

# DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE RELATIVO DE DISPERSÃO FOTOELÁSTICO MÉDIO POR MEIO DE FOTOELASTICIDADE

Karen Ayumi Ueta Utiyama<sup>1</sup>

Dr. Sidney Leal da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aluna de Iniciação Científica da Fatec Itaquera; e-mail: ayumi.iniciacao@gmail.com

<sup>2</sup>Orientador e Professor da Fatec Itaquera; e-mail: fatec.sidney.pesquisa@gmail.com

**Áreas do Conhecimento:** Ciências Exatas e da Terra, Física, Óptica Aplicada

**Palavras-chave:** Materiais fotoelásticos, Fotoelasticidade, Birrefringência, Teoria de erros.

## INTRODUÇÃO

Fotoelasticidade é um ramo da óptica que estuda a distribuição de tensões e deformações em materiais fotoelásticos com o auxílio da luz polarizada. Materiais fotoelásticos têm a propriedade da birrefringência temporária e, principalmente, devido à sua transparência e elasticidade, são amplamente utilizados na indústria para determinação indireta das propriedades dos materiais, como ferro, aço, concreto etc. Tais características destes materiais são explicitados em trabalhos de Parthasarathi *et. al.* (2018) e Toro *et. al.* (2017).

Torna-se fundamental a procura de novos métodos para o tratamento de dados obtidos pelas diversas técnicas ópticas que já existem e estão sendo aperfeiçoadas, mas também, para os dados de novas técnicas que surgem, tanto no universo científico quanto tecnológico, exigindo maior rigor e rapidez na análise para obtenção de resultados mais precisos. Nessa direção, um sistema computacional capaz de efetuar o tratamento de uma grande quantidade de dados de forma rápida e eficiente, contribuirá para o avanço dos estudos dos materiais fotoelásticos.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi o de determinar o fator de dispersão,  $\alpha$ , associado ao coeficiente relativo de dispersão fotoelástica de amostras, por meio de programas computacionais que efetuem os processos parciais e torne automático o método de cálculo das deformações médias a partir da evolução de franjas fotoelásticas, observadas por uma câmera digital, durante esforços externos crescentes produzidos sobre as amostras, dispondo da técnica de polariscópio linear de transmissão, utilizando dois comprimentos de onda distintos.

## METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta uma fotografia do polariscópio linear por transmissão utilizado para efetuar as coletas de dados, com o dispositivo automático de cargas acoplado à configuração.

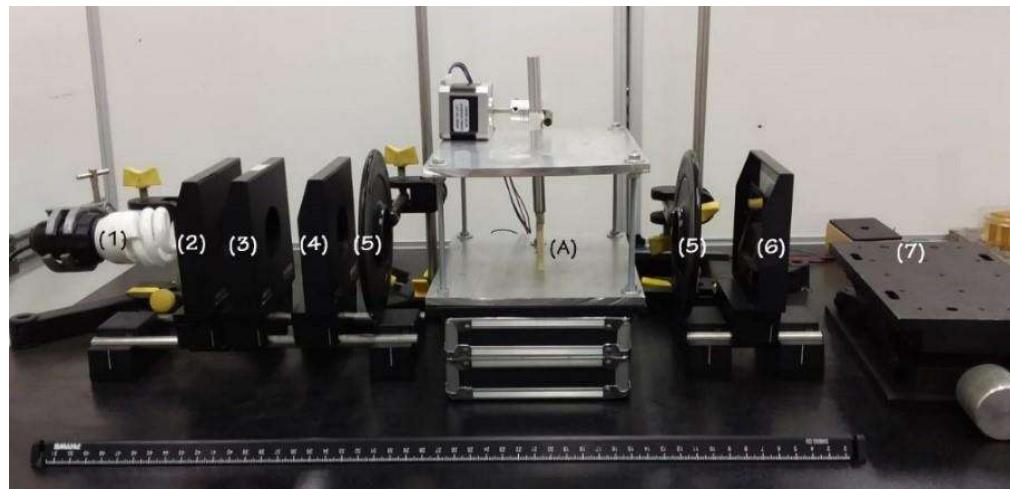


Figura 1: Fotografia do dispositivo para compressão de amostras photoelásticas configurado no polariscópio linear por transmissão. (1) fonte de luz branca; (2) filtros e lentes; (3) filtro de cor; (4) polarizador linear horizontal; (A) amostra photoelástica; (5) lâminas de 1/4 de onda; (6) polarizador linear vertical; (7) base para câmera digital. (Fonte: Grupo de Óptica e Aplicações da Fatec Itaquera. 2019).

A Figura 2 apresenta o esquema de evolução das franjas conforme o aumento de compressão aplicada, com o intuito de ilustrar as distâncias entre franjas nas direções transversais e longitudinais que são visíveis em toda a amostra.

