

SOFTWARE PARA GERAÇÃO E ANÁLISE DE IMAGENS  
FOTOELÁSTICAS SINTÉTICAS

WELLINGTON ANTONIO SOARES (1)  
ARNALDO HOMOBONO PAES DE ANDRADE (2)

- (1) MSc. em Ciências e Técnicas Nucleares e em Engenharia de Estruturas. Pesquisador do CDTN/CNEN  
(2) Doutor em Metalurgia e Materiais. Pesquisador do IPEN/CNEN

RESUMO

Neste trabalho, é apresentado um software que será parte integrante de um sistema para processamento digital de imagens fotoelásticas aplicado à mecânica da fratura. Com este programa, pode-se gerar imagens isocromáticas, em 64 tons de cinza, simulando ensaio fotoelástico com polariscópio em condições de campo escuro, para um disco submetido a cargas concentradas de compressão.

Este software dispõe de um menu na tela, a partir do qual pode-se variar o tamanho do raio do disco, o valor da carga de compressão aplicada e a posição e o tamanho da imagem isocromática na tela. Dispõe-se, ainda, dos seguintes recursos gráficos : a) geração da intensidade luminosa ao longo de linhas horizontais e verticais; b) geração das isóclinas teóricas e tensões principais em pontos desejados; c) desenho das franjas teóricas de ordem inteira e obtenção dessas mesmas franjas via processamento digital de imagens; d) desenho de histograma da imagem; e) régua eletrônica para medição de distância entre pontos. O programa está sendo usado para geração de isocromáticas sintéticas, que servirão de base para se prever o comportamento de imagens reais geradas em laboratório com o auxílio de um polariscópio de reflexão da Chapman.

INTRODUÇÃO

A técnica da fotoelasticidade, iniciada na década de 40 /1/, vem atualmente tendo uma grande contribuição da área de processamento digital de imagens (pdi) permitindo com isso uma maior agilização da parte experimental, com a utilização de microcomputadores /2,3,4/. Com o objetivo de gerar imagens de franjas isocromáticas sintéticas, para posterior comparação com imagens reais obtidas experimentalmente, foi desenvolvido um programa de computador (FOTOEL), em linguagem C, no ambiente DOS. Poste-

riormente, outros recursos foram inseridos no programa, incluindo a obtenção das franjas inteiras via pdi, cálculo e desenho de tensões, intensidade luminosa, isóclinas e histograma.

A fotoelasticidade é uma técnica de análise experimental de tensões, que faz uso das propriedades de birrefringência de alguns materiais não cristalinos, quando sob ação de esforços /5/. O ensaio fotoelástico é feito com um equipamento denominado polariscópio, o qual consiste de uma fonte de luz e de um conjunto de vários elementos ópticos (polarizador, analisador e lentes de quarto de onda). Com esse equipamento, são geradas imagens (isocromáticas e isóclinas) no material birrefringente sob esforço, que traduzem as tensões internas no material quando iluminado com luz polarizada /5/. Por meio de rotações adequadas entre os eixos dos elementos ópticos citados, é possível gerar-se somente as isocromáticas. Quando o ângulo entre os eixos do polarizador e do analisador é de 90 graus, têm-se uma das condições denominadas de campo escuro /6/, sendo a intensidade luminosa dada por uma expressão senoidal /6,7/.

Para efeito de geração das isocromáticas, foi utilizado o material birrefringente denominado homalita /7/, com constante fotoelástica de 23,64 kN/m.

#### ESTADO DE TENSÕES E TENSÃO LIMITE

O diâmetro e espessura do disco deverão ser escolhidos de modo que o mesmo se comporte no regime de estado plano de tensões, para que as fórmulas utilizadas /1/ sejam válidas. Além disto, a carga selecionada deve ter magnitude tal que não seja ultrapassado o limite de proporcionalidade do material (regime elástico). Para a homalita, esse limite é de 46,3 MPa. O programa foi implementado de modo a sinalizar com uma cor verde nas regiões em que esse limite for ultrapassado. Na região sob a carga concentrada, não foi incluída na imagem a área de singularidade.

#### DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

O software foi desenvolvido em linguagem C, no ambiente DOS, utilizando-se um "driver" para VGA disponível na Universidade Federal de Minas Gerais /8/. Com esse "driver", é possível acessar-se os modos de 256 cores em alta resolução. O programa permite que sejam utilizados os modos de 640x480, 800x660 e 1024x768, desde que as placas tenham os "buffers" mínimos de memória, respectivamente de 256k, 512k e 1024k. Esse "driver" apresenta algumas limitações quanto ao tipo de placa VGA utilizado, sendo que ele funciona bem para as placas de vídeo do tipo TRIDENT e compatíveis.

