

PROPOSTA DE DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES DE MÃO-BRAÇO UTILIZANDO SISTEMAS DE BAIXO CUSTO

GABRIEL FONSECA PINHEIRO¹, GEICE PAULA VILLIBOR², LUIZ FELIPE SOARES RITTI³, JOSEPH KALIL KHOURY JUNIOR⁴, LUCIANO JOSÉ MINETTE⁵

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (38) 9847-6354, gabriel.f.pinheiro@ufv.br

² Engenheira Agrícola e Ambiental, Profa. Adjunta do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3612 6523, geice.villibor@ufv.br

³ Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3612 6501, luz.f.ritti@ufv.br

⁴ Engenheiro Agrícola, Prof. Associado do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3612 6501, kalil@ufv.br

⁵ Engenheiro Florestal, Prof. Titular do Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3612 4201, minette@ufv.br

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
Congresso Online

RESUMO: Vibrações de mão-braço (VMB) são aquelas transmitidas ao trabalhador pelo contato das mãos e braços com máquinas e equipamentos. A incidência excessiva de vibrações mecânicas pode acarretar sérios danos à saúde. Computadores de placa única e sensores de baixo custo são alternativas aos sistemas comerciais de medição. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho definir os principais requisitos para a medição das VMB de forma confiável, bem como definir o leiaute completo do dispositivo utilizando componentes de baixo custo. A partir de requisitos de projetos, definiu-se os principais componentes do sistema, bem como o leiaute do aparato de transmissão das vibrações entre os equipamentos e o operador, com base em perfis antropométricos. Foi possível definir um sistema simples, de baixo custo e que pode ser utilizado tanto em condições laboratoriais e em medições em campo. Além disso, o uso de técnicas de impressão 3D permitiu definir um aparato para o sensor simples, leve e que contemple os requisitos de projeto.

PALAVRAS CHAVE: Vibrações mecânicas; Ergonomia; Computador de placa única.

PROPOSAL OF DEVICE FOR MEASURING HAND-ARM VIBRATIONS USING LOW-COST SYSTEMS

ABSTRACT: Hand-arm vibrations (HAV) are those transmitted to the worker by hands and arms contact with machines and equipment. The excessive incidence of mechanical vibrations can cause serious health damage. Single-board computers and low-cost sensors are alternatives to commercial measurement systems. Thus, the objective of this study was to define the main requirements for the measurement of HAV in a reliable way, as well as to define the complete device layout using low cost components. Based on project requirements, the main system components were defined, as well as the layout of the vibration transmission apparatus between the equipment and the operator, based on anthropometric profiles. It was possible to define a simple, low-cost system that can be used both in laboratory conditions and in field measurements. In addition, the use of 3D printing techniques allowed to define an apparatus for the sensor simple, lightweight and that reaches the design requirements.

KEYWORDS: Mechanical Vibrations, Ergonomic; single board computer.

INTRODUÇÃO: A incidência excessiva de vibrações mecânicas nos trabalhadores pode acarretar sérios danos à saúde, além de reduzir a produtividade devido ao desconforto durante a jornada de trabalho. Tais vibrações são provenientes basicamente de máquinas e ferramentas portáteis movidas a motor, ou apenas devido aos postos de trabalho (SIMÕES, 2014). Vibrações de mão-braço (VMB) são aquelas transmitidas ao trabalhador pelo contato das mãos e braços com máquinas. O tempo de exposição a elas sem prejuízo a saúde varia conforme seus valores de frequência, sendo necessária a medição regular dessas vibrações (HSE, 2012). As principais doenças devido a incidência de VMB são o fenômeno Raynaud (dedo branco induzido por vibração), neuropatia digital e síndrome do túnel do carpo (PALMER & BOVENZI, 2015). A medição das VMB nas diferentes atividades é de suma importância, no entanto os dispositivos de medição comerciais apresentam alto custo, dificultando sua popularização em propriedades agrícolas. Computadores de placa única e sensores de baixo custo são alternativas aos sistemas comerciais. Para isso, vem sendo desenvolvido um dispositivo de baixo custo para medição de VMB utilizando um computador de placa única e uma unidade de medição inercial. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho definir os principais requisitos para a medição das acelerações de forma confiável, bem como definir o leiaute completo do dispositivo.

