

USO DE TÉCNICAS ÓPTICAS DE MOIRÉ PARA DETERMINAÇÃO PRÁTICA DO COMPORTAMENTO DE VIGAS ESTRUTURAIS

Marcos Valério Gebra SILVA¹
Jonathan GAZZOLA²
Inácio Maria Dal FABBRO³

RESUMO

O conhecimento do comportamento mecânico de materiais é de extrema importância e auxílio para a engenharia de projetos. Análises mais precisas testam isoladamente o elemento empregando técnicas experimentais. Recentemente as técnicas ópticas perfilométricas estão sendo utilizadas na solução de problemas envolvendo solicitações estáticas ou dinâmicas. As técnicas ópticas fornecem campo de deslocamento completo e são denominadas como técnicas fotomecânicas e são métodos experimentais na análise de tensões e deformações quando associados à metodologia híbrida. Entre as técnicas ópticas perfilométricas destaca-se as técnicas de *moiré*. A técnica de *moiré* é baseada na interferência de duas grades superpostas que produzem franjas padrões, sendo que esta permite analisar o comportamento mecânico do material. O objetivo deste trabalho de pesquisa é de determinar experimentalmente o comportamento mecânico de vigas estruturais através do uso da técnica óptica de *moiré*. O arranjo experimental fotomecânico incluiu o uso de uma câmera digital, um projetor multimídia, grades Ronchi de 0,2 mm de período e um PC. Situações de carregamento em vigas estruturais recorrentes em projetos de engenharia civil foram analisadas. Os resultados mostraram dados e informações de grande importância para projetos estruturais e que devem ser levados em conta no desenvolvimento de projetos. A comparação dos resultados com extensometria elétrica e simulação computacional mostra uma diferença entre os resultados experimentais dos resultados teóricos esperados. Este trabalho é concluído com informações de grande importância para desenvolvimento de projetos estruturais.

Palavras-chave: Vigas estruturais. Técnicas de *Moiré*. Análise de comportamento mecânico de materiais.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de problemas envolvendo análise de tensão e deformação é muito comum para otimização de produtos. Análises mais precisas testam isoladamente o elemento empregando técnicas experimentais (MAZZETI *et al.* 2004). Strain-gages são bastante utilizados para se obter medidas de deslocamento e deformação, porém fornece medidas pontuais o que requer muitos sensores posicionados em diversos locais de medida, implicando aumento de custo e tempo de instalação (RI; FUJIGAKI; MORIMOTO, 2010).

¹Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, marcosgebra@terra.com.br

²Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, jonathan_gazzola@yahoo.com.br

³Docente da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - SP, inacio@agr.unicamp.br

Técnicas ópticas perfilométricas são empregadas na determinação da topografia de componentes mecânicos, podendo também ser associadas à interferometria na solução de problemas envolvendo solicitações estáticas ou dinâmicas (GOMES *et al.*, 2009). As técnicas ópticas fornecem campo de deslocamento completo e são denominadas como técnicas fotomecânicas (ANDONIAN, 2008) e são métodos experimentais na análise de tensões (LEI *et al.*, 2007). Modelos híbridos associam técnicas ópticas com a Teoria da Elasticidade para determinar campos de tensão (DOYLE, 2008).

As técnicas de *moiré* são técnicas fotomecânicas baseadas em interferometria óptica, hábeis em determinar campos de deslocamento, porém, as franjas têm de ser espacialmente diferenciadas para gerar adequadamente os campos de deformações e tensões. Suas vantagens, em relação às demais técnicas ópticas, estão na baixa sensibilidade às interferências de ruídos, são magnificadoras de movimentos, os equipamentos empregados são de custo relativamente baixo, de rápida medição e para grandes deslocamentos (RYU *et al.*, 2008; DOYLE, 2008; GLEICE *et al.*, 2011).

O fenômeno *moiré* ocorre quando duas grades ópticas com certa densidade são superpostas, havendo um movimento relativo entre essas, gerando um conjunto de faixas semelhante a ondas, com ângulo e período diferenciados das duas telas iniciais (LINO; DAL FABRO, 2004). Esse terceiro grupo de faixas é denominado “franjas de *moiré*” e variam da cor escura, gerada por ondas de interferência destrutiva, até a cor clara total, gerada por ondas de interferência construtivas (BERALDO *et al.*, 2007).

Essas franjas podem ser geradas por pela técnica de *moiré* de sombra ou por projeção (PORTO; GURGEL; FARINATTI, 2011). Na técnica de *moiré* de sombra, um retículo é posicionado à frente do objeto e, quando iluminado por uma fonte, a sombra é projetada sobre a superfície do objeto gerando o segundo retículo em tempo real (GAZZOLA *et al.*, 2012). Na técnica de *moiré* por *phase-shifting*, a grade é projetada sobre o corpo de prova e deslocadas de 90° entre si para provocar a interferência. Neste caso as franjas só são vistas após o processamento adequado das imagens (SILVA *et al.*, 2012).

Nas metodologias *moiré* aplicadas à ensaios fotomecânicos, um padrão de franja surge quando um padrão de franjas *moiré* não deformado é superposto a um segundo padrão de franjas *moiré* deformado provocado por um carregamento mecânico (XIAO *et al.*, 2010). O processamento das imagens das franjas permite a obtenção do campo de deslocamentos e associando em seguida a campo de deformação/tensão (BASTOS; TAVARES, 2004).