O programa dispõe de um menu na tela, a partir do qual podem ser acessados todos os recursos disponíveis, fazendo-se uso de um mouse. A habilitação de uma determinada função é feita acionando-se o mouse, via botão esquerdo, dentro da opção desejada no menu. No caso de função com três opções, deve-se habilitar primeiro a opção superior. A seguir, são descritos os recursos disponíveis no menu ( Figura 1 ):

**IMAGEM\_FOT** : Permite desenhar a isocromática com base nos valores de carga (P), raio (R), espessura (t), constante fotoelástica (f), fator de escala (fe) e posição do centro do disco (X0, Y0), selecionados. O programa dispõe de valores "default" para todas estas variáveis;

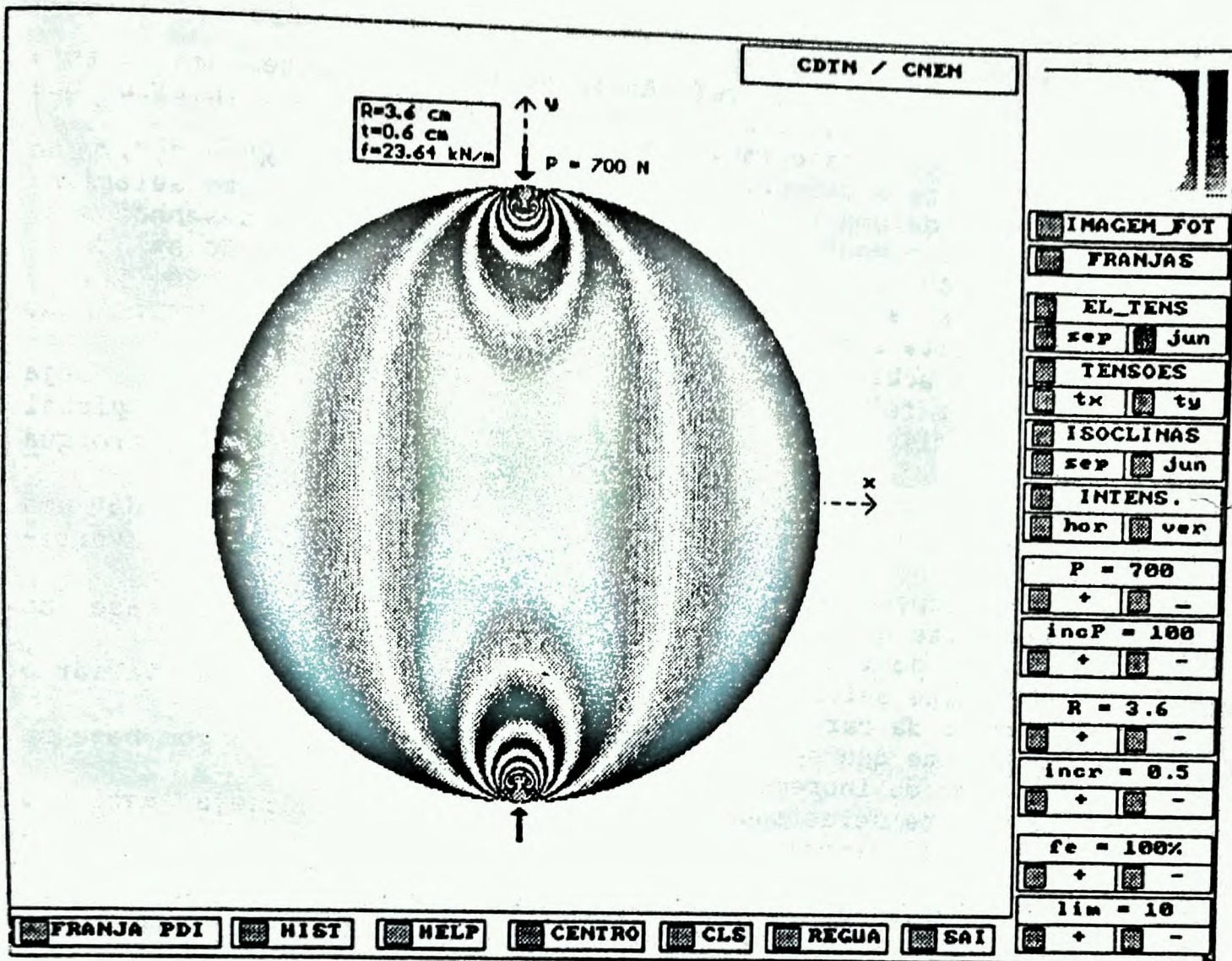


Figura 1 : Menu de utilização do programa, apresentando, na área gráfica, o desenho de uma isocromática para a carga de 700 N.

