

AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DAS VIBRAÇÕES MECÂNICAS NA APLICAÇÃO DA TÉCNICA *BIO SPECKLE* LASER EM PROCESSOS AGROPECUÁRIOS

JOSÉ EDUARDO SILVA GOMES¹, DANIEL BERNARDES DE CASTRO²,
ROBERTO ALVES BRAGA JR³, HENRIQUE LEANDRO SILVEIRA⁴

¹ Engenheiro Eletricista, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras (UFLA), (35) 3222-5305, jose.eduardo@varginha.com.br

² Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia de Sistemas e Automação, Universidade Federal de Lavras (UFLA), (37) 99124-9988, dbdecastro@gmail.com

³ Engenheiro Eletricista, Professor Doutor, Universidade Federal de Lavras (UFLA), (35) 3829-1122, robbraga@gmail.com

⁴ Engenheiro Agrícola, Professor Doutor, Universidade Federal de Lavras (UFLA), (35) 3829-4687, henrique.silveira@ufla.br

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: O *biospeckle* laser (BSL) é um fenômeno de interferometria óptica que foi adaptado como uma ferramenta sensível para detecção de mudanças em superfícies biológicas. Por ser uma técnica não destrutiva, não invasiva e de baixo custo, tornou-se muito relevante para estudos em diversas áreas do conhecimento, como na biologia, agronomia e biomedicina. Entretanto, esta é uma técnica muito sensível a interferências externas como vibrações e outras formas de iluminação. Estas características fazem com que as análises BSL estejam limitadas aos laboratórios ópticos e têm dificultado o seu uso de forma intensiva. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a interferência da vibração mecânica na técnica *biospeckle* laser por meio de análise modal, visando o desenvolvimento de um sistema portátil.

PALAVRAS-CHAVE: *Speckle* laser dinâmico, Material biológico, Portabilidade.

EVALUATION OF THE INTERFERENCE OF MECHANICAL VIBRATIONS IN THE APPLICATION OF THE *BIO SPECKLE* LASER TECHNIQUE IN AGRICULTURAL PROCESSES

ABSTRACT: Biospeckle laser (BSL) is an optical interferometry phenomenon that has been adapted as a sensitive tool for detecting changes in biological surfaces. Because it is a non-destructive, non-invasive and low-cost technique, it has become very relevant for studies in several areas of knowledge, such as biology, agronomy and biomedicine. However, this is a technique very sensitive to external interference such as vibrations and other forms of lighting. These characteristics make BSL analyses limited to optical laboratories and have made their use difficult. Thus, the objective of this work is to evaluate the interference of mechanical vibration in the biospeckle laser technique through modal analysis, aiming at the development of a portable system.

KEYWORDS: Dynamic speckle laser, Biological material, Portability.

INTRODUÇÃO: A análise *speckle* laser dinâmico é uma técnica que vem sendo utilizada como ferramenta para quantificar e monitorar atividades biológicas ou mesmo não biológicas. Diversos trabalhos com resultados significativos já foram publicados envolvendo análises de sementes, frutos, fluxo de sangue, desenvolvimento de plantas, atividades de parasitas, motilidade de sêmen bovino, etc (BRAGA JR, 2001). Entretanto, conforme descrito por Chaves (2011) e Zdunek (2008), esta é uma técnica muito sensível a interferências externas

como vibrações e outras formas de iluminação, o que demanda a utilização de mesas inerciais e câmaras de isolamento luminoso. Por esta razão o seu uso encontra-se muito limitado aos *setups* laboratoriais dos centros de pesquisa, o que de algum modo dificulta o avanço da técnica no âmbito comercial. Contudo, em busca na literatura científica, não foram encontrados trabalhos realizados com o propósito de avaliar os efeitos das vibrações mecânicas nas análises BSL.

