

# Crosstalk de Raman em Serviços de Vídeo sobre Redes Óticas Passivas de Próxima Geração (NG-PON2)

S. Brandão, A. Shahpari, M. Lima, A. Teixeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Nokia Siemens Networks, Amadora, Portugal*

**Resumo**— Neste trabalho é avaliado o impacto causado pelo efeito de Raman sobre um sistema de vídeo overlay (1550nm) na evolução rumo à próxima geração de redes de acesso óticas passivas (NG-PON2). Em primeiro lugar é estudado o impacto causado por um sinal modulado e de seguida é analisado um sistema multi-comprimento DWDM.

**Palavras chave** — Raman, crosstalk, vídeo overlay e NG-PON2.

## I. INTRODUÇÃO

As redes óticas passivas (PON) são hoje a classe de sistemas de acesso por fibra ótica mais implementada no mundo [1], sendo massivamente usadas em cenários FTTH (Fiber-to-the-Home). O rápido crescimento do P2P (Peer-to-Peer), HDTV (High Definition Television), 3D interativo, “Internet of things” e “cloud computing” irá aumentar inexoravelmente o tráfego nestas redes [2], e isso significa novos desafios para a implementação da banda larga. A necessidade de proporcionar maior largura de banda, a longo prazo, tem levado os operadores a procurar novas soluções, para a inovação, à qual se dá o nome de NG-PON2.

Uma questão chave que predomina sobre os desafios técnicos do NG-PON2, é qual o posicionamento exato do(s) comprimento(s) de onda a ser(em) utilizado(s) dentro do espectro da fibra? O espectro da fibra é bastante amplo (~400nm → 50THz) e assim pode pensar-se em uma capacidade ilimitada, no entanto isso não é verdade, existem fatores técnicos e de custo que podem condicionar a escolha dos comprimentos de onda.

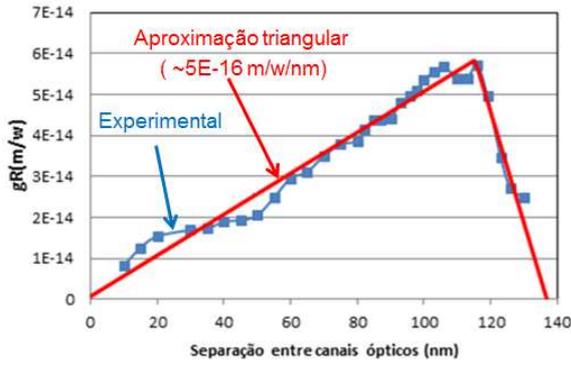
O primeiro tipo de restrição tem a ver com as implementações existentes. A maioria dos operadores já possui sistemas em vigor, utilizando fibras SMF convencionais, onde o pico de absorção de água com elevada atenuação limita a largura de banda disponível apenas às gamas: 1260-1360nm e acima dos 1480nm [3]. Outro tipo de restrição está relacionado com as normas existentes e requisitos de coexistência. PONs evoluíram de BPON para GPON e desta para XG-PON e sistemas CATV evoluíram para vídeo overlay. Tecnologia OTDR também pode estar presente. Estas tecnologias ocupam uma elevada fração do espectro que não pode ser recuperado. Além das bandas de transmissão, as normas também especificam bandas de guarda que devem ser cumpridas. Assim, se considerarmos o panorama mais universal

possível (coexistência de GPON, XG-PON, vídeo overlay e OTDR), a largura de banda para o NG-PON2 vem delimitada às faixas dos 1530-1540nm e 1590-1620nm [4]. Tendo em consideração estas duas gamas e o custo de equipamentos como lasers, recetores, filtros, amplificadores, a primeira gama é preferível, uma vez que a maioria dos equipamentos comercialmente disponíveis opera nessa gama. Posto isto, os comprimentos de onda para NG-PON2 podem vir restringidos somente à gama dos 1530 – 1540nm.