- FRANJAS** : Permite desenhar as franjas teóricas de ordem inteira sobre a imagem gerada, com base nas fórmulas apresentadas em /1/;
- EL\_TENS** : Habilita o desenho do elemento de tensão relativo à orientação das tensões normais máximas no ponto selecionado com o mouse. Ao ser desenhado o elemento, são mostrados no canto superior esquerdo da área gráfica, os seguintes dados:
- tensão normal na direção "x";
  - tensão normal na direção "y";
  - tensão de cisalhamento relativa às tensões normais acima;
  - tensões principais (  $\sigma_1$  ,  $\sigma_2$  );
  - tensão máxima de cisalhamento;
  - ângulo de localização das tensões principais;
  - ângulo relativo à isóclina que passa pelo ponto onde o elemento de tensão foi desenhado;

- caso o ponto de referência se localize sobre uma franja de ordem inteira, é mostrado também o número inteiro que caracteriza esta franja;
- TENSOES** : Habilita o desenho das tensões nas direções "x" e "y", ao longo de uma reta horizontal que passa pelo ponto selecionado com o mouse. Os valores dessas tensões são desenhados na direção vertical. Para baixo é desenhada a tensão na direção "x" e para cima é desenhada a tensão na direção "y";
- ISOCLINAS** : Habilita o desenho da isóclina que passa por um determinado ponto sobre a área do disco. O desenho destas isóclinas pode ser feito de modo separado (opção sep), onde se deseja a isóclina num único quadrante do disco, ou de modo global (opção jun), onde são mostradas as isóclinas nos quatro quadrantes;
- INTENS** : Habilita o desenho da intensidade luminosa ao longo de uma linha horizontal (opção hor) e ao longo de uma linha vertical (opção ver);
- P** : Permite que se varie o valor da carga aplicada com base no valor do incremento de carga selecionado;
- incP** : Permite selecionar o incremento com que se deseja variar o valor da carga aplicada;
- R** : Permite que se varie o valor do raio do disco com base no valor do incremento de raio selecionado;
- incR** : Permite selecionar o incremento com que se deseja variar o raio do disco;
- fe** : Permite aumentar ou diminuir o tamanho da imagem a ser gerada na tela;
- lim** : Permite a seleção de um valor limiar para os tons de cinza na etapa de utilização da opção FRANJA PDI;
- FRANJA PDI** : Permite a geração, via processamento digital de imagens, das franjas de ordem inteira. Na versão atual, o processamento das imagens é feito a partir da tela, utilizando-se partes da mesma para guardar informações sobre etapas de cálculo necessárias posteriormente. Assim, para utilizar esta opção, a imagem original deverá ser gerada na parte esquerda da área gráfica, com um fator de escala de 55%. Essas franjas são obtidas através da operação de geração do esqueleto das mesmas, com uma etapa posterior de afinamento /4/;
- HIST** : Calcula e desenha o histograma na parte superior direita do vídeo, referente à última imagem gerada. Ao lado do histograma aparece também a palheta de cores utilizada no programa (64 tons de cinza);
- HELP** : Mostra informações auxiliares, na parte superior esquerda do vídeo, sobre as várias funções do menu. A desabilitação dessa opção é feita por meio da tecla ESC;
- CENTRO** : Habilita a seleção do local onde se deseja posicionar o centro do disco. Uma vez habilitada tal opção, a escolha do centro do disco pode ser feita com o mouse, dentro da área gráfica. Logo após ser desenhada a isocromática, essa opção é imediatamente desabilitada;
- CLS** : Limpa a área gráfica ( área de geração de imagens );

- REGUA** : Habilita a utilização de régua eletrônica para medir distâncias na última imagem gerada;
- SAI** : Abandona o programa e retorna ao ambiente DOS.

### RESULTADOS, UNIDADES E VALORES "DEFAULT"

As seguintes unidades são utilizadas neste trabalho:

- carga e incremento de carga : Newton (N);
- raio, incremento de raio e espessura do disco : centímetro (na tela e no arquivo de dados "default" FOTOEL.DAT) e metro (internamente no programa);
- constante fotoelástica : Newton/metro;
- tensão : MegaPascal (MPa).

