

## 1.05.02 - Física / Áreas Clássicas de Fenomenologia e suas Aplicações **DETECÇÃO DO RUÍDO DE INTENSIDADE EM FEIXES LASERES.**

Rafael B. Rodrigues<sup>1</sup>, Carlos Eduardo R. Souza<sup>2,3</sup>

1. Estudante de IC do instituto de Física da UFF
2. Pesquisador e Professor do Instituto de Física da UFF
3. IF-UFF - Instituto de Física / Orientador

### **Resumo:**

O objetivo deste trabalho foi realizar a medida de diminuição do ruído de intensidade em um feixe laser. Para tal, utilizamos o método da detecção balanceada [1].

Particularmente, verificamos que o ruído de intensidade de um feixe sofre redução ao ultrapassar uma cavidade ótica, de acordo com a figura 1. Tal cavidade é descrita por um interferômetro Fabry Perot [2,3].

Utilizamos o feixe pouco ruidoso para bombear outra cavidade ótica, chamada de Oscilador Paramétrico Ótico [4] (OPO), ilustrado na figura 2. O OPO é um dispositivo que apresenta aplicações diretas nas áreas de Informação e Óptica Quântica [5].

Atualmente, conseguimos observar propriedades quânticas do feixe produzido pelo OPO, também via o método da detecção balanceada.

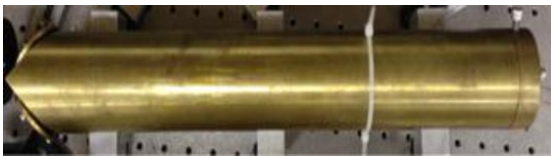


Figura 1: Interferômetro Fabry-Perot construído no Laboratório de Ótica Quântica (LOQ) da UFF. A cavidade apresenta uma geometria em anel o que a torna mais estável.

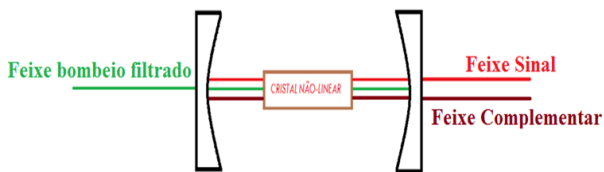


Figura 2: Esquema de um Oscilador Paramétrico Ótico (OPO).

**Autorização legal:** CNPQ.

**Palavras-chave:** Detecção Balanceada, Oscilador Paramétrico Ótico e Cavidade Fabry-Perot.

**Apoio financeiro:** PIBIC.

**Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição:** UFF.

### **Introdução:**

O método da detecção balanceada é uma técnica utilizada para se medir ruído em um feixe laser. Fizemos a detecção de ruído de um feixe laser proveniente de um interferômetro Fabry-Perot, ilustrada na figura 1, e o comparamos com o ruído do feixe laser usado para bombear tal cavidade.

Um dos objetivos do trabalho desenvolvido foi garantir que houvesse uma redução no ruído do feixe laser ao passar pelo interferômetro Fabry-Perot, também chamado de cavidade filtro.

Um feixe de luz com baixa taxa de ruído pode ter diversas aplicações. Em particular, usamos o feixe proveniente da cavidade filtro para bombear outra cavidade, o Oscilador Paramétrico Ótico (OPO), ilustrado na figura 2.

O OPO consiste de uma cavidade ótica que contém um cristal não-linear em seu interior. Tal cristal possui a propriedade de produzir fótons emaranhados, que consiste em uma propriedade prevista pela mecânica quântica e apresenta aplicação direta em protocolos de processo de transmissão de informação.

Para podermos iniciar o processo de medida de ruído de um feixe, que provém de uma cavidade ótica, deve-se utilizar algum método de estabilização. Manter uma cavidade estabilizada significa manter a mesma em um regime de ressonância. Para tal, utilizamos o método Pound-Drever-Hall (PDH) de estabilização [6], que consiste no uso de um aparato eletrônico capaz de produzir um sinal que mantém uma cavidade em ressonância.

Ao dominar o método PDH de estabilização nós conseguimos, enfim, realizar a medida do ruído de um feixe, via a detecção balanceada.

### **Metodologia:**

Trabalhar com cavidades óticas exige um cuidadoso processo de alinhamento. Qualquer desajuste da dimensão do comprimento de onda do feixe (da ordem de  $10^{-9}$ m) já é o suficiente para desalinhar o sistema. Pode-se alinhar uma cavidade ótica monitorando em um osciloscópio a intensidade de luz transmitida pela mesma.

O procedimento é acoplar uma cerâmica Piezo elétrica (PZT) em um dos espelhos da cavidade. O PZT é um equipamento que se dilata ao receber um sinal de tensão elétrica de um gerador de funções, por exemplo. Com isso, é possível “varrer” os chamados “picos de ressonância” e saber se a cavidade está bem alinhada. Esta etapa está ilustrada na figura 3 abaixo.

