

Referências Bibliográficas

- [1] CONNELLY, M. J., **Semiconductor Optical Amplifiers**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] AGRAWAL, G. P., **Fiber Optic Communications Systems**, 3. ed. Wiley-Interscience, 2002.
- [3] KEISER, G., **Optical Fiber Communications**, 3. ed. McGraw-Hill, 2000.
- [4] NESSET, D., KELLY, T., e MARCENAC, D., “All-optical wavelength conversion using SOA nonlinearities,” **IEEE Commun. Mag.**, pp. 56–61, Dezembro de 1998.
- [5] ELMIRGHANI, J. M. H. e MOUFTAH, H. T., “All-optical wavelength conversion: Technologies and applications in DWDM networks,” **IEEE Commun. Mag.**, v. 38, n. 3, pp. 86–92, Março de 2000.
- [6] IANNONE, E., et al., “All-optical wavelength conversion in optical multicarrier networks,” **IEEE Trans. Commun.**, v. 44, n. 6, pp. 716–724, Junho de 1996.
- [7] YOO, S. J. B., “Wavelength conversion technologies for WDM network applications,” **J. Lightwave Technol.**, v. 14, n. 6, pp. 955–966, Junho de 1996.
- [8] DURHUUS, T., et al., “All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers,” **J. Lightwave Technol.**, v. 14, n. 6, pp. 942–954, Junho de 1996.
- [9] DEMING, L., HONG, N. J., e CHAO, L., “Wavelength conversion based on cross-gain modulation of ASE spectrum of SOA,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 12, n. 9, pp. 1541–1545, Setembro de 2000.
- [10] SHEN, Y., et al., “Single to multi wavelength conversion using amplified spontaneous emission of semiconductor optical amplifier,” In: **Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, 2001. OFC 2001**, v. 1, 2001, pp. ME1–1 – ME1–3.

- [11] ZHANG, X., et al., "Single to 16-channel wavelength conversion at 10Gb/s based on cross-gain modulation of ASE spectrum in SOA," **Optical and Quantum Electronics**, v. 36, pp. 627–634, Maio de 2004.
- [12] RAMASWAMI, R. e SIVARAJAN, K. N., **Optical Networks: A Practical Perspective**, 2. ed. Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [13] AGRAWAL, G. P. e DUTTA, N. K., **Long-Wavelength Semiconductor Lasers**, 1. ed. Van Nostrand Reinhold, 1986.
- [14] O'MAHONY, M. J., "Semiconductor laser optical amplifiers for use in future fiber systems," **J. Lightwave Technol.**, v. 6, n. 4, pp. 531–544, Abril de 1988.
- [15] GROVE, A. S., **Physics and Technology of semiconductor devices**. John Wiley & Sons, 1967.
- [16] SZE, S. M., **Physics of Semiconductor Devices**, 3. ed. Wiley-Interscience, 1981.
- [17] GUSTAVSSON, M., KARLSSON, A., e THYLÉN, L., "Traveling wave semiconductor laser amplifier detectors," **J. Lightwave Technol.**, v. 8, n. 4, pp. 610–617, Abril de 1990.
- [18] SHARAIHA, A., "Simultaneous in-line photodetection using semiconductor optical amplifier in presence of bi-directional transmission," In: **Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting, 1998. LEOS '98. IEEE**, v. 1, 1-4 de Dezembro de 1998, pp. 303–304.
- [19] SHARAIHA, A. e GUEGAN, M., "Harmonic and intermodulation distortion analysis by perturbation and harmonic balance methods for in-line photodetection in a semiconductor optical amplifier," **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 10, n. 3, pp. 421–423, Março de 1998.
- [20] SHARAIHA, A., GUEGAN, M., e BIHAN, J. L., "Harmonics photodetection analysis in a multi-electrode semiconductor optical amplifier SOA," In: **High Performance Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications, 1999. EDMO. 1999 Symposium on**, 22-23 de Novembro de 1999, pp. 284–289.
- [21] SHARAIHA, A., et al., "Analysis of high frequency pass-band photodetection response at the rear contact in a multi-electrode SOA," In: **High Performance Electron Devices for Microwave and Optoelectronic**

Applications, 2000 8th IEEE International Symposium on, 13-14 de Novembro de 2000, pp. 158–162.

- [22] SHARAIHA, A. e GUEGAN, M., “Analysis of the sign reversal of the photodetected signal response in a multielectrode semiconductor optical amplifier,” **J. Lightwave Technol.**, v. 19, n. 8, pp. 1185–1193, Agosto de 2001.
- [23] ADAMS, M. J., et al., **Semiconductor Lasers for Long-Wavelength Optical-Fibre Communication Systems**, 1. ed. Peter Peregrinus, 1987.
- [24] OLSSON, N. A., “Lightwave systems with optical amplifiers,” **J. Lightwave Technol.**, v. 7, n. 7, pp. 1071–1082, Julho de 1989.
- [25] LIMA, R. A. A., “Simulação e análise de desempenho de sistemas Ópticos digitais utilizando amplificadores Ópticos a fibra dopada com Érbio,” Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.
- [26] OBERMANN, K., et al., “Noise analysis of frequency converters utilizing semiconductor-laser amplifiers,” **IEEE J. Quantum Electron.**, v. 33, n. 1, pp. 81–88, Janeiro de 1997.
- [27] WINTNER, E. e IPPEN, E. P., “Nonlinear carrier dynamics in $Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ compounds,” **Appl. Phys. Lett.**, v. 44, n. 10, pp. 999–1001, 15 de Maio de 1984.
- [28] OLSHANSKY, R., et al., “Measurement of radiative and nonradiative recombination rates in InGaAsP and AlGaAs light sources,” **IEEE J. Quantum Electron.**, v. QE-20, n. 8, pp. 838–854, Agosto de 1984.
- [29] WIESENFELD, J. M., et al., “Wavelength conversion at 10Gb/s using a semiconductor optical amplifier,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 5, n. 11, pp. 1300–1303, Novembro de 1993.
- [30] ———, “Bit error rate performance for wavelength conversion at 20Gbit/s,” **Electron. Lett.**, v. 30, n. 9, pp. 720–721, Abril de 1994.
- [31] STORKFELT, N., et al., “Measurement of carrier lifetime and linewidth enhancement factor for 1.5- μ m ridge-waveguide laser amplifier,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 3, n. 7, pp. 632–634, Julho de 1991.

- [32] JOERGENSEN, C., et al., “All-optical wavelength conversion at bit rates above 10Gb/s using semiconductor optical amplifiers,” **IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.**, v. 3, n. 5, pp. 1168–1180, Outubro de 1997.
- [33] DURHUUS, T., MIKKELSEN, B., e STUBKJAER, K. E., “Detailed dynamic model for semiconductor optical amplifiers and their crosstalk and intermodulation distortion,” **J. Lightwave Technol.**, v. 10, n. 8, pp. 1056–1065, Agosto de 1992.
- [34] VALIENTE, I., SIMON, J. C., e LIGNE, M. L., “Theoretical analysis of semiconductor optical amplifier wavelength shifter,” **Electron. Lett.**, v. 29, n. 5, pp. 502–503, Março de 1993.
- [35] JOERGENSEN, C., et al., “4 Gb/s optical wavelength conversion using semiconductor optical amplifiers,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 5, n. 6, pp. 657–660, Junho de 1993.
- [36] GIRARDIN, F., GUEKOS, G., e HOUBAVLIS, A., “Gain recovery of bulk semiconductor optical amplifiers,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 10, n. 6, pp. 784–786, Junho de 1998.
- [37] OSINSKI, M. e ADAMS, M. J., “Gain spectra of quaternary semiconductors,” **IEE Proc. I**, v. 129, n. 6, pp. 229–236, Dezembro de 1982.
- [38] WILLNER, A. E. e SHIEH, W., “Optimal spectral and power parameters for all-optical wavelength shifting: Single stage, fanout and cascadability,” **J. Lightwave Technol.**, v. 13, n. 5, pp. 771–781, Maio de 1995.
- [39] SALEH, B. E. A. e TEICH, M. C., **Fundamentals of Photonics**, 1. ed. John Wiley & Sons, 1991.
- [40] BANDYOPADHYAY, S., “A self assembled nanoelectric quantum computer based on the Rashba effect in quantum dots,” **Phys. Rev. B**, v. 61, n. 20, pp. 13 813–13 820, 15 de Maio de 2000.
- [41] AGRAWAL, G. P., **Nonlinear Fiber Optics**, 3. ed. Academic Press, 2001.
- [42] STUBKJAER, K. E., “Semiconductor optical amplifier-based all-optical gates for high-speed optical processing,” **IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.**, v. 6, n. 6, pp. 1428–1435, Novembro de-Dezembro de 2000.

