

ANÁLISE DE UM MECANISMO ALIVIADOR DE TENSÃO ATRAVÉS DA TÉCNICA FOTOELASTICIDADE

R.L.F. Maia, rleirton@gmail.com¹

G.F. Diniz, gutembergy.diniz@ufersa.edu.br²

A.W.A. de Menezes, wagneranderson_@hotmail.com¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido, RN, Brasil,

²Universidade Federal Rio Grande do Norte, RN, Brasil,

Resumo: Na construção de peças mecânicas são utilizados uma infinidade de materiais diferentes que, na sua totalidade, apresentam microdescontinuidades que se apresentam em forma de vazios e/ou impurezas ao longo da sua constituição. Esses causam as denominadas concentrações de tensões distribuídas nas peças mecânicas. Entretanto, outros elementos como furos, rebaixos e entalhes também geram concentrações de tensão, que são caracterizadas por um aumento não linear da tensão próximo as zonas de descontinuidades da peça. Em projetos mecânicos é praticamente impossível desenvolver peças sem esses elementos, isso é um grande problema da engenharia. Com base nisso, existe a necessidade de utilizar, otimizar e até mesmo criar técnicas para que se possa analisar e minimizar ao máximo esse problema. Uma técnica que utilizada para análise e estudo dos concentradores de tensão é a fotoelasticidade, que permite observar, experimentalmente, como são distribuídas as tensões em objetos que apresentam dupla refração temporária. Uma maneira de se minimizar o efeito dos concentradores de tensão é a inserção de elementos geométricos de alívio de tensão próximos as zonas de descontinuidade das peças. Estes, atuam redirecionando as linhas de força de modo a distribuir de forma mais uniforme as tensões próximas aos concentradores de tensão. Diante disso, o presente estudo avaliou um caso clássico de concentrador de tensão, onde uma placa retangular com um furo central será submetida a tração, bem como investigou um mecanismo para aliviar essa concentração de tensão, isso utilizando-se das técnicas e métodos da fotoelasticidade.

Palavras-chave: Fotoelasticidade, dupla refração temporária, concentradores de tensão, Elementos geométricos de alívio de tensão.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais utilizados para fabricação de componentes mecânicos não são perfeitos, uma vez que são constituídos de vazios e impureza denominados de micro descontinuidades, que por sua vez geram concentrações de tensões. No entanto, esses elementos não são os únicos responsáveis pela geração de concentrações de tensão em uma peça mecânica (COLINS, 2013).

Outro fator que gera concentrações de tensão são elementos geométricos presentes nas peças, tais como furos, rebaixos e entalhes. Esses tipos de elementos estão presentes na forma de descontinuidades nos componentes projetados, acarretando as denominadas regiões concentradoras de tensão, regiões onde as tensões são mais elevadas que as tensões teóricas calculadas pelas equações tradicionais de resistência dos materiais. Com base nisso, esses elementos são conhecidos como concentradores de tensão (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

As concentrações de tensão podem ser entendidas de maneira mais intuitiva pelo conceito de fluxo de força como aborda Norton (2013), ou fluxo de tensão como é dito por Neimann (1971). Esses conceitos descrevem as forças e tensões como linhas que percorrem a peça, qualquer descontinuidade faz com que essas linhas fiquem mais próximas em determinados pontos. Quanto maior a concentração de linhas em um ponto, maior serão as forças e tensões que estão atuando nele.

As tensões geradas nos elementos concentradores, por não poderem ser quantificadas pelas equações convencionais de resistência dos materiais, são obtidas por métodos experimentais ou computacionais, como a extensometria, elementos finitos e fotoelasticidade (CUNHA, 2013). Sendo esse último muito importante, pois grande parte das cartas para a obtenção de parâmetros para mensuração das concentrações de tensão foram confeccionadas a partir de dados coletados por experimentos fotoelásticos (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

A fotoelasticidade é um conjunto de técnicas e métodos que consistem na correlação das tensões e cores que são geradas em certos materiais que apresentam dupla refração temporária quando são postos em um polariscópio. Esses materiais possuem características de, quando submetidos a diferentes estados de tensão, possuírem índices de refração de luz diferentes. Essa propriedade é a responsável pelo surgimento de diferentes cores no material quando tensionado (GOMES; VAZ, 2004). Suas técnicas e métodos tornaram-se bastante populares na análise experimental de tensões e deformações, de forma qualitativa e quantitativa, devido a fácil visualização dos estados de tensão e deformação de peças com geometria complicada e sujeitas a solicitações complexas. Além disso, por meio da fotoelasticidade, é possível a verificação dos efeitos de borda e tensões internas presentes nos materiais (GOMES; VAZ, 2004; FAKHOURI et al., 2009; FAKHOURI, 2010).

