

Velocimetria por Imagem de Partículas aplicada ao estudo de deformações em madeira de *Eucalyptus* sp.

Allan de Amorim dos Santos ¹; Evelize Aparecida Amaral ¹; Carine Setter ¹; Elisângela Ribeiro ²; Nayara Tamires da Silva Carvalho ¹; Paulo Ricardo Gherardi Hein ¹

¹ Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade Federal de Lavras;

² Departamento de Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Lavras.

Resumo: A madeira desempenha importante papel como material no setor da construção civil. Contudo, para melhorar o seu desempenho estrutural, o comportamento mecânico da madeira sujeita a esforços externos deve ser investigado. Assim, objetivou-se aplicar a Velocimetria por Imagem de Partículas (PIV) para analisar as deformações sofridas pela madeira durante o ensaio de compressão. Corpos de prova de *Eucalyptus* sp. com dimensões de 5 x 2,5 x 2,5 cm de comprimento, largura e espessura, respectivamente, foram utilizados. Para o ensaio de compressão foi utilizada Máquina Universal de Ensaios e a técnica PIV para avaliação da deformação sofrida pelos corpos de prova. A partir dos resultados, foi possível observar que a técnica PIV foi eficiente na avaliação das deformações sofridas pelo material. A técnica PIV mostrou grande potencial para monitorar deslocamentos e deformações em peças de madeiras sujeitas às forças externas.

Palavras-chave: Propriedade mecânica da madeira, Qualidade da madeira, Técnica PIV.

Particle Image Velocimetry applied to the wood deformation study of *Eucalyptus* sp.

Abstract: Wood plays an important role as a material in the construction sector. However, to improve its structural performance, the mechanical behavior of wood subjected to external stress should be investigated. Thus, the objective of this study was to apply Particle Image Velocimetry (PIV) to analyze the deformations suffered by the wood during the compression test. It was used specimens of *Eucalyptus* sp. with dimensions of 5 x 2.5 x 2.5 cm in length, width and thickness, respectively. For the compression test it was used Universal Testing Machine and the PIV technique to evaluate the deformation suffered by the specimens. From the results, it was possible to observe that the PIV technique was efficient in the evaluation of the deformations suffered by the material. The PIV technique showed great potential to monitor displacements and deformations in wood parts subjected to external forces.

Keywords: Mechanical properties of wood, Wood quality, PIV technique.

1. INTRODUÇÃO

As excelentes características do eucalipto, tais como o elevado crescimento volumétrico, potencial para produzir madeira com fuste retilíneo, tolerar cortes sucessivos, facilidade em programas de manejo e melhoramento, facilidade na propagação vegetativa, adaptado a várias condições ambientais e ampla aceitação no mercado econômico têm feito do eucalipto uma cultura de alta relevância no Brasil, sendo, amplamente, utilizado como matéria-prima para indústrias siderúrgicas, madeireiras e de polpa celulósica (Costa, 2016).

Atualmente devido à preocupação com as florestas nativas, o eucalipto esta sendo uma alternativa de madeira serrada. Sua madeira que era considerada de baixa qualidade passou a ser considerada uma alternativa de madeira de qualidade que pode ser aplicada em pisos, móveis e na construção civil em geral (Souza, 2013).

Para a verificação do comportamento mecânico, a madeira é submetida aos diversos tipos de esforços, normalmente os métodos mais utilizados são os convencionais, que utiliza a máquina universal de ensaios para o experimento, principalmente por seus resultados precisos, metodologia já estabelecida e normatizada. Contudo, são análises demoradas, requerem elevado número de amostras e o custo na operação é elevado (Gouvêa et al., 2011).

Para avaliação das propriedades mecânicas da madeira têm-se diversos métodos que são utilizados e aceitos pelas normas. Contudo muito desses métodos são destrutivos. Em decorrência de pesquisas, os métodos não destrutivos vêm ganhando espaço, pois permite uma melhor avaliação do corpo de prova, podendo reutilizá-los posteriormente. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial uso da técnica PIV na análise das deformações sofridas pela madeira de *Eucalyptus* sp. durante o ensaio de compressão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado utilizando madeira de *Eucalyptus* sp. nas dimensões de 2,5 x 2,5 x 5,0 cm respectivamente, norma ASTM D 143 – 94 (ASTM, 1995). Imagens foram capturadas com o corpo de prova sem carga e com cargas crescentes até a ruptura. Os equipamentos utilizados foram máquina universal de ensaios mecânicos, câmara CCD digital e lente com filtro.