- [43] ASGHARI, M., WHITE, I. H., e PENTY, R. V., “Wavelength conversion using semiconductor optical amplifiers,” **J. Lightwave Technol.**, v. 15, n. 7, pp. 1181–1190, Julho de 1997.
- [44] MANNING, R. J., et al., “Enhanced recovery rates in semiconductor laser amplifiers using optical pumping,” **Electron. Lett.**, v. 30, n. 10, pp. 787–788, Maio de 1994.
- [45] MANNING, R. J., DAVIES, D. A. O., e LUCEK, J. K., “Recovery rates in semiconductor laser amplifiers: Optical and electrical bias dependencies,” **Electron. Lett.**, v. 30, n. 15, pp. 1233–1235, Julho de 1994.
- [46] PLEUMEEKERS, J. L., et al., “Acceleration of gain recovery in semiconductor optical amplifiers by optical injection near transparency wavelength,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 14, n. 1, pp. 12–14, Janeiro de 2002.
- [47] AGRAWAL, G. P. e OLSSON, N. A., “Self-phase modulation and spectral broadening of optical pulses in semiconductor laser amplifiers,” **IEEE J. Quantum Electron.**, v. 25, n. 11, pp. 2297–2306, Novembro de 1989.
- [48] RAMAMURTHY, B. e MUKHERJEE, B., “Wavelength conversion in WDM networking,” **IEEE J. Select. Areas Commun.**, v. 16, n. 7, pp. 1061–1073, Setembro de 1998.
- [49] RIBEIRO, R. O., et al., “Characterisation of all-optical wavelength conversion by cross-gain modulation of ASE on a SOA,” In: **International Microwave and Optoelectronics Conference, 2005. IMOC 2005. IEEE**, 25 a 28 de Julho de 2005.
- [50] CAO, S.-C. e CARTLEDGE, J. C., “Time- and frequency-domain characterization of the modulated ASE noise in SOA-MZI wavelength converters,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 14, n. 7, pp. 962–964, Julho de 2002.
- [51] YAMATOYA, T. e KOYAMA, F., “Optical preamplifier using inverted signal of amplified spontaneous emission in saturated semiconductor optical amplifier,” **Electron. Lett.**, v. 37, n. 25, pp. 1547–1548, 6 de Dezembro de 2001.
- [52] ———, “Optical preamplifier using anti-reflection-coating-free semiconductor optical amplifier with signal-inverted ASE,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 15, n. 8, pp. 1047–1049, Agosto de 2003.

- [53] —, “Modulation dynamics of amplified spontaneous emission in saturated GaInAsP/InP semiconductor optical amplifiers,” In: **Indium Phosphide and Related Materials, 2003. International Conference on**, 12 a 16 de Maio de 2003, artigo TuP26, pp. 194–197.
- [54] PAROLARI, P., et al., “Coherent-to-incoherent light conversion for optical correlators,” **J. Lightwave Technol.**, v. 18, n. 9, pp. 1284–1288, Setembro de 2000.
- [55] LEE, J. S., CHUNG, Y. C., e DIGIOVANNI, D. J., “Spectrum-sliced fiber amplifier light source for multichannel WDM applications,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 5, n. 12, pp. 1458–1461, Dezembro de 1993.
- [56] JUNG, D. K., et al., “Wavelength-division-multiplexed passive optical network based on spectrum-slicing techniques,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 10, n. 9, pp. 1334–1336, Setembro de 1998.
- [57] JANG, Y. S., LEE, C.-H., e CHUNG, Y. C., “Effects of crosstalk in WDM systems using spectrum-sliced light sources,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 11, n. 6, pp. 715–717, Junho de 1999.
- [58] JANG, Y. S. e CHUNG, Y. C., “Four-wave mixing of spectrum-sliced fiber amplifier light source in a dispersion-shifted fiber,” In: **Optical Fiber Communication. OFC 97., Conference on**, v. 11, 16 a 21 de Fevereiro de 1997, pp. 71–72.
- [59] MENIF, M., et al., “Incoherent-to-coherent wavelength conversion using semiconductor optical amplifier,” In: **Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC 2004)**, v. 3, 20 a 24 de Junho de 2004, pp. 1740–1744.
- [60] —, “Error-free transmission for incoherent broad-band optical communications systems using incoherent-to-coherent wavelength conversion,” **J. Lightwave Technol.**, v. 23, n. 1, pp. 287–294, Janeiro de 2005.
- [61] WOLFSON, D., FJELDE, T., e KLOCH, A., “Techniques for all-optical wavelength conversion in DWDM networks,” In: **Lasers and Electro-Optics, 2001. CLEO/Pacific Rim 2001. The 4th Pacific Rim Conference on**, v. 2, 15 a 19 de Julho de 2001, artigo ThB3-3, pp. II-574 – II-575.
- [62] DANIELSEN, S. L., et al., “All optical wavelength conversion schemes for increased input power dynamic range,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 10, n. 1, pp. 60–62, Janeiro de 1998.

- [63] JEON, M.-Y., et al., “All-optical wavelength conversion for 20-Gb/s RZ format data,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 12, n. 11, pp. 1528–1560, Novembro de 2000.
- [64] LEUTHOLD, J., et al., “100 Gbit/s all-optical wavelength conversion with integrated SOA delayed-interference configuration,” **Electron. Lett.**, v. 36, n. 13, pp. 1129–1130, 22 de Junho de 2000.
- [65] MIKKELSEN, B., et al., “All-optical noise reduction capability of interferometric wavelength converters,” **Electron. Lett.**, v. 32, n. 6, pp. 566–567, 14 de Março de 1996.
- [66] JOERGENSEN, C., et al., “Wavelength conversion by optimized monolithic integrated mach-zehnder interferometer,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 8, n. 4, pp. 521–523, Abril de 1996.
- [67] HUI, R. e MECOZZI, A., “Phase noise of four-wave mixing in semiconductor lasers,” **Appl. Phys. Lett.**, v. 60, n. 20, pp. 2454–2456, 18 de Maio de 1992.
- [68] CIARAMELLA, E. e TRILLO, S., “All-optical signal reshaping via four-wave mixing in optical fibers,” **IEEE Photon. Technol. Lett.**, v. 12, n. 7, pp. 849–851, Julho de 2000.
- [69] REALE, A., CARLO, A. D., e LUGLI, P., “Gain dynamics in traveling-wave semiconductor optical amplifiers,” **IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.**, v. 7, n. 2, pp. 293–299, Março/Abril de 2001.
- [70] EISENSTEIN, G., et al., “Gain recovery time of traveling-wave semiconductor optical amplifiers,” **Appl. Phys. Lett.**, v. 54, n. 5, pp. 454–456, Janeiro de 1989.
- [71] ANNETTS, P. J., ASHGARI, M., e WHITE, I. H., “The effect of carrier transport on the dynamic performance of gain-saturation wavelength conversion in MQW semiconductor optical amplifiers,” **IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.**, v. 3, n. 2, pp. 320–329, Abril de 1997.
- [72] DERICKSON, D., Ed., **Fiber Optic Test and Measurement**. New Jersey: Prentice Hall PRT, 1998.

A

Caracterização dos dispositivos empregados

Neste apêndice serão descritos todos os dispositivos utilizados nas montagens práticas dos conversores de comprimento de onda apresentados nesta dissertação. Serão apresentadas, também, as metodologias das medidas, incluindo diagramas das montagens e gráficos.

Os dispositivos, com exceção do SOA, possuem *pigtails* de fibra padrão monomodo, e conectores do tipo FC/PC.

A.1

Laser semiconductor

Para os experimentos, foi utilizado um laser DFB de comprimento de onda de emissão de aproximadamente 1556 nm , que apresenta uma potência de 3 dBm , a uma corrente de polarização de 105 mA . O laser é seguido de um isolador óptico para minimizar reflexões do medidor de potência, evitando assim a degradação do dispositivo em medida. O isolador, da marca ISOWAVE, possui aproximadamente 70 dB de isolamento.

O diagrama da montagem é visto na Figura A.1, e sua curva característica na Figura A.2. Da sua curva, pode se inferir que o laser apresenta uma corrente de limiar (*threshold*) de aproximadamente 45 mA . O medidor de potência empregado foi o “FPM-8200”, da ILX Lightwave.

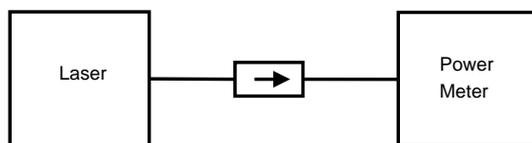


Figura A.1: Diagrama para a medição da curva do laser empregado.

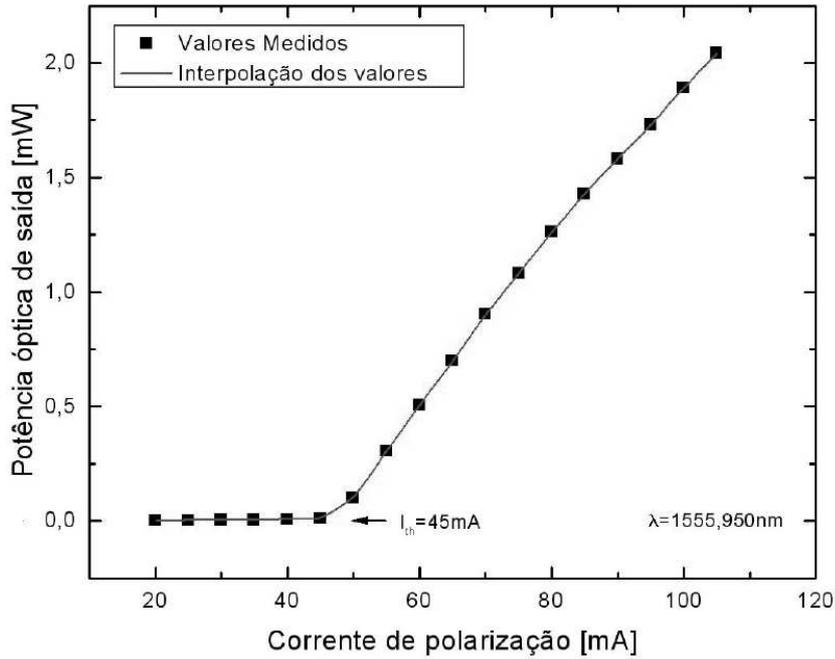


Figura A.2: Curva $P \times I$ do laser utilizado.

