

# Caraterização e Estudo da Emissão Estimulada Laser por Fibras Dopadas com Íões de Érbio

André Almeida - up201304658

## Abstract

Nesta experiência pretendeu-se estudar o comportamento de fibras dopadas com Érbio e do resultado da amplificação por múltiplas passagens numa cavidade de *Fabry-Pérot* construída com dois *Fiber Bragg Gratings* (FBG). Foi feito em duas partes, em que na primeira estudou-se um módulo comercial e do seu comportamento em transmissão. Verificou-se que existe variação do ganho com a intensidade incidente, sendo este maior para valores menores a chegar ao módulo. Verificou-se que existe uma descrição logarítmica do ganho em função da potência aplicada à fibra. Já na segunda parte estudou-se como a fibra dopada com Érbio se comporta para os valores de corrente (e logo de potência) incidentes com um laser de diodo @ 980nm se comporta, verificando um aumento do *threshold* ao deslocar o FBG2 da condição que permite reflexão em igual comprimento de onda que o FBG1. Confirmou-se que as potências de *threshold* são  $P_{th}^1 = (123 \pm 2)[mW]$  e  $P_{th}^2 = (152 \pm 3)[mW]$  para o caso de condição de máximo e ligeiramente deslocado, respetivamente.

## 1 INTRODUÇÃO

A realização desta experiência é feita com objetivo que os conhecimentos de métodos de amplificação de sinal em comunicações óticas por parte dos estudantes seja desenvolvido[1].

Fibras óticas amplificadoras dopadas com Érbio tem sido uma enorme mais valia para a qualidade de comunicações óticas a longas distâncias. Apesar de pequenas perdas existentes nas fibras construídas atualmente, ao fim de vários quilómetros a redução de intensidade é bastante significativa. É possível repor os níveis utilizando um módulo constituído por uma fibra ótica dopada com Érbio.

## 2 TEORIA

O ganho ótico é assegurado pelos íões ( $Er^{+}$ ) quando o amplificador é bombeado para assegurar inversão de população no sistema de 3 níveis da fibra[2]. Uma vez conseguida a inversão de população por excitação, a incidência do feixe a ser amplificado promove a emissão estimulada, tornando-se assim de maior intensidade. Desta forma obtém-se um sinal amplificado à saída.

O ganho deste tipo de sinal é conhecido por diminuir com o aumento do sinal incidente na fibra dopada. Este fenómeno é conhecido por saturação do ganho. Isto acontece devido ao grande número de fótons incidentes, que despopulam o nível 2 mais rápido do que o bombeamento é capaz de compensar com a inversão de população.

A configuração a estudar envolve o uso de 2 *gratings* de *Bragg* com comprimento de onda definido. Estes *gratings* consistem em perturbações periódicas ao índice de refração do longo do núcleo da fibra. Os métodos de fabrico deste tipo de perturbações são bastante vastos e fácil de se conseguir, contribuindo assim para a sua utilização tão abrangente em imensos campos da ótica em fibras. O pico de reflexão acontece por interferência das sucessivas reflexões em cada uma das interfaces de alteração do índice, permitindo deste modo apenas reflexão máxima num comprimento de onda bem definido.

Sabe-se que o comprimento de onda de *Bragg* de um determinado *grating* (figura 2.1) é definido pela equação 2.1, em que  $\Lambda_B$  é o período de perturbação do *grating*.

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda_B \quad (2.1)$$

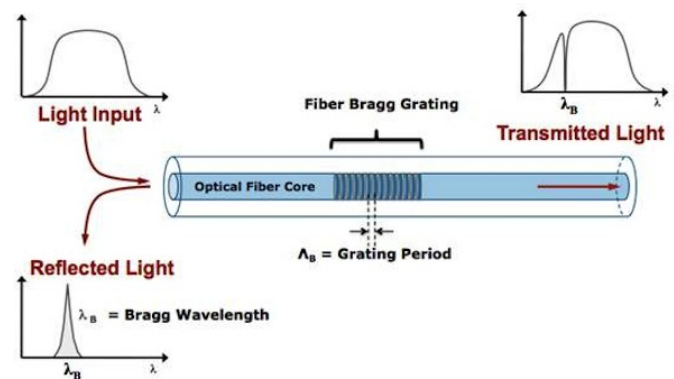


Figura 2.1. Grating de Bragg de período  $\Lambda_B$  e espectros incidente, de transmissão e reflexão.

