

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA VELOCIMETRIA POR IMAGEM DE PARTÍCULAS (PIV) COMO FERRAMENTA DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA MEDIR DESLOCAMENTO EM VIGAS METÁLICAS

MAYKMILLER CARVALHO RODRIGUES¹, IASMIN GABRIELA DE PAULA NADER², FRANCISCO CARLOS GOMES³, JÉSSICA ASSAID MARTINS RODRIGUES⁴

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA, (35)99828-8383, maykmiller.rodrigues@deg.ufla.br

² Graduada em Engenharia Civil, UFLA, min.nader@hotmail.com

³ Doutor em Engenharia de Estruturas, UFLA, (35)3829-1484, fcgomes@deg.ufla.br

⁴ Doutoranda em Recursos Hídricos, UFLA, (35) 99803-2398, je_assaid@yahoo.com.br

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: As deformações nas estruturas podem ser quantificadas através de ensaios destrutivos normatizados com corpos de prova padrão e extrapolar os resultados para as estruturas reais, assim como utilizar técnicas de ensaios não destrutivos como Stress Wave Timer, Raio X, Condutividade elétrica dentre outros, que não entram em contato com o material a ser estudado, que, porém demandam muitos equipamentos e um alto custo de aplicação. No intuito de desenvolver uma técnica de ensaio não destrutivo de baixo custo, buscou-se neste trabalho desenvolver, aplicar e avaliar uma metodologia que possa quantificar as deformações de uma estrutura sólida através de imagens utilizado a Velocimetria por Imagem de Partículas (PIV), que é uma técnica consagrada na avaliação do deslocamento e velocidade de fluidos. Para a realização dos ensaios, utilizou-se corpos de prova tubulares retangulares de aço (20 x 30mm), submetidos ao efeito de flexão simples. Foram fixados pontos de vários tamanhos nas faces dos corpos de prova e aplicou-se a técnica PIV. Conseguiu-se medir o deslocamento (flecha) das amostras submetidas à flexão em função do tempo e cargas aplicadas, o que demonstrou que é possível verificar pequenas e grandes deformações em estruturas de aço, de maneira fácil e com baixo custo de operação.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura, Flexão Simples, PIV

EVALUATION OF PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY (PIV) TECHNIQUE AS A NON-DESTRUCTIVE TESTING TOOL TO MEASURE THE STEEL BEAM DISPLACEMENT

ABSTRACT: The structural deformation can be quantified using standard specimens and standard tests that these results can be extrapolated to prototypes or real-scale structures. In addition to these techniques there are also non-destructive testing as Stress Wave Timer, X-ray, electrical conductivity among others, that do not come into in contact with the material being studied, but it requires a lot of equipment and a high cost of application. In order to develop a non-destructive testing technique of low cost, it sought with this study to develop, implement and evaluate a non-destructive testing methodology to quantify the deformation of a solid structure through images using the Particle Image Velocimetry (PIV) technique, which is an established technique to quantify the displacement and fluid velocity. For the test, it was used rectangular steel specimens (20 x 30mm), subject to the forces that caused the single bending. They were fixed many sizes of points on sample face and applied to PIV technique. Thus, it was possible to measure the displacement of the specimens subjected to bending in

function of time and applied loads, which demonstrated that it is easily possible to verify small and large deformations in steel structure with low operation cost.

KEYWORDS: Structure, Simple Bending, PIV

INTRODUÇÃO: Durante o estudo das estruturas metálicas é importante conhecer o comportamento dos elementos estruturais. Para estudar esses elementos, a Técnica de Velocimetria por Imagem de Partícula (PIV) vem sendo utilizada para mensurar o deslocamento das estruturas em um único plano. O PIV surgiu na década de 80 e tinha o objetivo de medir a velocidade de fluidos utilizado por Almeida, 1997; Miranda, 2004 e Soares, 2013. Com o passar do tempo, o PIV vem sofrendo melhorias como a substituições dos métodos analógicos de armazenamento de dados por métodos digitais (Almeida, 1997; Miranda, 2004; Soares, 2013).

A técnica PIV vem sendo utilizada no estudo de deslocamento de materiais sólidos (Petersson, 2010; Pereira, 2014; Souza, 2014) como método não destrutivo de ensaio.

Essa técnica é baseada no emparelhamento de imagens correlacionadas obtidas por

$$C(x, y) = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-N}^N I_1(i, j) I_2(i + x, j + y) \quad (1)$$

onde a diferença de coordenadas de pixel e mudança de posição dos pontos em uma janela mostra o deslocamento em que o $I(i, j)$ é a intensidade luminosa nas coordenadas de pixel (i, j) e os índices 1 e 2 indicam as imagens analisadas.

Considerando que a técnica PIV também pode ser usada no estudo do deslocamento de vigas de aço, o objetivo desse trabalho foi avaliar o deslocamento vertical (flecha) de vigas metálicas biapoiadas submetidas à flexão simples.