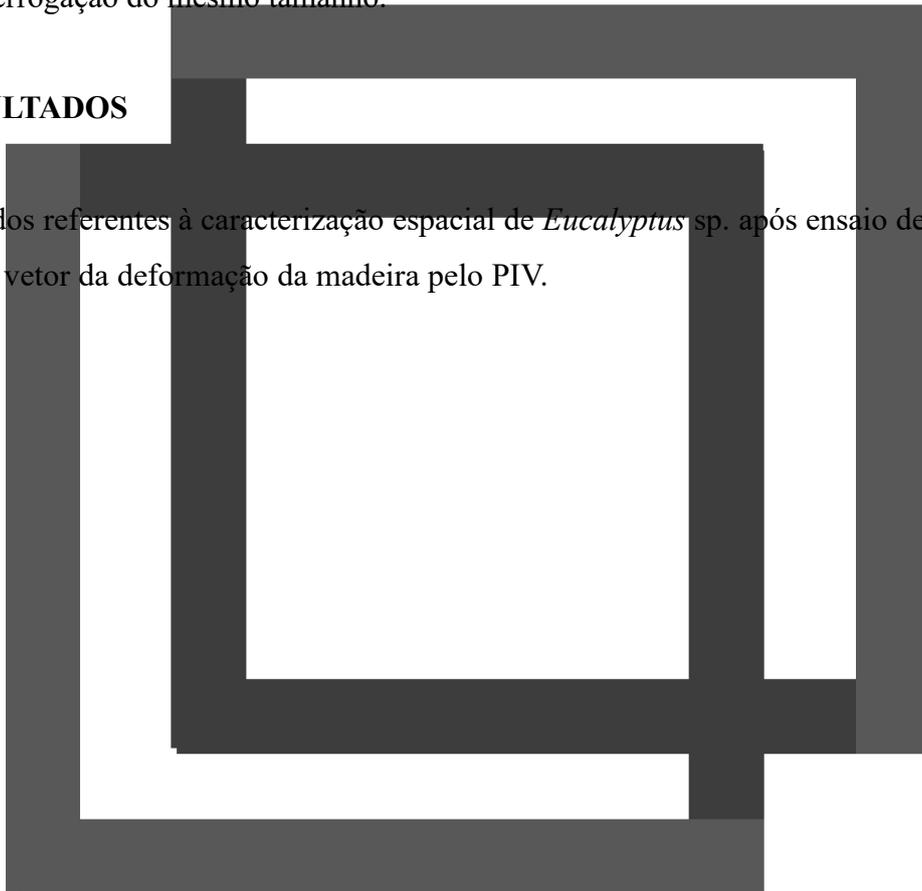
Quando o corpo de prova esteve sob compressão paralela, as imagens foram captadas em toda superfície longitudinal. Para a aplicação da técnica PIV, a primeira imagem foi capturada antes do início do carregamento ($t=0$, $d=0$) e as demais foram capturadas conforme intervalo de tempo preestabelecido. Assim, a primeira imagem ($t=0$, $d=0$) serviu como parâmetro de comparação para

as imagens seguintes.

As imagens foram capturadas durante os ensaios de compressão em um intervalo regular de tempo. O intervalo entre imagens foi de 8 segundos. Após o término do ensaio de compressão, as imagens capturadas foram devidamente trabalhadas em *software* de tratamento de imagens *ImageJ* (Schendelin et al., 2012), em que as imagens foram convertidas para o formato 8 bit e o número de *pixels* das imagens foi reduzido para 50% do valor original. Esse processo foi realizado com o intuito de diminuir o tamanho das imagens e no sentido de viabilizar o processamento dessas imagens, por meio do algoritmo PIV no *software ImageJ* (Schendelin et al., 2012). Para o processamento da técnica PIV correlação cruzada convencional, em que há comparação entre duas janelas de interrogação do mesmo tamanho.