Diversos autores utilizaram a técnica de *moiré* para analisar o comportamento mecânico de materiais. Mazzeti Filho *et al.* (2004) determinaram o campo de deslocamento completo em discos para corte de cana. Albiero *et al.* (2012) determinaram pontos de isodeformação na superfície de castanhas. Beraldo *et al.* (2007) determinaram o mapa de isodeformações em bambu. Gazzola *et al.* (2010) determinaram o mapa qualitativo de tensão e deformação de viga de madeira sob carregamento torsor.

O presente trabalho objetiva aplicar a técnica de *moiré* para determinar o comportamento mecânico em cima de casos de projetos estruturais recorrentes em engenharia civil. Os resultados permitirão compreender melhor a dinâmica da distribuição de tensão e deformação em vigas estruturais e proverão com informações pertinentes para aplicação em projetos estruturais civis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios fotomecânicos foram realizados no Laboratório de Óptica da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP/SP. O arranjo experimental óptico incluiu o uso de uma câmera digital de 6.4 MPixels, um projetor multimídia e um PC. Para os ensaios de *moiré* de sombra o aparato experimental ainda exige o uso de grades Ronchi feitas pela técnica de fotolito *bureau*. Os corpos de prova foram pintados de branco para dar melhor contraste nas franjas padrões. As Figuras 1 e 2 ilustram o arranjo experimental da técnica de *moiré* de sombra e *moiré* por phase-shifting, respectivamente.

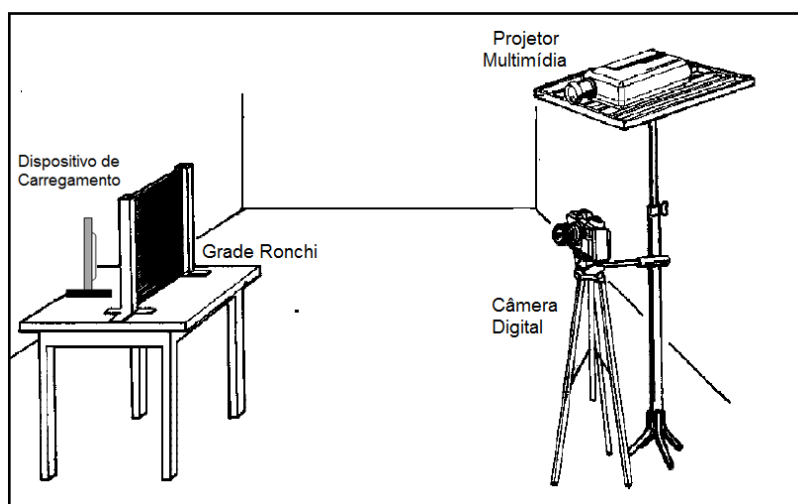


FIGURA 06: Arranjo experimental de *moiré* de sombra.
Fonte: Adaptado de Hertz *et al.*, 1.995

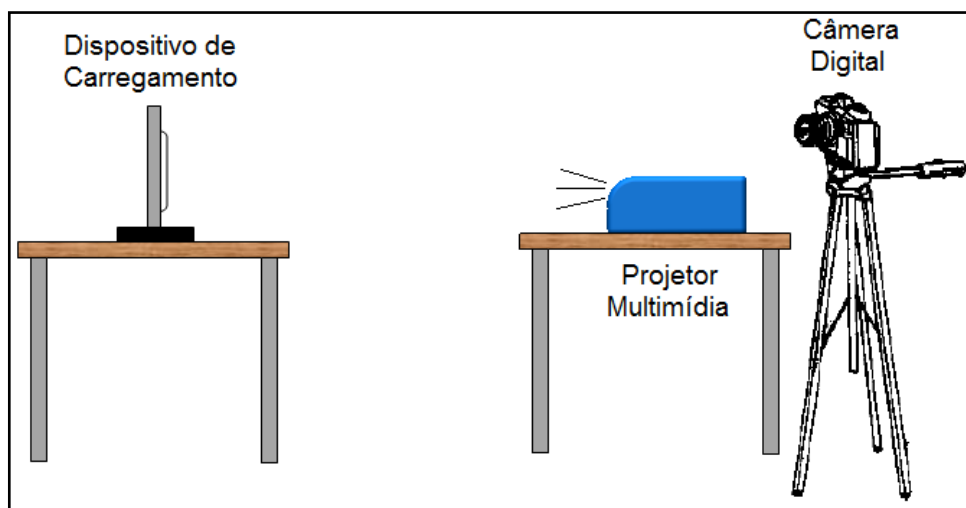


FIGURA 2: Arranjo experimental para aplicação da técnica de *moiré* por *phase-shifting*.

Para o ensaio de carregamento, dispositivos de carregamento com sensores de carga e/ou deslocamento foram utilizados convenientemente de acordo com o caso estudado. O deslocamento do corpo de prova foi regulado através do uso de relógios comparadores digital da marca MITUTOYO. O ensaio fotomecânico foi realizado em uma sala escura e se restringiu a obter imagens das franjas padrões formadas sobre o corpo de prova não deformado e deformado. O processamento de imagens utilizou de softwares específicos para análise de imagens, tais como, *ImageJ*, *IDRISI Kilimanjaro*, *IDEA* e *Rising-Sun Moiré*. O processamento, basicamente é consistido de limpar a área de estudo do plano de fundo, conversão da imagem de RGB para escala de cinza (8 bits), aplicação de filtros para suavização dos ruídos provocados nas franjas padrões, diferenciação vetorial das franjas padrões e obtenção do mapa de deslocamento do corpo de prova.

