

**Referências Bibliográficas**

- 1 SENADO FEDERAL, **Publicação Eletrônica**, site <[http://www5.senado.gov.br/boletimprodasen/boletins/boletim35/familias\\_micro](http://www5.senado.gov.br/boletimprodasen/boletins/boletim35/familias_micro)> em (29 jan. 2007).
- 2 SERGEYEV, S.; VANIN, E.; POPOV, S. **Suppression of Dynamic Instabilities in Erbium-doped Fiber Amplifiers with a Combined Gain Control System** Optics Letters, vol. 27, no. 13, pp.1117-1119 (2002).
- 3 CHOI, B.; CHAE, C. **Transient Response of Novel All-Optical Gain-Controlled (AOGC) Amplifier for Random Bi-Directional Traffic** Proc. ECOC (2003).
- 4 THOMAS, D. H.; VON DER WEID, J. P. **Impairments of EDFA Dynamic Gain-Fluctuations in Packet Switched WDM Optical Transmissions** IEEE Phot. Tech. Lett., vol. 17, no. 5, pp.1097-1099 (2005).
- 5 SINGH, Y. N.; NAIK, M. **Study of Power Variation of a Buffered Packet in Optical Loop Buffer** Photonics 2002, paper No. NET-P11, 16-18, Mumbai (2002).
- 6 DESURVIRE, E. **Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Principles and Applications** J. Wiley & Sons, N. Y., EUA (1994).
- 7 BERGANO, N. S.; DAVIDSON, C. R. **Circulating Loop Transmission Experiments for the Study of Long-Haul Transmission Systems Using Erbium-Doped Fiber Amplifiers** IEEE J. Lightwave Tech., vol. 13, no. 5, pp. 879-888 (1995).
- 8 SCHAWLOW, A. L.; TOWNES, C. H. **Infrared and Optical Masers** Phys. Rev., vol. 112, no. 6, p.1940 (1958).
- 9 KOESTER, C. J.; SNITZER, E. A. **Amplification in a Fiber Laser** Applied Optics, vol. 3, no. 10, p.1182 (1964).

- 10 LUO, G.; ZYSKIND, J. L.; SUN, Y.; SRIVASTAVA, A. K.; SULLHOFF, J. W.; WOLF, C.; ALI, M. A. **Performance Degradation of All-Optical Gain-Camped EDFA's Due to Relaxation-Oscillations and Spectral-Hole Burning in Amplified WDM Networks** IEEE Phot. Tech. Lett., vol. 9, no. 10, pp. 1346-1348 (1997).
- 11 RICHARDS, D. H.; JACKEL, J. L.; MOHAMED, A. A. **A Theoretical Investigation of Dynamic All-optical Automatic Gain Control in Multichannel EDFA's and EDFA Cascades** IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 3, no. 4, pp. 1027-1036 (1997).
- 12 GILES, C. R.; DESURVIRE, E. **Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers** IEEE J. Lightwave Tech., vol. 9, no. 2, pp. 271-283 (1991).
- 13 SIEGMAN, A. **Lasers** University Science Books, CA, EUA (1986).
- 14 DESURVIRE, E.; DIGONNET, M. J. F.; SHAW, H. J. **Raman amplification of recirculating pulses in a reentrant fiber loop** Optics Letters, vol. 10, no. 2, p. 83 (1985).
- 15 DESURVIRE, E.; DIGONNET, M. J. F.; SHAW, H. J. **Theory and implementation of a Raman active fiber delay line** IEEE J. Lightwave Tech. , vol. 4, no. 4, p. 426 (1986).
- 16 MOLLENAUER, L. F.; NEUBELT, M. J.; EVANGELIDES, S. G.; GORDON, J. P.; SIMPSON, J. R.; COHEN, L. G. **Experimental study of soliton transmission over more than 10,000 km in dispersion-shifted fiber** Optics Letters, vol. 15, no. 21, p. 1203 (1990).
- 17 MALYON, D. J.; WIDDOWSON, T.; BRYANT, E. G.; CARTER, S. F.; WRIGHT, J. V.; STALLARD, W. A. **Demonstration of optical pulse propagation over 10,000 km of fibre using recirculating loop** Electronics Letters, vol. 27, no. 2, p. 120 (1991).
- 18 BERGANO, N. S.; ASPELL, J.; DAVIDSON, C. R.; TRISCHITTA, P. R.; NYMAN, B. M.; KERFOOT, F. W. **A 9,000 km 5 Gb/s and 21,000 km 2.4 Gb/s feasibility demonstration of transoceanic EDFA systems using a circulating loop** Proc. Conference on Optical Fiber Communications,

- OFC'91, postdeadline paper PD13, Optical Society of America, Washington DC (1991).
- 19 MILLER, S. E.; KAMINOV, I. P. **Optical fiber telecommunications II** Academic Press, N. Y., chapter 21 (1988).
  - 20 MAGUIRE, C. Q.; PRUCNAL, P. R. **High-density optical storage using optical delay lines** SPIE Conference on Medical Imaging III, vol. 1093, p. 571 (1989).
  - 21 GROSSKOPF, G.; KULLER, L.; LUDWIG, R.; PIEPER, W.; SCHNABEL, R.; WEBER, H. G. **Optical amplifiers operating in a random access fiber loop memory** Proc. Topical Meeting on Optical Amplifiers and Applications'91, paper FE6, Technical Digest Series, vol. 13, 288, Optical Society of America, Washington DC (1991).
  - 22 YAMAMOTO, Y; MUKAI, T. Opt. and Quant. Elect., vol 21, no S1 (1989).
  - 23 BECKER, P. C; OLSSON, N. A.; SIMPSON, J. R. **Erbium-Doped Fiber Amplifiers, Fundamentals and Technology** Lucent Technologies, CA, EUA (1999).
  - 24 THOMAS, D. H.; VON DER WEID, J. P. **Dynamic Gain-instabilities in Gain Clamped EDFA** paper We4.P.038, ECOC'04, (2004).
  - 25 CHOI, B. H.; CHAE, C. J. **Transient Response of Novel All-Optical Gain-Controlled (AOGC) Amplifier for Random Bi-Directional Traffic** paper We4.P.27, ECOC'03, (2003).
  - 26 TAE AHN, J.; HON KIM, K. **All-Optical Gain-Clamped Erbium-Doped Fiber Amplifier with Improved Noise Figure and Freedom from Relaxation Oscillation** IEEE Phot. Tech. Lett., vol. 16, no. 1, pp. 84-86 (2004).
  - 27 DESURVIRE, E.; ZIRNGIBL, M.; PRESBY, H. M.; DIGIOVANNI, D. **Dynamic Gain Compensation in Saturated Erbium-Doped Fiber Amplifiers** IEEE Phot. Tech. Lett., vol. 3, no. 5, pp. 453-455 (1991).
  - 28 DERICKSON, D. **Fiber Optic Test and Measurement** Prentice-Hall Inc., N.J., EUA (1998).