MATERIAL E MÉTODOS: Inicialmente caracterizou-se as vibrações incidentes em mão e braço quando utilizadas os principais equipamentos e máquinas agrícolas, caracterizando faixas de frequência e tempo de exposição. Posteriormente, foi definida uma lista de requisitos de projeto e os mesmos foram classificados em desejáveis e indispensáveis. A partir da lista de requisitos, foram levantados os objetivos de projeto a seleção da melhor solução para compor o dispositivo de medições de VMB. Foram definidos também os parâmetros para caracterizar as vibrações incidentes com base na norma ISO 2631. Selecionada a melhor configuração para o sistema foi definido o algoritmo e os códigos e de programação; e a interface gráfica do sistema com o usuário. O suporte do sensor foi projetado de forma que não prejudicasse o manuseio da máquina emissora de vibrações, visto que é posicionado nas mãos do operador próximo ao dedo médio, e foi dimensionado a partir dos percentis 95% de perfis antropométricos de mãos (MIRMOHAMMADI, 2016; CHANDRA, 2011; SANTOS, 2016). Segundo a norma ISO 5349, o dispositivo de aferição das VMB deve ser pequeno e leve o suficiente para que seja posicionado entre as mãos do operador e a máquina emissora das vibrações. A estrutura do dispositivo e o suporte do sensor foram desenhados no software Solidworks® para posterior manufatura em poliácido láctico (PLA) utilizando a impressora 3D, marca Sethi 3D, modelo S3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O intervalo de vibrações de maior interesse foi definido entre 3 Hz e 125 Hz e o tempo máximo de exposição utilizado como referência foram os definidos pela norma ISO 5349, definidos em função do valor da aceleração incidente (HSE, 2012). Os parâmetros desejáveis a serem mensurados pelo sistema são as acelerações nos três eixos, o tempo de alerta de exposição às vibrações e tempo máximo de exposição. Na Tabela 1 estão apresentados os requisitos de projetos indispensáveis para o dispositivo proposto. Nota-se que foram definidos como requisitos indispensáveis o uso de computadores de placa única, sendo selecionada a Beaglebone Green Wireless (BBGW) e transdutores micro-elétrico-mecânicos (MEMS) com giroscópio, modelo MPU 9250, devido ao custo reduzido e disponibilidade.

TABELA 1. Lista dos principais requisitos indispensáveis do projeto para o dispositivo proposto para medição de vibrações de mão-braço (VMB)

<p>Princípios de funcionamento: Portátil; Resistente a vibrações; Confiável; Uso em condições de campo.</p> <p>Geometria e Forças: Extensão do fio: >1,7m; compacto.</p> <p>Energia: >2V e 20000 mAh; Móvel; Recarregável.</p> <p>Material: Computador de placa única, Acelerômetros Micro-eleto-mecânicos, giroscópio.</p> <p>Manutenção: Transdutores, Case e suporte do sensor substituíveis; fácil montagem.</p>	<p>Sinais: Vibrações mão-braço (ISO 2661); Comandos do operador; taxa de amostragem de 1000 Hz.</p> <p>Operação: Simplificada; Interface simples.</p> <p>Ergonomia: Suporte do acelerômetro confortável e firme; Leve.</p> <p>Produção: Componentes disponíveis no mercado.</p> <p>Custos: Baixo custo < R\$ 4.000,00.</p>
---	--

A partir da lista de requisitos, foram idealizadas diferentes soluções para o dispositivo, apresentadas as duas principais na Tabela 2. A Solução 1 foi selecionada por apresentar a maior nota, após a definição de uma matriz de avaliação utilizando pesos ponderados para cada objetivo de projeto, tais como: ser ergonômico, ter boa autonomia, ter boa robustez, fácil limpeza, fácil substituição de componentes, medir com precisão; fácil operação e baixo custo.

TABELA 2. Principais soluções desenvolvidas para atender funções primárias do dispositivo para medições de vibração de mão-braço (VMB).

Funções primárias	Solução 1	Solução 2
Coletar vibrações	IMU MPU 9250	Acelerômetro ADXL 345
Ter energia	Bateria LiPo 20000 mAh	Bateria LG 2200 mAh
Visualizar medições	Display Capacitivo	Display simples
Permitir operação		Botões
Posicionar sensor nas mãos	Suporte em T	Suporte em anel
Proteger componentes	Projetar Case para proteção	Case de proteção comercial

As principais dimensões das mãos utilizadas para projetar o suporte do sensor e aparato para transmitir as vibrações das máquinas e equipamentos para as mãos do operador estão sumarizadas na Figura 1. Na Figura 2 estão apresentados o aparato e a case de proteção propostos para o sistema de medição das vibrações.



