



# Estudos Teóricos e Geração Experimental de Feixes Ópticos de Estruturados.

**Palavras-Chave:** FEIXES ÓPTICOS NÃO DIFRATIVOS, FROZEN WAVES, ONDAS LOCALIZADAS

**Autores:**

**Rodrigo Marcelo Brito Fortes, FEEC - UNICAMP**

**Prof. Dr. Michel Zamboni Rached, FEEC - UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

É amplamente conhecido que a difração [1] é um fenômeno que pode afetar a eficácia do uso de pulsos e feixes ópticos, tornando crucial o desenvolvimento de técnicas capazes de reduzir a distorção do sinal causada por ela.

As ondas localizadas [2], também conhecidas como ondas não difrativas, foram concebidas com o objetivo de criar feixes e pulsos que resistem aos efeitos da difração ao longo de longas distâncias no espaço livre. Inicialmente apenas teóricas, essas soluções para a equação de onda (e também para as equações de Maxwell) foram posteriormente reproduzidas em laboratório.

O propósito deste projeto é realizar estudos teóricos sobre as Ondas Não-Difrativas, com um enfoque específico nos feixes ópticos de Bessel e nas chamadas "Frozen Waves" (feixes ópticos estruturados não difrativos).

## METODOLOGIA:

Uma das ondas não difrativas de notável interesse teórico e prático é o feixe de Bessel. Esse feixe é gerado pela superposição de ondas planas, cujos vetores de onda se localizam sobre a superfície de um cone. A sobreposição resulta em um feixe cujo padrão transversal é dado por uma função de Bessel e não se degrada ao longo da propagação, o que justifica o nome "feixe não difrativo".

No caso de feixes de Bessel gerados por aberturas finitas (como é o caso na prática), o padrão transversal da onda não se mantém indefinidamente, mas sim até uma determinada distância (profundidade de campo). No entanto, essa distância geralmente é muito maior do que as distâncias de difração dos feixes convencionais, como o Gaussiano.

Os feixes de Bessel formam uma base completa e extremamente eficiente para descrição de outros feixes e pulsos não difrativos, sendo por isso usados para construção dos feixes chamados Frozen Waves (FW), os quais são feixes não difrativos estruturados que possibilitam o controle sob demanda (ao longo da propagação) de propriedades fundamentais dos feixes ópticos, tais como o padrão de intensidade longitudinal, polarização e momento angular orbital.

O aparato experimental adotado para esta etapa está representado na Fig. (4) e na Fig. (5) temos a representação fotográfica do aparato experimental.

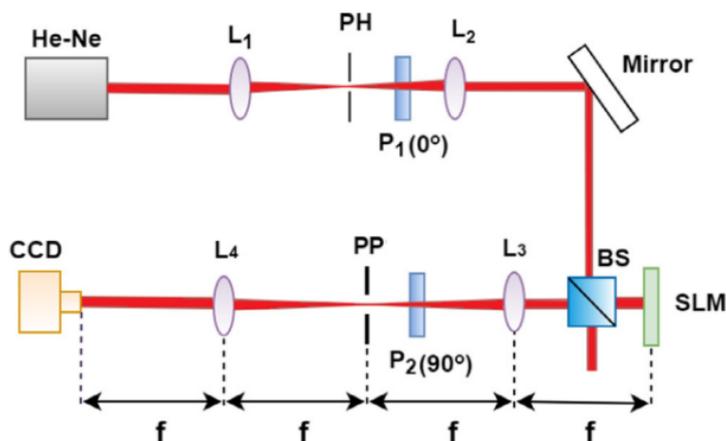


Figura 4: Montagem experimental para geração dos feixes.

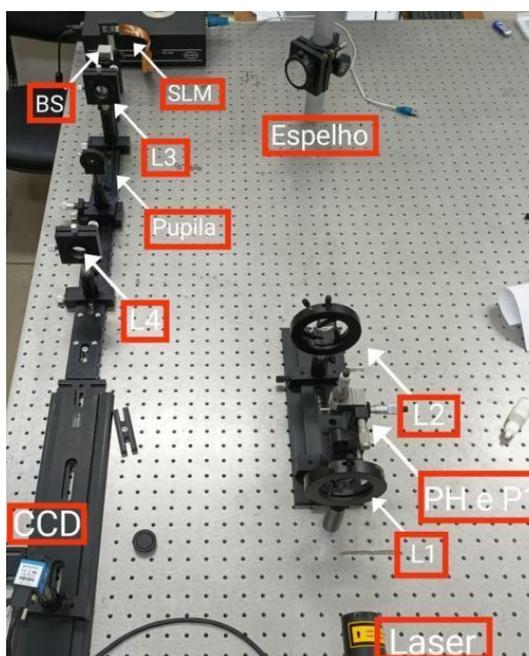


Figura 5: Setup experimental do laboratório para a geração dos feixes ópticos.