Os padrões de cores formados são chamados de franjas e são divididos em dois tipos: isoclínicas e isocromáticas. As franjas aparecem devido a extinção da luz em alguns pontos. Elas estão relacionadas à direção das tensões principais, no caso das isoclínicas, e com a diferença das tensões principais no caso das isocromáticas, de acordo com a lei ótica das tensões mostrada na Eq. (1). Cada cor representa um número de franja N, que pode ser identificado comparando o modelo fotoelástico com a Fig. 1 (FLEURY, 2001; GOMES; VAZ, 2004).

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{N f_\sigma}{h} \quad (1)$$

Onde:

$\sigma_1 - \sigma_2$: diferença de tensões principais;

N: número de franja;

f_σ : constante fotoelástica;

h: espessura do corpo de prova.

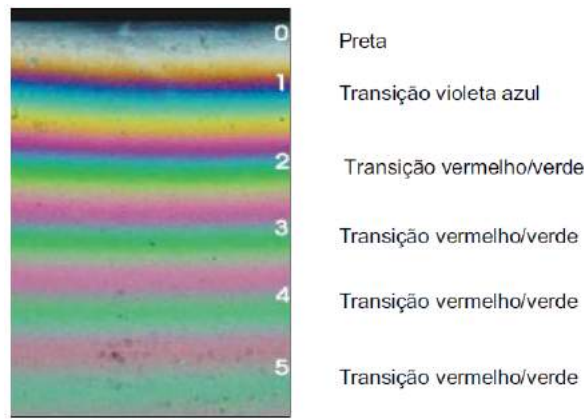


Figura 1. Padrões das franjas isocromáticas inteiras

Fonte: Almeida (2007).

Em projetos mecânicos é praticamente impossível de projetar peças sem concentrações de tensões (BUDYNAS; NISBETT, 2011). Sendo esses concentradores um grande problema de engenharia, pois tensões elevadas podem diminuir a vida útil de uma peça, causando ruptura e falhas inesperadas ocasionando, provavelmente, acidentes e/ou perdas de produção. Com base nisso, vários estudos foram feitos buscando diminuir esses efeitos. Um exemplo clássico para minimização desse problema é a utilização de mudanças suaves em zonas de alteração na área de secção transversal, que diminuem os picos de tensão nessas regiões (NORTON, 2013). Outra maneira de suavizar esse problema é inserindo elementos geométricos de alívio de tensão, que também são concentradores de tensão, se vistos isoladamente, mas ajudam a diminuir os efeitos da concentração de tensão global quando utilizados de maneira correta (YOUNG; BUDYNAS, 2002).

Diante disso procura-se fazer uma análise qualitativa e quantitativa das concentrações de tensões, oriundas de elementos que são comuns em projetos mecânicos, e também da redução dessas concentrações ao se inserir elementos geométricos de alívio de tensão utilizando-se da técnica da fotoelasticidade.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para fabricação dos corpos de prova foi utilizada a resina epóxi G4 rígida da fabricante Polipox. Essa escolha deu-se por vários fatores, tais como as boas características fotoelásticas que as resinas epóxi apresentam, sua boa trabalhabilidade, disponibilidade no mercado local e por suas boas características mecânicas. Além disso, foram feitas formas de plástico com formato retangular para dar a forma desejada à resina.

O material polimérico escolhido foi obtido em dois componentes, a resina propriamente dita e o catalisador ou endurecedor. O primeiro é a base do polímero e o segundo serve para desencadear as reações em cadeia de endurecimento do material. Eles foram misturados por dois minutos na proporção de 2:1 respectivamente, segundo as orientações do fabricante.

Após realizada a mistura, o líquido foi despejado nas formas devidamente limpas e livres de umidade, evitando assim, possível reação entre resina e a água e resultando em corpos suficientemente transparentes. As misturas foram curadas por 24 horas, tempo necessário para que os corpos ganhem resistência suficiente. Após a cura, as amostras foram retiradas das formas apresentando pequenas rebarbas devido ao efeito de capilaridade. Para retirada das rebarbas as amostras foram submetidas ao processo de polimento por lima.

