

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

PLANEJAMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM BANCO ÓPTICO PLANO COM SUPORTE MÓVEL PARA FONTE DE LASER ACOPLADO

RICARDO BANDEIRA¹, ALBERTO CARLOS BERTUOLA², GILBERTO FERNANDES³

¹ Graduando em Bacharelado de Engenharia Mecânica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus São Paulo, ricardo.bandeira@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor Doutor no IFSP, Campus São Paulo, acbertuola2@ifsp.edu.br.

³ Professor Mestre no IFSP, Câmpus São Paulo, gilberto@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.05.00.00-6 Física.

RESUMO: O artigo apresenta o processo de desenvolvimento de um Banco Óptico Plano (BOP), constituído por três partes. A peça principal é um suporte horizontal, que se mantém fixo e sustenta as outras duas partes. Ela possui um canal que permite o acoplamento de lentes. Em uma de suas extremidades é acoplado um suporte que permite o apoio de lasers. O suporte como um todo é projetado para permitir um ajuste tridimensional para se adequar a diversos experimentos. Entre suas capacidades estão a determinação da distância focal de uma lente convergente e o seu respectivo índice de refração. Visando a elaboração de um aparato de alta precisão, e baixo custo, utilizou-se em seu desenvolvimento softwares de desenho, uma unidade fresadora, uma mesa de furação e limas e lixas para desbaste e acabamento. O aparato foi testado com um laser vermelho incidindo em uma das faces de uma lente convergente, não delgada. Foi experimentalmente identificado o eixo principal e determinado o valor experimental do foco da lente. Foi obtido também um valor experimental para o índice de refração do acrílico para confirmar outras medidas publicadas.

PALAVRAS-CHAVE: Física experimental; Lasers; Banco óptico; Precisão experimental; Lei de Snell; Distância focal.

Development and Construction of a Plane Optical Bench with Adjustable Mount for a Coupled Laser Source

ABSTRACT: The article presents the development process of a Plane Optical Bench (POB), composed of three parts. The main component is a horizontal support that remains fixed and holds the other two parts. It features a channel that allows for the coupling of lenses. At one of its ends, a mount is attached to support lasers. The entire structure is designed to allow three-dimensional adjustment, making it suitable for a variety of experiments. Among its capabilities are the determination of the focal length of a converging lens and its corresponding refractive index. Aiming to create a high-precision, low-cost apparatus, the development process involved the use of design software, a milling unit, a drill press, and files and sandpaper for shaping and finishing. The apparatus was tested using a red laser beam directed at one face of a non-thin converging lens. The principal axis was experimentally identified, and the focal length of the lens was determined. An experimental value for the refractive index of acrylic was also obtained to confirm previously published measurements.

KEYWORDS: Experimental Physics; Lasers; Optical bench; Experimental Precision; Snell's Law; Focal Length.

INTRODUÇÃO

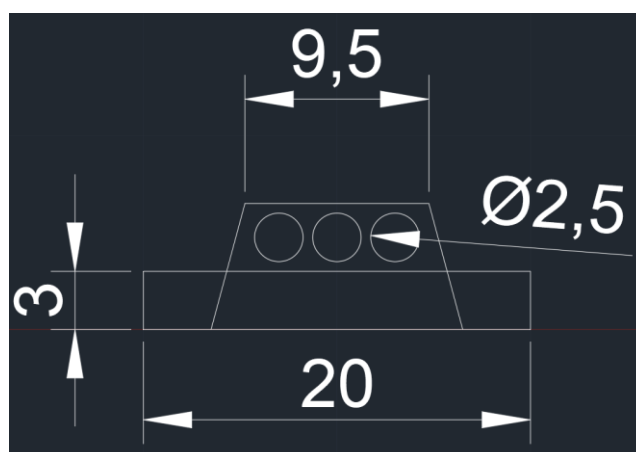
O estudo de fenômenos da física ótica exige, entre diversas coisas, uma série de equipamentos que visam aumentar a precisão dos dados, facilitar a realização dos experimentos e ampliar a compreensão dos fenômenos observados. Entre estes, o BOP (CIDEPE, 2024), Banco Ótico Plano, é um dos principais pois padroniza o procedimento experimental e eleva a precisão dos dados obtidos. Ele é frequentemente utilizado para o estudo da ótica geométrica e física. Entre os fenômenos que ele é capaz de analisar estão a determinação da distância e ponto focal e o índice de refração de uma lente não delgada (PIONÓRIO, 2008). Para que suas funções possam ser cumpridas adequadamente, é necessário que haja precisão na confecção e projeto de construção deste aparato, utilizando-se dos processos e ferramentas adequados em sua construção. Neste contexto, este estudo tem como objetivo projetar e construir um BOP que mescla a precisão experimental com uma construção simples, e que pode ser replicável caso haja os materiais e equipamentos necessários. A verificação de qualidade do aparato foi feita a partir da realização de uma série de experimentos, que envolvem a Lei de Snell e a determinação da distância focal de uma lente convergente (SGUAZZARDI, 2016). Os resultados experimentais serão comparados com dados obtidos por outros métodos realizados em projetos anteriores, utilizando-se das mesmas lentes convergentes (TEMPOBONO, 2024).