MATERIAL E MÉTODOS: Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais e Mecânica das Estruturas do departamento de engenharia da UFLA (DEG). Foram utilizados os seguintes equipamentos: uma máquina universal de ensaios mecânicos, 12 corpos-de-prova retangulares de aço ASTM A36 com dimensões de seção transversal de 20 x 30 mm, espessura de chapa 1,2 mm, comprimento de 500 mm, faces paralelas e momento de inércia constante, além ser um material de produção padronizada e de fácil aquisição no mercado, caneta de retroprojeter, uma Câmera digital de alta resolução, um computador para aquisição de dados e um notebook para processamento das imagens e obtenção dos resultados pela técnica PIV.

A amostra foi fixada em dois apoios (Viga Biapoiada) com carregamento aplicado no ponto central da viga, foram pintadas com uma tinta branca e posteriormente marcados com pontos equidistantes de referência para origem dos vetores de deslocamento, com uso da caneta de retroprojeter. As marcações foram fixadas na região de interesse onde ocorreu o deslocamento máximo da viga.

Uma câmera digital de alta resolução foi posicionada sobre um tripé paralelamente à face da viga em estudo para registrar seu movimento. Quando o corpo-de-prova não estava submetido a nenhum tipo de carga foi coletada uma imagem no tempo inicial (t_0). A partir daí foi aplicada uma carga vertical de cima para baixo de acordo com a Figura 1, gradativamente até a ruptura da viga. Durante a aplicação de carga, foram tiradas fotos a cada 10 segundos. A Figura 3 mostra o esquema de disposição da câmera em relação ao corpo-de-prova.

Após coletadas todas as imagens, estas foram modificadas no software ImageJ. Foram redimensionadas e transformadas em imagem com qualidade 8bits. Posteriormente foi aplicado um threshold para transformá-las em imagem preto e branco e arquivadas no formato RGB. Em seguida as imagens já modificadas foram analisadas no software Matlab de acordo com os padrões de script e programação do PIV que forneceram os campos de deformação e

os resultados dos deslocamentos. Na Figura 4 são ilustrados os processos de tratamento das imagens no software livre ImageJ.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Foram obtidas imagens que mostram o campo de deformação com os vetores de deslocamento da amostra correlacionando a primeira foto com as demais. A Figura 1 apresenta os vetores da área de interesse.

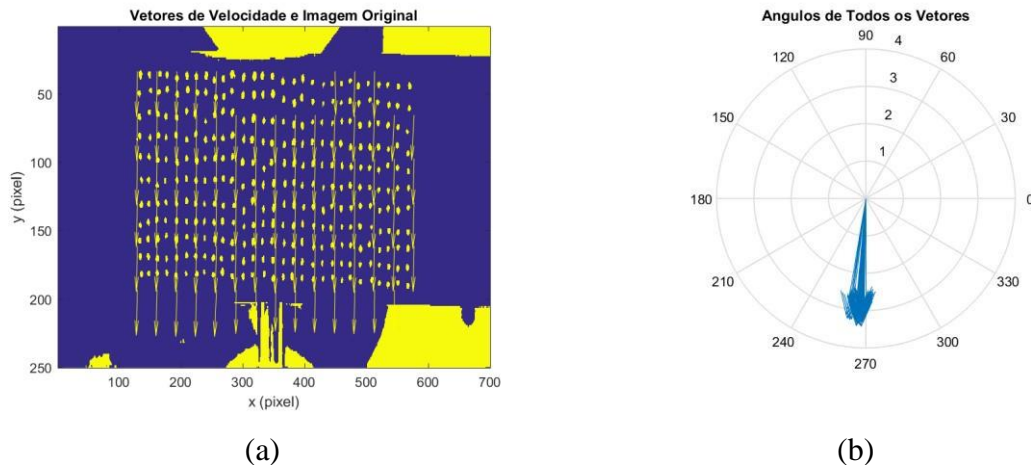


Figura 1. (a) Correlação da imagem 0 com a imagem 1, (b) Resumo do campo de deformação da imagem 0 com a imagem 1,

Quando as imagens subsequentes foram correlacionadas os vetores apresentaram valores semelhantes para os ângulos de inclinação e os vetores velocidade apontam para a mesma direção, fazendo com que seja possível calcular o deslocamento dos pontos conforme a viga vai sofrendo o deslocamento vertical.

O Gráfico 1 representa os valores médios de deslocamento de todos os corpos-de-prova em função do tempo.