Realizou-se medição da largura, espessura e comprimento nos corpos prontos utilizando um paquímetro com precisão de 0,05 mm. Para a largura e espessura foram realizadas três medidas em regiões denominadas superior, inferior e no meio. Linhas distantes 40 mm de cada extremidade foram traçadas e o comprimento útil foi obtido a partir da distância entre essas, como mostra a representação na Fig. 2. As dimensões dos corpos de prova estão discriminadas na Tab. 1.

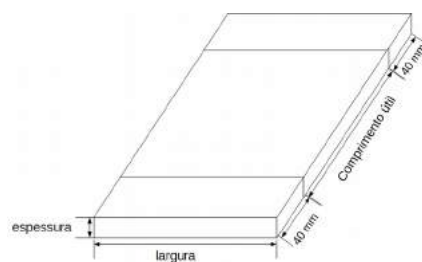


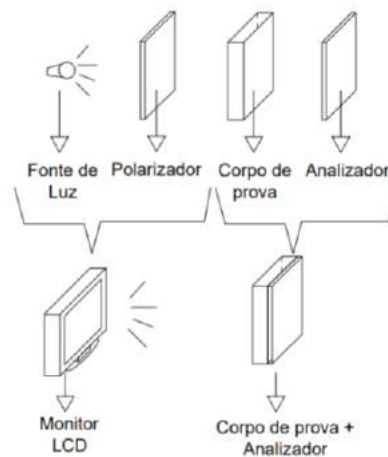
Figura 2. Representação genérica das dimensões dos corpos de prova

Tabela 1. Dimensões dos corpos de prova

Corpo de prova	Comprimento útil	Largura			Espessura		
		Superior	Meio	Inferior	Superior	Meio	Inferior
CPA	119,85	40	40,45	40,4	6,1	5,9	5,4
CPB	150,5	39,35	40,3	39,4	5,95	6,35	5,65
CPC	119,85	40,55	41,05	41,05	5,4	6	6
CPD	120,1	40,05	40,35	40	5,85	5,95	5,6
CPE	120	0,7	41,45	40,35	5,5	5,8	5,8

Obs.: todas as dimensões em milímetros

Foi utilizado nos ensaios um polariscópio de transmissão plana, equipamento que converte luz natural em luz polarizada, necessária nas aplicações fotoelásticas. É constituído por uma fonte de luz e dois polarizadores planos, sendo que um é denominado polarizador e o outro é chamado de analisador (QUINAN, 2005; THOMAS, 2003; GOMES; VAZ, 2004). Esses componentes foram obtidos a partir de monitores de LCD. O monitor ligado a máquina de ensaio de tração foi utilizado como a fonte de luz e como o primeiro polarizador do polariscópio, isso foi possível pois monitores de LCD emitem luz polarizada linear. O segundo polarizador, denominado analisador, foi obtido de um monitor de notebook não mais usual, a tela foi desmontada e o filtro polarizador foi retirado com o auxílio de uma espátula. A figura 3 mostra um esquema de um polariscópio de transmissão plana e a adaptação do mesmo para os ensaios.

**Figura 3. Esquema de polariscópio de transmissão plana e adaptação para o ensaio**

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), utilizando os seguintes equipamentos: a máquina eletromecânica da EMIC DL com células de carga de 100 kN e, nos últimos ensaios, de 5 kN, responsável por tracionar os corpos de prova; um polariscópio de transmissão plana citado no tópico anterior, necessário para análise fotoelástica e uma câmera para gravação dos experimentos e posterior interpretação das franjas geradas, como mostrado na Figura 4.



Figura 4. Esquema de polariscópio de transmissão plana e adaptação para o ensaio

Foram realizados ensaios de tração em três momentos: com os corpos de prova logo após a cura, depois de se inserir um furo central e com os elementos de alívio de tensão postos. O objetivo dos primeiros ensaios foi calibrar os corpos de prova, ou seja, calcular a constante fotoelástica do material ($f\sigma$), que pode variar de acordo com as condições de confecção dos modelos fotoelásticos. Em um outro momento foram feitos ensaios para se quantificar a concentração de tensão de um furo central. Por fim, os últimos ensaios foram realizados após inserção de elementos aliviadores de tensão, com o intuito de se verificar esse fenômeno.