- 29 LUO, G. ; ZYSKING, J. L.; NAGEL, J. A.; ALI, M. A. **Experimental and Theoretical Analysis of Relaxation-Oscillations and Spectral Hole Burning Effects in All-Optical Gain-Clamped EDFA's for WDM Networks** IEEE J. Lightwave Tech., vol. 16, no. 4, pp. 527-533 (1998).
- 30 OKAMURA, K.; OTANI, E.; YOSHIKAWA, T.; UCHINO, T.; FUKUSHIMA, M.; KAGI, N. **Optical burst amplification using EDFA with fast feedback control** Proc. Conference on Optical Fiber Communications, OFC'05, paper OTuN2, Optical Society of America (2005).
- 31 KARÁSEK, M.; BONONI, A.; RUSCH, L.A.; MENIF, M. **Effectiveness of gain control in EDFAs against traffic with different levels of bursty behaviour** IEE Proc.-Optoelectron., vol. 147, no. 5, pp. 355-362 (2000).
- 32 CHEN, Y.; QIAO, C.; YU, X. **Optical Burst Switching: A New Area in Optical Networking Research** IEEE Network, (2004).
- 33 KARÁSEK, M.; BONONI, A.; RUSCH, L.A.; MENIF, M. **Gain Stabilization in Gain Clamped EDFA Cascades Fed by WDM Burst-Mode Packet Traffic** IEEE J. Lightwave Tech., vol. 18, no. 3, pp. 308-313 (2000).
- 34 LIU, Y.; KROL, M. F. **Accumulation of Transient Power Excursions in WDM Networks** OFC/IOOC, paper WM35-1, pp. 298-300(1999).
- 35 THOMAS, D. H.; VON DER WEID, J. P. **Dynamic Fluctuations in a Gain-Clamped EDFA Chain in Packet Switched WDM Optical Transmissions** Microwave and Opt. Tech. Let., vol. 48, no. 9, pp. 1894-1897 (2006).
- 36 THOMAS, D. H. **Sistema de Controle para Supressão de Instabilidades Dinâmicas de Ganho de um EDFA** Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio (2003).
- 37 AGARWAL, A. L.; WANG, Y. S.; KUMAR, P. **All-Optical Loadable and Erasable Storage Buffer Based on Parametric Nonlinearity in Fiber** IEEE J. Lightwave Tech., vol. 23, no. 7, pp. 2229-2238 (2006).
- 38 KALYVAS M. et al **All-optical write/read memory for 20 Gbit/s data packets** Electronics Letters, vol. 36, no. 12, pp. 1050-1052 (2000).

- 39 TRAN, A. V.; CHAE, C.; TUCKER, R.; WEN, Y. J. **EDFA Transient Control Based on Envelope Detection for Optical Burst Switched Networks** IEEE Phot. Tech. Lett., vol. 17, no. 1, pp. 226-228 (2005).
- 40 TRAN, A. V.; CHAE, C.; TUCKER, R.; WEN, Y. J. **Optical Packet Power Equalization with Large Dynamic Range using Controlled Gain-Clamped SOA** Proceedings OFC'05, paper OME46, (2005).
- 41 SERGEYEV, S.; VANIN, E.; POPOV, S. **Suppression of Dynamic Instabilities in Erbium-doped Fiber Amplifiers with a Combined Gain Control System** Optics Letters, vol. 27, no. 13, pp. 1117-1119 (2002).
- 42 BRODSKY, M.; MAGILL, P.; FRIGO, N. J. **Polarization-Mode Dispersion of Installed Recent Vintage Fiber as a Parametric Function of Temperature** IEEE Phot. Tech. Lett., vol. 16, no. 1, pp. 209-211 (2004).
- 43 THOMAS, D. H.; VON DER WEID, J. P. **Optimization to Reduce EDFA Gain Fluctuations for Optical Packet Buffering** Microwave and Opt. Tech. Lett., vol. 49, no. 10, pp. 2523-2526 (2007).

## Apêndice A

### Apresentação dos Cálculos e Descrição das Medidas Realizadas

#### A.1.

Principais Características do Amplificador Comercial *EDFA PGE 608 21/06 (Ericsson)* empregado em todas as medidas

Parâmetro	Condição	Mín.	Típ.	Máx.	Unid.
Temp. operação		0		70	°C
$\lambda$ 's de operação		1530		1563	nm
Potência de saída	$P_{IN} \geq -12$ dBm	20			dBm
	$P_{IN} \geq -18$ dBm	17			dBm
Figura de Ruído	$-24 \leq P_{IN} \leq -6$			6	dB
PMD				0,7	ps
PDG		-0,5		0,5	dB
Perda de Retorno - Entrada	EDFA desligado	40			dB
Perda de Retorno - Saída	EDFA desligado	40			dB
Tempo p/ ligar				6	ms
Tempo p/ desligar				6	ms
Consumo	$T = 70^{\circ}\text{C}$			12	W

**Tabela A.1** – Principais características do EDFA empregado.

O amplificador utiliza 2 fontes de bombeio co-propagantes em 980 e 1480 nm e 1 fonte de bombeio contra-propagante em 1480 nm. A fonte de corrente do *laser* de bombeio em 980 nm deve ser ajustada para 250 mA e as duas fontes de corrente em 1480 nm para 499 mA, todos valores máximos. Por sua vez, todas as fontes controladoras de temperatura devem ser ajustadas para 22°C ou 10 kΩ.

