

# ESTUDO DE LENTES DE FOCO VARIÁVEL

*Ana Dantas; Ariel Campêlo; Bernardo Areas Alcantara de Oliveira;  
Breno Agatão Garcia; Bruce Reiner; Bruno Backer Meller; Bruno  
Basso Manzato; Caio Guerra; Daniel Charles Heringer Gomes;  
Gabriel Beraldo; Gabriel Neder; Geanderson Martins; Gonçalo  
Costa; Guilherme Jorge; Isabela Siqueira; Jenifher Almeida; Kiedo  
Arantes; Lucas Baldo Mesa Casa; Marcelo Ramalho de Souza;  
Otávio Vasques; Patrícia Muñoz Ewald; Pedro Fortini; Rafael  
Charles Heringer Gomes; Rafael Johas Menezes; Silvio Junior.*

**Professor Felipe Kopel**

Física Experimental IV (4302214-2016201)

## **Resumo**

Construção e estudo de lentes com foco controlável em superfícies viscosas por meio de deformações senoidais causadas pela Força Acústica de Radiação (ARF) de um gerador de frequências.

27 de setembro de 2016

# 1 Introdução

Lentes são geralmente usadas de forma a mudar as características de um dado objeto formando uma imagem, que possui propriedades mais vantajosas. Para se modificar as características de um sistema óptico, é necessário trocar a lente do equipamento ou usar um conjunto de lentes que, quando posicionadas corretamente, equivalem a uma nova lente, o que geralmente é bastante trabalhoso.

Investigaremos uma forma de alterar as características ópticas (distância focal) de uma lente fixa, controlando o seu formato através de uma fonte sonora e usando como referência um trabalho desenvolvido pela Universidade de Doshisha, Japão, [1], que formou lentes controláveis a partir de gel (índice de refração 1,4, elasticidade  $2 \cdot 10^4 N/m^2$ , velocidade do som  $1030 m/s$ ) apoiado sobre uma lâmina de plástico transparente ( $120 \times 4 \times 1 mm^3$ ) acoplada a Transdutores Piezoelétricos (PZT) com frequência fixada em  $113 KHz$  produzindo ondas senoidais de comprimento de onda da ordem de  $9 mm$ .

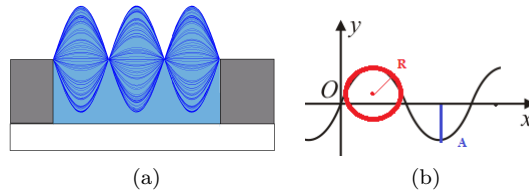


Figura 1: (a) Deformações no gel causadas por ondas estacionárias. (b) Formam-se lentes aproximadamente cilíndricas com curvatura  $R$  inversa à amplitude  $A$ .

## 1.1 Fundamentos Teóricos

O PZT oscila com frequência e tensão determinadas segundo a Eq.(1), produzindo ondas estacionárias representadas pela Eq.(2). Como esquematizado na Figura 1a, as oscilações alteram o formato do gel devido à uma Força Acústica de Radiação (ARF), definida como a força média exercida sobre o meio em um período de oscilação da fonte [6], que segue uma função senoidal. A amplitude da deformação, apesar de depender das características mecânicas do sistema, aumenta conforme aumenta-se a tensão de pico.

$$V(x, t) = V_0 \cos(k \cdot x - \omega t + \delta) \quad (1)$$

$$V(x, t) = 2V_0 \cos(k \cdot x) \cos(\omega t - \delta) \quad (2)$$

Podemos modelar o formato do gel nas regiões dos picos por lentes aproximadamente cilíndricas (Figura 1b) de espessura  $d$  e raios de curvatura iguais em ambas as faces. Sua distância focal obedece a Eq.(3) [5], da qual, considerando  $d$  muito menor que  $R$ , obtêm-se a Eq.(4).

$$f = \frac{nR^2}{(n-1)(2nR + d(n-1))} \quad (3)$$

$$f = \frac{R}{2(n-1)} \quad (4)$$

Geometricamente, é fácil perceber que, aumentando a amplitude da deformação do gel, causada pelo aumento da tensão de pico, diminui-se o raio de curvatura das lentes formadas e diminuem-se, também, suas distâncias focais. Usando como referência as Eq.(6) e (7) [1] (que esperamos obter) e usando a Eq.(5) como premissa geométrica, espera-se encontrar  $n = 2$ .

$$R = \frac{1}{A^n} \quad (5)$$

## 1.2 Resultados Esperados

No experimento original, verificou-se que cada tensão de entrada estabelecia um formato (senoidal) para o gel, cuja amplitude seguiu uma relação quadrática da Eq.(6) e com vários focos ao longo da direção da lente cujas distâncias focais mostraram-se inversas ao aumento da tensão, o que é expresso pela Eq.(7).

$$A \approx V^2 \quad (6)$$

$$f \approx \frac{1}{V} \quad (7)$$

Notou-se, também, que para cada configuração do gel, suas distâncias focais não eram todas iguais, sendo dependentes da sua distância em relação ao centro do sistema devido a diferenças de elasticidade nessa direção. A fim de minimizar efeitos decorrentes da variação de temperatura, foram adotadas tensões da ordem de  $3V$  e usaram para as determinações dos focos a posição em que o diâmetro do feixe de luz transmitida atingia um mínimo.