Para dar início aos procedimentos experimentais, o analisador foi preso nos corpos de resina que foram fixados na máquina de tração. Os ensaios iniciaram-se com os corpos de prova livres de cargas e terminaram quando estavam sujeitos a uma carga de 1 kN ou 2 kN, necessária para gerar um número de franjas suficientes para se fazer a análise quantitativa das tensões por meio da fotoelasticidade sem que os corpos ultrapassassem o regime elástico. Essas cargas foram geradas devido a um deslocamento obtido com a velocidade de ensaio de 5 mm/min, recomendada pela norma ASTM 638-14 *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.

Após recuperação elástica, os corpos foram furados no centro com uma broca de 1/2" e em seguida submetidos a outros ensaios como descrito anteriormente, aplicando-se as mesmas cargas para os respectivos corpos de prova. Carregados, descarregados e recuperados elasticamente de novo, os corpos de prova, livres de tensões internas, foram furados mais duas vezes, onde foram realizados furos de diâmetros 5/16" no mesmo alinhamento longitudinal do furo inicial e distando 10 mm deste. A escolha do diâmetro e posição dos furos aliviadores de tensão deu-se de conforme Young e Budynas (2002), cujos afirmam que os elementos de alívio de tensão devem ser inseridos em zonas de baixa tensão e não podem deixar a área de secção transversal do elemento menor que a área de secção transversal no local do concentrador de tensão global, por isso foi escolhido um furo menor que o furo central, conforme mostra a Figura 5. Em seguida foi realizado o ensaio, com a célula de carga de 5kN, em todos os corpos com limite superior de força de 1,5 kN. Essa parte do trabalho foi feita com o intuito de se verificar o alívio de tensão causado pela inserção de furos menores próximo ao concentrador de tensão.

**Figura 5. Esquema de polariscópio de transmissão plana e adaptação para o ensaio**

As franjas visualizadas nas gravações dos ensaios foram analisadas no software leitor de vídeo VLC media player. A adoção desse software deveu-se a capacidade de realizar sobreposição de imagens para facilitar a localização dos pontos de análise. Uma imagem de grade criada pelo software *libre office draw* foi sobreposta nos vídeos, e, nos pontos escolhidos para análise de tensão, foram observadas a força e a franja num determinado momento. Esses valores foram inseridos em uma planilha do *libre office calc*, onde foi feita a quantificação das tensões e de outros parâmetros necessários.

Com as franjas e forças obtidas nos ensaios dos corpos de prova sem furos, foi calculada a constante fotoelástica destes a partir de uma regressão linear entre o número de franja e a tensão que atuavam na peça em um determinado momento. Com essas constantes, as franjas e forças obtidas nos demais ensaios foram calculadas as tensões nos pontos de interesse.

3. RESULTADOS

O Gráfico de 1, mostra os pontos experimentais obtidos no centro de cada corpo de prova, com a tensão em função do número de franja, além disso apresentam a reta de regressão linear desses pontos.

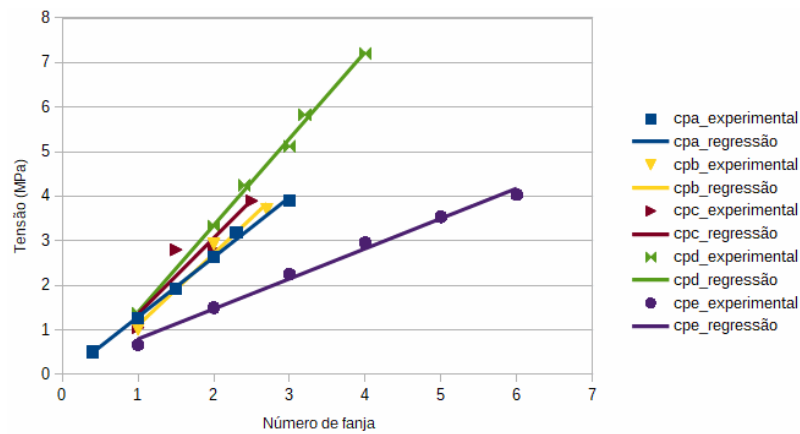


Gráfico 1 - Tensão em função do número de franja do corpo dos corpos de prova sem furo submetido a tração.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos dados obtidos pela regressão linear e o coeficiente de determinação em cada corpo de prova. A partir dela, observou-se que a tensão e o número de franja nos corpos apresentam uma forte correlação linear, conforme esperado. Sendo que a relação menos expressiva ocorreu no corpo de prova CPC, em que uma alteração no número de franja tem 87,71% de influência na alteração da tensão. E a influência da alteração do número de franja na alteração da tensão foi mais de 98% para os demais corpos de prova.