Os seguintes valores "default" estão disponíveis para as principais variáveis utilizadas no programa :

- carga aplicada = 440 N;
- incremento da carga aplicada = 100 N;
- raio do disco = 3,6 cm;
- incremento do raio do disco = 0,5 cm;
- fator de escala = 50%;
- limiar para processamento digital de imagens = 10;
- constante fotoelástica = 23640 N/m;

As Figuras 1 a 7, geradas no modo de 640x480 com somente 64 tons de cinza, apresentam alguns resultados do programa FOTOEL para várias funções disponíveis no menu. Relativo a estes resultados, podem ser feitos os seguintes comentários :

- ao se aumentar o valor da carga aplicada, aumenta o número de franjas na imagem isocromática gerada (Figura 2). As franjas de ordem inteira são as regiões de intensidade nula (regiões mais escuras da Figura 3);
- as isóclinas são linhas ao longo das quais as tensões normais máximas dos vários elementos fazem um mesmo ângulo com direção "x", por exemplo (Figura 4);
- para a Figura 5, o elemento localizado no centro do disco apresenta a tensão na direção "x" igual à tensão máxima de tração e a tensão na direção "y" igual à tensão máxima de compressão, como esperado;
- na Figura 6, observa-se que a distância calculada com a régua coincide com o diâmetro do disco usado na geração da imagem;
- pode-se verificar uma boa concordância entre os valores teóricos das franjas com aqueles obtidos via processamento digital de imagens, exceto quanto à franja de ordem zero (Figura 7);

### CONCLUSÕES

Com o programa FOTOEL aqui apresentado, pode-se analisar o efeito das variações da carga aplicada e do raio do disco sobre a imagem isocromática. É possível ainda obter-se, por meio de processamento digital de imagens (pdi), as franjas de ordem inteira, que são uma etapa importante na determinação de tensões e de parâmetros de fratura em materiais, com a ajuda da fotoelasticidade. Os resultados de determinação de tais franjas obtidos por meio de pdi, concordam bem com os valores teóricos esperados.

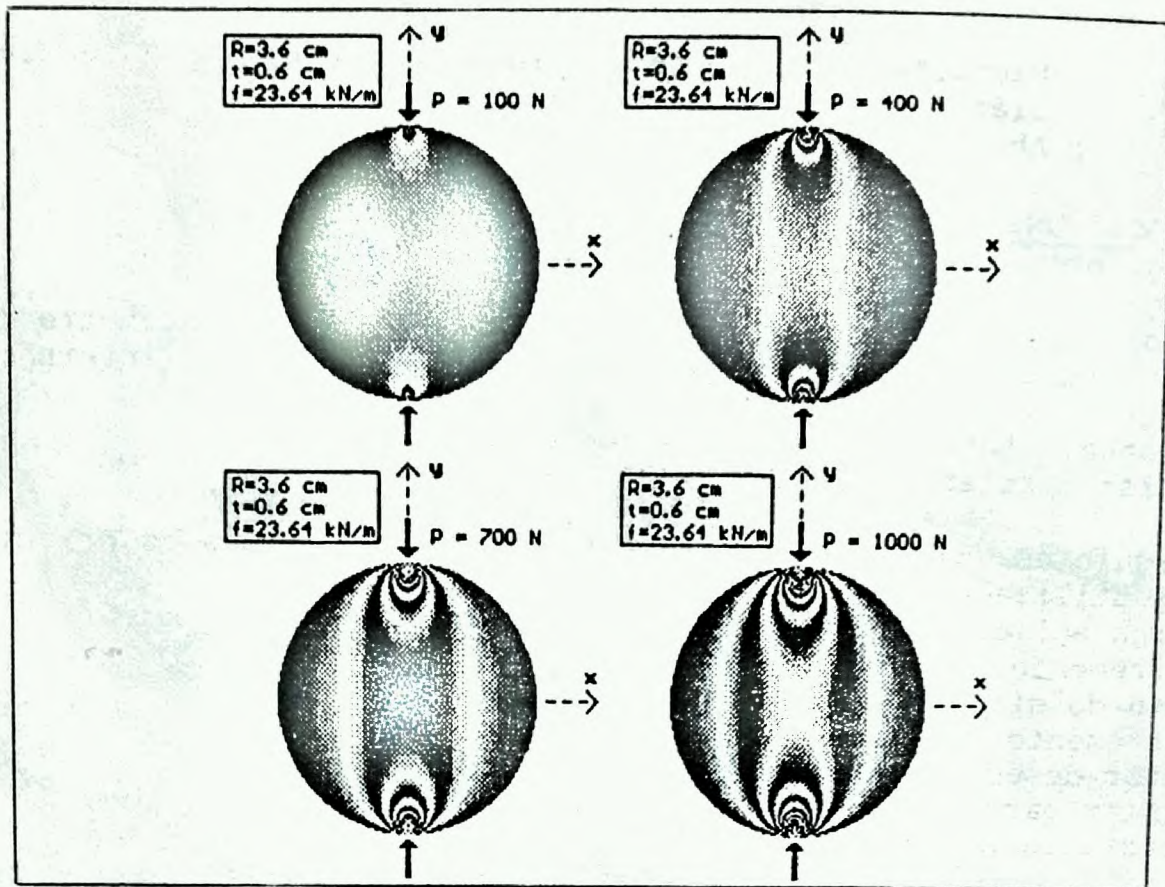


Figura 2 : Ilustração de várias isocromáticas para as cargas de 100, 400, 700 e 1000 Newtons ( $f_e = 40\%$ ).