MATERIAL E MÉTODOS

A elaboração do projeto do BOP iniciou-se com a determinação das principais propriedades, e fenômenos óticos a serem estudados por ele. Entre eles, destaca-se a determinação da distância focal (SGUAZZARDI, 2016) e o índice de refração (HALLIDAY, 2012).

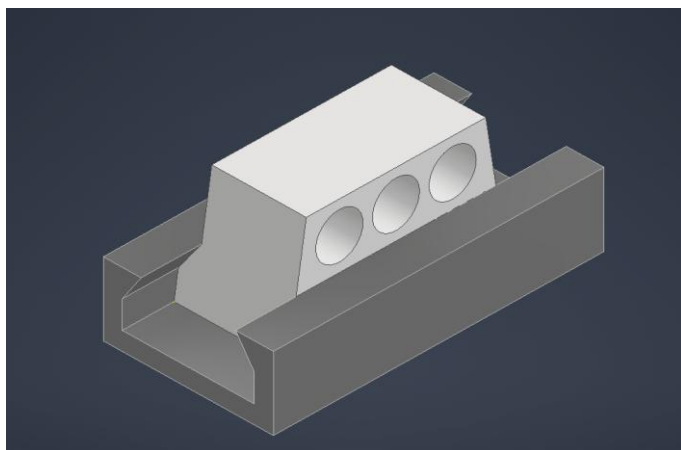
Com suas principais funções determinadas, começou o processo de desenvolvimento do projeto do BOP. Ele foi feito utilizando-se do software de Autocad 2024 para suas versões em 2 dimensões e o Inventor 2024 para as de 3 dimensões. Inicialmente, foi projetado o suporte para laser em 2D, como apresentado na figura 1.

FIGURA 1. Ideia inicial do suporte para lasers em 2 dimensões, em mm.



Posteriormente foi feito em 3D, conforme mostra a figura 2.

FIGURA 2. Ideia inicial do suporte para lasers em 3 dimensões.

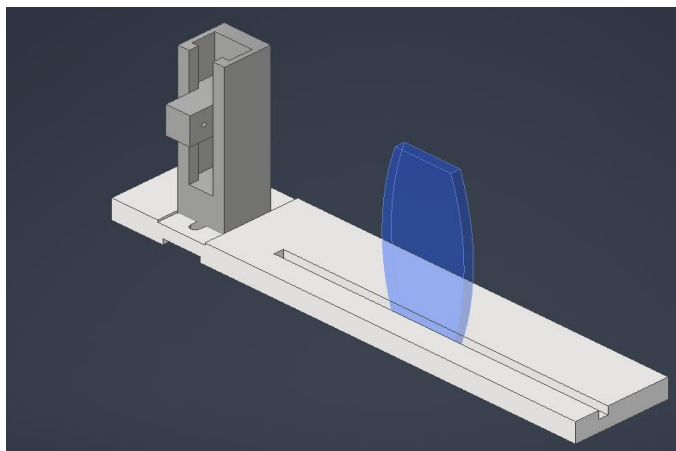


Para, a partir disto, desenvolver a primeira versão do BOP completa. Com o projeto em mãos, discutiu-se sua viabilidade com o colaborador responsável pelo auxílio do processo de usinagem e, por meio das ideias ali discutidas, foram realizadas alterações significativas no projeto e foram adquiridos os materiais que iriam compor o BOP.

Os materiais obtidos foram um paralelepípedo de plástico (105x1000x30 milímetros), destinado a servir como suporte geral; um bloco de plástico nylon (50x50 milímetros), utilizado como interligação móvel entre o suporte geral e o suporte para os lasers; outro bloco de nylon (43x40 milímetros), que seria o suporte para lasers; lasers de cores vermelha, verde e roxa; e, por fim, três lentes de acrílico.