Tabela 2. Dimensões dos corpos de prova

Corpo de prova	Coeficiente angular (MPa/franja)	Coeficiente linear (MPa)	Coeficiente de determinação R^2	Constante fotoelástica (N/m)
CPA	1,34	-0,05	0,9961	7.916
CPB	1,61	-0,5	0,9815	10.214
CPC	1,71	-0,35	0,8771	10.828
CPD	1,95	-0,54	0,9967	12.359
CPE	0,68	-0,12	0,9934	3.922

Com os dados da regressão, foi calculada a constante fotoelástica, objetivo da calibração do material, que também está presente na Tabela 2. Foram obtidos valores próximos ao da literatura para a resina epóxi, na qual mostra a constante fotoelástica para esse material variando entre 10.000 N/m e 11.000 N/m, sendo exceção somente os corpos de prova CPE e CPA. Isso pode ter ocorrido devido a fatores adversos na fabricação desses corpos, tais como a utilização da proporção errada de resina para o endurecedor ou temperatura do meio em que a resina foi curada.

O coeficiente linear, também descrito na Tabela 2, deveria possuir valor igual a zero, no entanto isso não ocorreu devido ao fato da garra ter imprimido uma tensão nos corpos antes do início do ensaio, como pode ser visto na Figura 6. O valor mais próximo de zero ocorreu no corpo de prova CPA, que como pode ser visto, é o que apresenta o menor número de franja entre os cinco corpos. Na Figura 7 é possível observar os pontos de concentração de tensão próximos a um furo e os pontos com tensões mais baixas. Isso se apresenta mais evidente no corpo de prova CPD em que nas laterais do furo aparecem as franjas de número 5 e 9 e na parte inferior e superior do furo a franja que está presente é inferior a 2.



Figura 6. Tensões nos corpos de prova sem furo antes do ensaio de tração

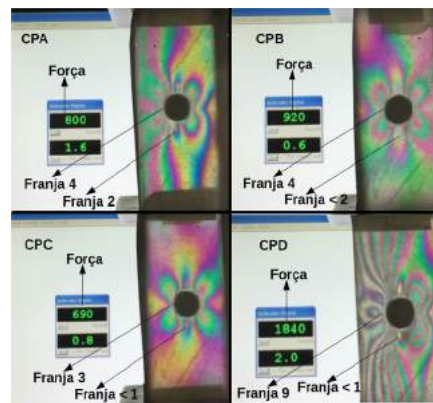


Figura 7. Tensões nos corpos de prova sem furo antes do ensaio de tração

Os Gráficos 2 a 5 mostram o fator geométrico de concentração de tensão em função da tensão nominal, no corpo com apenas o concentrador de tensão, nos pontos em que a tensão deveria ser máxima. Os resultados obtidos não foram esperados, pois constatou-se que esse fator diminuiu com o aumento da tensão, enquanto que ele é para ser uma constante que depende apenas da geometria da peça. Mesmo após retirar os excessos das peças, como descrito na metodologia, elas não ficaram totalmente uniformes, isso ocasionou uma fixação irregular dos corpos de prova na máquina de ensaios, transmitindo assim mais esforços a um lado deles e consequentemente concentrando tensão nesse lado. Essas concentrações podem ser vistas na Figura 8. Com base nisso, especula-se que o decaimento do fator geométrico de concentração de tensão pode ter ocorrido devido a essas concentrações de tensões na lateral dos corpos de prova ou por imprecisão da leitura das franjas, que pode ter ocorrido devido as gravações do ensaio não terem qualidade suficiente ou um mal posicionamento do polariscópio.