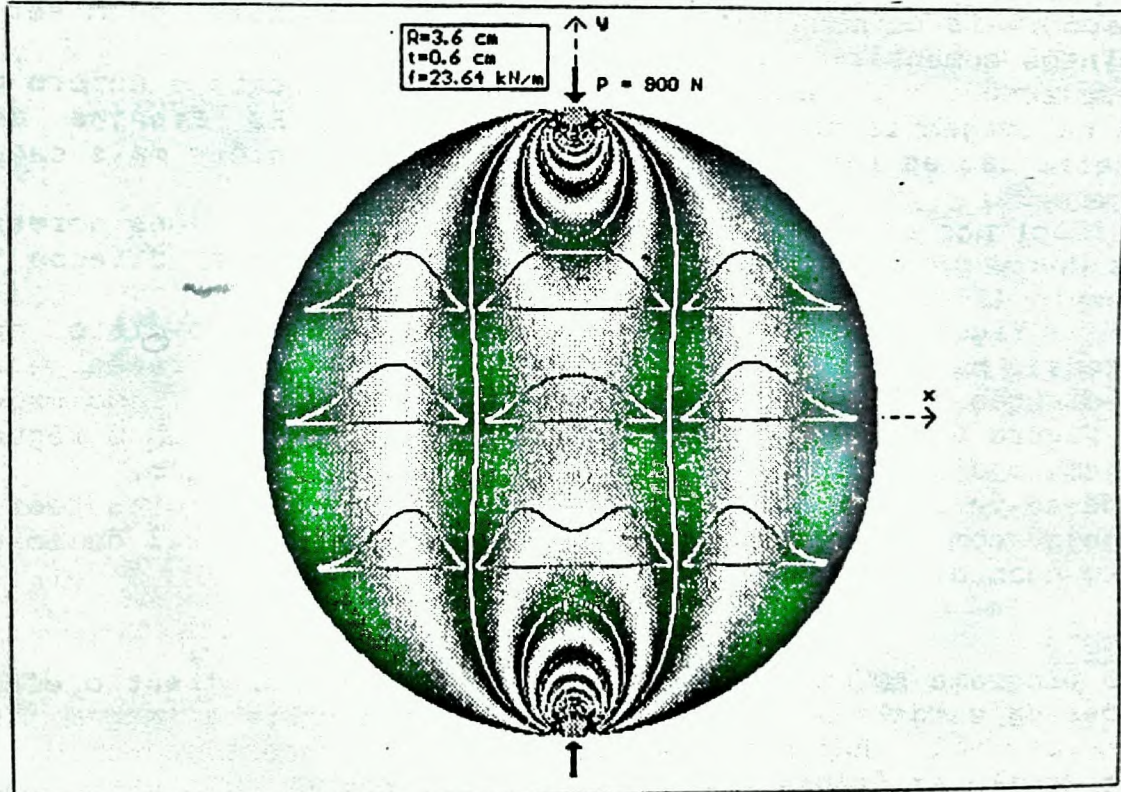


Figura 3 : Desenho da intensidade luminosa ao longo de três linhas horizontais. São mostradas ainda as isocromáticas teóricas de ordem inteira ( $f_e = 100\%$ ).