## A.2.

### Ganho

Para que pudéssemos visualizar a saturação do ganho (em dB) do amplificador para diferentes níveis de atenuação na realimentação, quando variamos a potência de entrada do canal de prova, cada ponto das figuras 7 e 8 foi obtido a partir da seguinte fórmula:

$$G = 10 \log \left( \frac{P_{OUT} - P_{ASEt}}{P_{IN}} \right) \quad (\text{A.2.1})$$

onde  $P_{OUT}$  é a potência de saída do canal de prova,  $P_{IN}$  é a potência de entrada do canal de prova e  $P_{ASEt}$  é a potência correspondente ao ruído de ASE presente no canal de prova na saída do sistema, todas estas grandezas em miliwatts.

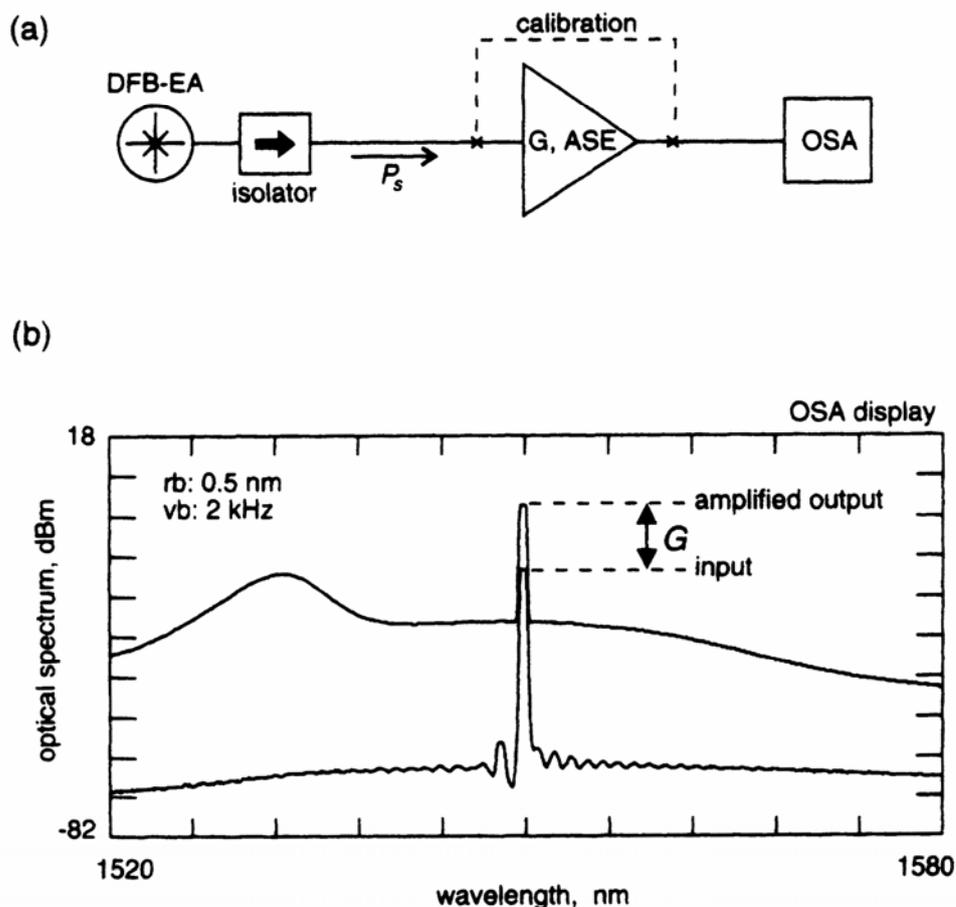
Este método está de acordo com o procedimento de medida de ganho de amplificadores ópticos descrito em [28], ilustrado na figura A.1 a seguir.

Segundo este método, medidas do espectro do sinal no canal de prova, com e sem o amplificador, permitem determinar o ganho. Entretanto, os efeitos combinados do ruído de emissão espontânea da fonte (*SSE – Source Spontaneous Emission*) e do ruído de ASE podem causar um erro grave de medida.

No nosso caso, o ruído de ASE era muitas vezes mais significativo do que o ruído de SSE e por isso este último foi desconsiderado<sup>55</sup>.

---

<sup>55</sup> Esta aproximação é válida apenas para o cálculo do ganho da eq. (A.2.1), pois para encontrar o valor da figura de ruído a SSE não pode ser ignorada.



**Figura A.1** – Medida do ganho de um amplificador óptico usando um analisador de espectro óptico (OSA); (a) Montagem a ser realizada para a medida; (b) Exemplo de uma medida de ganho, obtida diretamente da tela do OSA.

