

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES POR FOTOELASTICIDADE

Lisboa, 1984

J. F. Silva Gomes

**ICT
ESPECIALIZAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO
ESTRUTURAS
DEA 6**

LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES
POR FOTOELASTICIDADE

Lisboa, 1984

J. F. Silva Gomes

Professor Associado
Departamento de Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto

ICT
ESPECIALIZAÇÃO E APERFEIÇOAMENTO
ESTRUTURAS
DEA 6

P R E F A C I O

A Fotoelasticidade é um método óptico de análise experimental de tensões, que se baseia numa propriedade característica de certos materiais plásticos transparentes cujo comportamento óptico se altera em função do estado de tensão ou de deformação a que estão sujeitos. Como técnica de análise experimental de tensões, a fotoelasticidade é o método ideal quando se pretende obter informação sobre regiões extensas duma estrutura ou componente mecânico. O método consiste, fundamentalmente, em medir um dos estados de tensão ou de deformação, a partir do qual o outro pode ser calculado.

A presente publicação tem por objectivo uma descrição do método e técnicas da fotoelasticidade e está organizada em oito capítulos seguidos de uma série de nove apêndices:

Nos capítulos I, II e III são apresentados os conceitos fundamentais da teoria da elasticidade, nomeadamente os aspectos mais importantes ligados à caracterização do estado de tensão, estado de deformação e relações entre tensões e deformações.

O capítulo IV descreve os princípios em que assenta a teoria da fotoelasticidade e estabelece as equações fundamentais que relacionam os estados de tensão e de deformação com o efeito de anisotropia óptica que produzem num material fotoelástico.

No capítulo V são apresentados os diferentes tipos de polariscópios utilizados na quantificação dos fenómenos fotoelásticos e nos capítulos VI e VII são descritas algumas das técnicas mais frequentemente usadas na interpretação desses fenómenos.

No capítulo VIII são apresentados os materiais habitualmente utilizados em fotoelasticidade e descrevem-se alguns dos métodos usados para a sua calibração.

Em apêndice são apresentadas algumas notas complementares com detalhes sobre alguns dos aspectos tratados mais superficialmente ao longo do texto principal.

O presente texto serviu de base ao "CURSO DE FOTOELASTICIDADE" organizado pela Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões, em colaboração com o Centro de Estudos de Engenharia Mecânica da Universidade do Porto, e que teve lugar no Porto em 17-19 de Outubro de 1983. O autor agradece ao Presidente da APAET, Eng^a Maria da Conceição Cruz Azevedo, todo o seu apoio e encorajamento no sentido de que as notas daquele curso fossem reunidas sob a forma desta publicação.

I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I : ANALISE DAS TENSÕES	1
1. Introdução	1
2. Conceito de Tensão	1
3. Componentes Cartesianas da Tensão	4
4. Tensão para uma Orientação Arbitrária	6
5. Equações de Equilíbrio	10
6. Leis de Transformação das Tensões	13
7. Tensões Principais	14
8. Valores Limites da Tensão Normal e de Corte	17
9. Tensões Secundárias Principais	19
10. Invariantes das Tensões	20
11. Estado Plano de Tensão	21
12. Círculo de Mohr para as Tensões	23
CAPITULO II : ANALISE DAS DEFORMAÇÕES	26
1. Deformação e Deslocamento	26
2. Componentes Cartesianas da Deformação	27
3. Deformação Segunde uma Direcção Arbitrária	30
4. Leis de Transformação das Deformações	33
5. Deformações Principais	35
6. Equações de Compatibilidade	37
7. Estado Plano de Deformação	39
CAPITULO III : RELAÇÕES TENSÃO-DEFORMAÇÃO	41
1. Lei de Hooke. Case Geral	41
2. Lei de Hooke para Materiais Isotrópicos	42
3. Módulo de Rigidez	45
4. Módulo de Compressibilidade	46
5. Módulo de Young e Coeficiente de Poisson	47
6. Relações entre as Constantes Elásticas	49
7. Energia Elástica de Deformação	51

I N D I C E (cont.)

	PAG.
CAPITULO IV : TEORIA DA FOTOELASTICIDADE	54
1. Introdução	54
2. A Natureza da Luz	54
3. Diferença de Fase	58
4. Visão e Cór da Luz	59
5. Luz Ordinária e Luz Polarizada	61
6. Polarizadores Planos	64
7. Placas Birrefringentes	66
8. O Efeito Fotoelástico. Lei de Maxwell	69
 CAPITULO V : POLARISCOPIOS	 73
1. Introdução	73
2. O Polariscópio Plano	76
3. O Polariscópio Circular	77
4. Polariscópio de Transmissão	78
5. Polariscópio de Reflexão	79
 CAPITULO VI : APLICAÇÕES DO POLARISCOPIO	 84
1. Introdução	84
2. Utilização de Polariscopio Plano	84
3. Utilização de Polariscopio Circular (C. Escuro)	90
4. Utilização de Polariscópio Circular (C. Iluminado)	96
 CAPITULO VII : TECNICAS FOTOELASTICAS	 99
1. Introdução	99
2. Análise das Franjas Isocromáticas	99
3. Análise das Franjas Isoclínicas	104
4. Traçado das Linhas Isostáticas	107
5. Métodos de Compensação	109
(i) - Método de Babinet Seleil	109
(ii) - Método de Tardy	111

I N D I C E (cont.)

	PAG.
6. Separação das Tensões Principais	115
(i) - Método Semi-Analítico	115
(ii) - Método da Incidência Oblíqua	119
7. Passagem das Tensões de Modelo para o Protótipo	121
CAPITULO VIII : MATERIAIS FOTOELASTICOS	123
1. Introdução	123
2. Materiais	125
3. Métodos de Calibragem	128
(i) - Provete de Tracção	130
(ii) - Provete de Flexão	131
(iii) - Provete Circular	134
BIBLIOGRAFIA	137
APENDICE - A : Calibragem de Materiais Fotoelásticos para Modelos	138
APENDICE - B : Factores de Escala na Análise de Modelos Fotoelásticos	145
APENDICE - C : Medições em Incidência Oblíqua no Polariscópio de Transmissão	150
APENDICE - D : Técnicas de Preparação de Revestimentos Fotoelásticos	157
APENDICE - E : Técnicas de Colagem dos Revestimentos Fotoelásticos	165
APENDICE - F : Como Escolher o Revestimento Fotoelástico Adequado	172

I N D I C E (cont.)

	PAG.
APENDICE - G : Calibragem de Revestimentos Fotoelásticos	180
APENDICE - H : Correção das Medições Efectuadas com Revestimentos Fotoelásticos	186
APENDICE - I : Separação das Tensões Principais com o Polariscopio de Reflexão	195