

# FOTOELASTICIDADE AUTOMATIZADA UTILIZANDO O PROGRAMA FRINGES

Carla Patrícia Ricardi Bertão, Faculdade de Eng. Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia. e-mail: [carlaricardi@yahoo.com.br](mailto:carlaricardi@yahoo.com.br)

Cleudmar Amaral de Araújo, Faculdade de Eng. Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia. e-mail: [cleudmar@mecanica.ufu.br](mailto:cleudmar@mecanica.ufu.br)

## Introdução

A Fotoelasticidade é uma técnica experimental para determinação do campo de tensões em peças e estruturas. Na fotoelasticidade de transmissão é necessária a confecção de modelos plásticos transparentes que possuam anisotropia ótica quando submetidos a esforços mecânicos. Para a aplicação desta técnica, é necessário utilizar um aparelho denominado polariscópio, que possibilita a visualização dos parâmetros fotoelásticos, em forma de franjas coloridas quando utilizada a luz branca. Neste trabalho foi desenvolvido um programa computacional em ambiente Matlab®, que utiliza uma técnica de polarização elíptica, Yoneyama e Takashi (1998), aplicado para a aquisição e tratamento de imagens de modelos fotoelásticos. As imagens dos modelos fotoelásticos são captadas por uma câmera digital acoplada diretamente ao polariscópio. A validação do programa foi feita utilizando um modelo de um disco sob compressão e uma viga submetida à flexão em três pontos.

## Fotoelasticidade de transmissão plana

A técnica da fotoelasticidade é baseada na propriedade ótica de certos materiais plásticos transparentes que apresentam diferentes índices de refração quando submetidos a um estado de tensão/deformação (Dally e Riley, 1978). A associação de filtros dispostos entre o observador, a fonte luminosa e o modelo permitem a visualização deste fenômeno. Tais filtros compõem um aparelho denominado polariscópio (Bernardes; Araújo e Neves, 2004).

A lei de Brewster determina que a mudança do índice de refração é proporcional a diferença entre as deformações principais (DALLY; RILEY, 1978). Utilizando esta formulação pode-se obter a relação básica para a medida de deformação, em termos das tensões principais, denominada de lei ótica das tensões. Quando a fonte de luz é branca, as isocromáticas são formadas por faixas luminosas de diferentes colorações dependendo da ordem de franja (N).

## Programa “FRINGES”

O programa “FRINGES” foi implementado em ambiente Matlab®, e utiliza recursos para tratamento das imagens e uma interface amigável. Foi introduzido um novo procedimento que permite eliminar imperfeições experimentais e ajustar as intensidades de luz de forma a melhorar a convergência das raízes de uma equação não linear para obter a direção das tensões principais. Para determinar a ordem de franja

em um ponto do modelo é necessária a utilização de uma tabela de calibração contendo as ordens de franja de um modelo conhecido, em geral, uma viga sob flexão em quatro pontos, feita do mesmo material do modelo a ser analisado. As ordens de franja ( $N_j$ ) são obtidas por,

$$E_j = \left( \frac{R_j}{R_j + G_j + B_j} - \frac{R_m}{R_m + G_m + B_m} \right)^2 + \left( \frac{G_j}{R_j + G_j + B_j} - \frac{G_m}{R_m + G_m + B_m} \right)^2 + \left( \frac{B_j}{R_j + G_j + B_j} - \frac{B_m}{R_m + G_m + B_m} \right)^2 \quad (1)$$

$$N_j = N_m \frac{j}{j_m} \quad (2)$$

Na Equação (1),  $R_m$ ,  $G_m$  e  $B_m$  são valores dos parâmetros RGB da imagem do modelo em cada ponto e  $R_j$ ,  $G_j$  e  $B_j$  são os respectivos valores obtidos da tabela de calibração. Na equação (2),  $N_m$  é a ordem da franja máxima na tabela de calibração de  $j_m$  é número de valores arquivados na tabela de calibração.

A direção das tensões principais ( $\xi$ ) é determinada considerando os erros de retardação ( $\varepsilon$ ) nos parâmetros R, G, B obtidos das imagens do modelo e da barra de calibração obtidas a partir de um polariscópio de transmissão, com uma barra sob flexão a quatro pontos e um disco sob compressão diametral. Sugere-se que a ordem de franja máxima seja igual a 4. A Figura 1 mostra o aparato utilizado para a obtenção das imagens utilizadas pelo programa FRINGES.

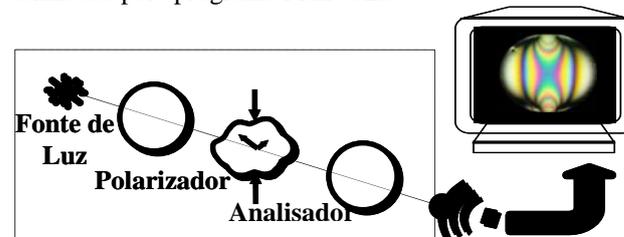


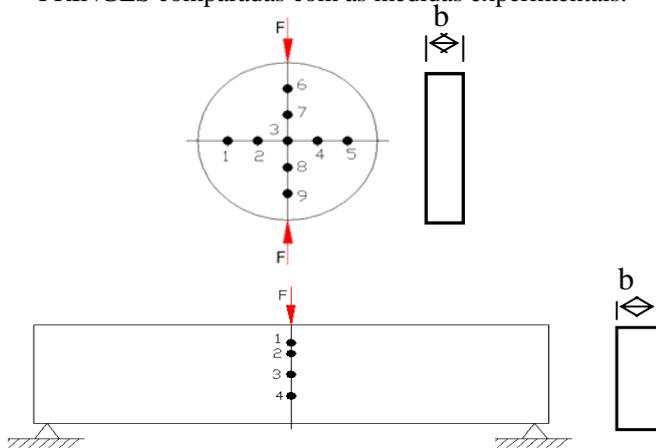
Figura 1 - Aparato utilizado para obter as imagens fotoelásticas utilizadas pelo programa FRINGES.