3. RESULTADOS

Os dados referentes à caracterização espacial de *Eucalyptus* sp. após ensaio de compressão com mapa do vetor da deformação da madeira pelo PIV.



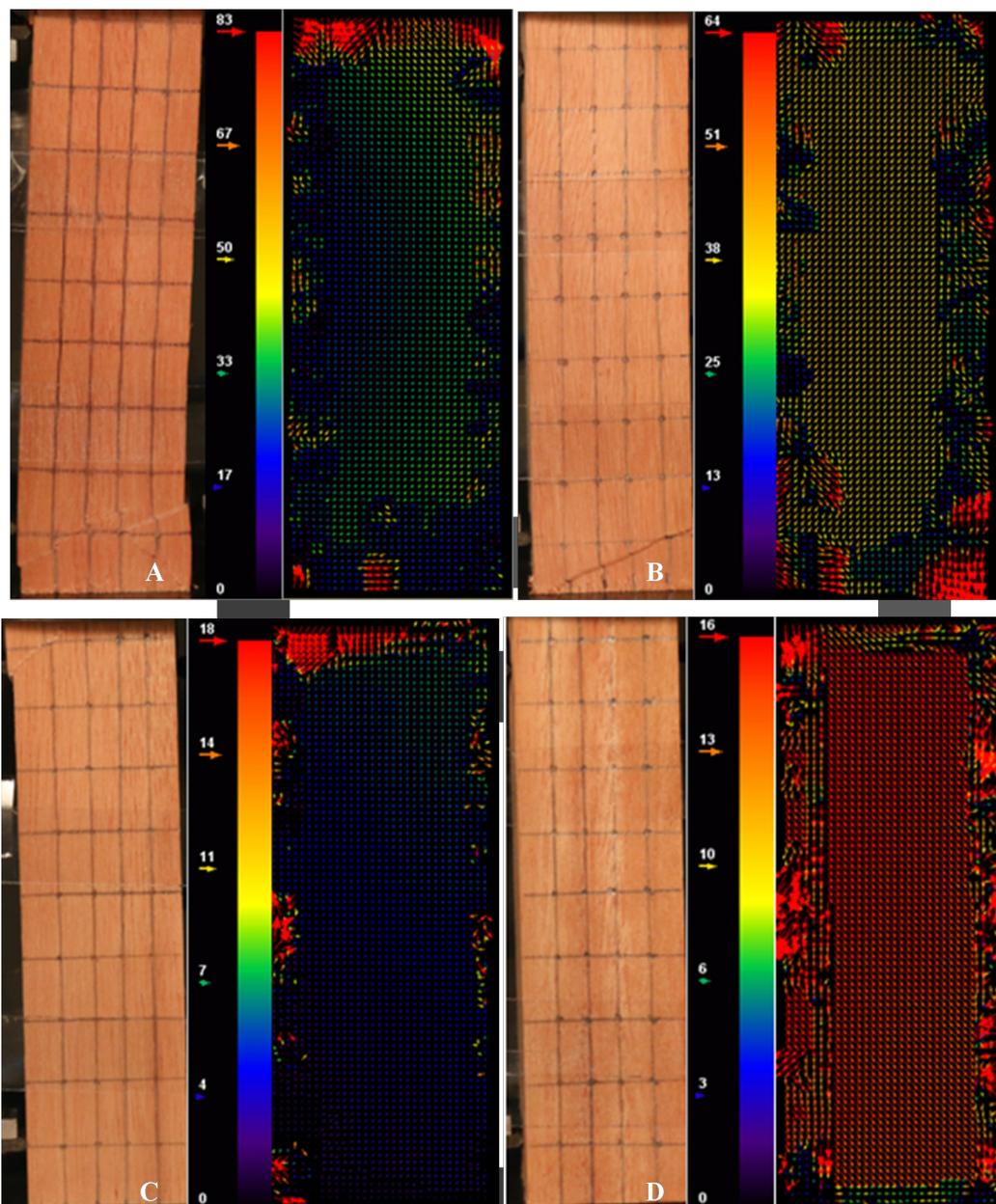


Figura 1 - Madeira de *Eucalyptus* sp. após ensaio de compressão e mapa do vetor da deformação da madeira.

