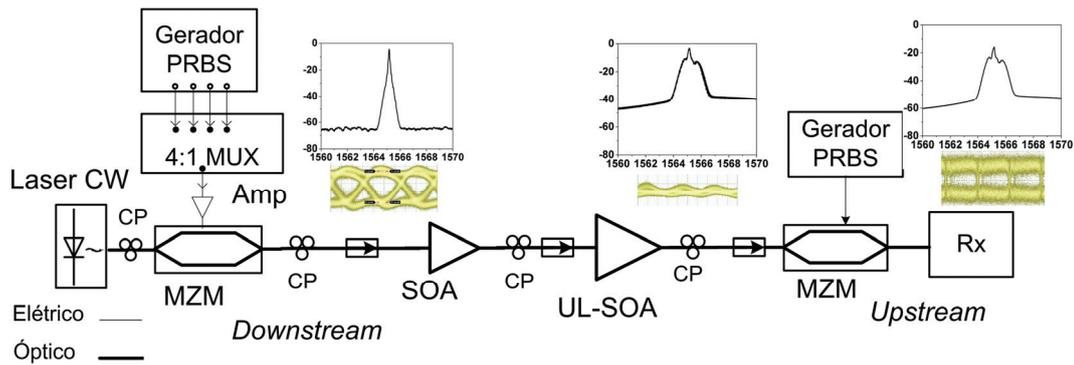


Fig. 1. Montagem experimental utilizada: SOA - amplificador óptico a semiconductor linear; UL-SOA - amplificador óptico a semiconductor ultra-longo; MZM - modulador óptico *Mach-Zehnder*; CP - controle de polarização; Mux- multiplexador; Amp - amplificador de RF.

controles de polarização, isoladores ópticos e um modulador óptico *Mach-Zehnder*.

O UL-SOA possui 8 mm de comprimento de cavidade divididos em 4 seções 1-3-3-1 mm cada. A máxima corrente de polarização admitida pelo UL-SOA é de 2,4 A, porém o valor de 1,2 A já foi suficiente para se atingir um nível de apagamento adequado. Além disso, devido ao UL-SOA ser dependente da polarização óptica, fez-se necessário o uso de controles de polarização de maneira a maximizar o desempenho da técnica.

Apesar da quantidade de componentes envolvidos no esquema proposto, a maior parte destes componentes podem ser integrados, o que reduziria o custo e a complexidade da técnica, assim como o consumo de energia.

O sinal após o UL-SOA já se encontra com a razão de extinção reduzida, possibilitando a remodelação. Desta forma, um outro modulador óptico é utilizado para isso, sendo modulado por um sinal em 3,8 Gb/s. Após a remodelação, a qualidade do sinal *upstream* (remodulado) foi analisada por um BERT (bit error rate tester), sendo obtidas as curvas apresentadas neste trabalho.

Ainda na Fig. 1, podem-se observar os espectros ópticos e os respectivos diagramas de olho para: o sinal *downstream* (em 30 Gb/s com $ER_{in}=6$ dB), o sinal apagado e o sinal *upstream* (remodulado em 3,8 Gb/s). Pelos espectros, observa-se o alargamento espectral já observado e apresentado em outros trabalhos [13][14]. Apesar desse elevado alargamento espectral, observa-se um sinal com uma elevada redução da razão de extinção após o UL-SOA, sendo praticamente um sinal contínuo (CW - *continuous wave*). Já após a remodelação, observa-se um olho sem grande deterioração, embora a largura espectral permaneça a mesma.

Pelo espectro óptico após o UL-SOA, também se observa um elevado aumento do ruído de emissão espontânea (ASE - *amplified spontaneous emission*), responsável também pelo ruído presente nos diagramas de olho do sinal remodulado. Este ruído não foi filtrado, pois o elevado gorjeio (variação em frequência) provocado pelo UL-SOA causa conversões de fase em amplitude ao se passar o sinal por um filtro óptico. Essas conversões geram impulsos de amplitude que impossibilitam a remodelação do sinal apagado, justificando a não utilização do filtro óptico logo após o UL-SOA. Contudo, esse gorjeio gerado pelo UL-SOA é reduzido pelo modulador óptico utilizado para remodelação.

