

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

FABRICAÇÃO DE LENTES ACRÍLICAS NÃO DELGADAS UTILIZANDO CNC

FELIPE TEMPOBONO¹, ALBERTO CARLOS BERTUOLA²

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBITI, IFSP, Campus São Paulo, felipe.temponono@aluno.ifsp.edu.br.

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

³

ⁿ

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

RESUMO: O artigo apresenta um estudo sobre a possibilidade de fabricação de lentes acrílicas convergentes espessas utilizando uma máquina CNC a laser. O objetivo é validar o processo de produção de lentes convergentes não-delgadas, analisando a qualidade das lentes fabricadas para os lasers de cor violeta, verde e vermelho, comparando os valores experimentais do índice de refração do material e as distâncias focais com os respectivos valores teóricos. O método utilizado envolve o *design* da lente em *software* CAD, a usinagem em CNC e a análise das propriedades ópticas por meio da lei de Snell e da equação dos fabricantes de lentes. Os resultados demonstram que os valores experimentais do índice de refração e da distância focal para as cores estão em boa concordância com os valores teóricos de comparação. Conclui-se que melhorias no equipamento, no processo de foto-análise e no aumento da quantidade de amostras podem melhorar ainda mais a precisão dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: óptica; acrílico; CNC; índice de refração; laser; distância focal.

MANUFACTURE OF NON-THIN ACRYLIC LENSES USING CNC

ABSTRACT: The article presents a study on the feasibility of manufacturing thick acrylic converging lenses using a laser CNC machine. The objective is to validate the production process of non-thinned converging lenses by analyzing the quality of the lenses fabricated for violet, green, and red lasers, comparing the experimental values of the material's refractive index and focal lengths with their respective theoretical values. The method employed involves designing the lens in CAD software, CNC machining, and analyzing the optical properties using Snell's law and the lensmaker's equation. The results demonstrate that the experimental values of the refractive index and focal length for the colors are in good agreement with the theoretical comparison values. It is concluded that improvements in the equipment, the photo-analysis process, and increasing the number of samples can further enhance the accuracy of the results.

KEYWORDS: optics; acrylic; CNC; refractive index; laser; focal distance.

INTRODUÇÃO

A fabricação de lentes ópticas é um processo complexo que envolve diversos fatores para assegurar a produção desses dispositivos com alta precisão e qualidade. Cada etapa é fundamental no desenvolvimento de um produto óptico de alto padrão, desde a criação de seu design, a seleção do material utilizado e os processos de fabricação envolvidos. A utilização de máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC) oferece maior flexibilidade de operação, possibilitando a produção de lentes convergentes com cortes precisos e manufatura replicável (SOUZA, 2018). O acrílico foi escolhido como material principal devido à sua estabilidade óptica e mecânica, facilidade de corte e polimento, com baixo custo de produção (CRUZ, 1997). Este estudo tem como objetivo principal qualificar o processo de fabricação de uma lente convergente espessa, atravessando feixes de laser de cores diferentes e determinando sua distância focal experimental. O resultado obtido é comparado com o outro valor determinado utilizando a equação dos fabricantes de lentes (PIONÓRIO et al., 2008). A qualidade da fabricação da lente proposta neste trabalho será avaliada por meio da comparação entre as distâncias focais obtidas, na esperança de se obter valores próximos devido à precisão do corte do CNC a laser.

MATERIAL E MÉTODOS

A fabricação da lente não delgada utilizando CNC a laser foi iniciada com a aquisição de uma placa retangular de material acrílico.

O projeto com o desenho da lente convergente biconvexa foi realizado no programa *AutoCAD* 2024, conforme os requisitos necessários para a aplicação específica. Após a finalização do desenho, este foi exportado na extensão adequada para ser utilizado no software *RDWorks*. Os parâmetros da máquina do CNC a laser (Manfran) foram configurados assim como a exportação do arquivo no formato ".rd", que é compatível com a CNC utilizada. Posteriormente, foi feita a preparação e checagem da CNC para garantir que todos os componentes estavam em funcionamento adequado. A placa acrílica foi inserida no cabeçote da máquina e a usinagem da lente foi realizada com uma potência adequada de corte (150 W). Após o processo de corte, as faces curvas da lente foram analisadas utilizando um microscópio óptico (Union) com ampliação de quatrocentas vezes. Nessa verificação da qualidade do corte foi observado a presença de riscos microscópicos nas suas faces. Os riscos foram reduzidos na lixadeira metalográfica com água, utilizando lixas de diversas granulações (600, 800 e 1200), até alcançar o acabamento desejado. Em seguida, as faces foram polidas na politriz metalográfica com uma pasta de diamante de seis microns para obter um acabamento ainda mais fino. Após o lixamento e polimento, as faces curvas foram novamente analisadas por meio de microscopia para assegurar que a qualidade final atendia aos padrões necessários, quando foi constatado uma grande redução dos riscos.