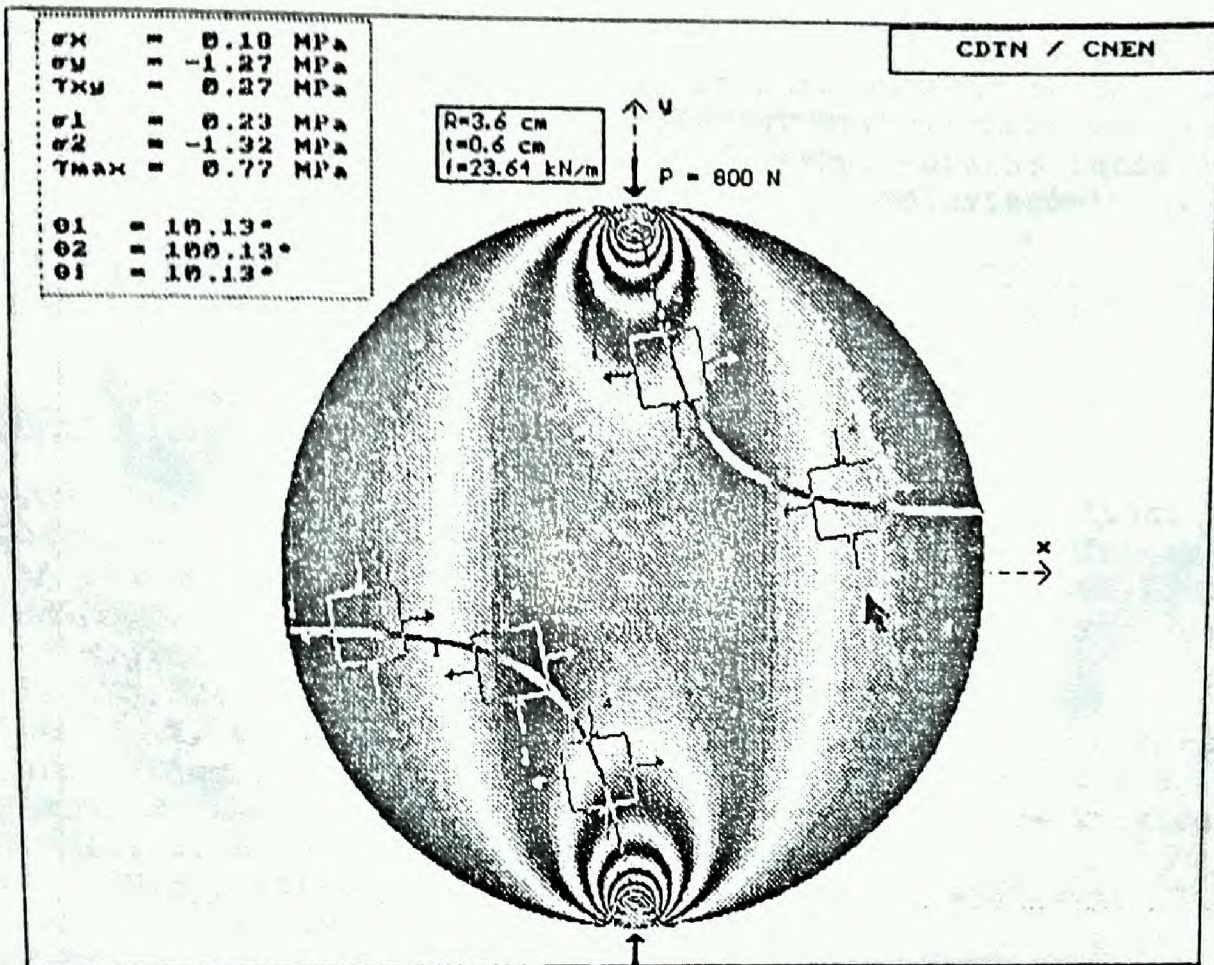


Figura 4 : Desenho da isóclina de 10,13 graus, juntamente com o desenho dos elementos de tensão correspondentes às tensões máximas ao longo da mesma ( $f_e = 100\%$ ).