Neste contexto, uma das formas mais utilizadas para quantificar os níveis de vibração é por intermédio da análise modal, que, segundo Avitable (2018), é o processo através do qual descrevemos a estrutura em termos de suas propriedades dinâmicas que são: frequência natural, amortecimento e modo de vibrar. Sendo assim, por meio de análise modal experimental (AME), neste trabalho deseja-se avaliar um dos principais fatores que comprometem a confiabilidade e dificultam a portabilidade da técnica BSL que é a interferência da vibração mecânica.

MATERIAL E MÉTODOS: Os equipamentos necessários para a realização das análises BSL são, basicamente, um laser, uma câmera, filtros ópticos e um computador com *softwares* específicos. Assim sendo, para o desenvolvimento deste trabalho foi construída uma configuração experimental utilizando equipamentos compactos, que são os seguintes: câmera microscópica digital Dino-Lite AM3013; laser Coherent SNF 635nm; filtro de densidade neutra e componentes de fixação. Os equipamentos foram montados em uma base de madeira e esta, por sua vez, foi acondicionada dentro de um gabinete também de madeira (Figura 1). Para as análises FRF (*Frequency Response Function*) foram utilizados os seguintes equipamentos: analisador de sinais dinâmicos Stanford Research Systems (SRS), modelo SR785; excitador eletromecânico portátil (*shaker*) The Modal Shop, modelo K2007E01; 5 acelerômetros PCB Piezotronics, modelo 352C33 e célula de carga Omega, modelo LCM201-200N. O *setup* foi montado conforme mostrado na Figura 2.

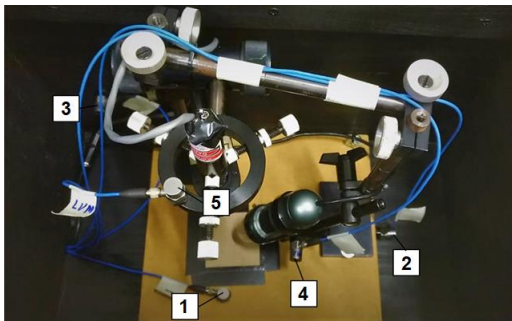


FIGURA 1. Equipamentos montados no gabinete com os acelerômetros.



FIGURA 2. Configuração experimental para análise FRF.

A fim de proceder a análise da vibração, foram instalados 5 acelerômetros no interior do gabinete. Um acelerômetro em cada eixo coordenado (x, y e z), um no suporte do laser e o último no suporte da câmera (Figura 1). Isso posto, o primeiro passo foi identificar as frequências naturais (ou frequências de ressonância) da estrutura por meio da análise FRF. Sendo assim, para cada acelerômetro foram realizadas varreduras em frequências (*chirp*) de 0 a 1.000Hz, geradas pelo analisado SR785. Destaca-se que, quando a frequência de excitação do *shaker* coincide com uma frequência natural da estrutura a resposta na FRF apresenta uma amplificação na sua amplitude. Diante disso, utilizando-se o *software* MS Excel foram gerados gráficos a partir dos arquivos armazenados e as frequências naturais foram elencadas observando-se os picos no espectro das FRFs.

Na etapa seguinte o gabinete do protótipo foi disposto sobre uma mesa de trabalho visando simular a condição real de uso. Por intermédio do analisador SR785 foram gerados sinais senoidais em cada frequência natural e também em outras frequências e então, utilizando-se o

shaker, excitado a mesa. Concomitantemente, procedeu-se uma avaliação *speckle* laser dinâmico para cada uma das frequências de excitação, com o intuito de verificar o quanto a vibração produzida interferiu na técnica.

A análise *speckle* laser dinâmico foi realizada utilizando o método numérico AVD, com a taxa de captura na câmera em 15fps (*frames per second*) e com o laser iluminando uma superfície inerte. Salienta-se aqui que, como a taxa de captura da câmera foi fixada em 15fps, a excitação do protótipo será aplicada com uma maior discretização nas baixas frequências e menor nas mais altas. Dessa forma, na faixa de 0 a 30Hz foi de 1 em 1Hz; de 30 a 100Hz de 5 em 5Hz; de 100 a 300Hz de 10 em 10Hz; e a partir de 300Hz, discretização de 20 em 20Hz. Além das frequências de ressonância obtidos pelas FRFs.