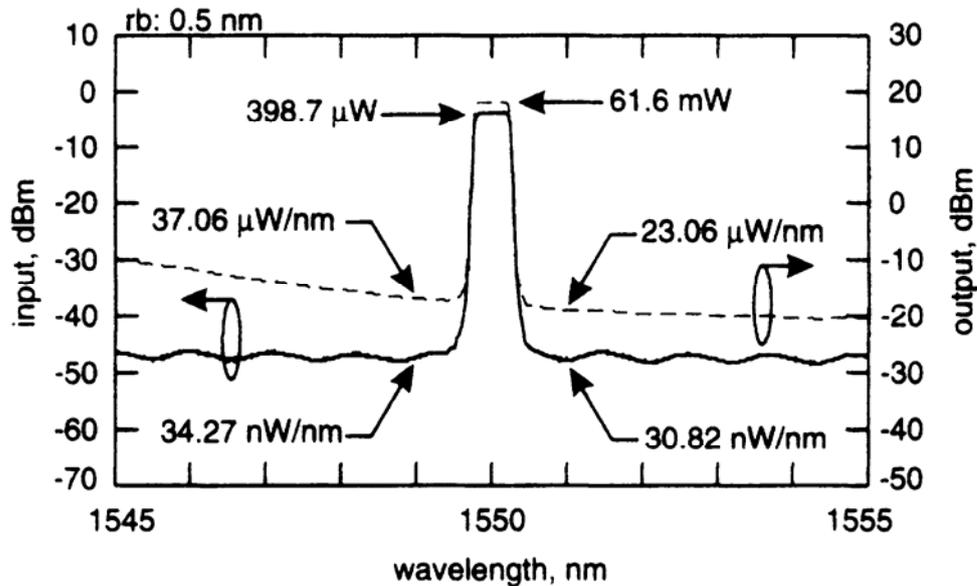
Para que pudéssemos determinar corretamente o valor  $P_{ASEt}$  e então descontá-lo de  $P_{OUT}$  na eq. (A.2.1), foi necessário fazer uma interpolação da potência de ASE em torno do comprimento de onda do canal de prova, 1 nm abaixo e 1 nm acima, aproximadamente<sup>56</sup>:

$$P_{ASEt} = \frac{P_{ASE}^- + P_{ASE}^+}{2} \quad (\text{A.2.2})$$

<sup>56</sup> Um procedimento de interpolação semelhante também é necessário ao cálculo da figura de ruído do EDFA ou sistema, não apenas para encontrar a ASE, mas também para determinar com precisão o ruído de emissão espontânea de fonte SSE.

Da mesma forma que no caso anterior, todas as grandezas devem ser expressas em miliwatts.

A figura a seguir serve como exemplo do procedimento de leitura dos valores de ASE e SSE necessários a interpolação:



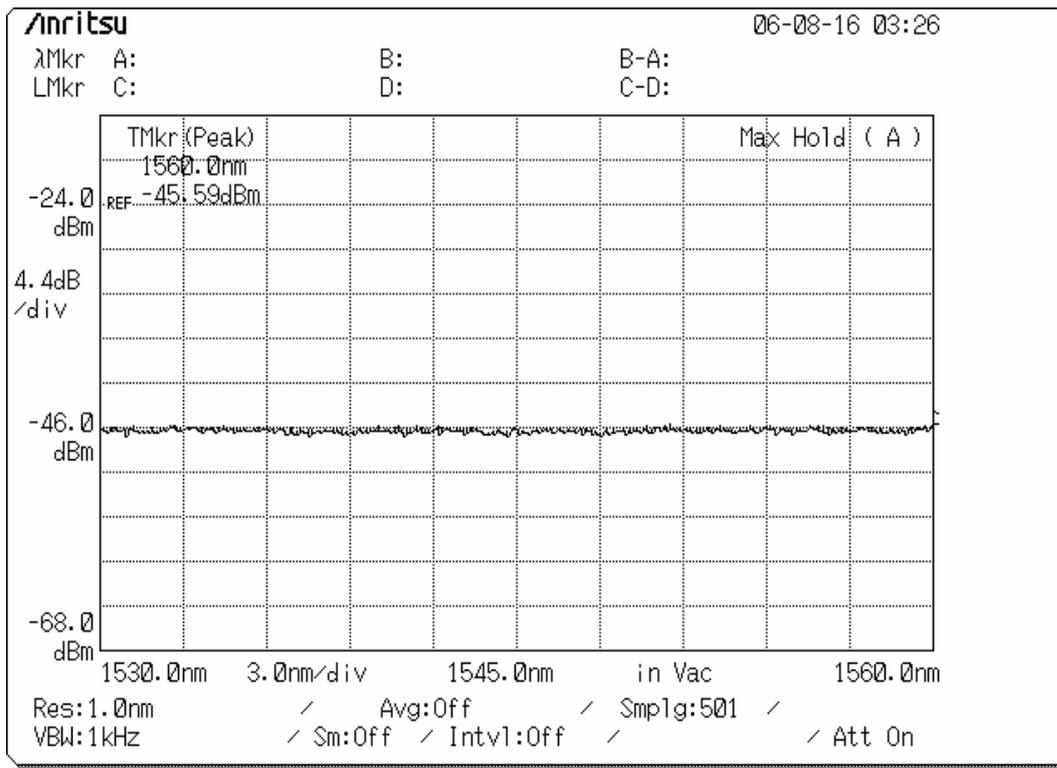
**Figura A.2** – Obtenção dos parâmetros para o cálculo do ganho e da figura de ruído e como interpolar a potência de ASE e SSE.