Para este trabalho de pesquisa, foram estudados quatro casos de vigas estruturais, sendo:

CASO 1: VIGA METÁLICA ENGASTADA EM UMA DAS EXTREMIDADES COM CARREGAMENTO FLETOR NA EXTREMIDADE OPOSTA

Neste caso de estudo, uma viga metálica de aço 1020 foi engastada em uma das extremidades e sofreu carregamento fletor na extremidade oposta. Este tipo de caso é bastante comum em projetos arquitetônicos de vigas suspensas em uma de suas extremidades. Para este estudo de caso, uma viga com dimensões de 300,00 x 20,00 x 1,00 mm teve seu vão central deslocado em 10,0 mm por um carregamento fletor de 40 n. Este estudo visou avaliar o comportamento mecânico da viga metálica. A técnica de *moiré* forneceu dados de

deformação total do corpo de prova. Os resultados foram comparados com resultados obtidos por métodos analíticos e analisou o comportamento mecânico de forma experimental *versus* o comportamento mecânico teórico. A equação 01 determina o deslocamento de uma viga engastada na extremidade e foi definida por Assan (2003).

$$X_3 = PL^4/8EI \quad (01)$$

Onde:

I = Momento de Inércia [mm⁴]

L = Comprimento do corpo de prova [mm]

P = Carregamento do corpo de prova [N]

X₃ = Deslocamento do corpo de prova no eixo 3 [mm]

E = Módulo de elasticidade do material [MPa]

CASO 2: VIGA METÁLICA BI-ENGASTADA COM CARREGAMENTO FLETOR CONSTANTE NO VÃO CENTRAL

Neste caso de estudo, uma viga metálica bi-engastada com carregamento centralizado foi analisado. Esta situação de carregamento é um caso bastante comum em projetos estruturais. Para tal, uma viga de aço 1020 com dimensões de 100,00 x 12,70 x 1,00 mm teve seu vão central deslocado em 2,5 mm (flecha do vão central) por um carregamento fletor. Este estudo visou avaliar o comportamento mecânico da viga metálica. A técnica de *moiré* forneceu dados de deformação total do corpo de prova. A metodologia híbrida aplicou equações da mecânica dos sólidos para determinar quantitativamente a deformação específica e a tensão no corpo de prova com o uso das equações 02, 03, 04, 05 e 06.

$$I = b.h^3/12 \quad (02)$$

$$P = 192.E.I.X_3/L^3 \quad (03)$$

$$M = P.L/8 \quad (04)$$

$$\epsilon_{33} = M.y/E.I \quad (05)$$

$$\sigma_{33} = D. \epsilon_{33} \quad (06)$$

Onde:

b = Largura do corpo de prova [mm]

h = Altura do corpo de prova [mm]

M = Momento Fletor [N.mm]

ϵ_{33} = Deformação específica do corpo de prova [adm]

σ_{33} = Tensão [mm]

y = Altura da linha neutra [mm]

D = Matriz Característica [MPa]

Os resultados de tensão e deformação obtidos pela técnica de *moiré* foram comparados com resultados obtidos pela técnica de extensometria elétrica e simulação computacional. A comparação dos resultados obtidos por *moiré* com a técnica de extensometria elétrica permitiu uma análise de duas técnicas experimentais, enquanto que a comparação com a simulação computacional permitiu uma análise de do comportamento mecânico da viga, obtido de forma experimental versus o comportamento mecânico teórico, obtido pelo métodos dos elementos finitos.

CASO 3: VIGA DE MADEIRA BI-APOIADA COM CARREGAMENTO FLETOR NO VÃO CENTRAL

Neste estudo de caso, uma viga de madeira foi bi-apoiada em sua extremidade e um carregamento fletor aplicado em seu vão central. Para este trabalho de pesquisa, uma viga de madeira da espécie *Eucalyptus salignia* com dimensões de 25x25 mm de área de seção por comprimento de 550 mm. Quatro taxas de carregamento foram aplicadas sendo de 20, 50, 140 e 260 N. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP-SP, e para tal, utilizou-se de uma máquina de ensaio universal da marca EMIC DL 30000 munida de sensores para controle do carregamento aplicado. Este tipo de estrutura é muito utilizado em projetos de construções de madeira e os resultados deste trabalho de pesquisa forneceram informações de grande importância para entender a dinâmica do comportamento mecânico de madeiras e de aplicação prática em projetos estruturais.

CASO 4: FEIXE DE MADEIRAS COM CARREGAMENTO FLETOR NO VÃO CENTRAL

Este estudo de caso analisa uma situação de análise de carregamento mais complexa de serem determinados por análise computacional e/ou métodos analíticos. Esse trabalho de pesquisa objetivou realizar a análise do comportamento mecânico de um feixe de madeiras, que trabalham de forma unida para dar maior resistência ao elemento de viga estrutural. A complexidade dessa análise envolve problemas com isotropia do material e a forma de distribuição do carregamento. A madeira é considerada um material ortotrópico, ou seja, suas propriedades mecânicas são diferentes para cada eixo de análise e a distribuição de