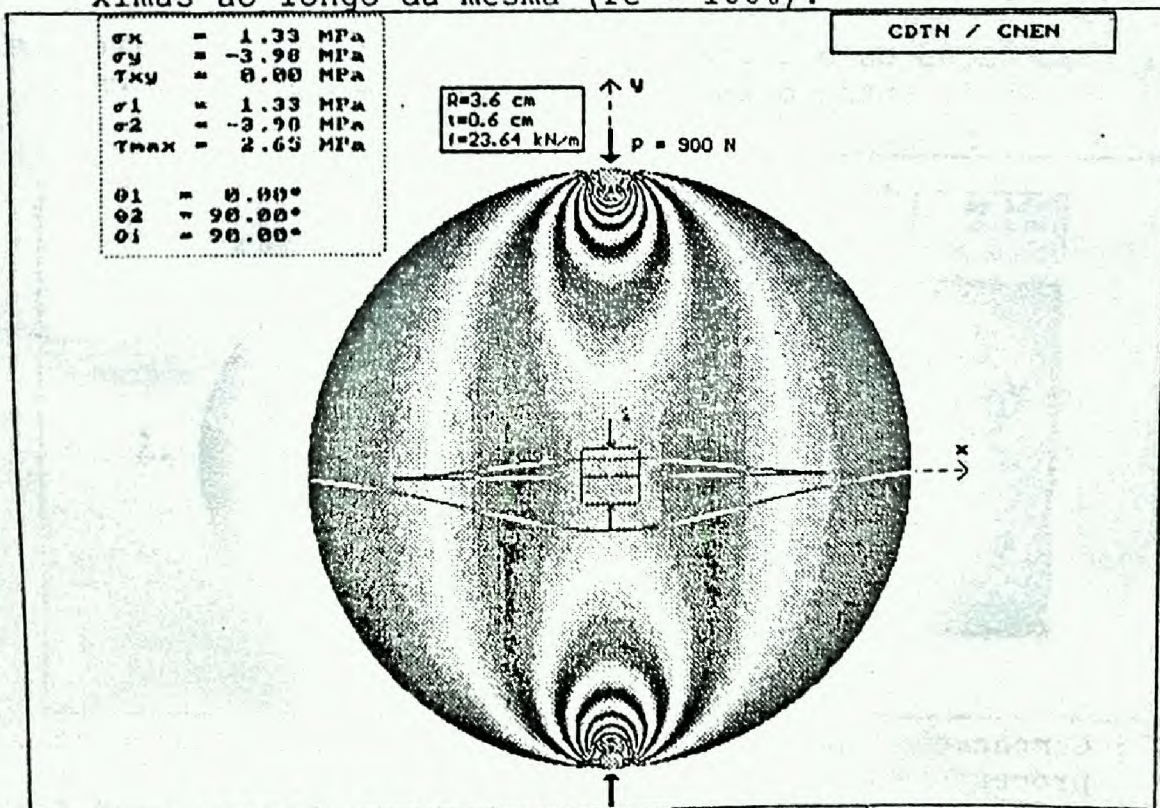


Figura 5 : Tensões normais nas direções "x" (p/baixo) e "y" (p/cima) ao longo de uma linha horizontal,  $f_e=100\%$ .

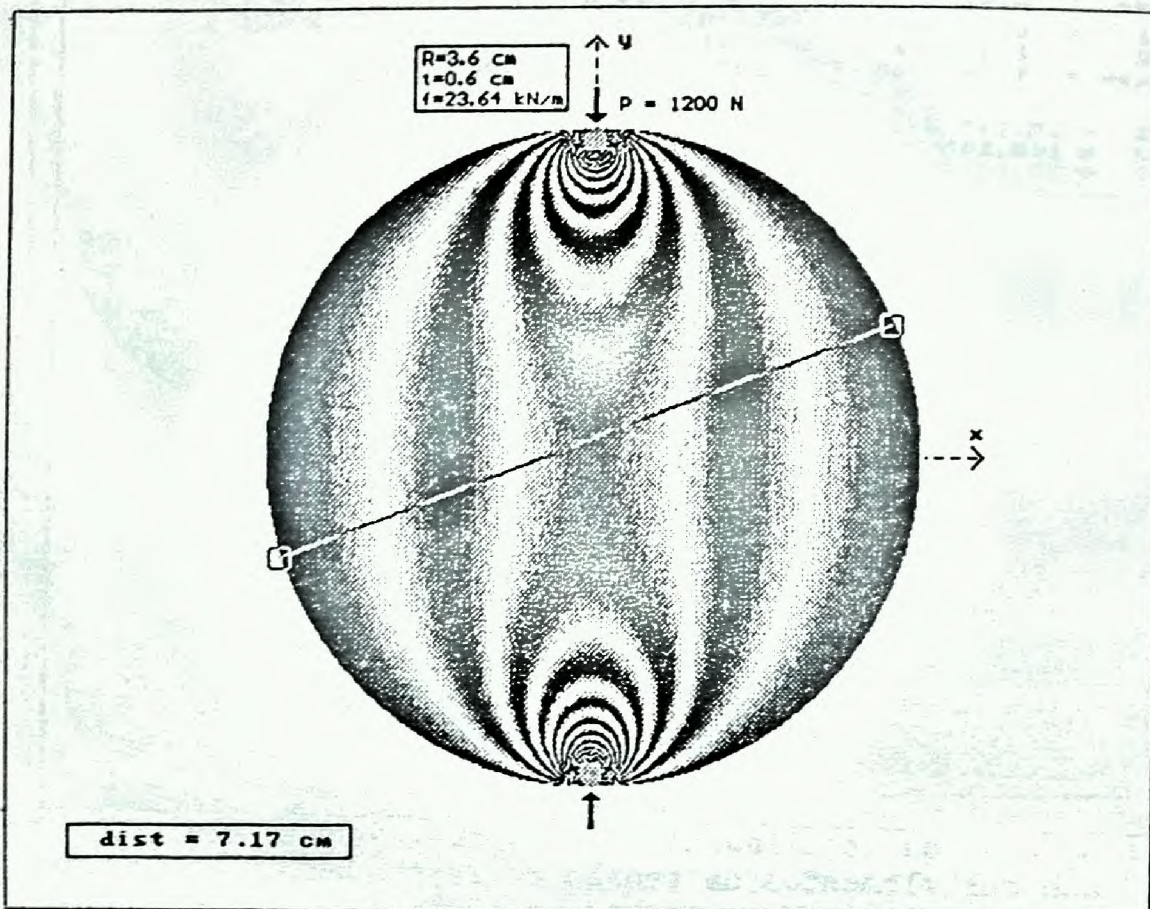


Figura 6 : Ilustração da utilização da régua eletrônica para cálculo da distância entre dois pontos (Raio do disco = 3,6 cm).