4. DISCUSSÃO

Na Figura 1 A e B é possível observar que após o ensaio de compressão, a ruptura do material ocorreu na região inferior do material, com ruptura do tipo cisalhamento. No mapa de vetores é possível verificar que as maiores deformações, representada pela cor vermelha, encontra-se na região inferior do material, mesma região em que ocorreu a ruptura da madeira. Na Figura 1 C a ruptura ocorreu na parte superior do material. Já na Figura 1 D a ruptura ocorreu em todo o corpo de prova, provavelmente devido à presença de pequenas rachaduras presentes na região

central da peça.

Magalhães, Braga e Barbosa (2015) utilizaram a técnica PIV para obter o módulo de elasticidade de uma viga de aço A36 em balanço. Seus resultados demonstraram um erro de apenas 5% entre o módulo de elasticidade encontrado pela técnica PIV e o valor real do material.

A técnica PIV pode também ser utilizada para desenvolver mapas de deformação em vigas em balanço. Dessa forma, é possível avaliar a deformação de uma estrutura em cada ponto de suas dependências fazendo com que esse tipo de ferramenta se consolide como mais um método de análise não destrutiva (Braga Júnior et al., 2015).

Pereira et al. (2019) aplicaram a técnica de PIV para analisar o comportamento de corpos de prova de madeira de *Pinus* e *Eucalyptus* durante o ensaio de flexão estática. Eles concluíram que a técnica de PIV, com configuração adequadamente ajustada, apresentou resultados semelhantes aos obtidos nos testes convencionais, comprovando sua precisão e confiabilidade nas medidas de deslocamento, com a vantagem de ser uma técnica de monitoramento de estruturas não destrutivas e sem contato.

A utilização da técnica PIV para medições de deformação em peças estruturais se justifica principalmente pela sua facilidade de aplicação, precisão e por utilizar equipamentos de baixo custo e que não são descartáveis como ocorre com outras técnicas de caracterização.

5. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a técnica PIV pode ser aplicada com sucesso na caracterização das deformações mecânicas da madeira. Os vetores de deformação comprovaram fenômenos esperados em madeira sob a aplicação de forças de compressão.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem também a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal de Lavras (UFLA).

7. REFERÊNCIAS

Braga Júnior, RA. et al. Maps of deformations in a cantilever beam using particle image velocimetry (PIV) and speckle patterns. *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 68, n. 3, p. 273-278, 2015.

Costa, EVS. Validação de modelos baseados em espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa da densidade básica da madeira. 2016. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

Gouvêa, AFG ; Trugilho, PF ; Colodette, JL ; Bianchi, ML ; Soragi, LC ; Oliveira, AC. Relação entre características da madeira da polpa celulósica de *Eucalyptus* com métodos não destrutivos na árvore viva. *Scientia Forestalis, Piracicaba*, v.39, n. 90, p. 205-220, 2011.

Magalhães, RR ; Braga, RA. ; Barbosa, BHG. Young ' s Modulus evaluation using Particle Image Velocimetry and Finite Element Inverse Analysis. *Optics and Lasers in Engineering, London*, v. 70, p. 33-37, 2015.

Pereira, RA et al. Displacement measurement in sawn wood and wood panels beams using the particle image velocimetry. *CERNE, [S.l.]*, v. 25, n. 1, p. 110-118, apr. 2019.

Schindelin, J ; Aarganda-Carreras, I ; Frise, E ; Kaynig, V ; Longair, M ; Pietzsch, T ; Preibisch, S ; Rueden, C ; Saalfeld, S ; Schmid, B ; Tineyez, JY ; White, DJ ; Hartenstein, V ; Eliceiri, K ; Tomancak, P ; Cardona, A. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods*, v. 9, n. 7, p. 676:682, 2012.

Souza, TM. Análise do mecanismo de ruptura em flexão estática em madeira por meio da técnica de velocimetria por imagem de partículas / Tomé Moreira de Souza. – Lavras : UFLA, 2013. 85 p. : il. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.