Aspectos não comumente considerados no projeto de sistema PON são os efeitos não lineares, no entanto, quando se pretende aumentar o split ratio e/ou alcance de uma rede, são necessárias maiores potências e isso pode degradar o desempenho do sistema, e consequentemente condicionar a escolha do comprimento de onda dentro de uma gama disponível para o acesso. Um fenómeno de especial interesse é o espalhamento de Raman estimulado (SRS), já que ele pode degradar o sistema de vídeo legado numa PON. Este, é particularmente suscetível a este tipo de fenómeno devido aos seus elevados requisitos de CNR [5]. Neste trabalho mostraremos como o SRS pode condicionar a escolha do (s) comprimento (s) de onda a ser (em) usado (s) no NG-PON2.

### A. Espalhamento de Raman estimulado – SRS

O espalhamento de Raman é um fenómeno não linear que tem origem na interação da luz com os modos vibracionais da fibra. Quando dois sinais se propagam ao longo de uma fibra, o sinal de menor comprimento de onda funciona como uma bomba para o sinal de maior comprimento de onda, transferindo uma porção da sua energia para este. Se o sinal de menor comprimento de onda contiver modulação, a transferência de potência ótica é acompanhada por uma cópia de parte do conteúdo RF, originando uma crosstalk não linear sobre o sistema de maior comprimento de onda. Essa crosstalk pode ser quantificada teoricamente, no caso de um sistema com dois sinais, através da expressão (1) [6], onde  $\rho$  é o fator depolarização efetivo ( $\leq 1$ ),  $g_R$  é o coeficiente de ganho de Raman e é função da separação entre os sinais óticos (Fig.1);  $P_{mod}$  é a potência ótica do sinal modulado,  $A_{eff}$  é a



área efetiva da fibra,  $\alpha$  é a de atenuação da fibra,  $L$  é o comprimento da fibra,  $D$  a dispersão cromática e  $\Omega$  é frequência de modulação.

Para o caso de um sistema multicanal DWDM a crosstalk induzida num comprimento de onda superior, pode ser calculada através da expressão (2), onde  $N$  é o número de canais DWDM envolvidos no processo SRS e a Crosstalk<sub>i</sub> (dada igualmente pela expressão (1)) é a crosstalk gerada individualmente por cada um dos sinais DWDM.

Figura 1 – Espectro dos coeficientes de ganho de Raman.

## II. SETUPS LABORATORIAIS

As Fig. 2 e Fig. 3 mostram os sistemas laboratoriais usados nos nossos ensaios. A Fig.2 ilustra o sistema de um único canal modulado. O sistema de vídeo é encenado por um sinal CW, gerado no comprimento de onda 1550nm. Paralelamente, é gerado um sinal modulado. Uma portadora elétrica modula um laser diretamente; o sinal ótico resultante é encaminhado para um EDFA banda C permitindo ajustar a potência; posteriormente, o sinal é multiplexado numa fibra SMF juntamente com o sinal CW, utilizando-se para o efeito um OADM (*Optical Add-Drop Multiplexer*). Após a propagação, os sinais são isolados utilizando um outro OADM, sendo estes depois encaminhados para um switch que permite a comutação entre a análise do sinal CW e o sinal modulado. Para converter o sinal ótico para o domínio elétrico é utilizado um PIN, sendo o sinal depois analisado num RF spectrum analyzer.

O sistema usado para o cenário multicanal DWDM é mostrado na Fig.3. O princípio de funcionamento é em tudo idêntico ao da Fig.2, a única diferença está ao nível da geração do sistema DWDM. A portadora elétrica é replicada em três de menor potência. Cada uma destas portadoras vai modular um laser em um comprimento de onda distinto e separados de 0.8 nm. De seguida, cada sinal é amplificado individualmente num EDFA, sendo eles depois multiplexados num AWG, obtendo-se

na sua saída o sistema DWDM, que é depois multiplexado na fibra juntamente com o sinal CW.

