

# Montagem de Sistema Para medida de Pulsos Laser Ultracurtos

**Palavras-Chave:** Autocorrelação, Segundo Harmônico, Absorção de Dois Fótons, Pulsos Ultracurtos

**Autores/as:**

**DERICK LUIZ SANTOS PASSOS SILVA**

**PROF. DR. LÁZARO AURÉLIO PADILHA JÚNIOR**

## 1) INTRODUÇÃO:

Este projeto tem por objetivo principal a caracterização de pulsos laser ultracurtos. Devido à escala de tempo em que esses aparelhos operam, não existem métodos eletrônicos capazes de realizar a caracterização temporal dos lasers. Devido a isso, formas indiretas de caracterização se fazem necessárias. O método principal para a medição de pulsos ultracurtos é por meio da autocorrelação.

Este procedimento consiste em utilizar o pulso para medir a si mesmo. Existem diferentes formas de se realizar esse tipo de medida, mas para o foco deste projeto foram utilizados o método de autocorrelação por geração de segundo harmônico e por absorção de 2 fótons. Graças ao retorno gradual das atividades presenciais, foi possível dar início aos aspectos práticos que constituem o projeto, iniciando-se a montagem e calibração do autocorrelador. Com relação ao segundo método de autocorrelação, este se mantém em seus aspectos teóricos.

## 2) METODOLOGIA:

### a. Autocorrelação por geração de Segundo Harmônico

Como dito anteriormente, o foco do projeto até o momento foi na autocorrelação por geração de segundo harmônico. O esquema de funcionamento deste tipo de autocorrelador pode ser visto na figura 1. No aparato, que se assemelha a um interferômetro de Michelson, o feixe de interesse (pulso de entrada) incide sobre um divisor de feixes (*Beam Splitter*), fazendo com que os pulsos resultantes percorram caminhos distintos. Então, os feixes incidem sobre uma lente que os converge sobre um cristal gerador de segundo harmônico (cristal SHG), para que então o sinal resultante seja captado por um detector.

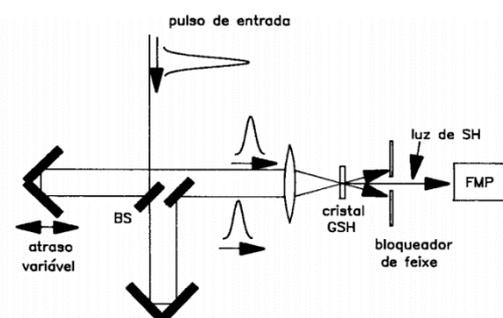


Figura 1: Medição de pulso por autocorrelador de intensidade. [1]

Tal como ocorre para um interferômetro de Michelson, o atraso variável de um dos feixes é capaz de provocar interferências construtivas e destrutivas no sinal de saída, devido à diferença de caminho percorrido pelos dois pulsos. Obviamente, se as distâncias percorridas forem as mesmas, a interferência será totalmente construtiva e o sinal detectado terá um pico. Uma característica interessante acerca deste tipo de medição é o fato de que, apesar de incidirem dois feixes sobre o cristal SHG, três feixes são emitidos pelo material. Os vetores superior e inferior dizem respeito aos sinais de entrada, porém o vetor do meio corresponde ao sinal de segundo harmônico, o qual só se manifesta quando há interferência construtiva entre os pulsos, ou seja, quando o atraso relativo entre os pulsos corresponde à um número inteiro de meios comprimentos de onda.

Partindo-se para a montagem experimental, foi preparado o aparato presente na figura 2. Na imagem pode-se ver um esquema semelhante ao apresentado na figura anterior, porém nesse caso o atraso variável é provocado pelo deslocamento do alto-falante presente no aparato. Na prática, um gerador de funções é ligado ao alto-falante e, através da escolha da função de onda triangular e de suas características (amplitude, frequência, *offset*, etc), ocorre a vibração do aparelho, deslocando o espelho acoplado a ele e resultando no atraso do respectivo feixe.