### A.3.

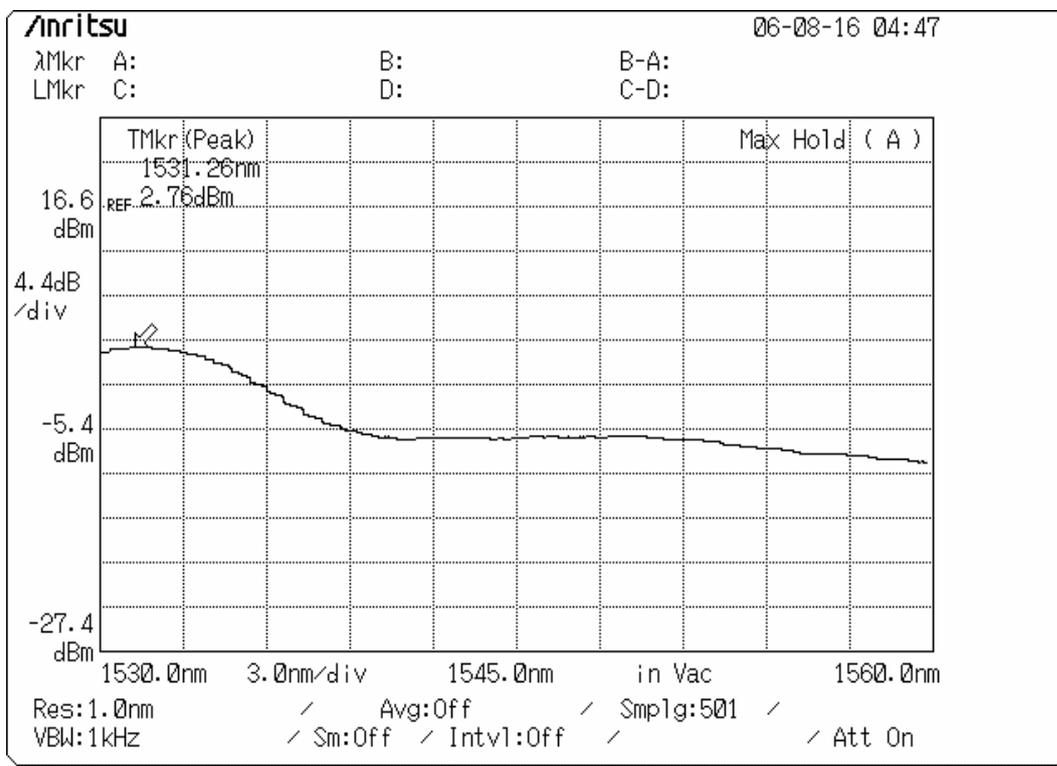
#### Ganho Espectral

A montagem realizada para a medida do espectro de ganho do EDFA foi aquela mostrada na figura A.1 (a).

Entretanto, o procedimento foi um pouco diferente: desta vez, usamos uma fonte *laser* sintonizável para percorrer passo-a-passo todos os canais WDM da banda C de transmissão (1530 a 1560 nm) e medimos os espectros, com e sem o amplificador, no OSA, como exemplificam as figuras a seguir:



**Figura A.3** – Sinal da entrada do EDFA, para a medida da distribuição espectral do ganho, obtido diretamente da tela do OSA.



**Figura A.4** – Sinal de saída do EDFA, para a medida da distribuição espectral do ganho, obtido diretamente da tela do OSA.

Fixamos a potência de entrada em -46 dBm, valor este que não influencia o nível de saturação do amplificador, independentemente da atenuação no laço de realimentação.

Nas figuras A.3 e A.4 percebe-se que foi usado um recurso do OSA chamado *Max Hold*, que permite armazenar apenas os valores máximos da potência espectral medida.

Além disso, é necessário haver um bom ajuste entre alguns parâmetros da fonte *laser* sintonizável e do OSA, de forma a evitar qualquer descontinuidade nos espectros medidos. Entre estes parâmetros estão o tamanho e o tempo do passo ajustados na fonte sintonizável e a resolução do OSA. Convém ressaltar ainda que, uma vez ajustados, os parâmetros devem ser mantidos para as medidas realizadas na presença e na ausência do amplificador.

De posse dos espectros de saída e entrada (ou seja, com e sem o amplificador), basta subtrair um do outro para obter o ganho espectral.

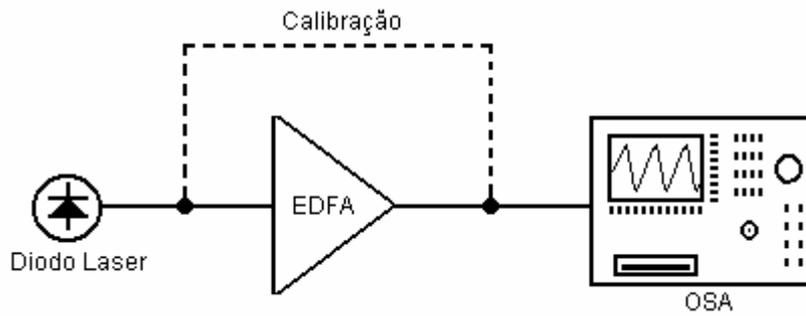
#### A.4.

#### **Medida da Figura de Ruído: Método da Eliminação do Ruído da Fonte (*Source Subtraction Method*)**

A figura de ruído (*NF – Noise Figure*) é uma medida da degradação da SNR quando o sinal se propaga da entrada até a saída do sistema. Matematicamente escrevemos:

$$NF = \frac{SNR_{IN}}{SNR_{OUT}} \quad (A.4.1)$$

Para a medida da figura de ruído do sistema utilizamos o Método da Supressão da Fonte (*Source-Subtraction Method*), cuja montagem a ser realizada é ilustrada na figura a seguir:



**Figura A.5** - Método da Supressão da Fonte para medida da Figura de Ruído, OSA: analisador de espectro óptico.

O problema básico da realização da medida de figura de ruído é que a fonte de luz a ser utilizada para gerar um sinal de potência de entrada e comprimento de onda variáveis apresenta emissão espontânea, chamada apropriadamente de *emissão espontânea da fonte* (*SSE - Source Spontaneous Emission*). Esta *SSE* é amplificada, juntamente com o sinal, e portanto adicionada à potência de saída do EDFA. Assim, para medir apenas a contribuição do sinal e da *ASE* do EDFA, a contribuição da *SSE* deve ser eliminada.