A.2 Gerador de pulsos curtos

Para a obtenção de pulsos elétricos curtos, com FWHM - *Full Width at Half Maximum* - da ordem de 50 ps, utilizou-se um dispositivo denominado gerador de pente, que é um filtro de harmônicos. O esquemático para esta medida está na Figura A.3.

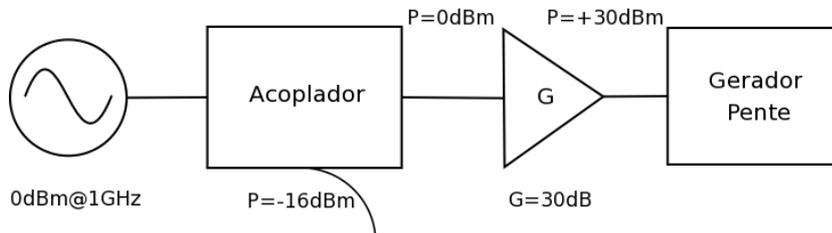


Figura A.3: Diagrama para a geração de pulsos curtos no tempo.

Para a excitar os harmônicos do gerador de pente, é necessário a utilização de um amplificador, pois o sintetizador utilizado – modelo “83752B”, da HP – não produz potência suficiente para tanto. O sinal retirado do acoplador direcional é ligado ao osciloscópio digital de amostragem, modelo “54120B”, da

HP, na entrada de *trigger*, para sincronizá-lo com o sinal original, senoidal. O acoplador utilizado foi o modelo “3102C-16”, da Narda, de -16 dB de acoplamento. O amplificador de RF empregado foi da Mini-Circuits, modelo “ZHL-2-8”. A Figura A.4 mostra um exemplo de tais pulsos, a uma taxa de repetição de 1 GHz.

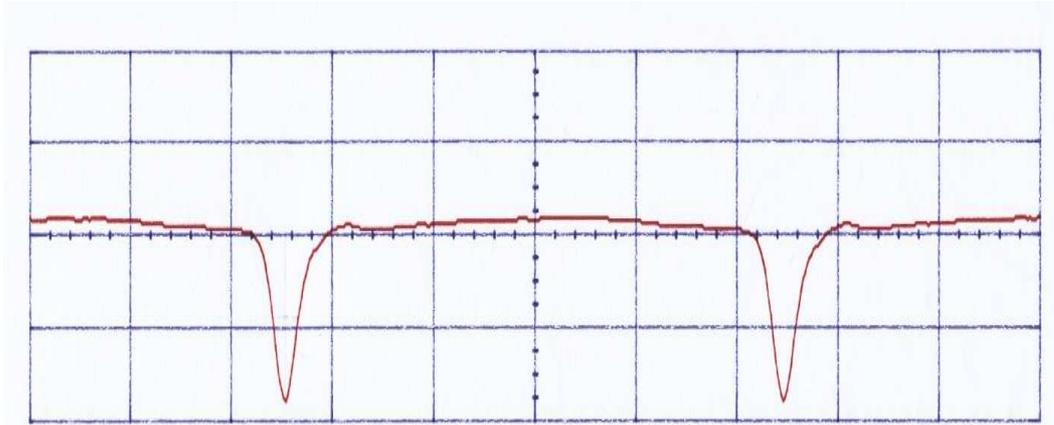


Figura A.4: Exemplo de pulsos elétricos curtos, a 1 GHz de taxa de repetição.

A.3 Modulador externo

O conhecimento da curva de transferência do modulador externo, é importante para se saber exatamente onde polarizá-lo, de modo a assegurar a máxima excursão do sinal na saída deste. É medida a potência de saída pela tensão de polarização do modulador. O modelo do modulador externo é “x2624C” da Lucent Technologies. Este é um modulador do tipo Mach-Zehnder, em substrato de LiNbO_3 .

Para determinar a máxima excursão do sinal, utilizou-se a montagem demonstrada na Figura A.5. Um controlador de polarização foi introduzido antes do modulador externo, pois este é um dispositivo sensível à polarização do sinal de entrada. Para a obtenção desta curva, se polarizou o laser a uma corrente DC de 90 mA. A curva de transferência, em mW, está na Figura A.6, enquanto a mesma curva, para valores em decibéis, normalizados para o máximo está na Figura A.7. Nota-se da Figura A.7, que a diferença entre as potências de máximo e mínimo é de 25 dB, que é o valor máximo de razão de extinção que um sinal modulado com este dispositivo pode apresentar.

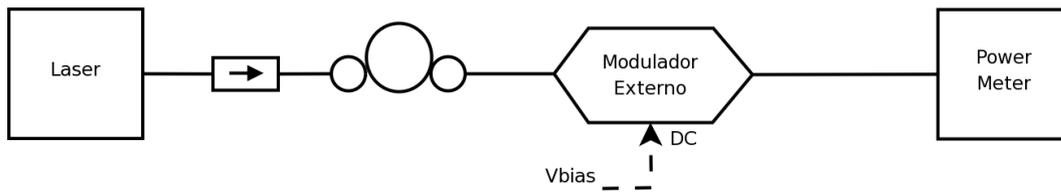


Figura A.5: Diagrama de medição da curva de transferência do modulador externo.

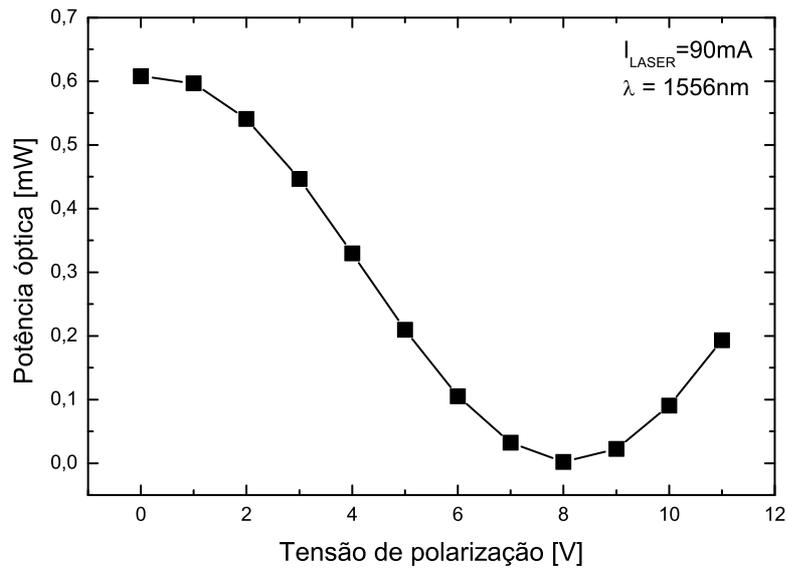


Figura A.6: Curva de transferência do modulador externo, em mW .

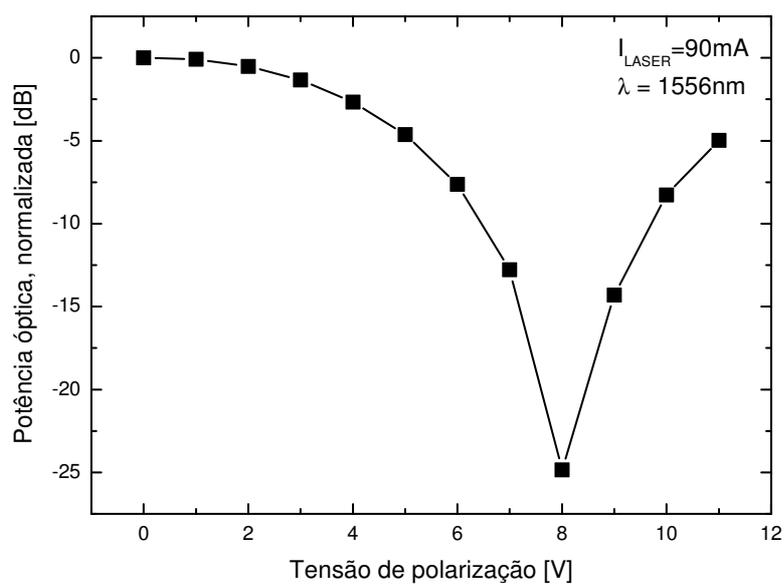


Figura A.7: Curva de transferência do modulador externo em dB , normalizada.