Figura 2 – Setup usado para medir a crosstalk induzida no CW por um sinal modulado

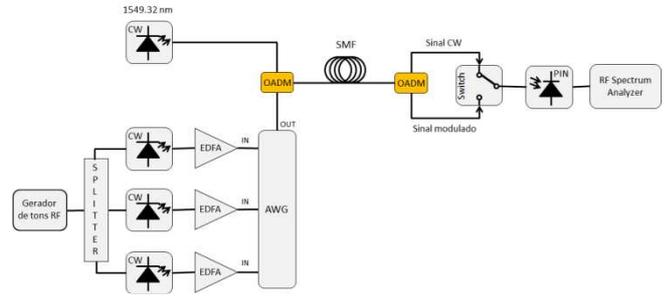
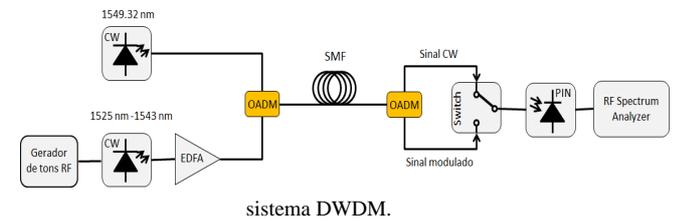


Figura 3 – Setup usado para medir a crosstalk induzida no CW por um



## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Sistema com um único sinal modulado

Após a implementação dos sistemas, algumas medidas foram realizadas. Relativamente ao sistema de um único sinal modulado, quatro comprimentos de onda foram testados (1530nm, 1533nm, 1537nm e 1540nm), quando se varia a frequência do tom RF entre 20MHz e 300MHz. As potências utilizadas para os sinais CW e modulados foram de 4dBm e 6dBm, respetivamente. A comparação dos resultados obtidos com os analíticos (equação 1) é apresentada na Fig.4. Os parâmetros usados nas estimativas teóricas foram os seguintes:  $\rho=0.7$ ,  $\alpha=0.2\text{dB/km}$ ,  $D=16\text{ps/nm/km}$ ,  $A_{\text{eff}}=80\mu\text{m}^2$ ,  $n_2=2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$  e  $L=20\text{km}$ . O coeficiente de ganho de Raman é aproximado por um perfil triangular, conforme mostrado na Fig.1, cujo declive é  $\sim 5 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{W/nm}$ .

Comparando as diferentes curvas da Fig. 3, pode verificar-se que a resposta da crosstalk em função da frequência de modulação, apresenta um comportamento típico passa-baixo. De notar, que à medida que se aumenta o comprimento de onda do sinal modulado (isto é, diminuição da separação entre canais óticos), o comportamento ondulatorio da crosstalk é menos expressivo e os mínimos ocorrem para frequências elétricas mais elevadas (por exemplo, para o caso dos

$$Crosstalk_{SRS}(\Omega) = 10 \log \left\{ \left( \frac{\rho g_R P_{mod}}{A_{eff}} \right)^2 \left( \frac{1 + e^{-2\alpha L} - 2e^{-\alpha L} \cos(D(\lambda_{cw} - \lambda_{mod})\Omega L)}{\alpha^2 + (D(\lambda_{cw} - \lambda_{mod})\Omega)^2} \right) \right\} \quad (1)$$

$$Crosstalk_{SRS}(\Omega) = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^N 10^{0.1 Crosstalk_i(\Omega)} \right] \quad (2)$$

1530nm o mínimo localiza-se em  $\approx 170\text{MHz}$ , enquanto para 1533nm e 1537nm situa-se em  $\approx 210\text{MHz}$  e  $\approx 280\text{MHz}$ , respetivamente). Além da separação de canais óticos, a localização destes mínimos na frequência depende também do comprimento da fibra e da dispersão cromática [6]. Para baixas frequências de modulação, menores separações entre canais, representam situações menos penosas sobre o sistema a 1550nm (para 50MHz, para as situações de 1530nm e 1540nm, observa-se uma diminuição da crosstalk de  $\sim 4\text{dB}$ ).

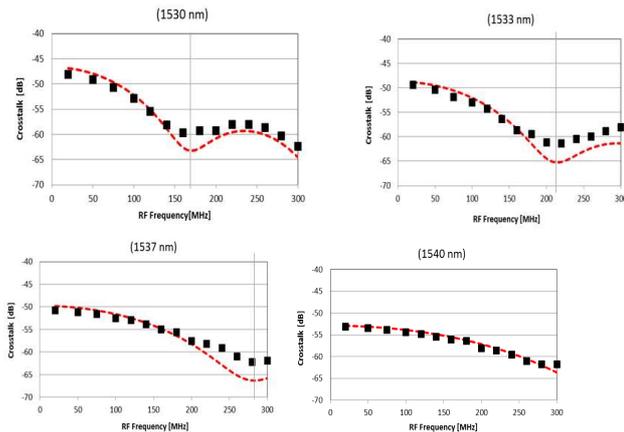


Figura 4– Crosstalk vs frequência de modulação para quatro comprimentos de onda do sinal modulado, para uma potência ótica de 6dBm e 20km de fibra. Resultados experimentais e teóricos.