Os resultados de BER foram observados para diferentes valores de taxa de bits e de razão de extinção do sinal *downstream*. Já o sinal *upstream* foi modulado com taxa fixa em 3,8 Gb/s e com razão de extinção de aproximadamente 8 dB.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÕES

Antes de iniciar a apresentação dos resultados da qualidade do sinal *upstream* (remodulado), apresenta-se na Fig. 2 a razão de extinção do sinal após o UL-SOA (ER_{out}) versus a taxa de modulação do sinal *downstream*. Este gráfico serve para ilustrar como o apagamento se comporta com o aumento da taxa de bits. O apagamento ideal ocorre quando $ER_{out}=0$, ou seja, quando não há resquícios da modulação. Além disso, este resultado tem relevância para as análises que se seguem, pois quanto maior o ER_{out} , maior serão os resquícios da modulação ainda presentes que poderão prejudicar a qualidade do sinal remodulado.

Observa-se na Fig. 2, um aumento do ER_{out} com o aumento da taxa de bits. Essa dependência do apagamento com a taxa de modulação reflete a influência do tempo de relaxação do UL-SOA em relação ao *slot* de tempo do bit: o ganho óptico responde às variações no nível de potência de entrada seguindo esta relação entre o *slot* de tempo e o tempo de relaxação do UL-SOA. Quando o *slot* de tempo é menor que o tempo de relaxação, o ganho óptico não consegue responder às mudanças no nível de potência do sinal de entrada. Logo, devido à redução do *slot* de tempo (com o aumento da taxa), o desempenho do apagamento se deteriora com o aumento da taxa [2].

Além disso, há também um aumento do alargamento espectral com o aumento da taxa (não ilustrado neste trabalho)[13][14]. Aumentando a taxa de modulação, há um aumento da largura de banda (causando o alargamento do espectro de entrada) e assim um grande número de componentes espectrais pode sofrer os efeitos da auto-modulação de fase, provocando um maior alargamento espectral [12][14].

Na Fig. 2, também se pode observar uma piora no apagamento com o aumento da ER_{in} . A dificuldade para se apagar sinais com elevada ER_{in} ocorre devido à boa qualidade do sinal de entrada e à necessidade do nível de potência do bit “0” ser amplificado até bem próximo do nível de potência do bit “1”, para se reduzir o ER_{out} . Portanto, quanto mais alta a ER_{in} , maior é a necessidade de amplificação, o que só pode ser

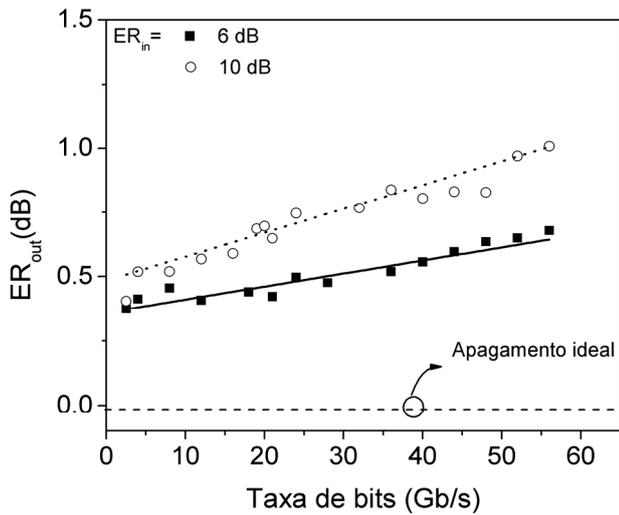


Fig. 2. Razão de extinção do sinal após o UL-SOA (ER_{out}) versus taxa de bits para ER_{in} de 6 dB e 10 dB.

obtido com maiores valores de corrente de polarização [9]. Da mesma forma, notou-se (não ilustrado neste trabalho), um aumento do alargamento espectral com a razão de extinção [14]. À medida que o ER_{in} aumenta melhor é o formato do pulso de entrada e maior é o número de componentes espectrais. Assim, existe um grande número de componentes passíveis de sofrerem os efeitos da auto-modulação de fase, aumentando o alargamento espectral [14].

Estes resultados são importantes para um entendimento mais adequado dos resultados que serão apresentados para a qualidade do sinal *upstream* (remodulado), já que este depende do vestígio de modulação presente no sinal apagado e do alargamento espectral apresentado por este.