carregamento em feixe de toras ocorre por contato entre cada madeira que compõe o feixe. A madeira utilizada no ensaio experimental foi da espécie *Eucalyptus salignia* e a dimensão do feixe foi de 75 mm de altura por 25 mm de largura e 550 mm de comprimento. Quatro taxas de carregamento foram aplicadas sendo de 20, 70, 170 e 310 N. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP-SP, e para tal, utilizou-se de uma máquina de ensaio universal da marca EMIC DL 30000 munida de sensores para controle do carregamento aplicado. O comportamento mecânico do feixe de madeiras pode ser caracterizado como viga unida, ou seja, quando a todas as vigas de madeira que compõem o elemento apresentam uma única região de tração e compressão, ou de forma individualizada que ocorre quando cada elemento apresenta regiões de tensão de tração e compressão, conforme afirmam Góes e Dias (2005). As vigas de madeira, para este caso de estudo, são unidas apenas pelo atrito entre as fibras. Esse tipo de estrutura é muito utilizado em cimbramentos em construção cívil e os resultados deste trabalho de pesquisa forneceram informações de grande importância para entender a dinâmica do comportamento mecânico de feixe de madeiras e analisar o fato das madeiras, quando unidas mecanicamente pelo atrito entre ambas, apresenta uma inércia de viga unida ou de vigas isoladas. Os resultados apresentaram resultados de interessante aplicação prática em projetos estruturais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados de cada caso analisado e as discussões pertinentes.

CASO 1 – VIGA METÁLICA ENGASTADA EM UMA DAS EXTREMIDADES COM CARREGAMENTO FLETOR NA EXTREMIDADE OPOSTA

A Figura 03 ilustra o resultado do mapa de deslocamento da viga fletida em 3 dimensões, obtidos pela técnica de *moiré*.

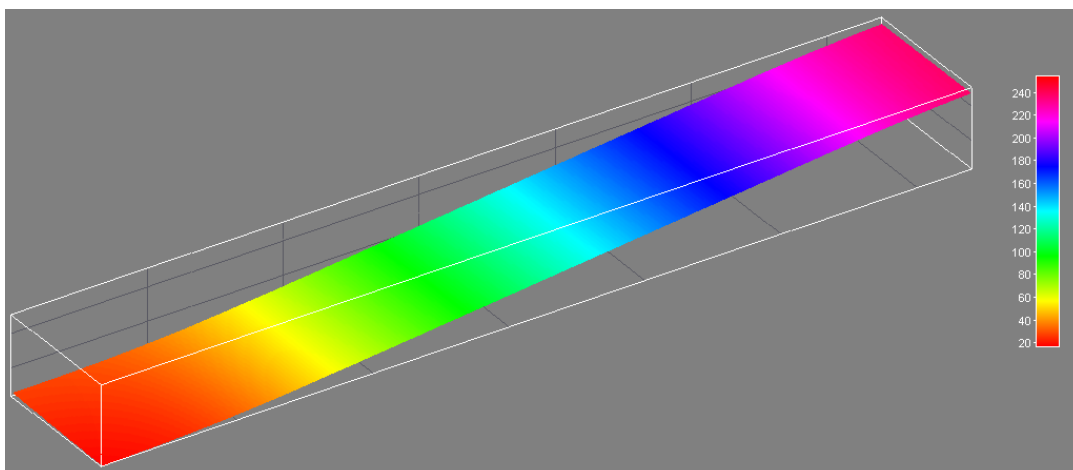


FIGURA 03: Mapa de deslocamento da viga fletida obtida pela técnica de *moiré*.

O Gráfico 01 compara as curvas de deslocamento da viga obtido pela técnica de *moiré* e pelo método analítico.

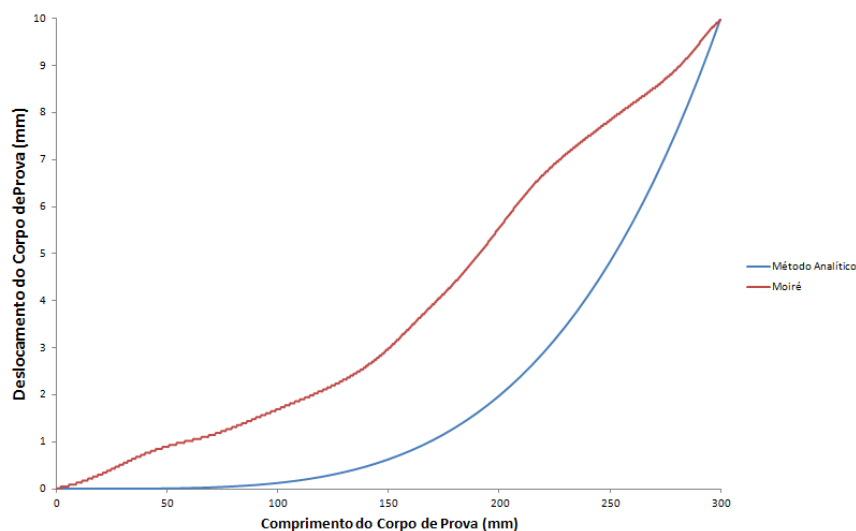


GRÁFICO 01: Curva de deslocamento de viga engastada com carregamento fletor na extremidade oposta.