Com os materiais disponíveis, criou-se o projeto final completo, conforme mostra a figura 3.

FIGURA 3. Projeto final do BOP em 3 dimensões, com lente acoplada.



Em sequência, com o projeto final completo, iniciou-se a etapa de usinagem que consistiu no uso de uma fresadora vertical, uma furadeira de bancada, paquímetros e limas e lixas para desbaste e acabamento. O trabalho foi realizado pelo estudante pesquisador e o professor colaborador que orientou no devido uso dos equipamentos e ferramentas disponíveis. O processo como um todo levou cerca de treze semanas. Os componentes finalizados estão dispostos na figura 4.

FIGURA 4. Componentes do BOP logo após o fim da etapa de usinagem.

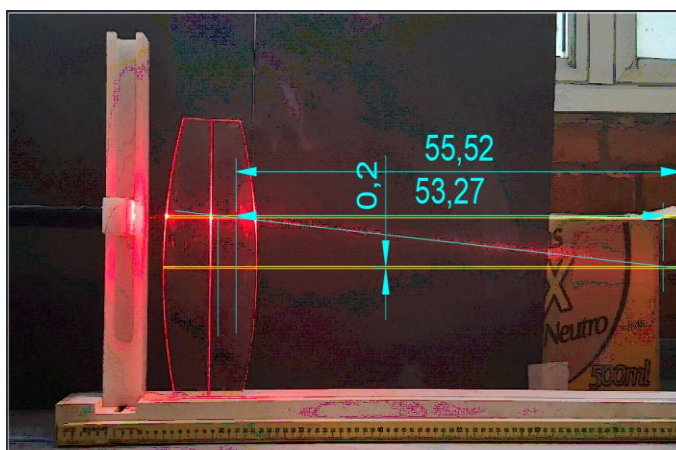


Uma vez concluída a etapa de usinagem, deu-se início a verificação da precisão do aparato experimental. Tal verificação se deu por meio da determinação da distância focal de uma das lentes, além da verificação do seu índice de refração.

A distância focal foi determinada por meio da análise de imagens do BOP em funcionamento, utilizando o software AutoCAD 2024 para realizar medições métricas em relação ao bastão de medição adotado como referência. As construções geométricas realizadas durante a análise de imagens estão apresentadas na figura 5. A reta azul representa o feixe de laser refratado ao sair da lente; o retângulo horizontal acima do laser refratado indica o feixe incidente; o inferior corresponde a um feixe que atravessa o centro óptico da lente, não sofrendo desvio por refração.

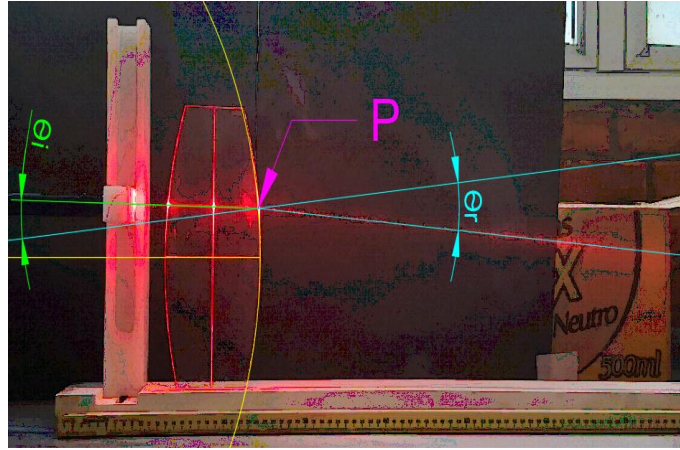
A intersecção da reta azul no retângulo amarelo superior indica a posição do plano focal enquanto a intersecção inferior representa o ponto focal. A distância entre eles representa a distância focal. A espessura dos retângulos foi fixada em 2 mm, correspondendo à largura estimada do feixe de laser e servindo, portanto, como estimativa da incerteza da medida.

FIGURA 5. Medição da distância focal de uma lente convergente, em cm.



Em sequência, utilizou-se da Lei de Snell (HALLIDAY, 2012) visando verificar o índice de refração experimental da lente, como demonstrado na figura 6.

FIGURA 6. Análise geométrica para a mensura do índice de refração.