Como já mencionado, os resultados experimentais apresentados são curvas de BER do sinal *upstream* (remodulado) para diferentes sinais *downstream*. Como forma de comparação, para se observar a qualidade do sinal *upstream*, foi utilizado em cada caso como referência um sinal *upstream* obtido com sinal CW em substituição a um sinal *downstream* modulado. Desta forma, ao realizar esta comparação, está se analisando a deterioração imposta pelos resquícios de modulação ainda presentes após o apagamento, já que os dois sinais terão passados pelos mesmos dispositivos (SOA linear e UL-SOA), sofrendo os mesmo efeitos, apenas se diferenciando, por um ter a modulação apagada e o outro uma ausência de modulação desde o início.

A Fig. 3 ilustra o resultado obtido para o sinal *upstream* com entrada sendo um sinal CW ou um sinal *downstream* modulado em 50 Gb/s ($ER_{in}=6,5$ dB). Observa-se praticamente nenhuma penalidade até próximo a uma BER de 10^{-6} , apresentando-se pequenas penalidades após esse valor. Embora, os vestígios da modulação estejam presentes, estando ilustrados pela deterioração no nível superior do olho (*upstream* com entrada *downstream*), estes não foram capazes de causar penalidades relevantes.

Além disso, observou-se que para valores de $ER_{in}=3,5$ dB e 6,5 dB e diversas taxas de sinal *downstream* (14 Gb/s, 20 Gb/s, 30 Gb/s, 40 Gb/s e 50 Gb/s) não houve penalidades. Estes resultados seguem os comentários já feitos anteriormente do melhor apagamento para menores valores de ER_{in} . Assim, os resquícios da modulação após o apagamento não

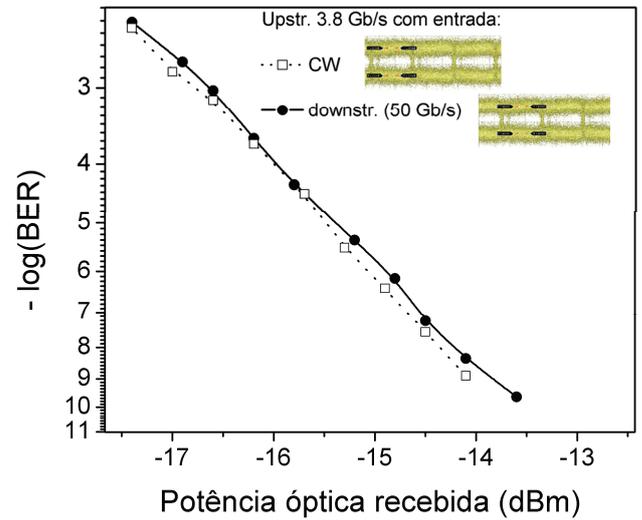


Fig. 3. Medidas de BER para um sinal *upstream* (remodulado em 3,8 Gb/s) com entrada: com sinal *downstream* modulado em 50 Gb/s (com $ER_{in}=6,5$ dB) ou CW.

foram suficientes para causar penalidades nos casos acima mencionados.

Porém, para um maior valor de ER_{in} (10 dB), maiores penalidades foram observadas, estando ilustradas na Fig. 4 para algumas taxas do sinal *downstream*. Nesta figura, observa-se que mesmo para um $ER_{in}=10$ dB, o sinal *upstream* remodulado em 3,8 Gb/s após o apagamento de um sinal *downstream* em 20 Gb/s não apresentou penalidades ao se comparar com o sinal *upstream* modulado em 3,8 Gb/s com uma entrada CW. Porém, com o aumento da taxa de modulação do sinal *downstream* (sinal a ser apagado) há o surgimento de penalidades e até mesmo um patamar de BER em 10^{-7} para o caso de *downstream* em 50 Gb/s. Estes resultados também podem ser observados pelos diagramas de olho, onde nota-se uma maior deterioração do nível alto do sinal *upstream* remodulado após o apagamento de um sinal *downstream* em 50 Gb/s. Estes resultados seguem o previsto pela Fig. 2, onde há queda considerável no desempenho do processo de apagamento para maiores valores de ER_{in} e taxa de bits. Assim, a causa dessas penalidades é a maior deterioração presente no nível superior do bit causado pelos resquícios da modulação ainda presentes após o apagamento.