Comparando as curvas é notado que há certa variação entre o comportamento de ambas. É notado que, para a situação de carregamento analisada, a curva de deslocamento da viga, obtida por métodos experimentais, apresentou quatro nós. Os nós são regiões onde a inclinação da curva apresenta variação em sua direção. Esses nós são observados nos pontos 50, 140, 200 e 280 mm ao longo do comprimento do corpo de prova. Esse comportamento mostra que, de certa maneira, os resultados práticos são diferentes do que a teoria prediz. A ocorrência desses nós ocorrem devido a falhas internas na estrutura do material. Pelo método analítico a curva é contínua e, ocorrência de nós não é possível de ser obtido. Esses nós são originários por falhas internas do material de corpo de prova, fato esse que pode ser detectado por métodos experimentais por analisar o deslocamento do corpo de forma real, independente

de sua forma geométrica e de condições do material. Os métodos analíticos, baseado nas equações de mecânica dos sólidos não são hábeis de detectar essas variações por não ser possível de embutir a questão estrutural interna do material. Por fim, para esse caso de análise pode se notar que o comportamento mecânico de uma viga metálica fletida em suas extremidades apresenta variação da inclinação de deformação ao longo de seu comprimento e não de forma contínua, como pressupõe a teoria e projetos estruturais tem de viga fletida em sua extremidade e engastada em sua outra extremidade apresenta variação na sua inclinação ao longo do comprimento.

CASO 2 - VIGA METÁLICA BI-ENGASTADA COM CARREGAMENTO FLETOR CONSTANTE NO VÃO CENTRAL

A Figura 04 ilustra a curva de deformação da viga bi-engastada e com carregamento fletor aplicado em seu vão central, obtido pela técnica de *moiré*.

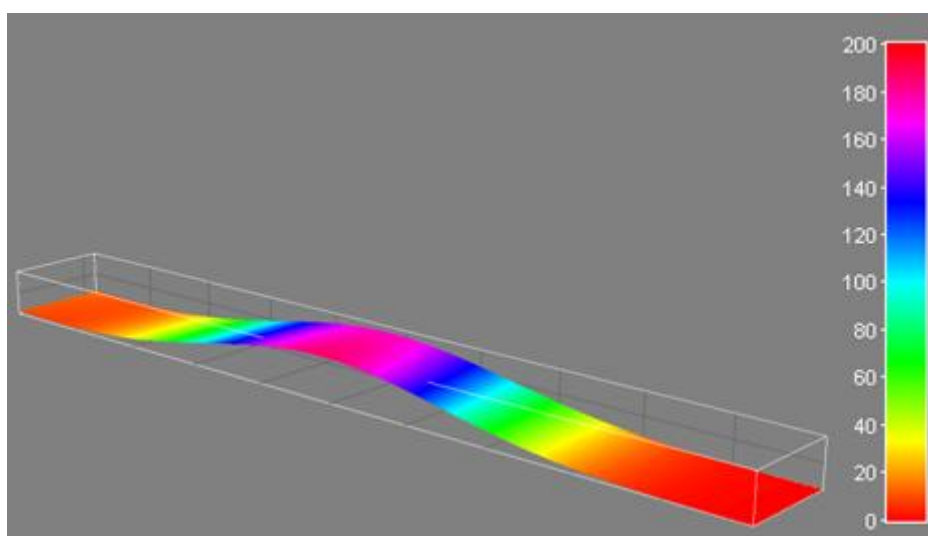


FIGURA 04: Curva de deformação obtida pela técnica de *moiré* para uma viga bi-engastada e com carregamento fletor aplicado em seu vão central.

O Gráfico 02 compara as curvas de deformação específica da viga obtido pela técnica de *moiré*, pela extensometria elétrica e pela simulação computacional.

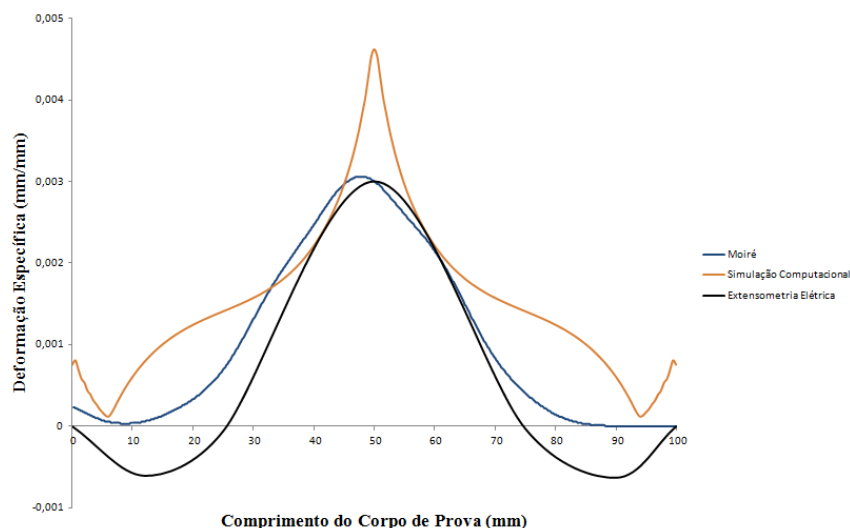


GRÁFICO 02: Curva de deformação específica para uma viga bi-engastada e carregamento fletor no seu vão central.

O Gráfico 03 compara as curvas de tensão da viga obtida pela técnica de moiré, pela extensometria elétrica e pela simulação computacional.