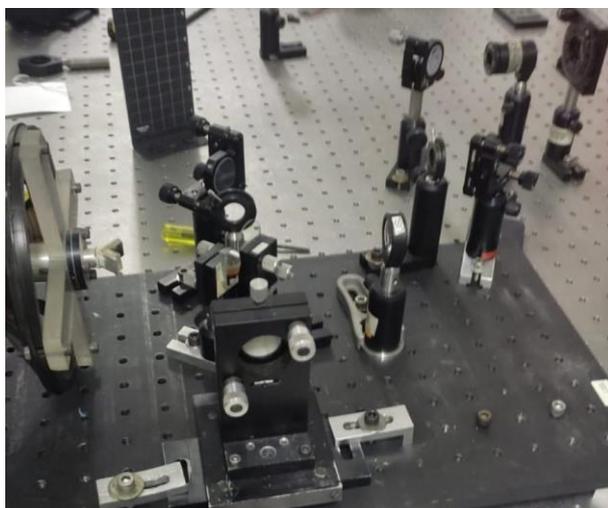


Figura 2: Montagem experimental do autocorrelador por geração de segundo harmônico.

O feixe final, ao ser captado pelo detector, é representado em um sinal de autocorrelação, exemplificado na figura 3. Observa-se pela imagem que o pico mais intenso corresponde justamente ao atraso nulo entre os feixes (como era esperado). A análise do sinal se dá por meio da função de autocorrelação de segunda ordem

$$G^{(2)}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)I(t + \tau)dt.$$

A largura do pico é proporcional à duração do pulso. Usualmente a análise é baseada em uma hipótese acerca da forma do

Fonte: <https://www.rp-photonics.com/autocorrelators.html>

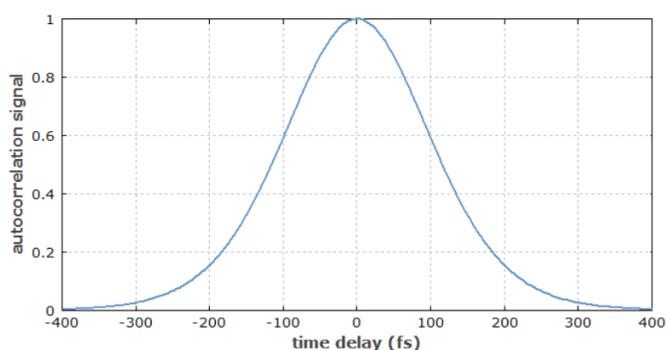


Figura 3: Autocorrelação de um pulso na forma de  $\text{sech}^2$ .

pulso. No exemplo, foi assumida a forma de  $\text{sech}^2$ , para a qual a duração do pulso é cerca de 0,648 vezes a largura do sinal.

## b. Autocorrelação por absorção de 2 fótons

Outro tipo de autocorrelação que pode ser utilizada para a caracterização dos pulsos e o método de autocorrelação por absorção de 2 fótons. Essa técnica tem por vantagem a facilidade de montagem de seu aparato experimental, além da versatilidade visto que é capaz de caracterizar pulsos para lasers com qualquer taxa de repetição, inclusive *single-shot*.

O processo faz uso da não-linearidade de terceira ordem ( $\chi^3$ ), de maneira que um feixe incide

Fonte:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Two-photon\\_absorption](https://en.wikipedia.org/wiki/Two-photon_absorption)

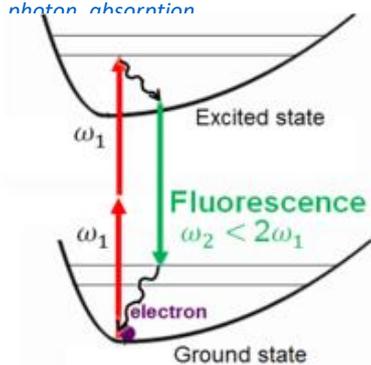


Figura 4: Representação do processo de absorção de dois fótons.