A particularidade é que, se um dos *gratings* estiver preso a uma carruagem de movimento micrométrico, é possível ajustar o espaçamento entre os índices, que por sua vez faz alterar o comprimento de onda de *Bragg* a que esta atua. Desta forma, podemos ter um *overlap* dos picos de refletividade. Se o ajustamento estiver sobreposto em  $\lambda$  em

ambos os FBGs, é possível criar uma cavidade de *Fabry-Perot* na fibra dopada com Érbio, permitindo assim uma grande amplificação do sinal.

### 3 REALIZAÇÃO EXPERIMENTAL E DADOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1 Módulo Comercial de Amplificação por Fibra Dopada com Érbio

Nesta parte da experiência é pretendido que seja feita uma caracterização do comportamento de ganho por parte do módulo (caixa preta) constituída por um EFA. É possível sintonizar a potência de amplificação em input. Não se deve ultrapassar os 300mW para evitar que os conectores óticos se danifiquem. Utilizando um OSA (*Optical Spectrum Analyser*) podemos medir a intensidade do pico transmitido, em *dBm*. O *setup* experimental utilizado é aquele representado na figura 3.1.



Figura 3.1. Setup experimental utilizado para caracterizar o comportamento de amplificação do Módulo Comercial EFA

Foram injetadas duas potências óticas no sistema, para cada qual foi variada a potência do laser de *pumping*. É esperado, como referenciado na secção 2 que a amplificação seja mais forte para a menor intensidade.

Os dados experimentais recolhidos são apresentados na figura 3.2.

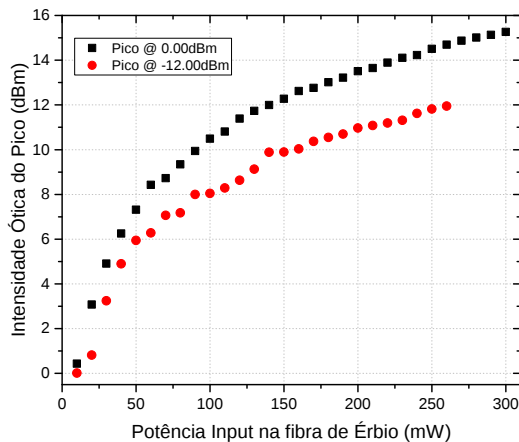


Figura 3.2. Dados experimentais recolhidos no OSA, como sinal de output em transmissão, após amplificação em módulo EFA comercial.

Como se pode observar, apesar da grande diferença de intensidade em input ( $\Delta I = 12\text{dBm}$ ) o valor de separação do output em transmissão é de aproximadamente  $2\text{dBm}$ .

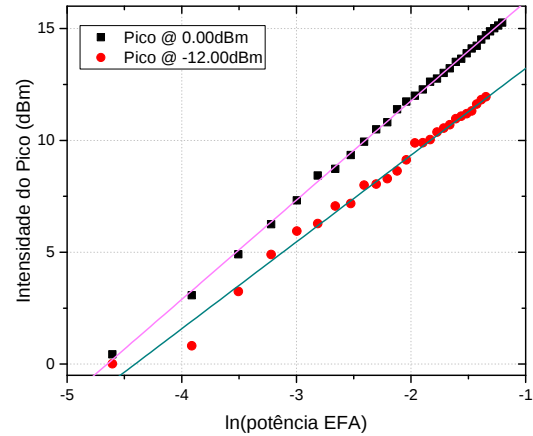


Figura 3.3. Dados experimentais representados em  $x$  com  $\ln(\text{potência})$ . Observa-se um comportamento linear em ambos os casos medidos.