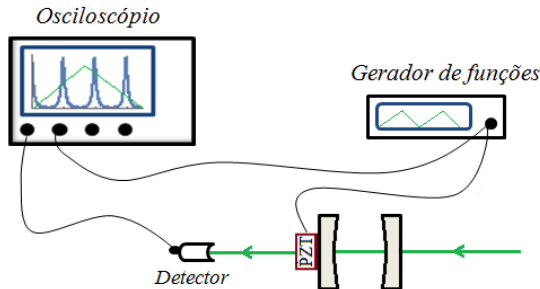


Figura 3: Esquema básico para o alinhamento de uma cavidade ótica.

Uma vez alinhada a cavidade iniciamos a etapa de estabilização, de acordo com o método PDH. A ideia básica é utilizar o feixe refletido da cavidade para produzir um sinal de realimentação, comumente chamado de “sinal de erro”. Tal sinal é produzido em um circuito eletrônico e atua no PZT acoplado em um dos espelhos da cavidade. Fisicamente, este sinal é capaz de corrigir perturbações mecânicas e mantém a cavidade “trancada” em dos picos de ressonância. Esta etapa está ilustrada na figura 4 abaixo.

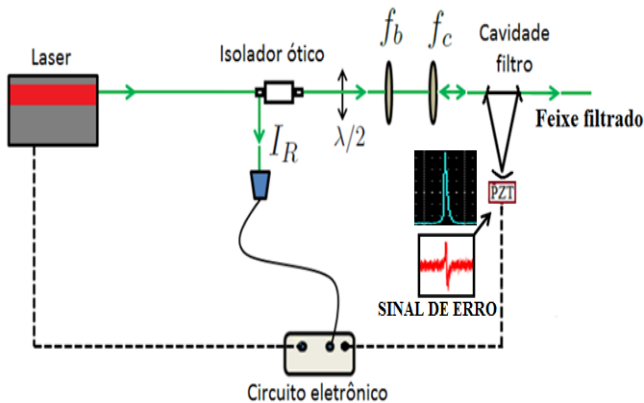


Figura 4: Aparato para estabilização da cavidade filtro.

Com a cavidade devidamente alinhada e estabilizada iniciamos a etapa da detecção balanceada, que consiste na análise do ruído do feixe.

A análise do ruído de um feixe laser é feita em um equipamento chamado de “Analisador de espectro” conectado a um circuito Soma/Subtração. O procedimento consiste em dividir o feixe laser a ser analisado com um cubo divisor de luz (CDL) e fazer com

que cada parte do feixe dividido seja detectada.

Os sinais elétricos produzidos por cada detector é somado e subtraído no circuito Soma/Subtração anteriormente mencionado. O resultado de tais somas e subtrações pode ser monitorado na tela do Analisador de espectro. O método de medida de ruído do feixe de luz deve ser feito tanto para o laser que bombeia a cavidade, quanto para o feixe proveniente da cavidade filtro, para fins de comparação. O procedimento descrito acima é o que define a detecção balanceada e está ilustrado nas figuras 5 e 6 abaixo.

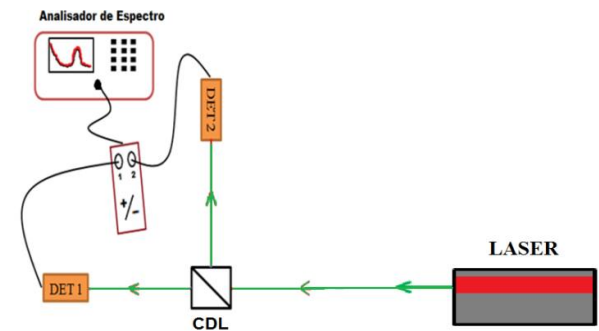


Figura 5: Ilustração para a medida de ruído do feixe de luz proveniente do nosso laser (modelo “Diabolo”, do fabricante “Innolight”).

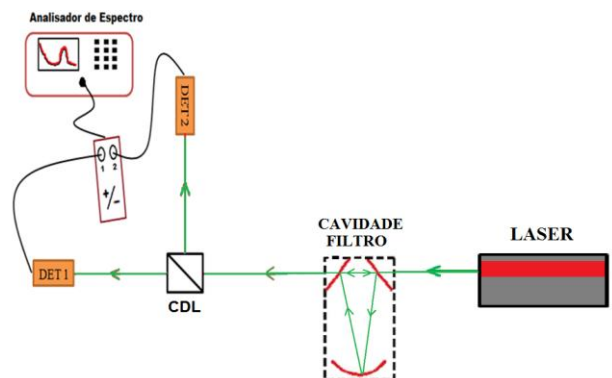


Figura 6: Ilustração para a medida de redução do ruído do feixe proveniente da cavidade filtro estabilizada eletronicamente via método PDH.