## Distribuição de Tensão em um Disco e em uma Barra Prismática

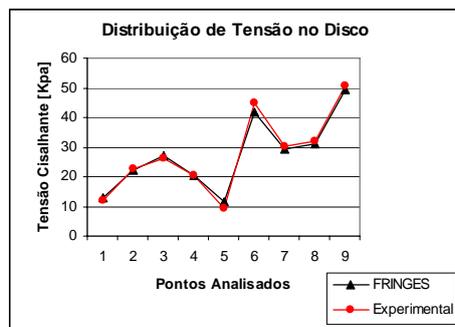
Para avaliar o polariscópio foi determinada a distribuição de tensão em um modelo de um disco sob compressão diametral e em uma barra prismática sujeita a compressão em três pontos. Foi utilizado somente o material fotoelástico flexível, visto que para efeito avaliação não há necessidade de trabalhar com todos os materiais fotoelásticos.

A distribuição de tensão no disco e na barra prismática foi obtida experimentalmente e também utilizando o programa FRINGES. A ordem de franja em cada ponto indicada no disco sob compressão diametral (Fig. 2) foi obtida utilizando o método de compensação de Tardy. A tensão cisalhante ( $\tau$ ) em cada ponto foi determinada através da lei ótica das tensões considerando a constante ótica de 0.375 N/mm fr.

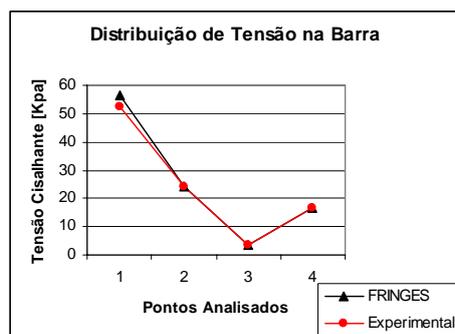
As figuras 3 e 4 mostram as curvas da distribuição de tensão obtidas experimentalmente pelo programa FRINGES comparadas com as medidas experimentais.



**Figura 2 – Pontos analisados nos modelos do disco e da barra.**



**Figura 3 - Distribuição de tensão no disco.**



**Figura 4 - Distribuição de tensão na barra prismática.**

## Análise dos Resultados

Analisando os gráficos das Fig. 3 e Fig. 3, pode-se notar que os valores das tensões obtidos experimentalmente estão bem próximos daqueles encontrados pelo programa FRINGES. As diferenças apresentadas são devidas, principalmente, à qualidade da imagem adquirida pela câmera fotográfica e por erros na leitura dos dados experimentais.

## Considerações finais

O trabalho apresenta o programa computacional desenvolvido para a obtenção dos parâmetros fotoelásticos utilizando luz polarizada elíptica. A validação da técnica proposta foi feita através de um disco sob força de compressão e uma barra prismática sob flexão em três pontos. Todos os modelos fotoelásticos, o aparato experimental utilizado e a avaliação da metodologia foram apresentados, com exceção da metodologia para a determinação das direções das tensões principais que é feita através da solução numérica de uma equação não linear obtida da formulação com luz elíptica. O método proposto pode ser empregado de forma vantajosa e eficiente na técnica de fotoelasticidade de transmissão plana, devido a sua facilidade de implementação. Consequentemente os parâmetros fotoelásticos do modelo podem ser obtidos automaticamente através da aquisição e processamento da imagem eliminando os inconvenientes de uma leitura manual.

## Agradecimentos

Os autores ao apoio financeiro do Programa Institucional de Bolsas – PIBIC/CNPq/UFU, ao LPM, a FAPEMIG, CNPq e CAPES.

## Referências Bibliográficas

- Araújo, C. A. ; Neves, F. D.; Bernardes, S. R., 2004, "Stress analysis in dental implants using the photoelasticity technique". Proceedings of the 3th National Congress of Mechanical Engineering, Belém, Brazil.
- Dally, J. W. and Riley, W. F., 1978, "Experimental Stress Analysis". McGraw-Hill, Inc.
- Pindera J. T., Cloud G., 1966 "On dispersion of birefringent of photoelastic materials" Exp. Mech., p470-80.
- Timoshenko S. P., Goodier J. N., 1970, "Theory of elasticity", 3<sup>rd</sup>. ed. MacGraw-Hill Inc., New York.
- Yoneyama, S.; Takashi, M. 1998 "A new method for photoelastic fringe analysis from a single image using elliptically polarized white light", Optics and Lasers in Engineering, V 30, 441-459.
- SOUZA, G. A. A., Uma Metodologia para Avaliação do Parafuso Pilar em Implantes Dentários Usando Fotoelasticidade Automatizada, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, 2007. 184p.