A figura 6 mostra as construções geométricas para determinar os ângulos de incidência e de refração em um ponto P na superfície que separa o meio acrílico do ar. O software utilizado já oferece os valores experimentais para θ_i e θ_r , que serão utilizados na Lei de Snell

$$\text{sen}\theta_i n_i = \text{sen}\theta_r n_r \quad (1)$$

Em que,

θ_i – Ângulo incidente

n_i – Índice de refração do meio incidente

θ_r – Ângulo refratado

n_r – Índice de refração do meio refratado

Para determinar a incerteza final entre as incertezas deste trabalho (σ_1) e de um trabalho anterior (σ_2), utilizou-se a equação

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (2)$$

Em que,

σ – Sigma (incerteza combinada)

σ_1 – Incerteza do trabalho atual

σ_2 – Incerteza do trabalho anterior

O fator z é aquele que verifica a igualdade estatística entre duas grandezas experimentais, cuja expressão analítica é dada por

$$z = \frac{|\bar{f}_1 - \bar{f}_2|}{\sigma} \quad (3)$$

Em que,

σ – Sigma (incerteza combinada)

$\bar{f}_1$ – Valor médio da distância focal do trabalho atual

$\bar{f}_2$ – Valor médio da distância focal do trabalho anterior

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio de uma análise experimental inicial, foi determinado que o valor da distância focal da lente, referente ao laser vermelho foi de $f_1 = (56 \pm 2)$ cm. O que é um resultado satisfatório, afinal o valor real equivale a $f_2 = (54 \pm 3)$ cm. A comparação entre os dois resultados das distâncias focais experimentais é realizada por meio da equação (3). O resultado calculado para o fator z vale $z = 0,5$, indicando que as distâncias focais são estatisticamente iguais.

Outro experimento também foi realizado visando a verificação do índice de refração utilizando a Lei de Snell (1), que resultou no valor experimental de $n_1 = (1,51 \pm 0,06)$. Um valor obtido em um trabalho anterior foi de $n_2 = (1,49 \pm 0,09)$ (TEMPOBONO, 2024). A comparação entre os índices de refração é realizada também pelo fator z, cuja a equação (3) é adaptada para essa grandeza e seu valor final é $z = 0,1$.

CONCLUSÕES

Por meio das comparações dos resultados obtidos para a distância focal e índice de refração de uma lente pelo BOP com outros resultados obtidos em um trabalho anterior, é possível concluir que o desenvolvimento do BOP apresentou resultados satisfatórios, pois as distâncias focais e os índices de refração são estatisticamente iguais. Isso indica que além de manter a precisão nos dados experimentais em relação a um trabalho anterior, o BOP permite uma maior facilidade na experimentação e na filmagem da experiência. Então ele pode ser utilizado para realizar várias experiências, por grupos de diferentes estudantes e levantar uma estatística maior. A incerteza experimental da distância focal seria sensivelmente aprimorada.

Para aprimorar o BOP é sugerido construir um suporte para lentes; novos apoios para lasers e a redução da espessura dos feixes de luz.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

A.C.B: Concepção do projeto, aquisição dos materiais, instrução acadêmica, coleta de dados, revisão do documento e análise de dados.

R.S.B: Desenvolvimento do projeto, coleta de dados, análise de dados, processo de usinagem, elaboração e revisão do documento.

G.F: Auxílio no processo de usinagem, instrução do uso adequados dos equipamentos, auxílio no desenvolvimento do projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao departamento de mecânica pelo apoio oferecido durante a usinagem do aparato experimental. Este projeto foi financiado pelo conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnológico (CNPq) no qual os autores destinam um agradecimento.

REFERÊNCIAS

SGUAZZARDI, Monica Midori Marcon Uchida (org.). **Ótica e movimentos ondulatórios**. 1. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 28 jan. de 2025.

PIONÓRIO, N.; RODRIGUES JR, J. J.; BERTUOLA, A. C. **Correções da aberração cromática no contexto da óptica geométrica**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, p. 3315.1-3315.10, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/LyH8Znjq3bD4F8fmMRgrg7t/> Acesso em set. de 2024.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALER, J. **Fundamentos da Física**: LTC Editora Ltda, v.4, 2012.

CIDEPE: **Banco Óptico Linear e Lei de Malus**, Canoas, RS, 2024. Disponível em: <https://www.cidepe.com.br/index.php/br/produtos-interna/banco-optico-linear-lei-de-malus/EQ265> Acesso em setembro de 2024.

TEMPOBONO, F.; BERTUOLA, A. C. **Fabricação de lentes acrílicas não delgadas utilizando CNC**. v. 15 n. 1 (2024): CONICT - *Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP*. Disponível em: <https://congressos.ifsp.edu.br/conict/article/view/326> Acesso em setembro de 2024.