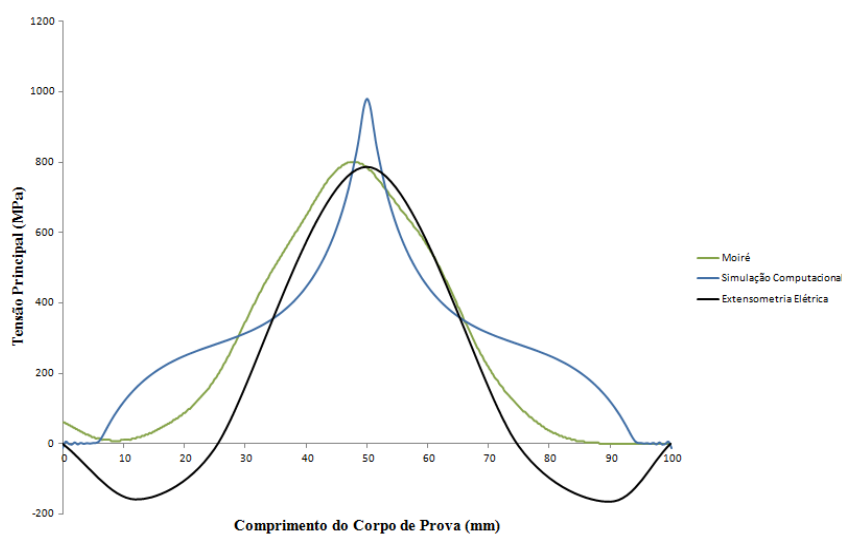


GRÁFICO 03: Curva de tensão para uma viga bi-engastada e carregamento fletor no seu vão central.

Pelos resultados obtidos para a curva de deformação específica e de tensão, pode-se perceber que há certa disparidade entre os resultados obtidos pelos métodos experimentais (*moiré* e extensometria elétrica) em relação ao método teórico (simulação computacional). O comportamento entre as curvas experimentais mostra que a deformação se comporta com uma curva sinusoidal, enquanto que a curva teórica se comporta com mais aberta nas extremidades e mais fechada no vão central. Também é notado que no vão central, houve um pico. Timoshenko (1984) afirma que esse pico é devido à deformações plástica. A deformação

específica não é nula nas extremidade, devido ao contato de engastamento. A tensão nas extremidades são nulas. Analisando as curvas entre si, pode ser afirmado que a curva de deformação e de tensão para uma viga bi-engastada é de caráter sinusoidal. Os resultados obtidos pela técnica de simulação computacional são mais conservadores no que tange o uso destes dados para cálculos de projeto, porém pouco distantes da tensão e deformação específica ocorrida na viga metálica.

CASO 3 - VIGA DE MADEIRA BI-APOIADA COM CARREGAMENTO FLETOR NO VÃO CENTRAL

A Figura 05 mostra o mapa de tensão da viga de madeira bi apoiada e com carregamento fletor aplicado em seu vão central, obtido pela técnica de *moiré*.

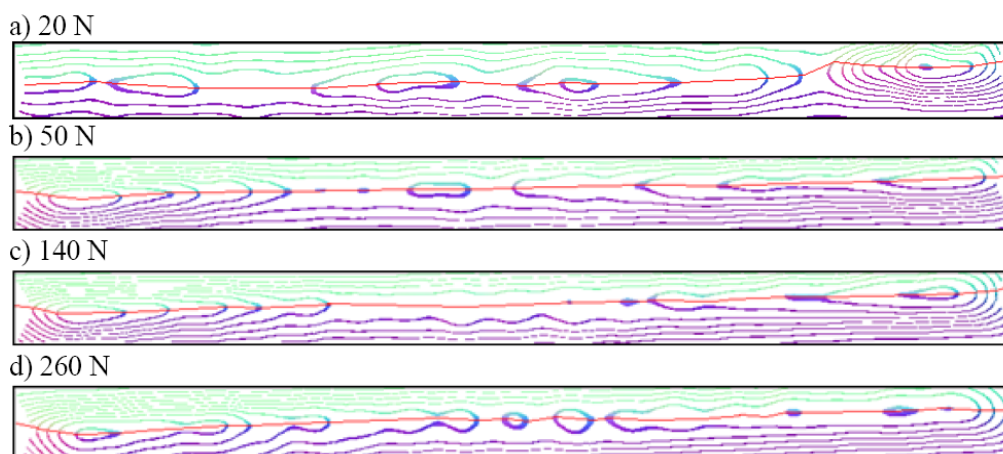


FIGURA 05: Mapa de tensão para vigas de madeira bi apoiada e com carregamento fletor no vão central de: a) 20 N. b) 50 N. c) 140 N e d) 260 N.

As curvas apresentaram duas cores distintas, denominadas de linhas isocromáticas, sendo que a cor verde representa as tensões por compressão e a cor roxa representa as tensões por tração. A proximidade entre linha indica a concentração de tensões. A linha vermelha, plotada manualmente, é a linha neutra. A linha neutra foi determinada pelo distanciamento das linhas isocromáticas e a mudança de coloração. Os resultados mostraram que as regiões onde a coloração foi alterada de verde para roxo, as linhas estiveram mais distantes que em outras regiões, reforçando a posição da linha neutra. Analisando o comportamento mecânico da viga de madeira, é notado que à medida que o carregamento foi ampliado, as linhas ficaram mais próximas entre si. No ponto de contato da célula de carga, o aumento da proximidade entre fibras foi menor que nas outras regiões. Esse comportamento mostra que a

ampliação do carregamento fletor em vigas de madeira acabam por acomodar as fibras e a distribuição de carregamento é melhor suportado à medida que o carregamento é ampliado. Também é notado que a concentração de tensões fica restrito às fibras superiores e inferiores, bem como nos pontos de apoio de contato. A linha neutra, ao contrário do que ocorre em vigas metálicas, onde fica mais centralizada, para vigas de madeira, a linha neutra é inclinada e com relação direta com a inclinação das fibras. Portanto, para projetos estruturais feito com madeiras, o projeto deve considerar que a madeira apresenta concentração de tensão nas extremidades da viga e a linha neutra será inclinada de acordo com a direção das fibras.