Isto comprova que o ganho é maior para menores intensidades injetadas na fibra. A forma do gráfico relembra uma distribuição logarítmica, e portanto é feito um gráfico com este cálculo, esperando uma regência linear. Como se pode observar na figura 3.3, os dados revelam-se bastante lineares, com ajustes de  $r^2$  de  $0.989 @ -12\text{dBm}$  e  $0.9992 @ 0\text{dBm}$ . Ambos os valores obtidos de ajuste são bastante bons e revelam a qualidade. O facto de os dados experimentais obtidos diretamente do OSA revelarem um crescimento logarítmico revela que não há motivos para pensar, *a priori*, que existe um limite de saturação do valor máximo que se pode amplificar, uma vez que a função logarítmica não tem assintota. Assim, é de esperar que o limite de amplificação prenda-se apenas no cuidado e capacidades dos conectores óticos utilizados.

O conhecimento destes dados, a sua descrição matemática e o comportamento para as intensidades incidentes é importante, uma vez que são módulos utilizados para re-amplificar sinais de fibra ótica transmitidos a longas distâncias. Por norma os sinais chegam a propagar-se a  $0\text{dBm}$  e são amplificados para aproximadamente  $10\text{dBm}$ .

#### 3.2 Cavidade de Fabry-Pérot com Fibra Dopada com Érbio

Nesta parte da realização experimental é utilizado dois FBGs que formam uma cavidade de *Fabry-Pérot*. Se os dois comprimentos de *Bragg* estiverem corretamente sintonizados existe grande ampliação do sinal, devido a múltiplas reflexões na cavidade. O *setup* experimental utilizado é aquele representado na figura 3.4.

A utilização de um multímetro ótico permite adquirir diretamente a potência à saída. A inversão de população na fibra dopada com Érbio é conseguida com um laser díodo @  $980\text{nm}$ , controlado por ajuste da corrente elétrica com que é alimentado. O modelo utilizado é 1999CHP  $980\text{nm}/825\text{mW}$  da 3SP Technologies. Consultado a *datasheet*[3] disponível no site do fabricante é possível interpolar sobre a potência ótica a que corresponde determinada

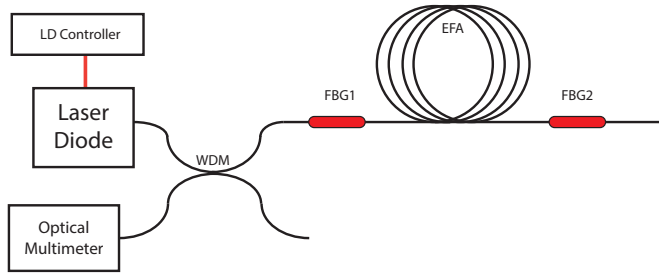


Figura 3.4. Setup experimental utilizado para o estudo da cavidade de Fabry-Pérot com dois FBGs.

corrente elétrica. Esses dados estão representados em 2ª layer na figura 3.5. É possível fazer um ajuste linear e, como nos limitamos à gama mais baixa (máximo de 150mA), não consideramos a curvatura observada para altos valores de corrente. Assumindo os dados como exatos, as constantes de ajuste permitem construir:  $I[mA] = 1.599 \times (P[mW]) + 46$ .

Foram utilizadas duas posições de ajuste do FBG2, que foi ajustado na configuração 1 para se obter o máximo de sobreposição dos picos e a configuração 2, que foi colocada ligeiramente fora da condição de máximo. Desta forma podemos determinar, a partir da interceção na reta  $y = 0$ , o valor de corrente (ou potência) a ser fornecida à fibra dopada para existir emissão estimulada.

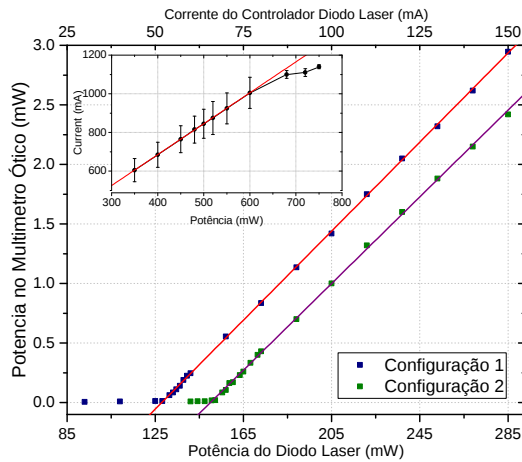


Figura 3.5. Dados Experimentais, comportamento do diodo laser e ajustes realizados para caracterização da fibra de Érbio.