O modulador externo utilizado é capaz de ser modulado por pulsos curtos de 50 ps, já que sua largura de banda nominal é de 25 GHz. Uma comparação dos pulsos elétricos de entrada e depois de serem detectados após o modulador externo se encontra na Figura A.8.

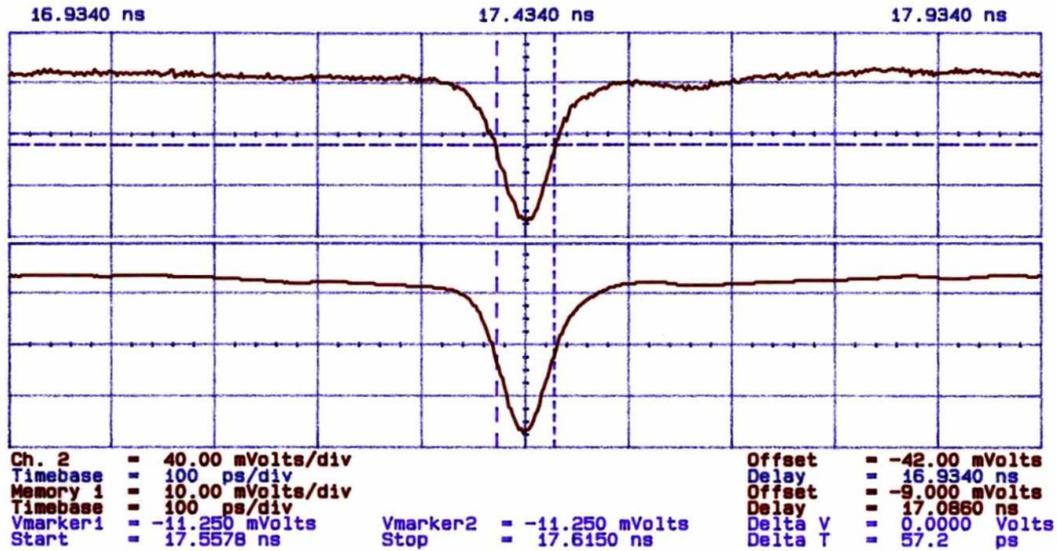


Figura A.8: Exemplo de pulsos elétricos curtos. O pulso de entrada é o do quadro superior, enquanto o detectado após o modulador está embaixo. O pulso no quadro inferior foi invertido propositalmente no osciloscópio. $V_{bias} = V_{\pi}$.

Pode-se perceber da Figura A.8 que os pulsos ópticos mantêm sua forma ao serem modulados pelo modulador externo, e, ainda percebe-se que o interferômetro do modulador limpou o sinal, ao se comparar o nível de ruído presente no sinal de entrada.

A.4 Amplificadores ópticos semicondutores

Foram utilizados dois amplificadores nesta Dissertação: um sub-montado e outro da InPhenix. Ambos foram construídos a partir de estruturas do tipo *multi-quantum well*.

O primeiro amplificador utilizado foi montado no fim de uma linha de transmissão *microstrip* de 50 Ω . Este amplificador não possuía encapsulamento nem qualquer dispositivo de controle de temperatura ou limite de corrente. A luz foi acoplada de e para o SOA através de lentes GRIN - *Graded-Index*, índice de refração gradual - montadas em microposicionadores. Uma foto que mostra esta montagem pode ser vista na Figura A.9. A segunda montagem, com o amplificador encapsulado, é ilustrada na Figura A.10.

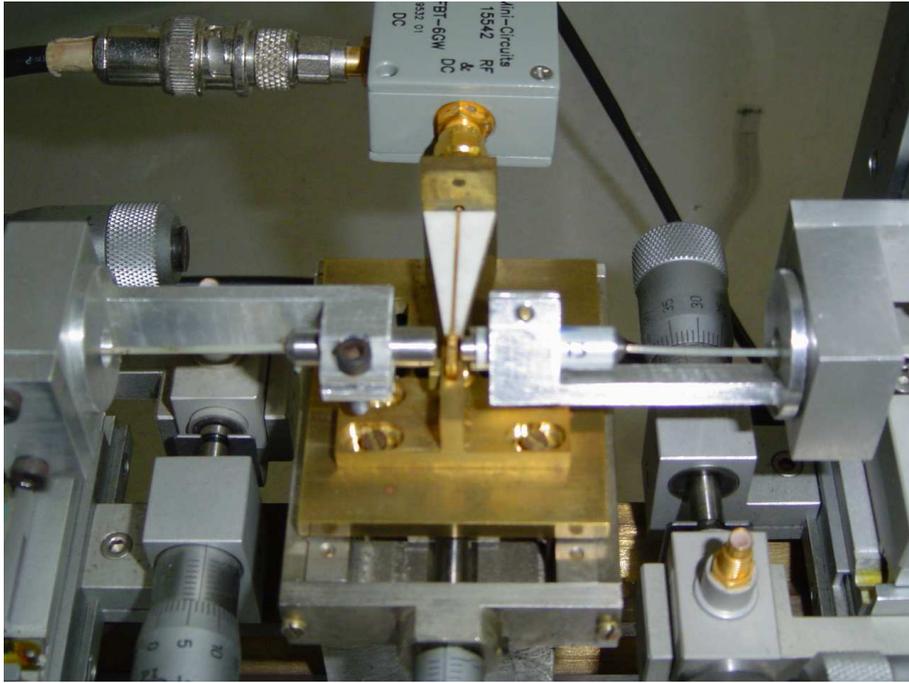


Figura A.9: Foto da montagem do SOA sub-montado. A entrada do SOA está à esquerda. A lente da direita contém um isolador integrado. Ao fim da linha de transmissão vê-se um “T” de polarização, no alto da foto.

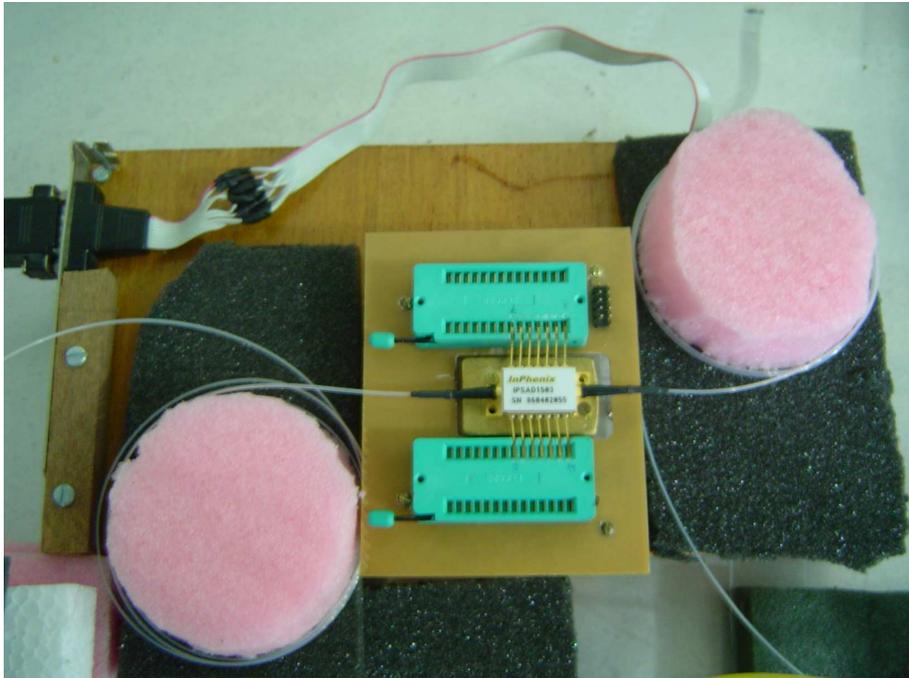


Figura A.10: Foto da montagem do SOA encapsulado. Este foi montado utilizando-se dois conectores do tipo ZIF - *Zero-Insertion Force*.

A.4.1 Ganho dos SOAs

Para medir o ganho dos SOAs, utilizou-se o esquemático da Figura A.11:

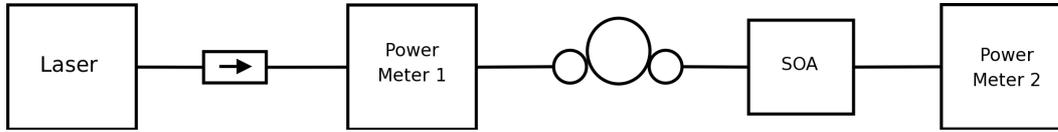


Figura A.11: Diagrama para a medição do ganho dos SOAs.