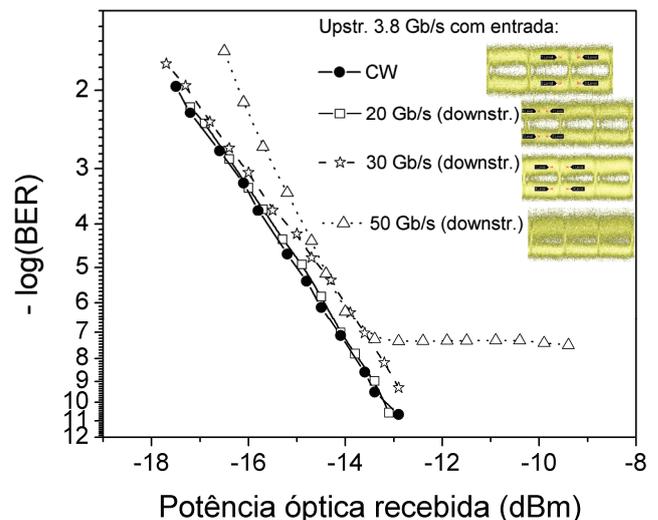


Fig. 4. Medidas de BER para um sinal *upstream* (remodulado em 3,8 Gb/s) com entrada: com sinal *downstream* modulado em 20 Gb/s, 30 Gb/s e 50 Gb/s (com $ER_{in}=10$ dB) ou CW.

Assim, em termos de taxa bit do sinal *downstream* (sinal a ser apagado), observa-se que o sinal *upstream* obtido após o apagamento apresentou boa qualidade mesmo para elevados valores de taxa do sinal *downstream*. Foram obtidos baixos valores de BER (até 10^{-11}). Penalidades só foram observadas para o caso de elevada ER_{in} e taxas superiores a 20 Gb/s, observando patamar de BER somente para a taxa de 50 Gb/s.

Pelos resultados obtidos com a variação da taxa do sinal *downstream*, observou-se uma grande influência da ER_{in} , já que somente para $ER_{in}=10$ dB é que se foi observado penalidades e até mesmo patamar de BER. Assim, um estudo fixando a taxa do sinal *downstream* a ser apagado e variando apenas a ER_{in} se fez necessário.

A Fig. 5 apresenta os resultados para sinal *upstream* modulado em 3,8 Gb/s com uma entrada CW ou com um sinal *downstream* modulado em 20 Gb/s com diferentes ER_{in} . Observa-se, como esperado uma piora na qualidade do sinal *upstream* com o aumento da ER_{in} . Para $ER_{in}=6$ dB, ainda não há penalidades. Porém, com o aumento para 10,5 dB, já se nota uma pequena penalidade. Contudo, ao se utilizar um sinal *downstream* com $ER_{in}=12$ dB, há a ocorrência de um patamar de BER próximo a 10^{-4} , embora haja pequena penalidade para altos valores de BER. Para este caso, também se observa uma maior deterioração na qualidade do diagrama de olho obtido, principalmente no nível superior do bit.

A mesma forma de análise foi realizada para o sinal *downstream* modulado em 40 Gb/s, observando-se o resultado ilustrado na Fig. 6. Com $ER_{in}=6$ dB, praticamente não há penalidades ao se comparar o sinal *upstream* após o apagamento da modulação do sinal *downstream* com o sinal *upstream* obtido com uma entrada CW. Contudo, diferentemente do caso ilustrado na Fig. 5, para uma $ER_{in}=9$ dB, já há a ocorrência de um patamar de BER próximo a 10^{-8} . Para $ER_{in}=10,5$ dB, embora não possa ser observado, nota-se uma tendência a ocorrência de um patamar de BER em torno de 10^{-7} . Além disso, o diagrama de olho para esse caso apresenta uma elevada deterioração. O caso de $ER_{in}=12$ dB, não foi ilustrado devido apresentar um patamar de BER próximo a 10^{-3} .

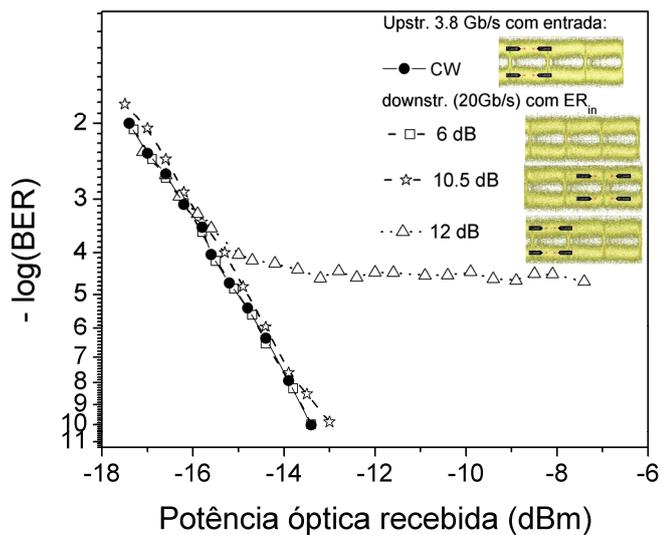


Fig. 5. Medidas de BER para um sinal *upstream* (remodulado em 3,8 Gb/s) com entrada: com sinal *downstream* modulado em 20 Gb/s (com $ER_{in}=6$ dB, 10,5 dB e 12 dB) ou CW.