A densidade espectral de potência da *SSE* da fonte *laser* utilizada,  $P_{SSE}$ , é determinada durante o processo de calibração, quando nenhum amplificador está presente na montagem, sendo o valor armazenado em um arquivo. Neste momento, mede-se também a potência do sinal de entrada  $P_s^{in}$ .

Entretanto, considerando-se que o valor correto da *SSE* somente é encontrado após a interpolação dos valores marginais ao comprimento de onda do canal em questão, 1 nm abaixo e 1 nm acima aproximadamente, uma atenção especial deve ser dispensada durante a leitura destes valores marginais, principalmente no regime de pequenos sinais, para o qual a potência de entrada do canal é pequena.

Deve-se certificar que os valores marginais de *SSE* não estejam sendo lidos diretamente do nível do ruído de fundo do OSA, o qual depende da resolução escolhida. Neste caso, como a potência do canal é pequena, o nível do ruído de fundo pode ser maior do que o valor real do ruído de emissão espontânea de fonte *SSE*, resultando em um valor de figura de ruído menor do que o real. Nos casos extremos, quando este erro de medida torna-se muito grande, o valor encontrado

para a figura de ruído pode ser ainda menor do que o limite quântico do EDFA, que é de 3 dB.

No passo seguinte, o amplificador é inserido na montagem e a densidade espectral de potência da ASE,  $P_{ASE}^{out}$ , é medida, que inclui também a SSE. Em seguida, mede-se a potência total do sinal de saída do EDFA,  $P_s^{out}$ , que inclui a ASE e a SSE amplificadas. Conhecendo estes valores, o ganho  $G$  e a figura de ruído  $NF$  são calculados a partir das seguintes expressões:

$$G = \frac{P_s^{out} - P_{ASE}^{out}}{P_s^{in}} \quad (A.4.2)$$

e

$$NF = \frac{P_{ASE}^{out}}{G h \nu B_0} + \frac{1}{G} - \frac{P_{SSE}}{h \nu B_0} \quad (A.4.3)$$

onde  $\nu$  é a frequência óptica correspondente ao comprimento de onda no qual a medida é realizada<sup>57</sup>,  $h$  é a constante de Plank e  $B_0$  é a banda-passante do filtro óptico do receptor. O último termo da equação acima representa a subtração da SSE amplificada. Para o valor de  $NF$  em  $dB$ , fazemos  $10 \log(NF)$  [28].

Na prática, realizamos a medida da figura de ruído para várias condições de operação do sistema, dependendo do nível de saturação do amplificador. Assim, para aderir maior confiabilidade ao processo de medição e obter o resultado mais rapidamente, o cálculo da figura de ruído do sistema foi realizado computacionalmente, por meio de uma planilha de cálculo elaborada no *software Excel*. Uma vez fornecidos os valores do comprimento de onda do sinal, resolução do analisador de espectro óptico (que deve ser ajustada para o valor máximo do equipamento utilizado, neste caso 0,07 nm),  $P_s^{in}$ ,  $P_s^{out}$ ,  $P_{SSE}$  e  $P_{ASE}^{out}$ , de acordo com o que foi estabelecido anteriormente, a planilha fornece instantaneamente o valor do ganho e da figura de ruído correspondentes, em  $dB$ .

---

<sup>57</sup>  $\nu = c/\lambda$ .

Dentre as grandezas supra-relacionadas,  $P_s^{out}$  e  $P_{ASE}^{out}$  são diretamente afetadas pelas *oscilações de relaxação* características da cavidade óptica.

## A.5.

### Depleção e Variações de Ganho

A curva da depleção do ganho em relação ao seu valor máximo foi obtida a partir do seguinte cálculo:

$$G = 10 \log \left( \frac{V_{max}}{V_{\alpha-max}} \right) \quad (A.5.1)$$

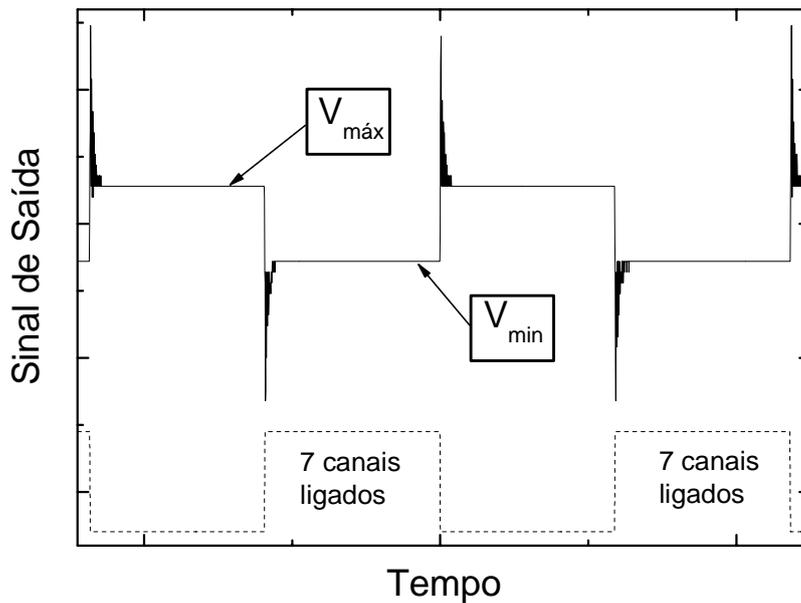
onde  $V_{max}$  representa o valor máximo do sinal de saída no canal de prova para cada atenuação e  $V_{\alpha-max}$  o valor máximo na saída quando a atenuação é máxima. Ou seja, cada valor de ganho da figura 13 encontra-se normalizado em relação ao ganho máximo.

Na mesma figura, os pontos correspondentes às variações de ganho foram obtidos da seguinte forma:

$$V = 10 \log \left( \frac{V_{max}}{V_{min}} \right) \quad (A.5.2)$$

onde  $V_{max}$  e  $V_{min}$  representam os valores máximo e mínimo do sinal de saída no canal de prova para cada nível de atenuação no laço de realimentação.