Ao verificarmos que o feixe produzido pela cavidade filtro é menos ruidoso utilizamos o mesmo para bombear o OPO. Em seguida, utilizamos o método PDH para manter o OPO em ressonância. Uma vez alinhado e estabilizado o OPO, realizamos novamente o método da detecção balanceada no feixe derivado do OPO.

## Resultados e Discussão:

A figura 7 abaixo evidencia que a cavidade filtro construída por nós apresenta um ruído inferior ao do feixe laser que a bombeia.

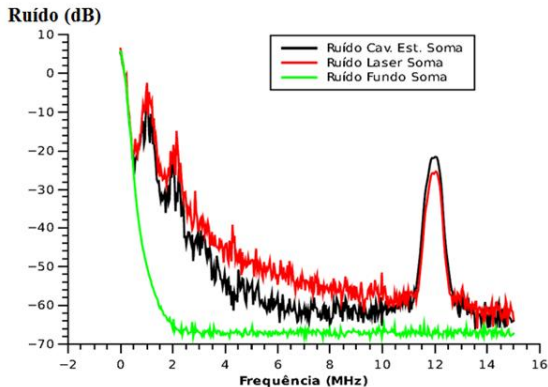


Figura 7: O feixe proveniente da cavidade filtro apresenta ruído inferior ao seu bombeio. Isso está evidente no fato da curva preta estar, majoritariamente, abaixo da vermelha.

O resultado abaixo da subtração na detecção balanceada com o OPO nos revelou um valor abaixo de um valor limite previsto pela física clássica.

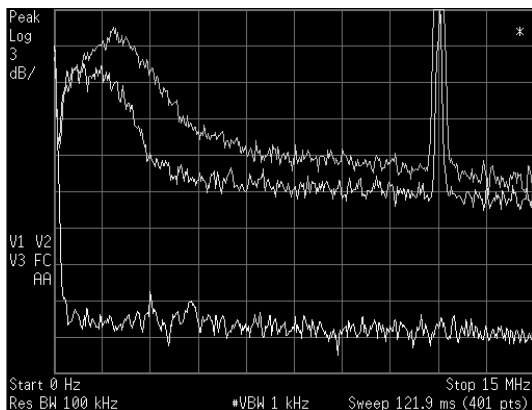


Figura 8: Medida de compressão do ruído. O resultado está evidente ao verificarmos que uma curva está abaixo da outra na parte superior. Isso significa que produzimos um feixe com ruído inferior a um feixe "clássico".

## Conclusões:

Medimos redução do ruído de intensidade de um feixe laser ao ultrapassar o mesmo por um interferômetro Fabry-Perot. O método utilizado para realizar tal medida foi a detecção balanceada.

O feixe pouco ruidoso foi utilizado para bombear um Oscilador Paramétrico Ótico (OPO), o qual verificamos ter propriedade quântica. Tal propriedade, o emaranhamento, apresenta aplicação direta em protocolos de processamento de informação e computação quântica.

## Referências bibliográficas

- [1] Araújo, (2015) - *Basics for measuring light quantum fluctuations and correlations in the lab*, Universidade de São Paulo – USP;
- [2] LEE, S.-H. *Confocal fabry-perot cavity*. SUNY at Stony Brook University, 2001;
- [3] WILLKE, B. et al. *Spatial and temporal filtering of a 10-w nd: Yag laser with a fabry-perot ring-cavity premode cleaner*. *Optics letters*, 1998;
- [4] G. Breitenbach, T. Muller, S. F. Pereira, J. Ph. Poizat, S. Schiller e Mlynek. *Squeezed Vacuum from a monolithic optical parametric oscillator*, *J. Opt. Soc. Am. B* 12, No. 112304 (1995);
- [5] Mandel, LEONARD e Wolf, EMIL. *Optical Coherence and Quantum Optics*, 1ed Cambridge, Cambridge University Press (1995). ISBN-13:978-0521417112;
- [6] Eric D. Black *An introduction to Pound-Drever-Hall laser frequency stabilization*, *Am. J. Phys.* 69, 79(2001);
- [7] A. Heidmann, R. J. Horowicz, S. Reynaud, E. Giacobino e C. Fabre *Observation of Quantum Noise Reduction on Twin Laser Beams* *Phys. Rev. Lett.* 59 22 2555 (1987).
- [8] Amnon Yariv *Quantum Electronics 3ed* - John Wiley & Sons (1989) ISBN-13: 978-0471609971;
- [9] HECHT, E. *Optics*. Pearson Education, 2012. ISBN9788131718070<<https://books.google.com.br/books?id=wcMWpBMMzlkC>>;
- [10] KHOURY, A. Z. *Ótica Quântica*. [S.l.]: Universidade Federal Fluminense, 2015.
- [11] GRIFFITHS, D. *Introduction to Electrodynamics*. Prentice Hall, 1999. ISBN 9780138053260. Disponível em: <<https://books.google.ca/books?id=M8XvAAAAMA-AJ>>.