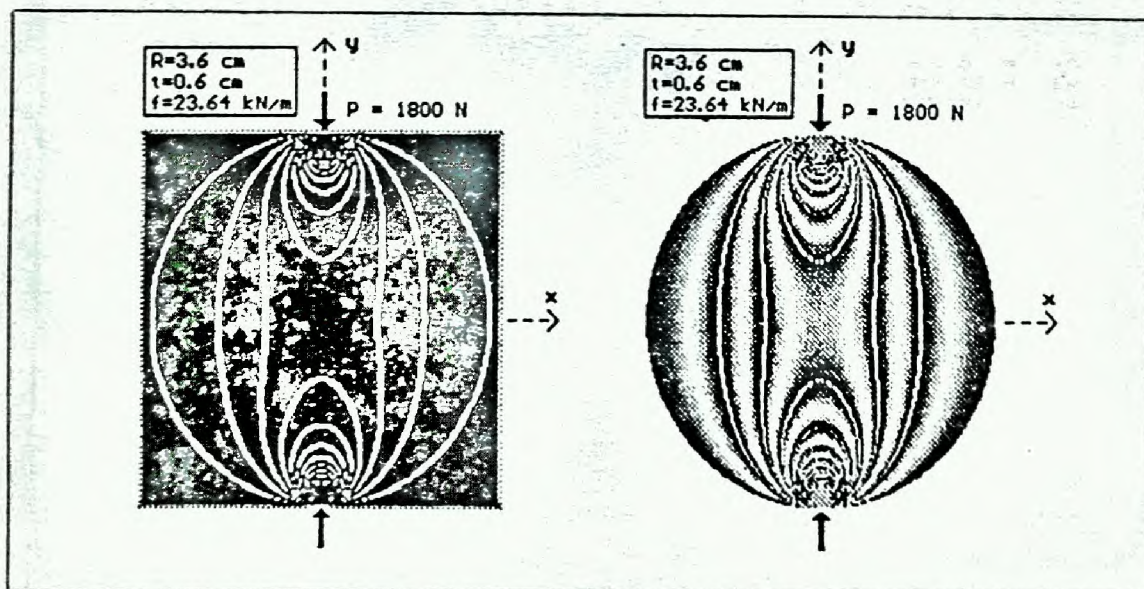


Figura 7 : Comparação entre as franjas de ordem inteira calculadas via processamento digital de imagens (esquerda) com limiar igual a 10 e por meio das equações teóricas (direita) com  $f_e=558$ .



O programa FOTOEL está sendo utilizado para geração de imagens isocromáticas sintéticas em um disco de material birrefringente, que servirão de base para se prever o comportamento de isocromáticas reais neste disco, geradas em laboratório, com o auxílio de um polariscópio de reflexão da Chapman.

Este software, se constitui, também, numa ferramenta auxiliar na utilização de um polariscópio e na interpretação das imagens fotoelásticas geradas.

### REFERÊNCIAS

- /1/ FROCHT, M. M. Photoelasticity, John Wiley, New York, 1948.
- /2/ RAMESH, K. & PRAMOD, B.R. Digital image processing of fringe patterns in photomechanics, Optical Engineering, 31(7):1487-98, 1992.
- /3/ MISKIOGLU, I. et al. Stress intensity factors for near edge cracks by digital image analysis. Engineering Fracture Mechanics, 27(3): 329-43, 1987.
- /4/ YATAGAI, T, et al. Automatic fringe analysis using digital image processing techniques. Optical Engineering, 21(33):432-5, 1982.
- /5/ SOARES, W. A. Fotoelasticidade : mais uma técnica de ensaios não destrutivos. ABENDE - END Minas, Setembro 1993.
- /6/ DALLY, J.W., RILEY, W. F. Experimental stress analysis. New York : McGraw-Hill, 1991.
- /7/ MENDENHALL Jr. F. T. Computer aided analysis of photoelastic images. Ph.D. Thesis, University of Illinois, 1981.
- /8/ DAVIS Jr., C.A. Pixelware, um sistema de processamento digital de imagens. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. UFMG, Belo Horizonte, 1987.