As características da lente biconvexa estão apresentadas na Figura 1.

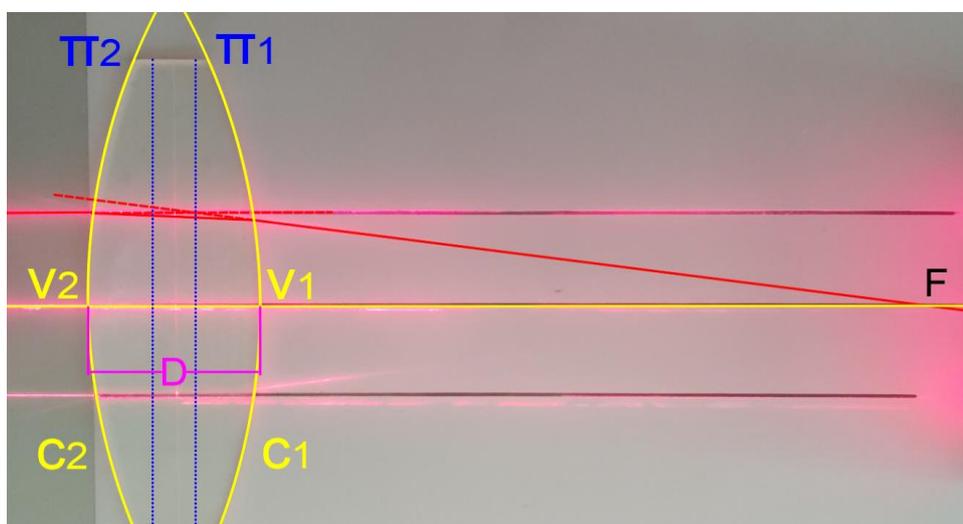


FIGURA 1. Construções geométricas utilizadas para o estudo da lente biconvexa.

Com a lente de acrílico biconvexa não delgada pronta, iniciou-se a análise de suas propriedades. Primeiramente, utilizando a lei de Snell (HALLIDAY, 2000), o valor experimental do índice de refração da lente foi determinado, de acordo com as construções geométricas da fotografia da lente convergente, apresentada na Figura 2.

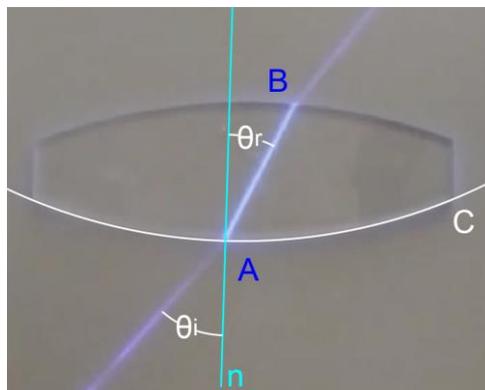


FIGURA 2. Construções geométricas para a determinação do valor do índice de refração.

A Figura 2 mostra as construções geométricas necessárias para a aplicação da lei de Snell. Um raio de luz violeta incide no ponto A, abaixo para cima na figura, formando um ângulo θ_i com a reta normal n , que passa pelo centro da circunferência C e pelo ponto A. A lei de Snell é escrita considerando as notações apresentadas na Figura 2 na seguinte forma

$$n = \frac{\text{sen}\theta_r}{\text{sen}\theta_i}, \quad (1)$$

em que,

- θ_r – ângulo de refração;
- θ_i – ângulo de incidência;
- n – índice de refração da lente.

A Equação (1) é a forma definitiva, onde já foi considerado o valor unitário para o índice de refração do ar.

Com o valor do índice de refração bem determinado para cada cor (vermelho, verde e violeta) e o valor da espessura da lente conforme indicado na Figura 1, a equação dos fabricantes de lente é escrita na forma

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left[\frac{2}{R} + \frac{(n - 1) D}{n R^2} \right], \quad (2)$$

em que,

- f – distância focal da lente, cm;
- n – índice de refração da lente;
- R – raio da face da lente, cm;
- D – espessura da lente, cm.