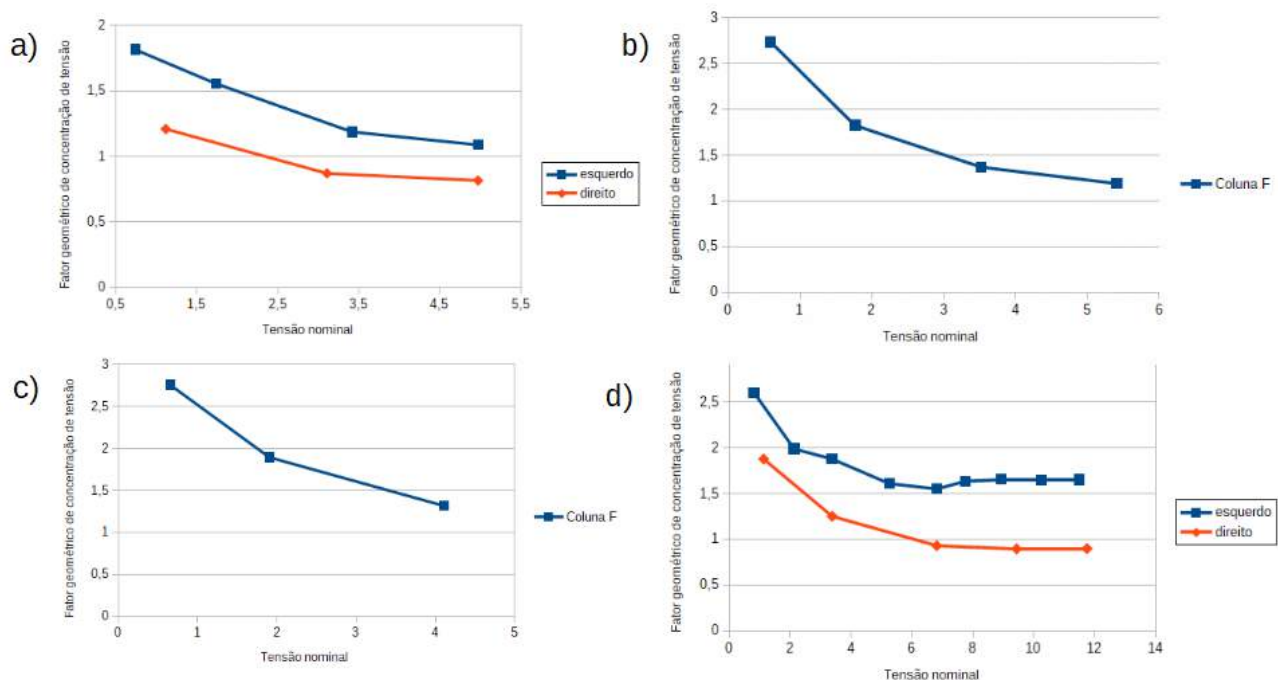


Gráfico 2 - Fator geométrico de concentração de tensão em função da tensão nominal no corpos de prova com furo central, nos lados direito e esquerdo do furo, submetido a tração. a) Corpo de prova CPA, b) Corpo de prova CPB, c) Corpo de prova CPC, d) Corpo de prova CPD

O Gráfico 5 mostra a relação fator geométrico de concentração de tensão versus tensão nominal no corpo de prova CPD, sendo esse o único que apresentou comportamento constante, porém só ocorreu no intervalo de 6 MPa a 12 MPa da tensão nominal. Isso pode ter acontecido por um aumento da precisão na leitura do número de franja a partir dessa tensão ou a partir desse ponto as concentrações de tensão na lateral do corpo de prova não influenciarem de forma tão significativa na concentração de tensão no furo.

Não foi possível analisar o corpo de prova CPE, pois o mesmo apresentou configurações de franja muito confusas, isso ocorreu, pois, o furo central não foi feito de maneira satisfatória, alterando muito a distribuição de tensão. Além disso ocorreu uma deformação plástica no mesmo o que poderia afetar os resultados das análises do alívio de tensão.

As Figuras 9 a 12 apresentam a comparação entre o corpo de prova com o concentrador de tensão e o corpo de prova com os elementos de alívio de tensão sujeitos a uma mesma carga, sendo que foram escolhidos momentos com a carga variando de 200 N em 200 N, começando com uma carga inicial nula. É possível observar o alívio de tensão próximo ao furo central, pois a uma mesma carga o corpo com apenas um furo apresenta um número de franja superior ao corpo com os elementos de alívio de tensão. Esse fenômeno ocorreu como esperado, pois furos menores alteram as distribuições de tensão próximo ao furo central ocasionando assim uma redução nas tensões próximas ao concentrador de tensão.

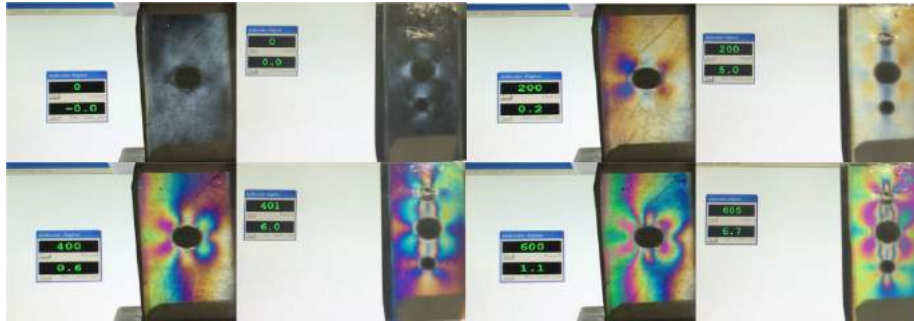


Figura 8. Comparação das franjas no corpo CPA, com um furo e com três furos, quando submetido a uma mesma carga de tração