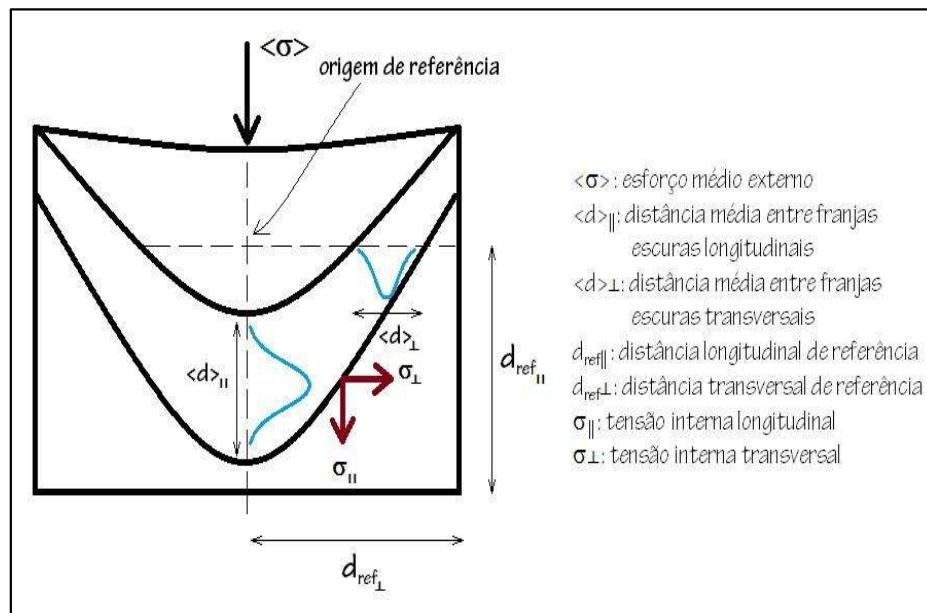


Figura 2: Esquema da evolução de franjas para os esforços de tensão sobre uma amostra photoelástica. (Fonte: Grupo de Óptica e Aplicações da Fatec Itaquera, 2020).

Supondo que  $\sigma_{\parallel} - \sigma$  é diretamente proporcional ao esforço externo médio  $\langle \sigma \rangle$ , e que  $n_{\parallel} - n$  é proporcional à diferença entre as distâncias relativas médias entre franjas,  $\parallel - \langle \rangle$ , a menos de uma constante  $\alpha$  (fator de dispersão), para um dado esforço, então:

$$\langle \sigma \rangle_i = \frac{\alpha_c}{C} (\langle \varepsilon_{\parallel} \rangle_i - \langle \rangle) \quad (1)$$

O índice  $i$  representa cada esforço aplicado sobre a amostra. Definindo  $\Delta(\rangle) \equiv \parallel - \langle \rangle$ , tem-se:

$$\langle \sigma \rangle = \frac{\alpha_c}{C} (\Delta(\rangle)) \quad (2)$$

Os deslocamentos relativos médios das franjas photoelásticas,  $\Delta(\rangle)$ , são obtidos da seguinte forma:

$$\Delta(\cdot) = \frac{1}{d''\#\$} \frac{d\|k_j - d\|}{\|k_j\|} \cdot 100\% \quad (3)$$

$j \in [1, m]$  e  $k \in [1, p]$ ,  $d\|k_j$  e  $d\|$  são as distâncias médias longitudinais e transversais, respectivamente,  $d''\#\$$  - são as distâncias de referências.

O método proposto utilizou uma análise computacional associada ao tratamento por teoria de erros, Vuolo (1992). Foram escolhidos  $Q$  quadros de  $P$  produzidos por um vídeo a partir dos esforços consecutivos de compressão sobre a amostra fotoelástica.  $G$  grupos, contendo cada um  $P/G$  quadros de imagens, foram separados para o tratamento dos dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O vídeo obtido pela câmera digital produziu  $P = 4096$  quadros de imagens, dos quais foram selecionados  $Q = 4080$ , divididos em  $G = 12$  grupos de  $P/G = 340$  quadros de imagens. As imagens foram convertidas para o padrão contendo **256** tons de cinza, **8** bits. O gráfico da Figura 3 apresenta as relações entre as tensões externas médias *versus* deformações médias longitudinais.