É importante salientar que estas *variações* de ganho foram causadas pela realocação de canais que é um evento considerado “lento”, ou seja, a potência na entrada do amplificador sofre uma alteração brusca mas permanece em seu novo nível por um tempo relativamente grande. Por conseguinte, os valores  $V_{max}$  e  $V_{min}$  foram lidos após a atuação do controle de ganho e a completa estabilização da resposta do EDFA em seu novo nível, como mostra a próxima figura:



**Figura A.6** – Exemplo das variações de ganho no canal de prova em função da realocação de 7 canais da rede óptica, de onde se obtém  $V_{\text{máx}}$  e  $V_{\text{min}}$ .

#### A.6.

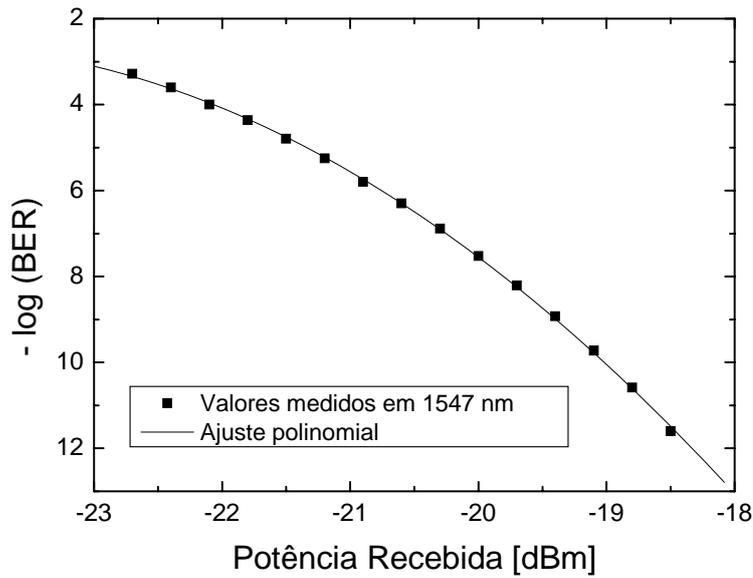
### Penalidade de Potência em Função da Excitação Ressonante das Oscilações de Relaxação

Para que pudéssemos obter os valores de penalidade de potência da figura 19, foi necessário primeiramente determinar a penalidade de potência por década de variação da curva de BER, calculada da seguinte forma:

$$PP_{DEC} = P_{BER=10^{-9}} - P_{BER=10^{-8}} \quad (\text{A.6.1})$$

onde  $PP_{DEC}$  é a penalidade de potência por década e  $P_{BER=10^{-9}}$  e  $P_{BER=10^{-8}}$  são as potências recebidas para se obter as referidas taxas de erro.

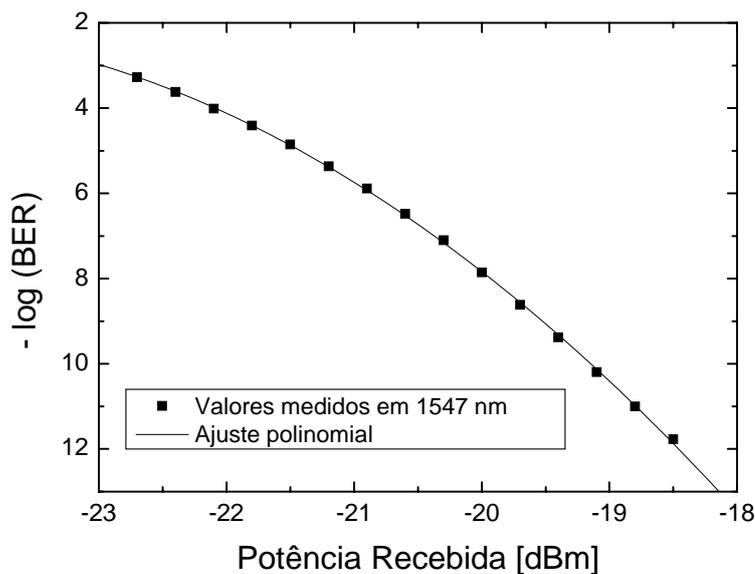
Logo, fêz-se necessário medir as curvas de BER de referência em 1547 nm (comprimento de onda da fonte *laser* integrada ao equipamento utilizado para medir taxa de erros) para cada uma das redes de Bragg. Estas curvas de BER são mostradas a seguir:



**Figura A.7** – Curva de BER de referência em 1547 nm para  $\lambda_{\text{FBG}} = 1528$  nm.

A partir da figura A.7 calculamos a penalidade de potência por década de variação da curva de BER quando a rede de 1528 nm foi empregada:

$$PP_{DEC} = P_{BER=10^{-9}} - P_{BER=10^{-8}} = -19,379949 + 19,786058 = 0,406109 \quad (\text{A.6.2})$$



**Figura A.8** – Curva de BER de referência em 1547 nm para  $\lambda_{\text{FBG}} = 1564$  nm.

De forma análoga, a partir da figura A.8 calculamos a penalidade de potência por década de variação da curva de BER quando a rede de 1564 nm foi empregada:

$$PP_{DEC} = P_{BER=10^{-9}} - P_{BER=10^{-8}} = -19,528650 + 19,934428 = 0,405778 \quad (A.6.3)$$

Restou-nos então verificar qual o valor da taxa de erro,  $BER_{RES}$ , medida na ressonância entre as frequências de realocação dos canais e natural de oscilação, em função da atenuação, para cada um dos comprimentos de onda do *laser* na cavidade<sup>58</sup>.