### B. Sistema multi-comprimento de onda DWDM

Para o sistema multi-comprimento de onda DWDM, foi testado um sistema de três comprimentos de onda, modulados em 1530.33nm, 1531.12nm e 1531.90nm, cada um com potência de 6dBm. Também foi testado o sistema com um único comprimento de onda a 6dBm e com comprimento de onda a 1530.33nm. Os resultados são mostrados na Fig. 5, onde os parâmetros usados nas estimativas teóricas foram os já mencionados anteriormente.

É fácil observar que o facto dos três sinais modulados contribuírem para o processo SRS se manifesta num aumento significativo da crosstalk ( $\sim 5\text{dB}$ ) sobre o sistema a 1550nm, comparativamente à situação de um único comprimento de onda. Posto isto, é possível fazer uma analogia ao que poderá suceder num cenário de convivência de um sistema TWDM-PON com um sistema de distribuição de vídeo overlay. O aumento do número de comprimentos de onda aumenta a capacidade do sistema de dados, no entanto, isso representa uma degradação dos

canais em 1550nm. A solução poderá passar pela redução da potência associada a cada sinal modulado, embora isso limite a transmissão da informação em termos de distância.

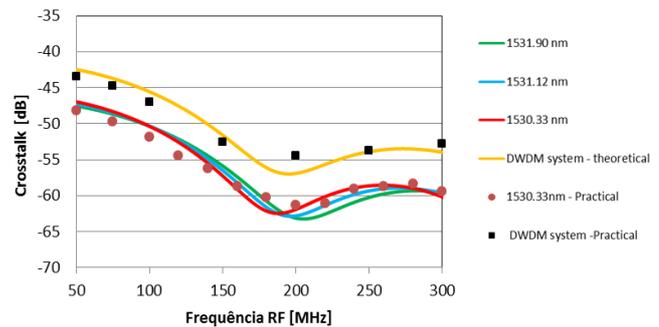


Figura 5 – Crosstalk vs frequência de modulação, comparação do cenário de canal único com o cenário multi-comprimento de onda. Resultados experimentais e teóricos.

## IV. CONCLUSÃO

A evolução das redes PON é um caminho natural para lidar com o aumento da largura de banda nas redes. Neste trabalho mostramos que o efeito de Raman pode ter uma influência considerável na escolha do comprimento de onda para o sistema NG-PON2. Foi mostrado que a largura de banda elétrica afetada pela crosstalk de Raman é baixa, no entanto, operadores que utilizem qualquer um destes canais de vídeo entre  $\sim 50\text{MHz}$  e  $\sim 300\text{MHz}$  (englobando  $\sim 30$  canais), o fenómeno precisa de ser tido em consideração no projeto do sistema de transmissão de dados na faixa dos  $\sim 1530\text{nm}$  a  $\sim 1540\text{nm}$ , a fim de preservar o sistema de vídeo legado intacto.

## REFERÊNCIAS

- [1] F. Effenberger, D. Cleary, O. Haran, G. Kramer, R. D. Li, M. Oron, T. Pfeiffer; "An Introduction to PON Technologies", IEEE Communications Magazine, March 2007.
- [2] white paper, "Insights Into Next-Generation PON Evolution", July, 2012
- [3] A.L.J.Teixeira, "What is Left in Fibre Access Bandwidth?", ICTON, 2012.
- [4] Frank J. Effenberger, "NG-PON: Enabling technologies for metro-access convergence", Invited paper, 2012.
- [5] F. Tian, R.Hui, B.Colella, and D.Bowler, "Raman Crosstalk in Fiber-Optic Hybrid CATV Systems With Wide Channel Separations", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.1, No.1, January 2004.
- [6] M.R. Phillips and D.M. Ott, "Crosstalk Due to Optical Fiber Nonlinearities in WDM CATV Lightwave Systems", Journal of Lightwave Technology, Vol. 17, NO. 10, October, 1999.