Figura 9. Comparação das franjas no corpo CPB, com um furo e com três furos, quando submetido a uma mesma carga de tração



Figura 10. Comparação das franjas no corpo CPC, com um furo e com três furos, quando submetido a uma mesma carga de tração

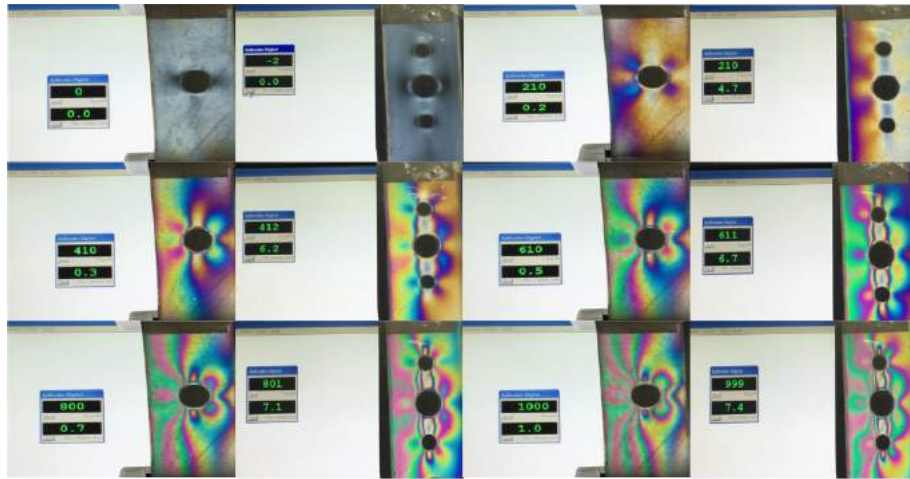


Figura 11. Comparação das franjas no corpo CPD, com um furo e com três furos, quando submetido a uma mesma carga de tração

Para uma melhor visualização desse fenômeno de alívio de tensão podemos observar a Figura 13, que apresenta o corpo de prova CPC, corpo com menor influência das concentrações de tensão da garra e das irregularidades dos corpos de prova, submetido a uma força de aproximadamente 200 N. No ensaio com apenas um furo, detectou-se a coloração azul próximo ao furo, que representa uma ordem de franja superior a 1, enquanto no ensaio com a presença dos aliviadores de tensão detectou-se a cor laranja, que representa uma ordem de franja inferior a 1. Conforme foi observado na Equação (1) quanto maior o número de franja maior a diferença de tensão, portanto o corpo de prova com três furos apresentou uma diferença de tensão menor que o corpo com apenas um furo.

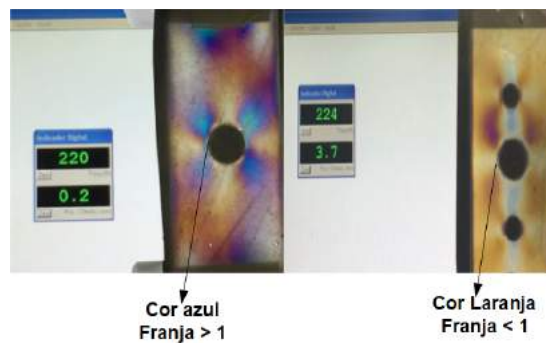


Figura 12. Comparação das franjas no corpo CPC, com um furo e com três furos, quando submetido a uma tração de aproximadamente 200 N.

4. CONCLUSÃO

A partir da calibração dos corpos de prova constatou-se de forma empírica a lei ótica das tensões, ou seja, a relação linear que as tensões apresentam em relação as franjas geradas nos materiais fotoelásticos. Essa relação aliada à fácil e rápida visualização das regiões de concentração de tensão e regiões de baixa tensão, torna evidente que a fotoelasticidade é uma técnica promissora para análise de concentrações de tensão.