A metodologia da medição é bem simples:

1. Mede-se a potência na entrada do dispositivo - esta é dita P_1 ;
2. Mede-se a potência na saída do dispositivo - esta é dita P_2 ;
3. O ganho (adimensional) é dado por:

$$G_{med} = \frac{P_2}{P_1} \quad (A-1)$$

4. O ganho em dB é:

$$G_{med,dB} = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) [dB] \quad (A-2)$$

Entretanto, para sinais de baixíssimas potências, o ganho - condição de pequenos sinais - é superestimado. Para corrigir o erro, que é devido à emissão estimulada da fonte [72], lança-se mão de uma fórmula, que retira a influência da SSE. A fórmula é [72]:

$$\frac{G_{med}}{G} = 1 + B_0 \frac{F h \nu}{P_s} \quad (A-3)$$

Com uma simples manipulação algébrica, chegamos a uma expressão mais simples para o cálculo da figura de ruído de um amplificador óptico:

$$G = \frac{G_{med} P_s}{P_s + B_0 F h \nu} \quad (A-4)$$

- onde, G_{med} é o ganho medido;
 B_0 é a banda óptica da medida;
 F é a figura de ruído do SOA
 h é a constante de Planck, $h = 6,625 \times 10^{-34} J.s$
 ν é a frequência do sinal; e,
 P_s é a potência de entrada do sinal.

Portanto, para corrigir o ganho, precisa-se conhecer a figura de ruído do SOA [72]. Para se medir a figura de ruído, usa-se uma montagem similar à do ganho, exceto que o sinal é observado no analisador de espectro óptico, OSA, ao invés de no medidor de potência óptica. Das medidas, pode-se calcular, então, a figura de ruído do SOA, que é dada por [72]:

$$F = \frac{P_{ASE}}{G_{med} h\nu B_0} - \frac{1}{G_{med}} + \frac{P_{SSE}}{h\nu B_0} \quad (\text{A-5})$$

onde, P_{ASE} é a potência da ASE, na vizinhança da medida;
 G_{med} é o ganho medido, no comprimento de onda; e,
 P_{SSE} é a potência da emissão espontânea da fonte

Com o ganho já corrigido, seguem os gráficos de ganho *vs.* P_{OUT} , nas Figuras A.12 e A.13. **Nota:** A diferença na correção das duas curvas foi causada pelas diferentes resoluções empregadas para as duas medidas.

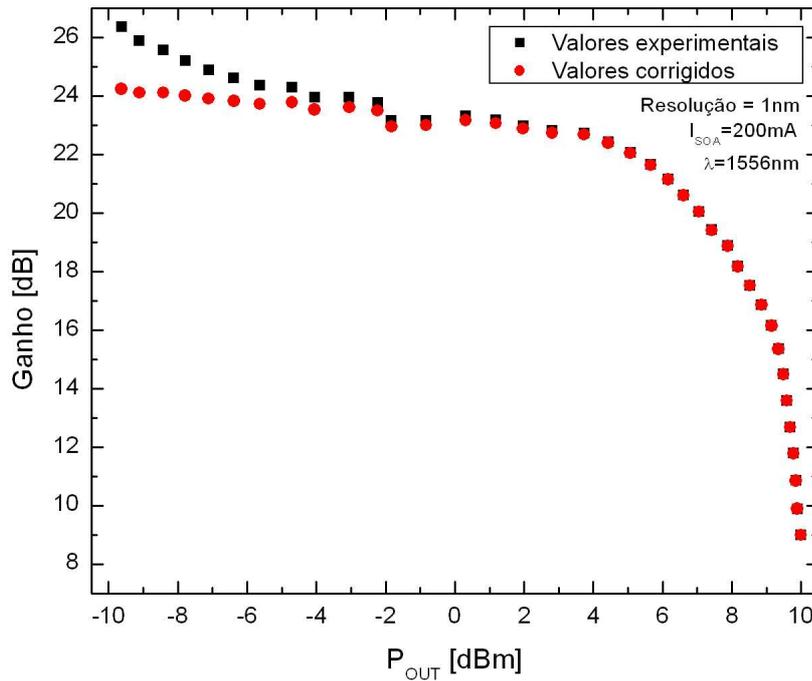


Figura A.12: Ganho do SOA sub-montado, por P_{OUT} , para $\lambda = 1556 \text{ nm}$ e $I_{SOA} = 200 \text{ mA}$.

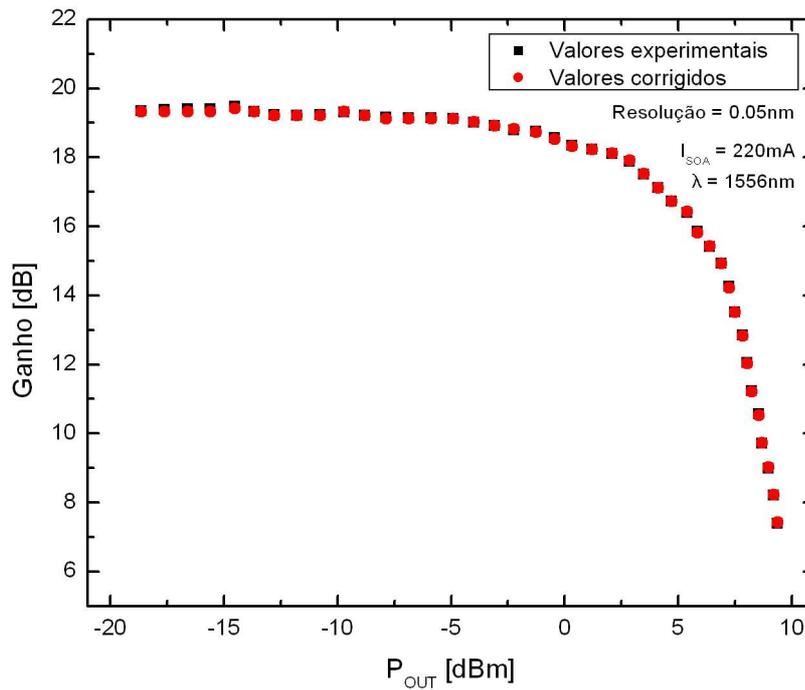


Figura A.13: Ganho do SOA encapsulado, por P_{OUT} , para $\lambda = 1556 \text{ nm}$ e $I_{SOA} = 220 \text{ mA}$.

A.4.2 Espectro de ganho dos SOAs

O espectro de ganho do SOA foi medido com um procedimento similar ao ganho em um único comprimento de onda. Para a avaliação do ganho, fez-se as medidas em dois níveis de potência específicos¹:

- 2,41 dBm**, condição denominada “Grandes Sinais”
- 20 dBm**, condição denominada “Pequenos Sinais”

O esquemático destas medidas está na Figura A.14, incluindo os equipamentos de medida utilizados:

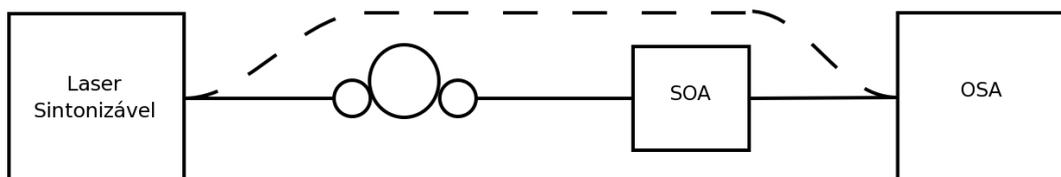


Figura A.14: Diagrama para as medições de espectro de ganho do SOA.

¹O uso destes valores é justificado pelos limites de varredura do aparelho

O procedimento é estritamente o mesmo, exceto que as potências a serem medidas, são ao longo de uma banda, não em um único comprimento de onda.

1. Mede-se a potência na entrada do dispositivo - esta é dita $P_1(\lambda)$;
2. Mede-se a potência na saída do dispositivo - esta é dita $P_2(\lambda)$;
3. O Ganho (adimensional) é dado por:

$$G_{med}(\lambda) = \frac{P_2(\lambda)}{P_1(\lambda)} \quad (A-6)$$

4. O Ganho em dB é:

$$G_{med}(\lambda) = 10 \log \left(\frac{P_2(\lambda)}{P_1(\lambda)} \right) [dB] \quad (A-7)$$

Foram levantados alguns gráficos de espectro de ganho, por diferentes valores de corrente de polarização do SOA, que, pode-se ver nas Figuras A.15, A.16, A.17 e A.18 que, quão maior for a corrente, maior será o ganho.

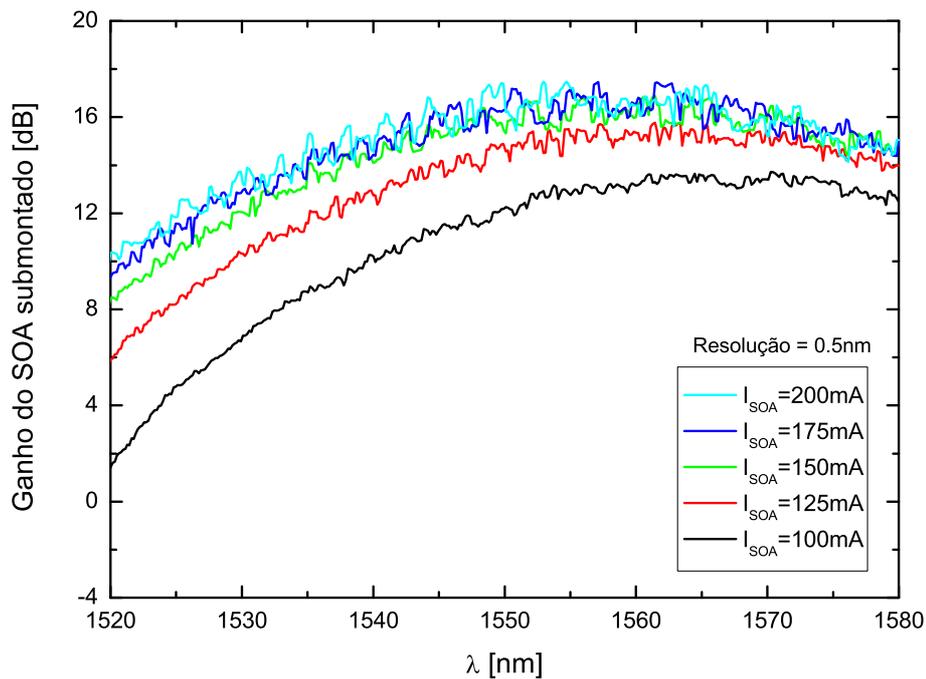


Figura A.15: Ganho para pequenos sinais em função de comprimento de onda do SOA sub-montado, para uma variação de I_{SOA} .