Para a determinação da distância focal por meio de um ensaio experimental, preparou-se um aparato específico. Em uma mesa, a lente foi posicionada sobre uma cartolina, de forma que o eixo central da lente ficasse alinhado com uma reta traçada na cartolina. Utilizando canetas laser, niveladores de nível a laser vermelhos e tripés de apoio, os lasers foram posicionados de modo a incidir seus feixes de luz na lente em distâncias equidistantes do centro, conforme mostra a Figura 1.

Desta forma, gravando com um celular em uma vista superior e borrifando talco sobre o aparato experimental, os feixes de luz foram realçados. Para a foto-análise, escolheram-se os frames dos vídeos onde o laser estava mais definido e aparente.

No programa *AutoCAD 2024*, as imagens foram redimensionadas em uma escala 1:1 utilizando a função escala e a largura da lente como referência. Na Figura 1, traçaram-se arcos de circunferência C1 e C2, coincidindo com as faces curvas da lente, onde os seus raios possuem medidas semelhantes ao valor do raio da lente. As linhas sobre os lasers foram desenhadas, cada uma passando por dois pontos do feixe de luz de laser, que foram escolhidos para a determinação a priori. Esses pontos foram selecionados cuidadosamente, utilizando a maior ampliação da imagem possível. Cada reta foi alocada bem no centro da espessura dos feixes de luz incidentes ou refratados. Para a determinação do valor da incerteza da distância focal, considerou-se a metade do tamanho da espessura das curvas C1 e C2.

Ao prolongar as linhas traçadas sobre os feixes incidentes e refratados, encontraram-se os planos que interceptam perpendicularmente o eixo principal. A distância deste ponto F até o foco da lente π_1 , conforme ilustrado na Figura 1, é considerada a distância focal da lente espessa para aquela cor de laser.

A obtenção da distância focal foi realizada com lasers de diferentes comprimentos de onda, sendo eles verde, vermelho e violeta. Nas foto-análises, também foi aplicada a lei de Snell para a obtenção do índice de refração das lentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela (1) apresenta os resultados do índice de refração da lente espessa para cada cor de luz laser, onde seus valores de comprimento de onda λ (nm) foram dados pelo fabricante. O índice de refração n e sua correspondente incerteza σ_n foram calculados pela lei de Snell (1) com valores experimentais da foto-análise. Os valores da última coluna foram coletados diretamente da Figura 3, já publicada na referência (HECHT, 2002). Comparando os valores teóricos e experimentais do índice de refração, nota-se que o valor teórico está dentro do intervalo dos valores experimentais obtidos por foto-análise.

TABELA 1. Valores médios de n e sua incerteza para cada cor de laser.

laser	λ (nm)	n	σ_n	$n_{teórico}$
violeta	405	1,53	0,07	1,51
verde	542	1,49	0,03	1,49
vermelho	650	1,49	0,09	1,48

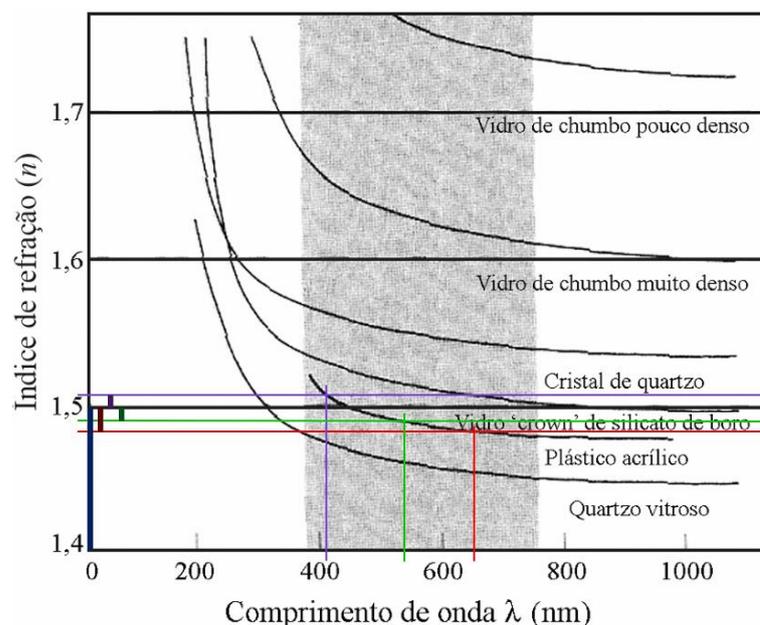


FIGURA 3. Gráfico do índice de refração pelo comprimento de onda de alguns materiais.