O fator geométrico de concentração de tensão calculado mostrou um resultado não esperado, apresentando-se de forma muito variável. Diante disso as análises das concentrações de tensão de forma quantitativa foram inconclusivas, fato que não descarta esse tipo de análise fotoelástica, pois na calibração do material ela apresentou-se de forma eficiente. No entanto, para fazê-la de forma mais conclusiva e em geometrias complexas é necessário tratar de forma mais rigorosa as variáveis experimentais, tais como melhora na confecção dos corpos de prova, obtenção de imagens com maior qualidade e uso de polariscópios mais precisos.

Com o presente trabalho foi possível, por meio da fotoelasticidade, observar de forma qualitativa o alívio da concentração de tensão causado por um furo numa placa submetida a tração. Esse alívio foi proporcionado ao se inserir elementos geométricos de alívio de tensão, nesse caso, dois furos menores alinhados no eixo de aplicação da carga, que atuaram redirecionando as linhas de força de modo a distribuir de forma mais uniforme na região próxima ao concentrador de tensão global.

5. REFERÊNCIAS

- COLLINS, J. A.. Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção da falha. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 740 p.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 1084 p.
- NORTON, R. L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.
- NIEMANN, G. Elementos de máquinas. São Paulo: Edgard Blücher, 1971. 220p. v.1.
- CUNHA, L. B da. Elementos de máquinas. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 319 p.
- GOMES, J. F. S.; VAZ, M. A. P. Apontamentos de Análise Experimental de Tensões. 2004. Disponível em < <http://hdl.handle.net/10216/64394>>. Acesso em 26 set. 2017.
- FAKHOURI, S. F. et al. Análise fotoelástica de parafuso de sistema de fixação vertebral. Acta Ortopédica Brasileira, v. 17, n. 4, p. 207-210, 2009.
- FAKHOURI, S. F. Distribuição de tensões de parafusos do sistema de fixação vertebral submetidos a arrancamentos utilizando fotoelasticidade de transmissão plana. 2008. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Saúde Aplicadas ao Aparelho Locomotor, Universidade de São Paulo - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/17/17142/tde-24032008-152711/pt-br.php>>. Acesso em: 27 set. 2017.
- FLEURY, S. V. Análise da distribuição de tensões em descontinuidades de rocha utilizando a técnica da fotoelasticidade. 2001. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2001.
- ALMEIDA, J. A de. Distribuição de tensões em implantes dentários de diferentes desenhos utilizando fotoelasticidade. 2007. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Odontologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- YOUNG, W. C.; BUDYNAS, R. G. Roark's Formulas for Stress and Strain. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- QUINAN, M. A. D. Uma metodologia para determinação do fator de intensidade de tensões causado por tensões térmicas utilizando a fotoelasticidade. 2005. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2005.
- THOMAS, C. A. K. Desenvolvimento de um sistema de Deformações em máquinas agrícolas. 2003. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM 638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Estados Unidos: West Conshohocken.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis) pelo conteúdo deste trabalho”.

ANALYSIS OF A STRESS RELIEF MECHANISM THROUGH THE PHOTOELASTICITY TECHNIQUE

R.L.F. Maia, rleirton@gmail.com¹

G.F. Diniz, gutemberg.diniz@ufersa.edu.br²

A.W.A. de Menezes, wagneranderson_@hotmail.com¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido, RN, Brasil,

²Universidade Federal Rio Grande do Norte, RN, Brasil,

Abstract. In the construction of mechanical parts an infinite number of different materials are used which, in their entirety, have microdiscontinuities that appear in the form of voids and / or impurities throughout their constitution. These cause so-called stress concentrations distributed in the mechanical parts. However, other elements such as holes, recesses and notches also generate stress concentrations, which are characterized by a nonlinear increase of the stress near the part discontinuities. In mechanical designs it is practically impossible to develop parts without these elements, this is a major engineering problem. Based on this, there is a need to use, optimize, and even create techniques so that you can analyze and minimize this problem as much as possible. One technique that is used for analysis and study of stress concentrators is the photoelasticity, which allows to observe, experimentally, how stress are distributed in objects that have double temporary refraction. One way to minimize the effect of stress concentrators is to insert geometric stress relief elements near the parts' discontinuity zones. They act by redirecting the lines of force in order to more evenly distribute the stress close to the stress concentrators. Thus, the present study evaluated a classic case of stress concentrator, where a rectangular plate with a central hole will be subjected to traction, as well as investigated a mechanism to relieve this tension concentration, using techniques and methods of photoelasticity .

Keywords: Photoelasticity, Double temporary refraction, Stress concentrators, Geometric strain relief elements.