Inicialmente, foi realizada a análise AVD da superfície inerte com o protótipo em repouso e o valor obtido foi adotado como “padrão ouro”. Esse valor foi utilizado como referência para um estudo comparativo em relação aos valores alcançados nos ensaios com excitação via *shaker* e, por conseguinte, aqueles que divergiram significativamente desse padrão indicaram que a vibração produzida interferiu no resultado da análise *speckle* laser dinâmico. Por fim, foi gerado um gráfico para representar a variação do valor medido do índice AVD em função da frequência de excitação da vibração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 3 a seguir é apresentado um gráfico que mostra as análises FRFs dos 5 acelerômetros instalados no gabinete.

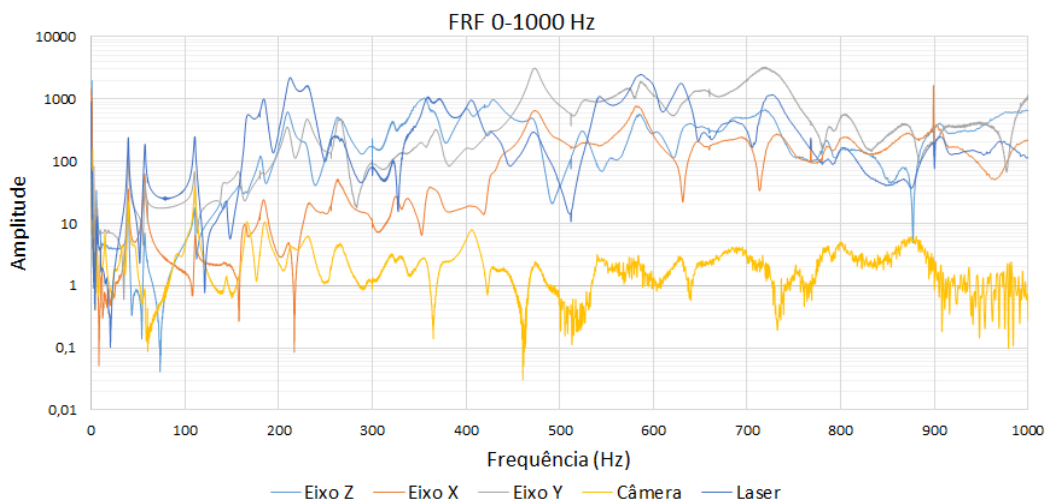


FIGURA 3. FRFs dos 5 acelerômetros.

Nota-se que os picos nas formas de onda indicam as frequências naturais (ou de ressonância) da estrutura. Desta forma, por intermédio dos gráficos, pode-se observar que alguns picos ocorrem nitidamente na mesma frequência nos 5 acelerômetros. Entretanto, em alguns casos os picos não são muito acentuados e/ou aparecem em apenas 1 ou 2. Sendo assim, o critério utilizado para a definição das frequências de ressonância foram as situações em que os picos puderam ser identificados claramente em, pelo menos, 3 acelerômetros. Assim sendo, a Tabela 1 relaciona as frequências naturais que foram extraídas do gráfico.

TABELA 1. Frequências naturais do protótipo.

Frequência (Hz)	Frequência (Hz)	Frequência (Hz)	Frequência (Hz)
5,4	184,5	430,1	728,0
6,3	211,2	475,7	802,0
39,7	263,1	526,5	866,6
57,2	323,3	584,0	899,0
111,0	407,2	632,8	

Por fim, foram realizadas análises *speckle* laser dinâmico com o método AVD durante a excitação do gabinete nas frequências naturais e várias outras, conforme definido anteriormente. A Figura 4 apresenta graficamente os resultados obtidos.