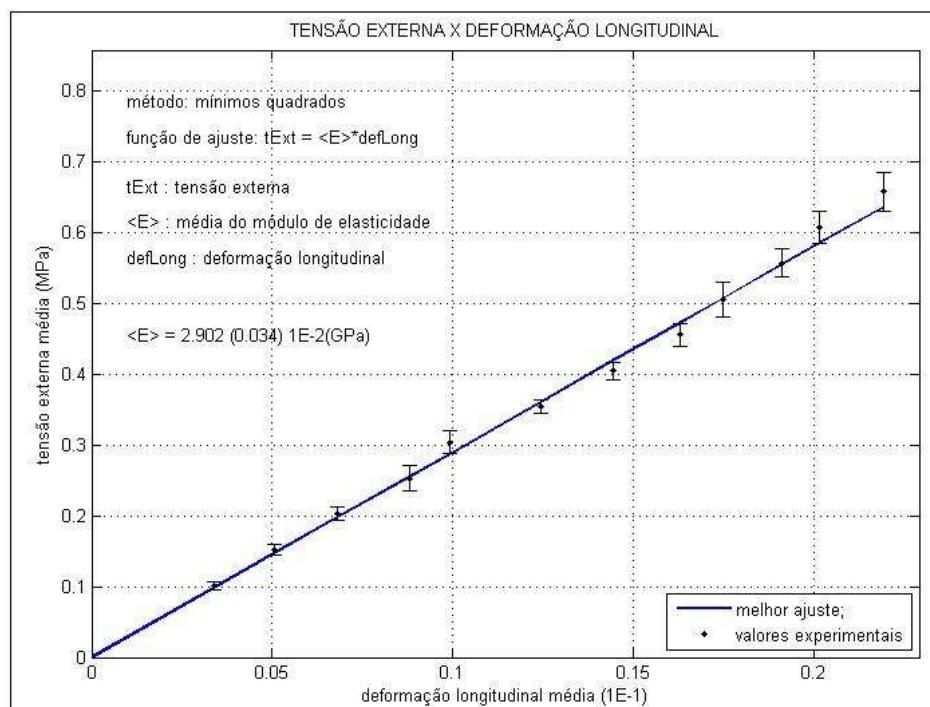


Figura 3: Gráfico das tensões externas médias *versus* deformações longitudinais médias.  
(Fonte: Grupo de Óptica e Aplicações da Fatec Itaquera, 2021).

A partir do gráfico, obtém-se o coeficiente angular, tal que:

$$\langle \sigma \rangle = \operatorname{tg}(\beta) \Delta(\cdot) \quad (4)$$

Com:

$$\operatorname{tg}(\beta) \Rightarrow \alpha = C \operatorname{tg}(\beta) \quad (5)$$

$\operatorname{tg}(\beta)$  obtém-se diretamente da regressão linear e  $C$  a partir dos valores típicos da literatura.

A partir do valor  $\operatorname{tg}(\beta) \equiv \langle E \rangle = (2,902 \pm 0,034) \times 10^{-2}$  GPa e do valor típico médio do coeficiente de dispersão óptico obtido pela literatura, Da Silva (2017),  $\langle C \rangle = (2,79 \pm 0,13) \times 10^{-1}$  m/N, obteve-se o fator de dispersão médio,  $\langle \alpha \rangle$ :

$$\langle \alpha \rangle = (8,90 \pm 0,42) \times 10^E$$

$\langle \alpha \rangle$  é adimensional, já que a dimensão do módulo de elasticidade, [E], é inversa da dimensão do coeficiente de dispersão óptico, [C].

## CONCLUSÕES

O método mostrou-se eficiente na determinação do fator de dispersão médio,  $\langle \alpha \rangle$ , e, com ele em mãos, é possível utilizar a mesma metodologia para determinar diretamente, o coeficiente de dispersão óptico de amostras fotoelásticas. Para isto, basta fazer amostras de um mesmo lote e com dimensões similares, em seguida, escolhe-se uma amostra de teste para determinação de  $\langle \alpha \rangle$  e utiliza-se este coeficiente para determinar diretamente C. Assim, é possível caracterizar as amostras fotoelásticas, determinando-se com maior acurácia seus valores típicos, tanto dos módulos de elasticidade, E, quanto dos seus coeficientes de Poisson, v. Outra possibilidade é determinar, indiretamente valores de E e v outros materiais inseridos em amostras fotoelásticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DA SILVA, Sidney Leal. **Estudo de tensões em amostras fotoelásticas com Holografia Digital.** Primeira Edição, Novas Edições Acadêmicas, Brasil, 153 p. 2017.
- FERREIRA, Mário. **Óptica e Fotónica.** Primeira Edição, Lisboa, Lidel-Edições Técnicas, 438 p. 2003.
- GUENTHER, Robert D. **Modern Optics.** United States of America, John Wiley & Sons, 1990.
- HECHT, Eugene. **Óptica.** Segunda Edição, Lisboa, Portugal, Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.
- PARTHASARATHI, N. et al. **Analytical and experimental study on reinforced concrete arch by photoelasticity technique.** Asian Journal of Civil Engineering, v. 19, p. 647-650, 2018.
- TORO, H. A. F. et al. **Análisis de campos de esfuerzos utilizando fotoelasticidad visible e infrarroja.** Visión electrónica, v. 11, n. 1, p. 89-98, 2017.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Dr. Sidney Leal da Silva pela orientação, apoio e compreensão em todas as fases do projeto.

Agradeço aos membros do Grupo de Óptica e Aplicações (GOA) pelas contribuições oferecidas.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.