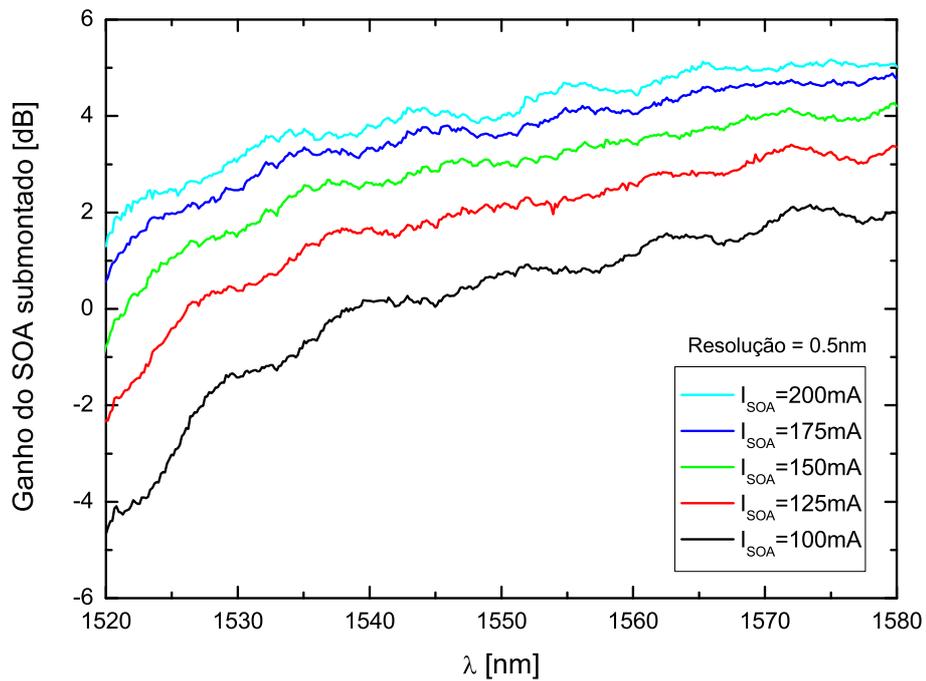


Figura A.16: Ganho para grandes sinais em função de comprimento de onda do SOA sub-montado, para uma variação de I_{SOA} .

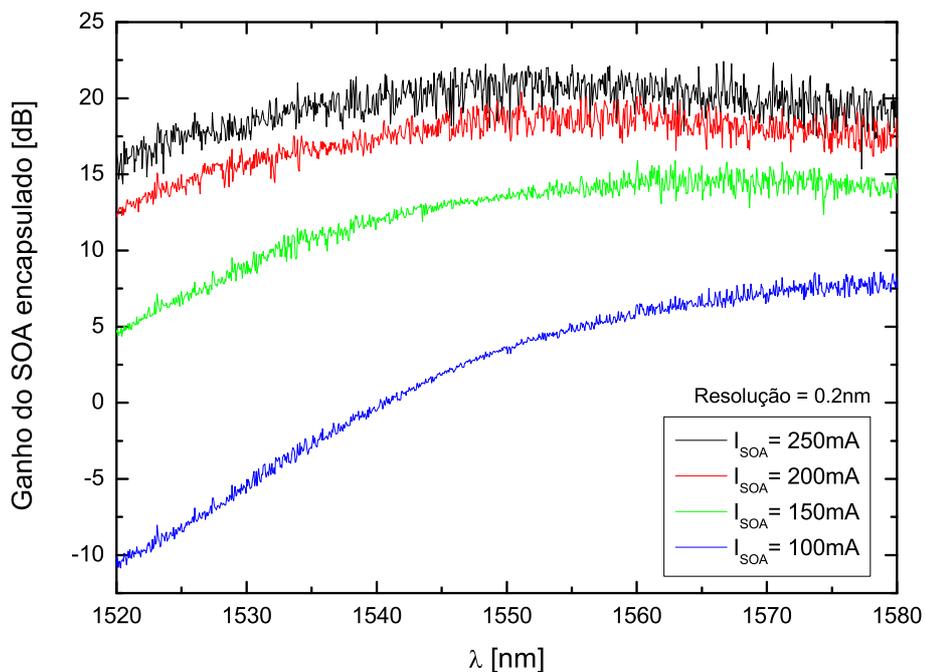


Figura A.17: Ganho para pequenos sinais em função de comprimento de onda do SOA encapsulado, para uma variação de I_{SOA} .

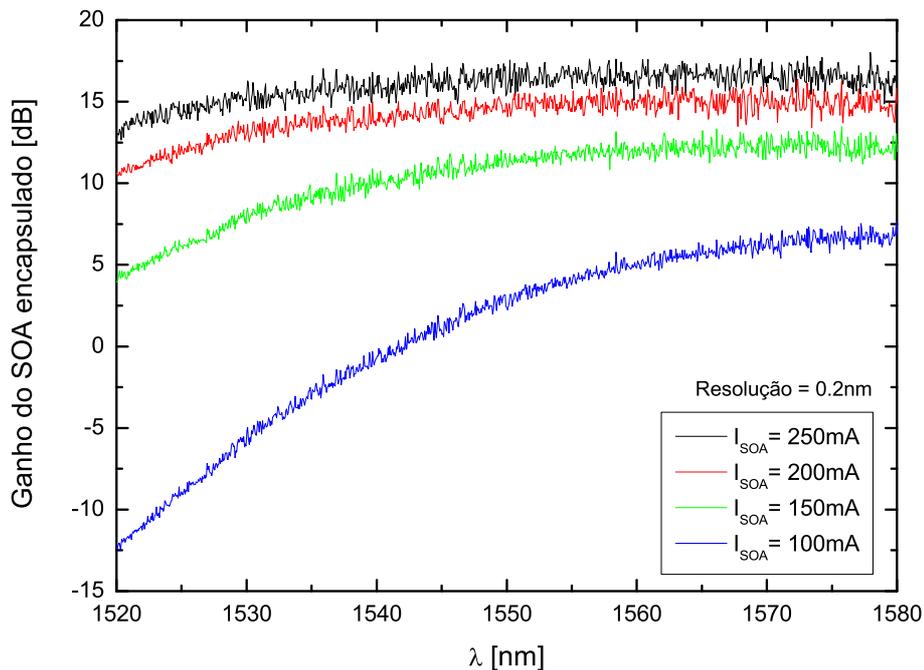


Figura A.18: Ganho para grandes sinais em função de comprimento de onda do SOA encapsulado, para uma variação de I_{SOA} .

Percebe-se que, para a mesma faixa de espectro, o amplificador da InPhenix apresenta largura de banda da amplificação maior que o dispositivo sub-montado e maior ganho.

A.4.3 Espectro da ASE dos SOAs

Para a medição do espectro da ASE do SOA, apenas liga-se a alimentação do SOA e conecta-se sua saída no OSA. O diagrama está na Figura A.19:

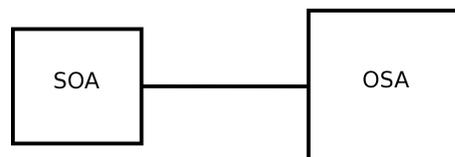


Figura A.19: Diagrama para as medições do espectro da ASE.

Assim como para o ganho e o espectro de ganho, o espectro da ASE foi avaliado para diversos valores de corrente de polarização do amplificador. As figuras, com os espectros no mesmo gráfico, são a A.20 e A.21.