CASO 4 - FEIXE DE MADEIRAS COM CARREGAMENTO FLETOR NO VÃO CENTRAL

A Figura 06 mostra o mapa de tensão de um feixe de madeiras bi apoiada pela viga inferior e com carregamento fletor aplicado em seu vão central, obtido pela técnica de *moiré*.

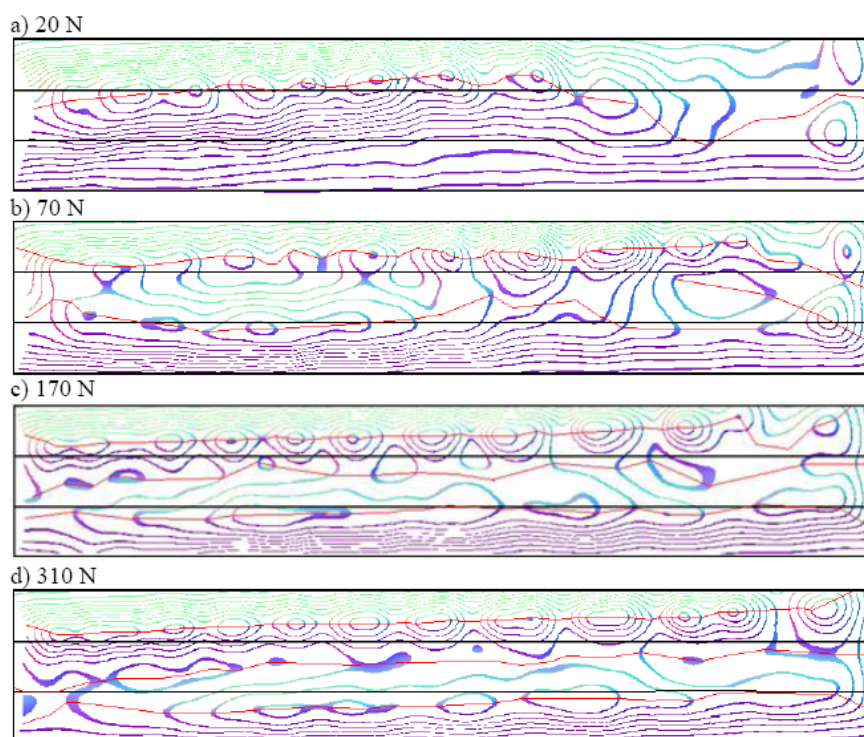


FIGURA 05: Mapa de tensão para feixe de madeira bi apoiada e com carregamento fletor no vão central de: a) 20 N. b) 70 N. c) 170 N e d) 310 N.

A análise do comportamento mecânico do feixe de madeiras realizada para o feixe de madeiras é similar à análise feita para o caso 3. O feixe de madeiras pode atuar de forma unida, ou seja, as vigas podem atuar formando um corpo único ou de forma individualizada, i.

e., quando cada viga apresenta regiões com tensão de tração e compressão (Góes; Dias, 2005). Analisando os dados ilustrados pela Figura 05, percebe-se que apenas para o carregamento de 20 N as vigas atuaram de forma unida, por apresentar uma única região caracterizada por tensões de tração e compressão. Para todos os outros casos, o comportamento ficou caracterizado por ser individualizado. Também é notado que as vigas inferiores e superiores apresentaram maior índice de tensão de tração e compressão que a viga mediana. A linha neutra não acompanhou a inclinação das fibras, ficando menos inclinada, devido à forma como a distribuição de tensão ocorreu pelo contato entre as madeiras. Para projetos estruturais, utilizando madeiras unidas pelo contato de fibras, pode-se afirmar que as madeiras atuam de forma unida, ou seja, o atrito por si só é pouco eficiente para unir as vigas, a linha neutra apresenta leve inclinação, mas não relacionado com a inclinação de fibras e a concentração de tensões fica mais localizado nas vigas de madeira superior e inferior.

CONCLUSÃO

Pelos resultados acima apresentados, a técnica de moiré forneceu dados bastante úteis para serem utilizados em projetos estruturais. Os resultados mostraram o comportamento mecânico de materiais apresentam certa divergência entre os resultados teóricos e os práticos. Para os casos estudados pode ser concluído que para vigas metálicas engastada em uma extremidade e carregamento fletor na outra, o comportamento mecânico foi caracterizado por uma inclinação recorrente durante toda sua extensão e não verificada pelo método analítico.

Também houve presença de nós que mudaram a direção da deformação da viga. Para o caso da viga metálica bi-engastada e com carregamento fletor no vão central, a curva de deformação teórica podem ser utilizados em projetos estruturais, pois, apesar da distância entre os resultados teórico e experimental, esses são mais conservadores que os resultados obtidos na prática. Para o caso da viga de madeira bi-apoiada e com carregamento fletor no vão central, pôde ser concluído que vigas de madeira apresentam concentração de tensões em suas fibras mais externas e mais próximas do ponto de apoio. A linha neutra é inclinada e com forte relação com a inclinação das fibras. E por fim, para o caso do uso feixe de madeiras bi-apoiada com carregamento fletor aplicado no vão central, pôde ser concluído que atuaram de forma individualizada, i. e., o atrito não foi um agente de união eficiente. As vigas externas (superior e inferior) apresentaram maior concentração de tensões que as vigas medianas.