Na Figura (4), o feixe emitido pelo laser é direcionado pela lente L1 para um pinhole (PH) de 25  $\mu\text{m}$  de diâmetro, e a lente subsequente, L2, focaliza o feixe. A disposição das lentes L1 e L2 é tal que o feixe alcança o espelho com um diâmetro de ponto de aproximadamente 1,5 cm, o que permite cobrir uma grande área da tela do modulador (Modulador de Luz Espacial).

No entanto, para que o feixe seja utilizado na tela, ele precisa ser linearmente polarizado, o que é alcançado com o auxílio de um polarizador, P1, colocado a 0 graus antes da lente L2.

Posteriormente, o espelho direciona o feixe para um beam splitter (BS), que divide parte da intensidade do feixe para a tela do modulador e, simultaneamente, permite a passagem da luz refletida pelo SLM (Modulador de Luz Espacial). Quando a luz incide no SLM, suas características são modificadas de maneira adequada apenas pela informação contida nos hologramas gerados por computador (CGHs - "Hologramas Gerados por Computador").

Após refletir no SLM, a luz contém informações sobre o feixe a ser gerado. No entanto, antes de concluir o processo, a luz atravessa um filtro 4f. O SLM é posicionado após o BS, a uma distância focal  $f$  da lente L3, para que, quando o feixe atravessa a lente L3 e alcança o plano focal (onde a pupila está localizada), ele se apresenta como uma transformada de Fourier 2D composta pelas diferentes ordens de difração. Uma vez que as informações sobre o feixe são registradas nas diferentes ordens de difração, a pupila é usada inicialmente para selecionar apenas a primeira ordem.

Em seguida, a lente L4, localizada a uma distância focal  $f$  da pupila, apresenta a transformada inversa de Fourier da primeira ordem de difração em seu plano focal, que é exatamente o feixe desejado.

Por fim, a câmera (CCD) é posicionada após a lente L4 para registrar a forma de intensidade transversal do feixe criado pelo holograma.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Como exemplo, a Figura (3) exibe um feixe de Frozen Wave projetado como dois degraus de intensidade. O primeiro degrau começa em  $z = 5$  cm e termina em  $z = 20$  cm, enquanto o segundo degrau tem início em  $z = 30$  cm e termina em  $z = 45$  cm. A Figura (3a) apresenta a intensidade do feixe em um gráfico 3D, enquanto a Figura (3b) mostra a intensidade do feixe em uma projeção ortogonal.

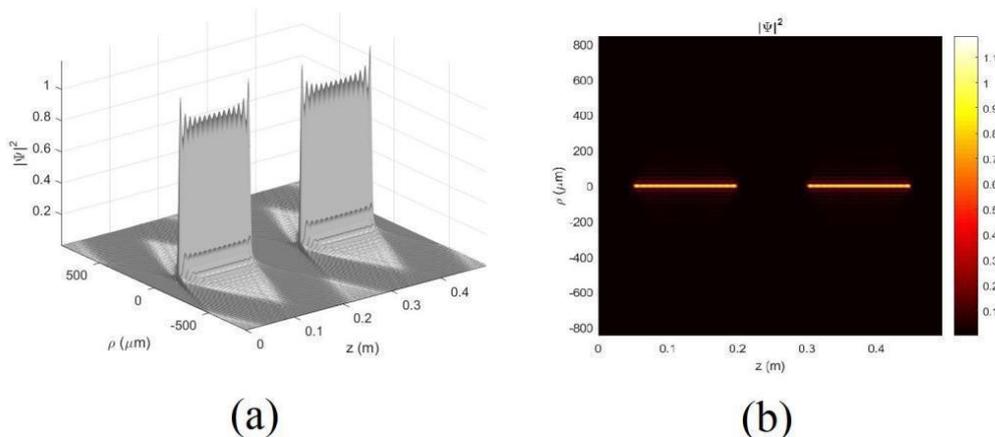


Figura 3: (a) Gráfico 3D da intensidade de campo da Frozen Wave (b) projeção da intensidade do feixe em projeção ortogonal.

## CONCLUSÕES:

Neste projeto foi examinado, de forma teórica e experimental, feixes ópticos estruturados (Frozen Waves) no vázio. Os ensaios foram conduzidos utilizando hologramas gerados por computador reproduzidos por um modulador de luz espacial, e esses resultados confirmam o método das Frozen Waves, que foi introduzido há vários anos [1-3].

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics : Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light Principles of Optics, Cambridge Univ. Pr., Sexta edição (1998).
- [2] H. E. Hernández-Figueroa, M. Zamboni-Rached and Erasmo Recami, "Localized Waves". 1. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons (Wiley Series in Microwave & Optical Engineering), 2007. 382 páginas.
- [3] M. Zamboni-Rached, "Stationary optical wave fields with arbitrary longitudinal shape by superposing equal frequency Bessel beams: Frozen Waves", Optics Express, Vol. 12, pp.4001-4006 (2004).