Aplicando o valor do índice de refração médio da Tabela (1) na equação dos fabricantes de lentes (2), obteve-se o valor da distância focal teórica para cada cor de feixe laser. Os resultados estão apresentados na Tabela (2), junto com a média ponderada dos valores experimentais da distância focal.

TABELA 2. Valores médios de f para cada cor com sua respectiva incerteza.

laser	f (cm)	σ_f (cm)	f_t (cm)
violeta	51,23	0,07	51,19
verde	53,1	0,1	53,1
vermelho	53,51	0,06	53,83

Os intervalos dos valores da distância focal experimentais coincidem com os valores teóricos para as cores violeta e verde. Para o feixe de luz vermelho, o intervalo do valor experimental apenas encontra o valor teórico em seis sigmas. Essa distância pode ser atribuída pela complicação que os niveladores laser vermelhos apresentaram nas foto-análises. Inicialmente, pensou-se que esses dispositivos seriam melhores que as canetas laser convencionais. No entanto, por não se tratar de um feixe de luz único, e sim um plano iluminado de laser, a visualização dos feixes refratados era prejudicada pelos feixes que estavam mais altos que a lente.

Os dois resultados importantes contidos na Tabela (2) são as distâncias focais entre a lente convergente não delgada para as luzes violeta e vermelho $\Delta f = (2,64 \pm 0,09)$ cm. Nessa precisão, o fenômeno de aberração cromática pode ser detectado com facilidade e corrigido com dupletos de lentes.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o processo de fabricação de lentes acrílicas biconvexas não-delgadas utilizando CNC a laser é viável para a produção de lentes ópticas com alta precisão. Os valores experimentais do índice de refração e da distância focal demonstraram boa concordância com os valores teóricos, incluindo a distância focal do laser vermelho, cuja discrepância foi atribuída principalmente às limitações do equipamento.

Para melhorar a precisão em experimentos futuros, recomenda-se o uso de fontes de laser com feixe único, que são mais adequadas para a foto-análise, além de aumentar o número de amostras experimentais. A observação de aberração cromática também abre oportunidades para estudos mais detalhados, com foco na correção desse efeito por meio de combinações de lentes.

O posicionamento da câmera foi fundamental para minimizar o efeito de paralaxe nas imagens obtidas durante a foto-análise. Mesmo pequenas variações de inclinação e centralização nas imagens causaram discrepâncias nos resultados. Portanto, sugere-se a construção de um suporte adequado tanto para as fontes de luz com raios laser paralelos quanto para a câmera.

Aperfeiçoando o aparato experimental e aumentando o número de amostras, seria possível enriquecer a análise estatística e obter resultados ainda mais precisos.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

F.T.: coleta de dados, análise de dados, preparo do material, elaboração do manuscrito, redação, discussão dos resultados.

A.C.B.: concepção, aquisição do material, coleta de dados, elaboração do manuscrito, redação, discussão dos resultados, revisão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSP) - Campus São Paulo pelo suporte na produção da lente e nos ensaios experimentais, principalmente aos professores Carlos Antônio da Rocha e Mauro Machado de Oliveira. O projeto é financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

CRUZ, R. A. **Confecção de lentes acrílicas para o ensino de ótica**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HECHT, E. **Optica**. Fundação Calouste Gulbenkian, 2nd ed., 2002.

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.

SCHWERTL, S. L. et al. **Estudando novas rotas para problematizar o desenvolvimento científico e tecnológico contemporâneo e seus impactos na sociedade**. Interfaces Científicas-Educação, v. 6, n. 1, p. 149-162, 2017.

SILVA, R. A. M. D. **Lei de snell-descartes – índice de refração do acrílico com variação dos ângulos de incidência**. Anais IV CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2019.

SOUZA, C. E. D. **Vantagens e desvantagens do controle numérico computadorizado (CNC)**. 2018.

SOUZA, S. C.; DOURADO, L. G. P. **Aprendizagem baseada em problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo**. 2015.

U.S. PRECISION LENS. **The Handbook of Plastic Optics, with Emphasis on Injection-Molded Optics**. 1983.