USE OF TECHNIQUES FOR OPTICAL MOIRÉ FOR DETERMINING THE BEHAVIOR PRACTICE OF STRUCTURAL BEAMS

ABSTRACT

The knowledge of the mechanical behavior of materials is of utmost importance and assistance for engineering projects. Accurate analysis has been tested alone elements applying experimental techniques. Recently, perfolimetric optical techniques have been applied to solve problems involving static or dynamic requests. Optical techniques provide complete displacement field and they are named as photomechanical techniques and they are recognized as experimental methods of stress and strain analysis when associated to hybrid methods. About the optional techniques perfolimetric highlights the techniques of moiré. The technique is based on the moiré interference of two superimposed gratings which produce fringe patterns, and they allow analyzing material mechanical behavior. The goal of this research is to experimentally determine the mechanical behavior of structural beams through use of the *moiré* optical technique. The experimental photomechanical setup included a digital camera, a multimedia projector, Ronchi grids with period of 0.2 mm and PC. Common situations of loadings applied in structural beams have been analyzed. The results showed data and information of great importance for structural designs and must be taken into account in the development of projects. Results comparison has been applied to electrical extensometry and computational simulation and they demonstrated differences between theoretical and experimental results. This research work is concluded with important information to structural design development.

Keywords: Structural Beams, *Moiré* Technique, Materials Mechanical Behavior Analysis.

REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D. *et al.* Moiré Optical Technique For Evaluation Of Cashew Nuts (*Anacardium Occidentale*, L.) Isostrain. **Varia Scientia Agrarias**, v. 9, p. 9-20, 2012.
- ANDONIAN, A. A. T. **Optical Methods**. Springer Handbook of Solid Mechanics, pp – 823-837. Ed. Sharpe, New York, 2.008.
- ASSAN, A. E. **Método dos elementos finitos**. Campinas, SP: Unicamp, 2003.
- BASTOS, L. F.; TAVARES, J. M. R. S. Um sistema de ferramentas de processamento e análise de imagens de *moiré*: apresentação. **In:** 5º Encontro Nacional de Análise de Tensões e Mecânica Experimental, Coimbra, 21 - 23 Janeiro, 2.004.
- BERALDO, A. L. *et al.* Técnica de moiré aplicada al análisis de esfuerzos de compresión en el bambu guadua. **Maderas: Ciencia y Tecnologia. Concepción**, v. 9, n. 3, p. 309-22, 2007.
- DOYLE, J. F. **Hybrid Methods**. Springer Handbook of Solid Mechanics. New York: Sharpe, 2008.
- GAZZOLA, J. *et al.* Shadow *Moiré* Applied to Torsional Stress Distribution Mapping. **Agricultural Engineering Journal**. Sophia, v. 48, n.2, p. 61-65. Oct. 2010.

GAZZOLA, J. *et al.* Photomechanical analysis of wooden testing bodies under flexural loadings. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 70, p. 396-401, 2012.

GLEICE, C. A. *et al.* Recuperação de topografia de ovos por meio da técnica de moiré e calibração independente. **Engenharia Agrícola**. v. 31, n. 2, p. 211-18, 2011.

GOMES, T. S. *et al.* Calibração da técnica de *moiré* aplicada a perfilometria de protótipos mecânicos. **Revistas Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 33, n. 2, p. 574-79, mar./abr., 2009.

GÓES, J. L. N.; DIAS, A. A. Análise de vigas de madeira pregadas com seção composta I. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 29, p. 57-77, 2005.

HERTZ, H. R. G. *et al.* Desenvolvimento da Técnica de Moiré de Sombra como Alternativa de Baixo Custo para Análise Postural. **Scientia Medica**, Porto Alegre. v. 15, n. 4, pg 235-42 Out/Nov. 2005.

LEI, Z. *et al.* Numerical analysis of phase-stepping interferometric photoelasticity for plane stress separation. **Optics and Laser in Engineering**. v. 45, n. 1, p. 77-82, 2007.

LINO, A. C. L.; DAL FABRO, I. M. Determinação da topografia de uma fruta pelas técnicas de moiré de sombra com multiplicação de franjas. **Revista Ciência Agrotécnica**. Lavras, v. 28, p. 119-25, 2004.

MAZZETI FILHO, V. **Utilização da Interferometria de Moiré no Estudo de Tensões Dinâmicas em Discos Flexíveis**. 115 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

PORTO, F.; GURGEL, J. L.; FARINATTI, P, T, V. Topografia de Moiré como Método de Avaliação Postural: Revisão do Estado da Arte. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 3, n. 14, p. 567-77, 2011.

RI, S.; FUJIGAKI, M.; MORIMOTO, Y. Sampling Moiré Method for Accurate Small Deformation Distribution Measurement. **Experimental Mechanics**. v. 50, n.4, p. 501-08, 2010.

RYU, W. *et al.* A Study on the 3-D Measurement by Using Digital Projection Moiré Method. **Optik – International Journal for Light and Electron Optics**. v. 119, n. 10, p. 453-58, 2008.

SILVA, M. V. G. *et al.* Topographical image transference compatibility generated through moiré technique applying parametrical softwares of computer assisted design **World Academy of Science, Engineering and Technology**, p. 391-95, v. 70, 2012.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. E. **Mecânica dos sólidos**, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

XIAO, X. *et al.* Displacement and Strain Measurement by Circular and Radial Gratings Moiré Method. **Experimental Mechanics**, n. 50, p. 239-44, 2010.