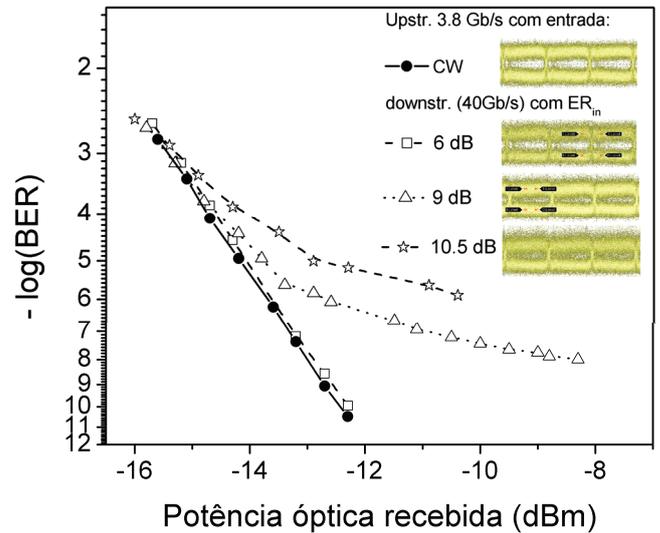


Fig. 6. Medidas de BER para um sinal *upstream* (remodulado em 3,8 Gb/s) com entrada: com sinal *downstream* modulado em 60 Gb/s (com $ER_{in}=6$ dB, 9 dB e 10,5 dB) ou CW.

Portanto, ao se analisar os resultados, observa-se que os dois parâmetros apresentados (taxa de bits do sinal *downstream* e ER_{in}) demonstraram influenciar a qualidade do sinal *upstream* (remodulado). Contudo, a ER_{in} demonstrou ter maior influência, pois somente há penalidades e patamares de BER para altos valores de ER_{in} . Assim, para valores moderados de ER_{in} (< 8 dB), pode-se utilizar a técnica mesmo com sinais *downstream* modulados em altas taxas (< 50 Gb/s), uma vez que haverá baixas penalidades e ausência de patamares de BER (ao se comparar o sinal *upstream* obtido após o apagamento com um sinal *upstream* obtido a partir de um sinal CW). Já para elevados valores de ER_{in} (8 a 12 dB) haverá baixas penalidades e ausência de patamares se forem apagados sinais *downstream* modulados em até 30 Gb/s.

IV. CONCLUSÃO

Resultados da qualidade do sinal *upstream* obtido após o apagamento de um sinal *downstream* modulado em altas taxas (< 50 Gb/s) foram apresentados. O apagamento é baseado na utilização de um UL-SOA profundamente saturado que permite a redução da razão de extinção. A influência da taxa de modulação do sinal *downstream* e da sua razão de extinção (ER_{in}) também foram investigados.

De forma geral, é importante mencionar que foram obtidos valores de BER de até 10^{-11} e que poucos casos apresentaram penalidades superiores a 1 dB e patamares de BER. Mesmo na ocorrência desses patamares, apenas em um caso analisado, com *downstream* em 40 Gb/s e $ER_{in}=12$ dB, foi observado patamar de 10^{-3} , limite de correção de códigos corretores de erro usualmente utilizados. Assim, os resultados aqui apresentados demonstram que a técnica de reuso da portadora proposta pode operar com sinais *downstream* modulados em altas taxas e elevados valores de ER_{in} .

Contudo, esta técnica de reuso da portadora apresenta como um de suas maiores desvantagens o alargamento espectral devido ao efeito de auto-modulação de fase, o qual é mais intenso com aumento da taxa e da ER_{in} [12][14]. Na análise aqui realizada, na qual não se foi utilizado enlace de fibras (devido à necessidade de mais amplificadores ópticos para compensar a atenuação do enlace), o alargamento espectral presente ao se apagar sinais modulados em altas taxas e/ou com elevada ER_{in} demonstrou não deteriorar o sinal *upstream*.