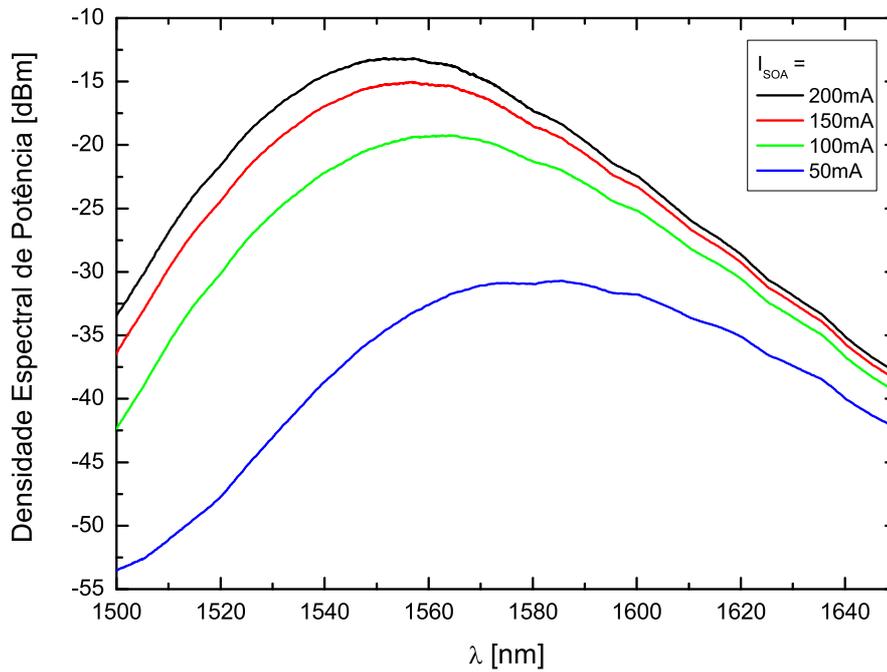


Figura A.20: Densidade espectral de potência da ASE do SOA sub-montado, para uma variação da corrente de polarização.

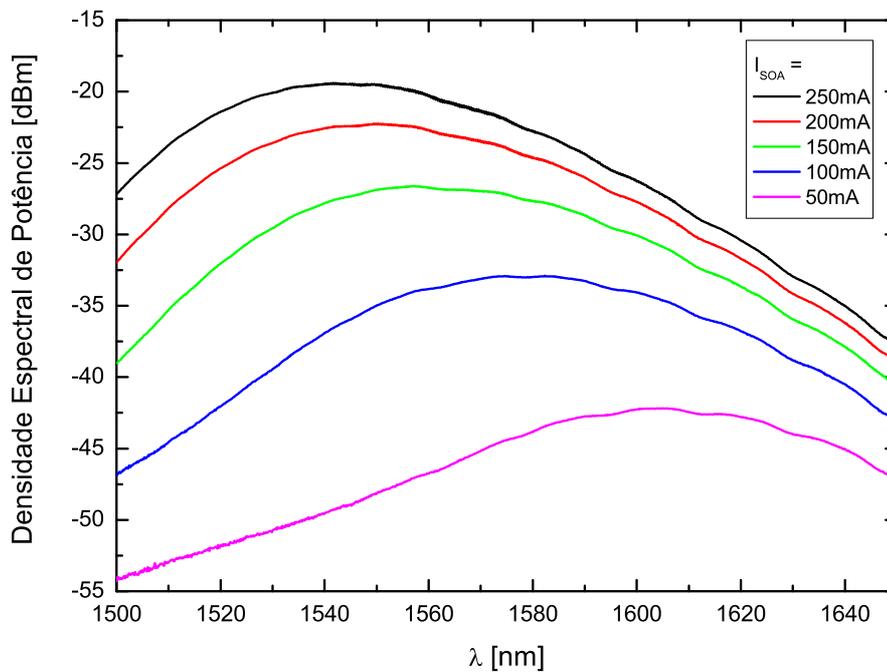


Figura A.21: Densidade espectral de potência da ASE do SOA da InPhenix, para uma variação da corrente de polarização.

Destas medições, se pôde perceber que o pico da ASE se desloca para comprimentos de onda menores com o aumento da corrente, com o deslocamento do ganho; e, que o amplificador da InPhenix gera menos densidade espectral de ASE que o sub-montado.

A.5

Amplificador a fibra dopada com Érbio

Para que os sinais pudessem ser detectados da melhor maneira, i.e., com maior potência, utilizou-se um amplificador a fibra dopada com Érbio, EDFA - *Erbium Doped Fiber Amplifier*. O EDFA utilizado é um equipamento comercial da HP, modelo “EFA 2001-SF”. E é um dispositivo *rack-mount*, ou seja, para montagem em armários. Este é alimentado por uma fonte de tensão de -48 V . O EDFA, no entanto, apresenta ganho moderado, pois é um modelo com duplo bombeio, e, um de seus lasers de bombeio está com defeito, diminuindo assim o ganho do dispositivo.

Os esquemáticos para as medições para os EDFAs utilizados na montagem são similares aos utilizados para os SOAs.

A.5.1

Ganho do EDFA

O procedimento para a medição do ganho do EDFA é exatamente o mesmo dos SOAs. O esquemático encontra-se na Figura A.22.

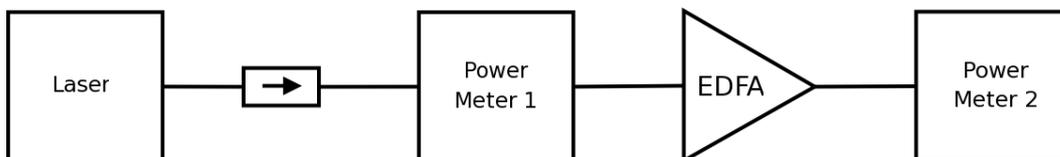


Figura A.22: Diagrama para a medição do ganho.

O ganho do EDFA também foi corrigido pelo mesmo método [72], e o gráfico se encontra na Figura A.23.

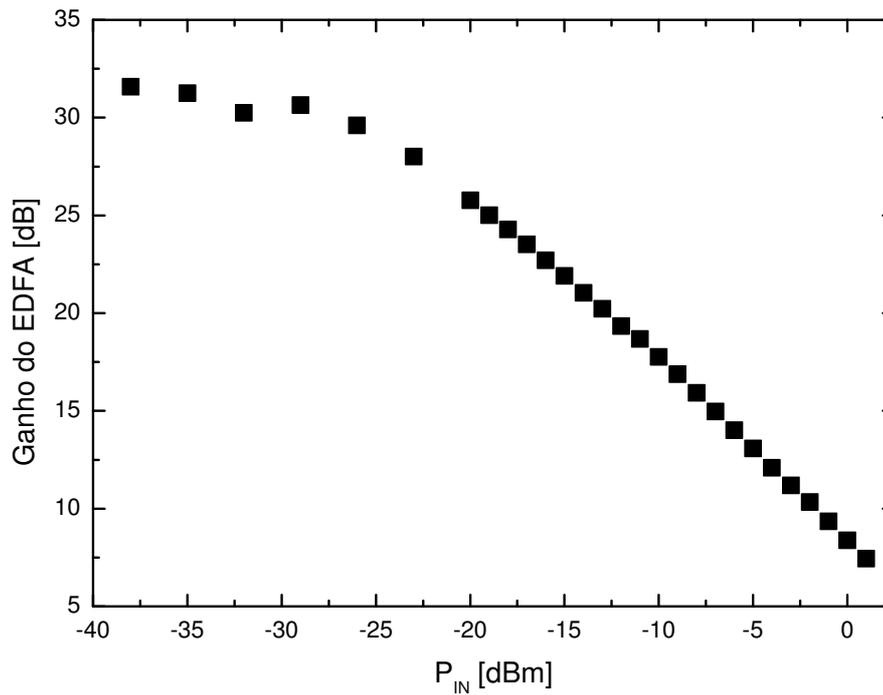


Figura A.23: Ganho do EDFA por P_{IN} , para $\lambda = 1556 \text{ nm}$.

A.5.2 Espectro de ganho do EDFA

Assim como a medida anterior, o espectro de ganho também é medido segundo o mesmo procedimento. O diagrama contendo o esquemático da medida está na Figura A.24. O espectro encontra-se na Figura A.25.

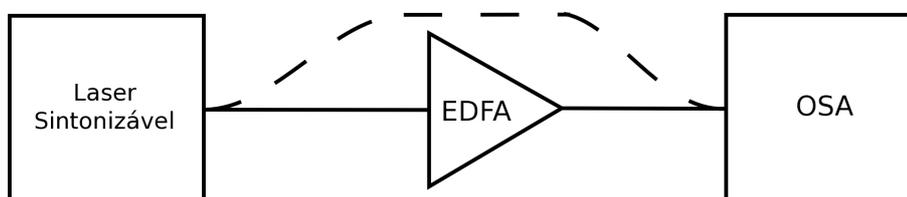


Figura A.24: Diagrama para as medições de espectro de ganho do EDFA.