Os dados experimentais revelam-se bastante próximo com o esperado e indicado nas referências fornecidas. Observamos que, para a condição de maior sobreposição dos picos de Bragg é bastante fácil conseguir excitar a fibra a emitir em emissão estimulada. Isto acontece porque a cavidade está em maior ressonância, ocorrendo assim maior número de passagens em alta intensidade na fibra dopada. Isso leva a que seja necessário menor taxa de inversão de população para que seja estimulada emissão laser. Medindo os valores de corrente de *threshold* necessária para esta condição verificamos que  $i_{th}^1 = (51.8 \pm 0.5) [mA]$  e  $i_{th}^2 = (66 \pm 1) [mA]$ . Pode-se observar que, para potência injetada na fibra se obtém, respetivamente  $P_{th}^1 = (123 \pm 2)[mW]$  e

$$P_{th}^2 = (152 \pm 3)[mW].$$

O comportamento observado pode ser algo comparado com o de um diodo, em que para baixas tensões aplicadas aos terminais não existe passagem de corrente e após um dado valor aplicado passa a existir fluxo de eletrões. A diferença substancial é que, normalmente, a curva de um diodo é exponencial, após o *threshold*. Já pelo observado aqui, a curva do laser é linear.

É também possível substituir o multimetro óptico por um OSA, podendo-se visualizar a intensidade para os vários comprimentos de onda que circulam na fibra. Observou-se que existem dois picos, um positivo e outro negativo, em relação à baseline. Isso acontece devido à reflexão no final da fibra, que alguma da potência é perdida por transmissão. O pico positivo é observado pela emissão estimulada pelas várias passagens na cavidade de Fabry-Pérot na parte dopada com Érbio. A visualização do sinal no OSA permite observar claramente que o *Signal to Noise Ratio* (SNR) é bastante alto, estando o sinal vários dBm acima do ruído, mostrando assim a qualidade do core dopado.

#### 4 CONCLUSÕES

É apresentado e conseguida a caracterização bastante clara do comportamento do módulo comercial, cuja maior aplicação passa pelo aumento de intensidade do sinal em comunicações óticas. Observa-se a presença de uma saturação de ganho com o aumento da intensidade do pico incidente. Observou-se que não existe limite de ganho teórico uma vez que a forma matemática dos dados experimentais não apresenta assintota, tratando-se de um comportamento logarítmico. O limite experimental passa pelas propriedades dos conectores e do material ótico envolvido. Conseguimos também expandir a nossa experiência e sensibilidade com o material típico deste laboratório. Já a segunda parte foi abordado o comportamento da curva de laser e a determinação do *threshold* para as condições de sobreposição (ou não) dos comprimentos de Bragg dos dois FBGs. Verificou-se que até determinada corrente de alimentação à fibra dopada não existe emissão estimulada, sendo os valores extremamente baixos resultado de emissão espontânea por contributo dos iões de Érbio. Existe, depois do limite característico, uma regência linear bastante fidedigna da potência de saída com a inserida na fibra pelo diodo laser de 980nm. Foi determinado a potência de *threshold* para duas situações, obtendo-se  $P_{th}^1 = (123 \pm 2)[mW]$  e  $P_{th}^2 = (152 \pm 3)[mW]$  para a condição de máximo e ligeiramente deslocado, respetivamente.

Finalmente, é de referir que a realização experimental ocorreu com grande sucesso mostrando a qualidade e potencialidades de uma fibra dopada com Érbio. Atualmente é largamente utilizada em comunicações óticas, para amplificar o sinal, permitindo longas propagações (dezenas e centenas de quilómetros).

#### REFERÊNCIAS

- [1] Carla C. Rosa Paulo V. S. Marques, Manuel B. Marques. Advanced experiments with an erbium doped fiber laser.
- [2] O. Svelto. *Principles of Lasers*. Springer, 2010.
- [3] 3SP Technologies. Datasheet of 980nm/825mw laser diode source, March 2017.