Entretanto, o elevado alargamento espectral poderá ser motivo de deterioração relacionada à dispersão presente na fibra, ao se testar o sinal *upstream* obtido após a remodulação em um enlace de fibras. Este estudo está sendo realizado e em breve serão apresentados novos resultados.

REFERÊNCIAS

- [1] N. J. Frigo, P. P. Iannone, P. D. Magill, T. E. Darcie, M. M. Downs, B. N. Sesai, U. Koren, T. L. Koch, C. Dragone, H. M. Presby, and G. E. Bodeep, "A wavelength-division multiplexed passive optical network with cost-shared components," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6, no. 11, pp. 1365–1367, Nov. 1994.
- [2] H. Takesue and T. Sugie, "Wavelength channel data rewrite using saturated SOA modulator for WDM networks with centralized light sources," *IEEE J. Lightw. Technol.*, vol. 21, no. 11, pp. 2546–2556, Nov. 2003.
- [3] J. Yu, M. F. Huang, D. Qian, L. Chen, and G. K. Cheng, "Centralized lightwave WDM-PON employing 16-QAM intensity modulation OFDM downstream and OOK modulated upstream signals," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 20, no. 18, pp. 1545–1547, Sept. 2008.
- [4] K. C. Reichmann, N. J. Frigo, and P. P. Iannone, "Wavelength registration in WDM rings networks by reconstitution of dropped optical carriers," in *Proc. ECOC*, 1999, pp. I-136–137.
- [5] E. Conforti, C. M. Gallep, S. Ho, A. C. Bordonalli, and S.M. Kang, "Carrier reuse with gain compression and feed-forward semiconductor optical amplifier." *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, no. 1, pp. 77–81, Jan. 2002.
- [6] Z. Xu, Y. J. Wen, W. D. Zhong, M. Attygall, X. Cheng, Y. Wan, T. Hiang Cheng, and C. Lu, "WDM-PON architectures with a single shared interferometric filter for carrier-reuse upstream transmission," *IEEE J. Lightw. Technol.*, vol. 25, no. 12, pp. 3669–3677, Dez. 2007.
- [7] B. Schrenk, F. Bonada, J. A. Lazaro, and J. Prat, "Remotely pumped long-reach hybrid PON with wavelength reuse in RSOA-based ONUs," *IEEE J. Lightw. Technol.*, vol. 29, no. 5, pp. 635–641, Mar. 2011.
- [8] Y. C. Chi, C. J. Lin, S. Y. Lin, and G. R. Lin, "The reuse of downstream carrier data erased by self-feedback SOA for bidirectional DWDM-PON transmission," *IEEE J. Lightw. Technol.*, vol. 30, no. 19, pp. 3096–3102, Oct. 2012.
- [9] N. S. Ribeiro, A. L. R. Cavalcante, C. M. Gallep, and E. Conforti, "Optical amplitude modulation extinction by a deep saturated ultra-long semiconductor optical amplifier," *Opt. Exp.*, vol. 18, no. 26, pp. 27298–27305, Dec. 2010.
- [10] S. Ho, E. Conforti, and S. M. Kang, "Monolithic optical equalizer array for wavelength-reusable and topology-reconfigurable WDM local area network," in *Proc. of IEEE Conference of lasers and electro-optics society, 1993*, pp. 416–417.
- [11] N. S. Ribeiro, A. L. R. Cavalcante, C. M. Gallep, and E. Conforti, "Data rewriting after carrier erasing by ultra-long SOA," in *Proceedings of Optical fiber communication conference (2011)*, pp. JWA42.
- [12] N. S. Ribeiro, C. M. Gallep, and E. Conforti, "Limits on high bit rate wavelength reuse using ultra long semiconductor optical amplifier," submetido para *IEEE J. Lightw. Technol.*
- [13] N. S. Ribeiro, C. M. Gallep, and E. Conforti, "Strong self-phase modulation in data erasing beyond 20 Gb/s using saturated ultra-long SOA," *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (2012)*, SBrt'12 Brasília-DF.
- [14] N. S. Ribeiro, C. M. Gallep, and E. Conforti, "Experimental analysis of the spectral broadening data eraser/rewriter based on a saturated UL-SOA," in *Proc. IMOC*, 2011, pp. 286–290.