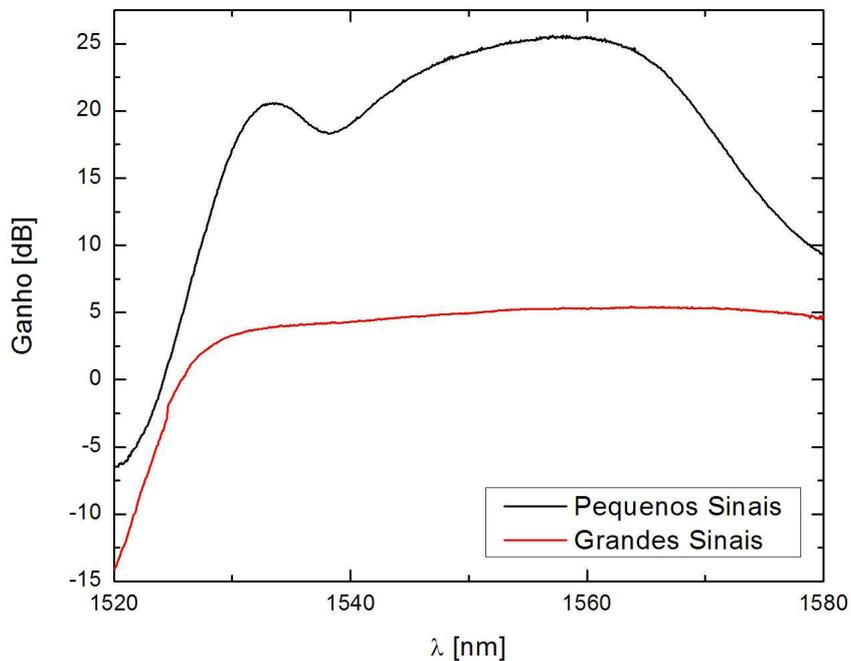


Figura A.25: Espectro de ganho do EDFA.

A.5.3 Espectro da ASE do EDFA

Exatamente como no caso do SOA, o espectro da ASE do EDFA é medido ligando-se diretamente o amplificador ao analisador de espectro óptico. Entretanto, como este é um dispositivo comercial, não podemos variar nenhum parâmetro de entrada, como a corrente dos lasers de bombeio, por exemplo; apenas o alimentamos com a fonte de tensão fixa. Portanto, o EDFA em questão sempre emitirá este espectro. O esquemático para as medições se encontra na Figura A.26.

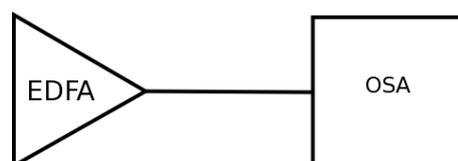


Figura A.26: Diagrama para as medições do espectro da ASE do EDFA.

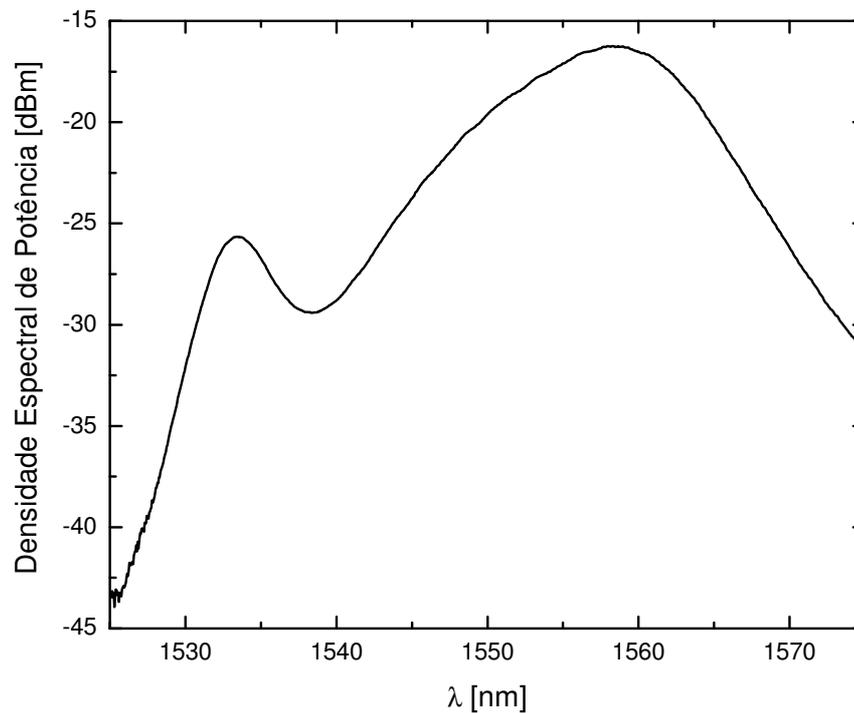


Figura A.27: Espectro da ASE do EDFA.

A.6

Filtro óptico passa-faixa sintonizável

O filtro óptico utilizado foi um do tipo *Fabry-Perot*, sintonizável na banda C (1530 a 1560 nm). É um dispositivo comercial, da JDS FITEL, modelo “TB1500B”, que contém *pigtails* e conectores.

A caracterização do filtro é feita ao se utilizar uma fonte de espectro largo - LED, por exemplo - e se medir a perda de inserção dele. O esquema está ilustrado na Figura A.28. Em seguida, há os espectros da fonte (LED) e da luz do LED depois do filtro na Figura A.29; a perda de inserção, para comprimento de onda central de 1552 nm, está na Figura A.30.

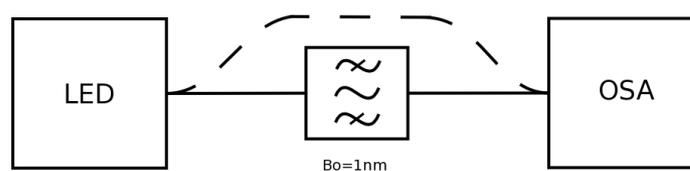


Figura A.28: Diagrama para a caracterização do filtro óptico utilizado.

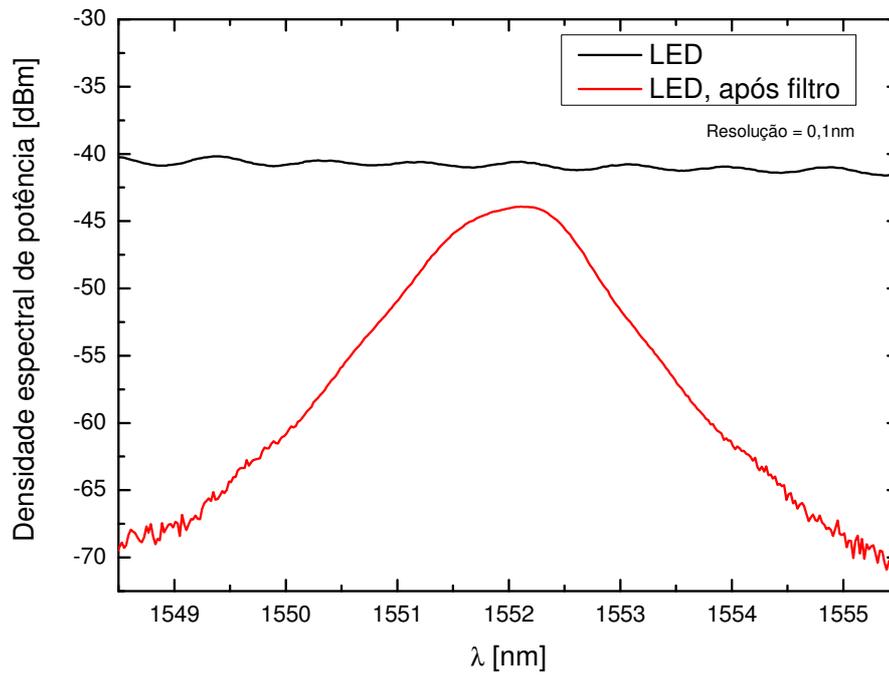


Figura A.29: Espectros do LED e do filtro, para $\lambda = 1552 \text{ nm}$.

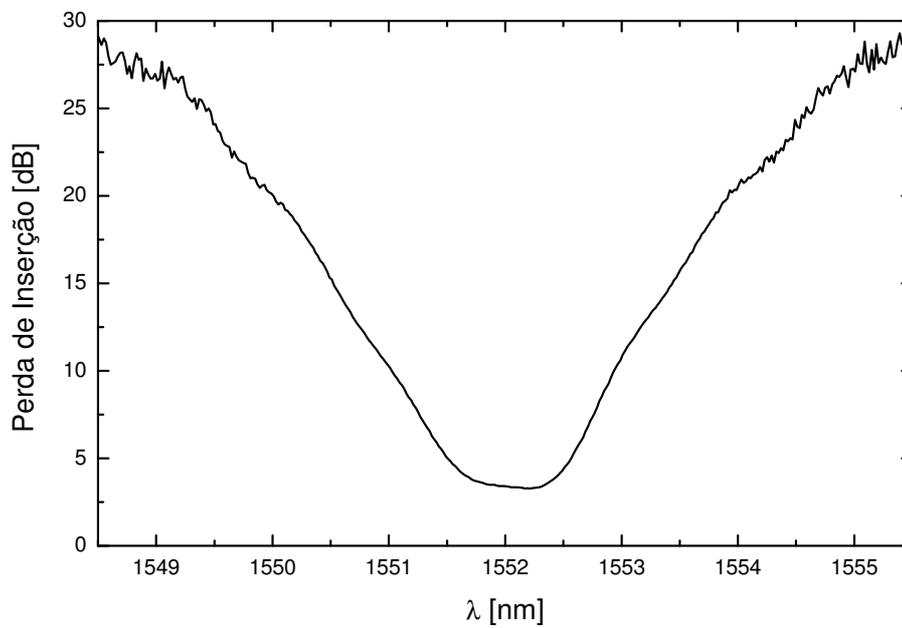


Figura A.30: Perda de inserção do filtro utilizado, para $\lambda = 1552 \text{ nm}$.