## 2 Arranjo Experimental

O arranjo experimental consiste em uma lâmina delgada de plástico, acrílico, ou qualquer objeto transparente (inclusive a água) em cujas laterais estão acopladas Transdutores com tensões e frequências controláveis, como mostrado na Figura 2. Pode-se mudar a deformação da lâmina variando as tensões dos geradores produzindo novas ondas estacionárias e novos formatos para a lente. Dessa forma, altera-se a distância focal do sistema, que pode ser medida incidindo-se luz perpendicularmente à lâmina e identificando o ponto de convergência dos feixes.

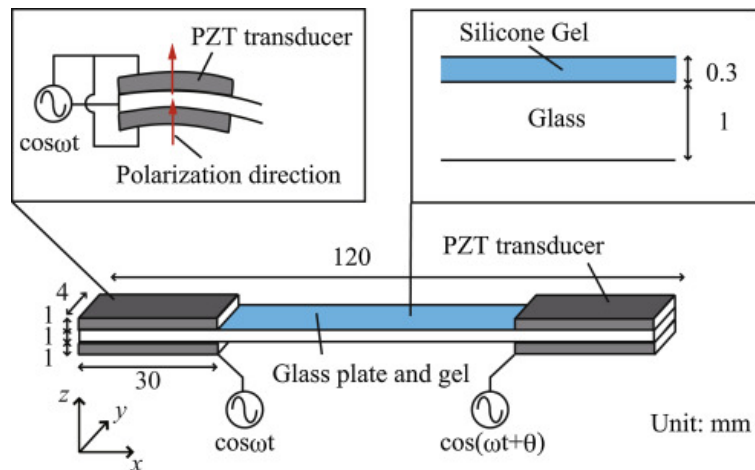


Figura 2: Arranjo experimental usado como referência (ver [1]).

### 3 Cronograma de execução do projeto

A seguir está apresentado o cronograma esperado para execução do projeto, separado em etapas. A previsão de início do projeto é 27/09.

1. Projeto - 8 semanas
  - (a) Preparação - 2 semanas
    - i. Compra de material
    - ii. Montagem do experimento e testes
  - (b) Execução - 2 semanas
    - i. Tomadas de medidas
    - ii. Análise de dados
  - (c) Repetição de etapas necessárias - 4 semanas
 

Se necessário, há um período ainda para a repetição de todas ou parte das etapas descritas acima, de forma que o experimento como um todo pode ser inteiramente refeito antes da análise final.
2. Análise final e preparação da apresentação - 2 semanas
3. Apresentação - 06/12

### Referências

- [1] D. Koyama, Y. Kashihara, M. Hatanaka, K. Nakamura, M. Matsukawa; **Movable optical lens array using ultrasonic vibration**; Sensors and Actuators A: Physical, Volume 237, 1 January 2016, Pages 35–40

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424715302223>

- [2] D. Koyama, R. Isago, K. Nakamura; **Ultrasonic variable-focus optical lens using transparent gel**; IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 42 (2012) 012011  
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/42/1/012011/pdf>
- [3] B. Berge, J. Peseux; **Variable focal lens controlled by an external voltage: An application of electrowetting**; Eur. Phys. J. E 3, 159-163 (2000)  
[http://www.varioptic.com/media/uploads/publication/variable\\_focal\\_lens.pdf](http://www.varioptic.com/media/uploads/publication/variable_focal_lens.pdf)
- [4] M. Pereira; **Óptica - Geometria Ocular**; Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2008.  
<http://www.dfisica.ubi.pt/~smogo/disciplinas/alunos/sebenta-ogo-mario.pdf>
- [5] **Determinação da distância focal de uma lente e estudo da formação da imagem**; Relatório feito por alunos da Universidade da Madeira - Engenharia da Instrumentação e Electrónica (Ramo de Astronomia) para o Laboratório de Óptica; 2006/2007.  
<http://cee.uma.pt/people/faculty/luis.gomes/laboptica/S12\%20Distancia\%20focal.pdf>
- [6] **Acoustic Radiation Force (ARF)**; Texto introdutório sobre a Força de Radiação Acústica e algumas de suas aplicações.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic\\_radiation\\_force](https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_radiation_force)