sobre uma amostra, provocando excitação. Durante o processo, dois fótons, com energias  $\hbar\omega_1$ , interagem com um elétron de um átomo, sendo o primeiro responsável por excitar o elétron até um nível virtual intermediário, e o segundo excitando-o novamente até um nível seguinte. A energia total do sistema será  $E_0 + 2\hbar\omega_1$ . O intervalo de tempo disponível para a reabsorção é dado pelo princípio da incerteza de Heisenberg

$$\Delta t: \Delta t \cdot \Delta E \sim \frac{\hbar}{2} \rightarrow \Delta t \sim \frac{\hbar}{2 \cdot \Delta E},$$

onde  $\Delta E$  corresponde ao "Energy Detuning", o intervalo entre a energia do fóton e o *Band Gap*. Uma consequência dessa relação é que o

processo depende diretamente da taxa com a qual os fótons incidem sobre o meio. Mais especificamente, a intensidade é proporcional ao quadrado da intensidade do feixe de bombeio. Portanto, no processo de autocorrelação por absorção de dois fótons, um único pulso de alta intensidade é capaz de desencadear o fenômeno.

Essa etapa do projeto tem por base o artigo "[A Single-shot Nonlinear Autocorrelation Approach for Time-Resolved Physics in the Vacuum Ultraviolet Spectral Range](#)". Dessa forma, será montado um autocorrelador semelhante ao presente na figura 5.

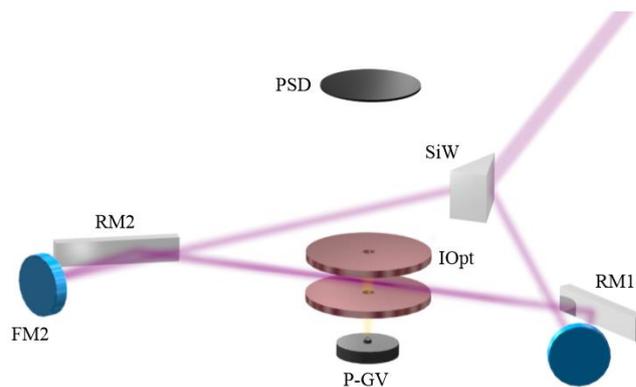


Figura 5: Aparato para autocorrelador de intensidade operando em "Single-shot" para pulso na região do UV. SiW: espelho divisor de feixe Si-Wedge; FM1, FM2: espelhos esféricos idênticos com  $f=150\text{mm}$ ; RM1, RM2: espelhos planos; IOpt: ion imaging optics - lentes eletrostáticas; P-GV: válvula de gás pulsado; PSD: detector de posição. [2]

Uma característica importante acerca do projeto é que serão usados *Quantum Dots* para a obtenção do sinal de fotoluminescência. Estes materiais ganharam destaque nas últimas décadas devido às suas propriedades ópticas e elétricas e são extremamente versáteis para a observação de sinais de autocorrelação em um largo espectro através da alteração de sua composição e dimensões.

## **CONCLUSÕES:**

Portanto, conclui-se que a autocorrelação por geração de segundo harmônico, apesar de largamente utilizada, apresenta limitações quanto ao regime de funcionamento, visto que se restringe a lasers com alta taxa de repetição. Durante o projeto, houve um aprofundamento acerca dos fenômenos de óptica não linear e sua aplicação na caracterização de pulsos ultracurtos. Por consequência, foi possível a ampliação dos conhecimentos sobre a não linearidade de segunda ordem presente em certos materiais e, mais especificamente, sobre a não linearidade de terceira ordem, fundamental para a ocorrência fenômeno de absorção de dois fótons. Como resultado, espera-se ser possível aplicar estes conhecimentos em sua totalidade no desenvolvimento de um autocorrelador operando através da fotoluminescência dos *Quantum Dots*, possibilitando a caracterização de lasers em um largo espectro com qualquer taxa de repetição.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] CRUZ, Carlos Henrique de Brito; FRAGNITO, Hugo Luis. Fenômenos Ultrarápidos: geração de pulsos laser ultracurtos e suas aplicações.
- [2] ROMPOTIS, Dimitrios. A Single-shot Nonlinear Autocorrelation Approach for Time-Resolved Physics in the Vacuum Ultraviolet Spectral Range.
- [3] SAA, Tamba. Autocorrelation of an Ultrashort Laser Pulse to Determine its Duration