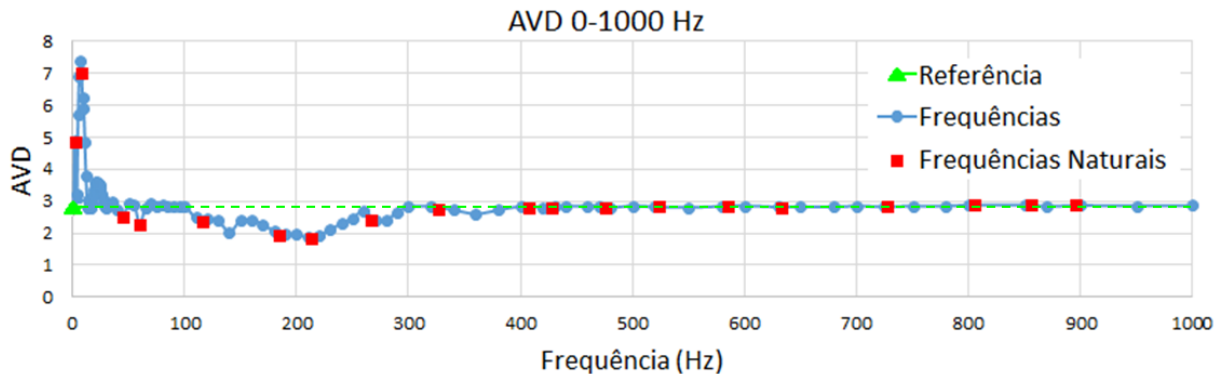


FIGURA 4. Índices AVD em função da frequência de excitação.

Com o gabinete em repouso o valor mensurado para o AVD foi de 2,776. Este valor foi adotado como o “padrão ouro” para comparação com os valores de AVD obtidos com excitação. Conforme conjecturado, visto que a frequência de captura da câmera foi de 15fps (15Hz), o AVD foi mais sensível para frequências ao redor deste valor. Neste caso, em determinadas frequências os valores de AVD tenderam a ser maiores que o valor padrão. Em contrapartida, para frequências maiores o AVD se mostrou estável, com uma pequena queda dos valores nas frequências de ressonância.

CONCLUSÕES: Objetivando-se a construção de um equipamento portátil e dedicado à análise BSL, os resultados obtidos com esse estudo comprovaram que as vibrações mecânicas podem comprometer a eficiência e a robustez dessas análises. A interferência das vibrações foi observada tanto para frequências próximas a da taxa de aquisição de imagens da câmera como para frequências mais altas. Estes resultados ratificam a preocupação existente entre os pesquisadores que trabalham com o fenômeno do *speckle* laser no que tange às vibrações, embora não houvesse um estudo sistematizado acerca do problema. Portanto, além de comprovar e quantificar os efeitos das vibrações mecânicas, acredita-se que este trabalho possa servir de embasamento para o projeto de um sistema de amortecimento que atenua o impacto das vibrações nas análises *biospeckle* laser.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pela infraestrutura e apoio às atividades de pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS:

- AVITABILE, P. Modal Testing: A Practitioner’s Guide. Wiley, New York, 2018.
- BRAGA JR, R. A.; SOUZA, A.; VIEIRA, M. G. G. C.; PINHO, E. V. R. V.; FABBRO, I. M. D. Potencial do biospeckle laser para avaliação da viabilidade de sementes. *Ciência e Agrotecnologia*, 25(3):646–649, 2001.
- CHAVES, M. J. Desenvolvimento de uma metodologia para análise do biospeckle laser com portabilidade, acessibilidade e robustez. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- ZDUNEK, A.; FRANKEVYCH, L.; KONSTANKIEWICZ, K.; RANACHOWSKI, Z. Comparison of puncture test, acoustic emission and spatial-temporal speckle correlation technique as methods for apple quality evaluation. *Acta Agrophys*, 11(1):303–315, 2008.