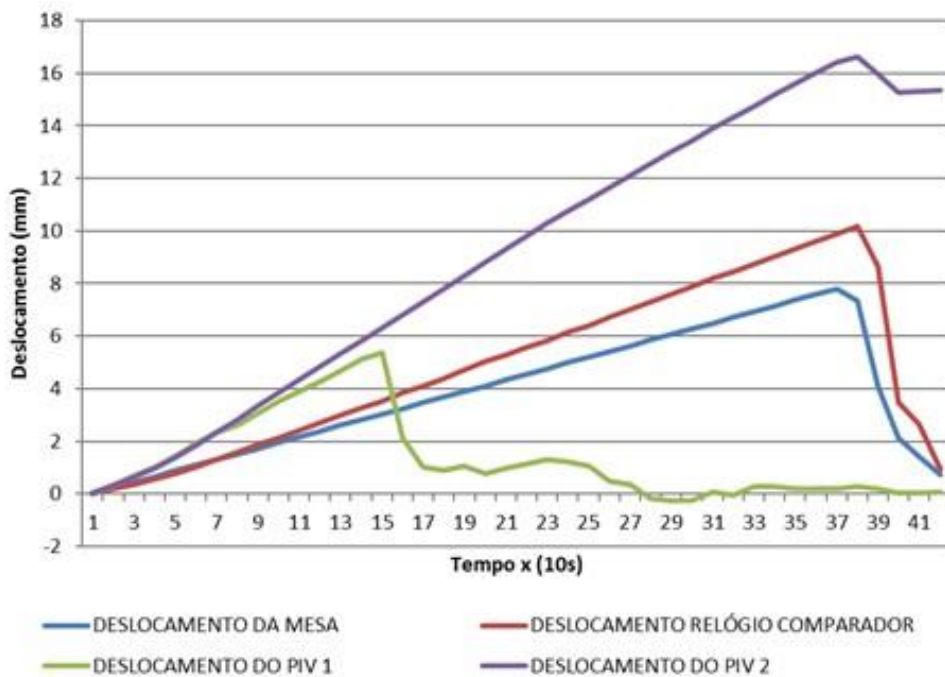


Gráfico 1. Deslocamento médio em função do tempo.

Os valores do deslocamento da mesa da Máquina Universal de ensaios e o deslocamento do relógio comparador foram coletados e comparados com os deslocamentos calculados pelo PIV. Como já dito anteriormente, o Deslocamento do PIV 1 foram obtidos a partir da comparação da imagem T0 com o restante das imagens e o Deslocamento do PIV 2 foram obtidos quando correlacionadas as imagens subsequentes.

É possível notar que as curvas do relógio comparador e a do deslocamento da mesa se assemelham à curva obtida com os dados do PIV 2 em que as imagens são correlacionadas subsequentemente. No entanto, quando comparadas à curva do PIV 1, elas seguem o padrão até certo ponto (150s), mas depois perdem a correlação. Isso se dá porque o PIV não é capaz de mensurar grandes deslocamentos entre duas imagens.

Há uma diferença entre o deslocamento medido pelo relógio comparador e pelo PIV. Essa diferença se deve ao fato de que o relógio comparador foi apoiado no atuador da máquina, e não no corpo de prova em si. Sendo assim, ele fornece os valores de deslocamento do atuador e não da viga, desconsiderando a perda de energia que ocorre durante o amassamento do corpo-de-prova nos pontos de apoio e pontos de aplicação da carga.

CONCLUSÕES: A técnica de Velocimetria por Partícula de Imagem (PIV) se mostrou efetiva para medir deslocamentos de vigas metálicas a partir de pontos demarcados suas faces. A partir das imagens correlacionadas subsequentemente, foi possível realizar as medições do deslocamento vertical, o que não ocorreu quando as imagens foram correlacionadas com a imagem inicial, demonstrando que não é possível descrever o campo de deformação comparando todas as imagens com a imagem T0. Concluiu-se ainda que a diferença entre o deslocamento medido pelo relógio comparador e pelo PIV se deve à perda de energia dissipada nos apoios e do amassamento do corpo de prova na região de atuação da carga.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo fomento que viabilizou a apresentação desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:** projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ALMEIDA, J. A. **Sistemas de velocimetria por imagem de partículas.** 1997. 206 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- MIRANDA, M. A. C. **Utilização de velocimetria por imagem de partícula na visualização e caracterização de escoamento bifásico.** 2004. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- PETERSSON, H. Use of optical and laser scanning techniques as tools for obtaining improved fe- input data for strength and shape stability analysis of wood and timber. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTATIONAL CECHANICS, 5., 2010, Paris. **Anais...** Paris: ECCM, 2010. 1 CD ROM.
- PEREIRA, R. A. **Análise de esforços de flexão estática em madeira (Pinus Taeda) pelo método de velocimetria por imagem de partículas.** 2014. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- SOARES, R. R. et al. Biospeckle PIV (Particle Image Velocimetry) for analyzing fluid flow. **Flow Measurement and Instrumentation**, Guilford, v. 30, p. 90-98, Apr. 2013.
- SOUZA, T. M. de. **Análise do mecanismo de ruptura em flexão estática em madeira por meio da técnica de velocimetria por imagem de partículas.** 2013. 85 p. Tese. (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.