Após reunirmos todos estes parâmetros, calculamos cada penalidade de potência da figura 19 da seguinte forma:

$$PP = PP_{DEC} \log\left(\frac{BER_{RES}}{BER_{ref}}\right) \quad (A.6.4)$$

onde  $BER_{ref}$  corresponde à taxa de erros quando não há ressonância. Para ambas as redes este valor foi medido como sendo  $1,3 \times 10^{-9}$ .

## A.7.

### Flutuações de Ganho

Sempre que empregamos a expressão “flutuações de ganho” nos referimos ao comportamento dinâmico do EDFA, no qual rápidas flutuações de potência na entrada do amplificador, usualmente provocadas pelo tráfego de pacotes ou rajadas de dados, levam o ganho do amplificador a oscilar rapidamente.

Com isto, a potência dos pacotes ou rajadas que propagarem-se posteriormente pelo EDFA sofrerá uma queda ou um aumento exagerados ao

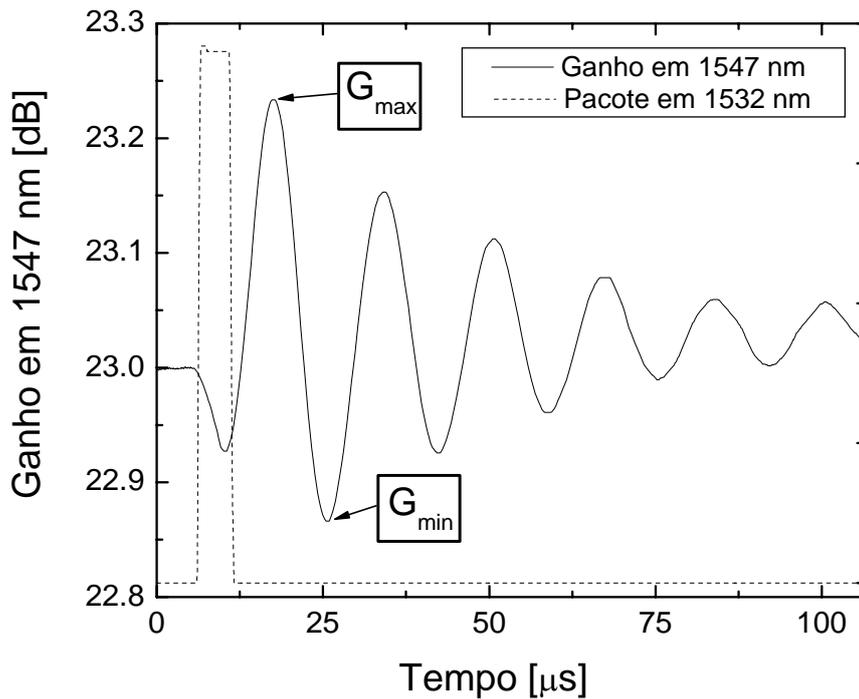
---

<sup>58</sup> Estes valores podem ser facilmente obtidos a partir da observação das figuras 15 e 17 do capítulo 4.

longo de sua extensão, dependendo do seu atraso em relação ao distúrbio que deu origem às flutuações de ganho.

Por conseguinte, a *flutuação* é a diferença, em decibéis, entre os valores máximo e mínimo das oscilações de ganho medidas no canal de prova e provocadas pela propagação prévia de um pacote ou rajada em outro canal.

A figura 21 ilustra claramente este conceito e por isso a repetimos a seguir:



**Figura A.9** – Exemplo das flutuações de ganho em  $\lambda_{prova} = 1547$  nm em função da propagação de um pacote no canal de 1532 nm;  $\lambda_{FBG} = 1564$  nm.

Na figura 22, a dependência espectral das flutuações de ganho do EDFA foi calculada da seguinte maneira:

$$G_F = 10 \log \left( \frac{V_{máx}}{V_{mín}} \right) \quad (A.7.1)$$

onde  $G_F$  é a flutuação de ganho em decibéis e  $V_{máx}$  e  $V_{mín}$  são os valores máximo e mínimo da flutuação do sinal de saída no canal de prova. Convém ressaltar que,

por considerarmos o desempenho máximo do sistema de controle de ganho proposto e apenas uma passagem do sinal pelo amplificador, a influência do ruído de ASE é pequena e pôde ser desprezada.

Entretanto, seja no caso da figura 30 do capítulo 6 ou das figuras 40 a 43 do capítulo 8, por estarmos considerando uma situação em que a eficiência do controle de ganho proposto não é ótima ou então emulando uma linha de amplificadores e analisando os efeitos acumulados, o ruído de ASE exerce influência sobre as flutuações de ganho e não pode ser desprezado.

Por isso, nos referidos casos, as flutuações de ganho foram obtidas como mostrado a seguir:

$$G_F = 10 \log \left( \frac{V_{m\acute{a}x} - V_{ASE}}{V_{m\acute{i}n} - V_{ASE}} \right) \quad (\text{A.7.2})$$

onde  $V_{ASE}$  é o nível de tensão medido no sinal de saída do canal de prova correspondente ao ruído de ASE, para o amplificador ou ciclo em questão.

## A.8.

### Supressão da Potência dos Pacotes

Como vimos, tanto a potência do cabeçalho quanto a do corpo de um segundo pacote pode sofrer uma *depleção*, dependendo do atraso em relação ao pacote que o precedeu.

*Depleção* é a diferença, em decibéis, entre a amplitude normal de um pacote que não sofreu nenhum distúrbio em seu processo de amplificação e a amplitude resultante da depreciação provocada pelas flutuações de ganho.

Dito de outra forma, é a excursão máxima em decibéis que pode sofrer a potência de um pacote em virtude das flutuações de ganho.

Logo, o valor da *depleção* pode ser encontrado facilmente pela diferença entre o nível normal de potência ou ganho do pacote e o nível mínimo provocado pelas flutuações de ganho.