		Percentis		
		5%	50%	95%
1	Comprimento da mão	190 mm	200 mm	210 mm
2	Largura do dedo indicador	17,34 mm	20,04 mm	22,68 mm
3	Largura do dedo médio	17,26 mm	20,00 mm	22,30 mm

FIGURA 1. Esquema de mão de operário e perfil antropométrico de dimensões para projeto do suporte (MIRMOHAMMADI, 2016; CHANDRA, 201; SANTOS, 2016).

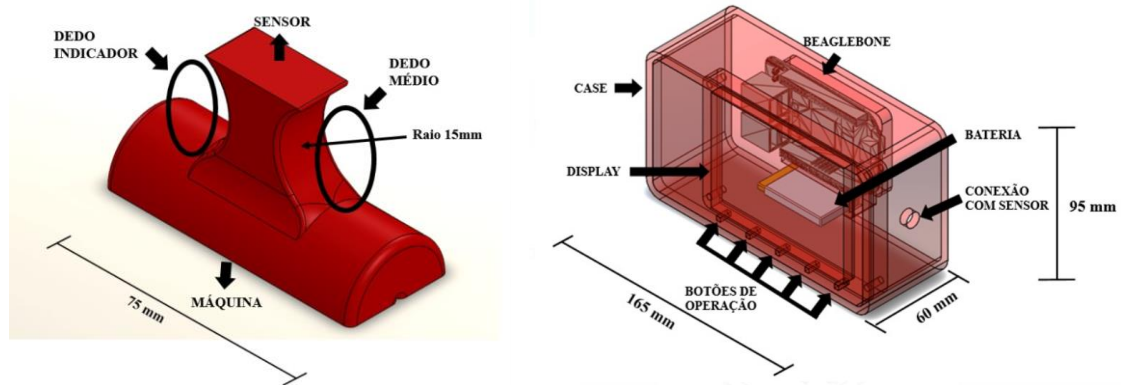


FIGURA 2. Aparato para medição das vibrações de mão-braço e case proteção propostos ambos a serem impressos em PLA.

O posicionamento do suporte é entre os dedos indicador e médio, com uma base que se estende sob os dois dedos e um topo plano, acima da mão para a fixação do sensor. A parte inferior fica em contato com o equipamento que transmitirá as vibrações. O uso de técnicas de impressão 3D permitiu definir um aparato para o sensor simples, leve e que contemple os requisitos de projeto. Por meio do display, o usuário configura todo o sistema para coleta de dados. As acelerações são apresentadas no display e posteriormente podem ser transferidos para um computador para uma análise mais detalhada.

CONCLUSÕES: O dispositivo proposto para medição de vibrações de mão-braço é considerado simples, acessível e com componentes de fácil uso e manutenção podendo ser utilizado em aplicações laboratoriais e de campo nas diversas atividades agrícolas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS:

- CHANDRA, A. **Analysis of Hand Anthropometric Dimensions of Male Industrial Workers of Haryana State.** International Journal of Engineering, v5, n.3, 2011.
- HSE. **Hand-arm vibration at work.** Health and Safety Executive, 2012. Disponível em: <<https://www.hse.gov.uk/pubns/indg175.pdf>>. Acesso em: abr. 2020.
- ISO 2631. **Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements.** International Organization For Standardization, 1997.
- ISO 5349. **Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.** International Organization For Standardization, 2001.
- MIRMOHAMMADI, S. J. **Anthropometric hand dimensions in a population of Iranian male workers in 2012.** International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2016. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/286964087>>. Acesso em: fev. 2020.
- PALMER, K.T.; BOVENZI, M. **Rheumatic effects of vibration at work.** Best Practice & Research Clinical Rheumatology, v.30, p.1-16, 2015.
- SANTOS, V. C. **Tractor operator anthropometric profile of the Brazilian Northeast State.** African journal of agricultural research, v11, 2016. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/314020387>>. Acesso em: fev. 2020.
- SIMÕES, S. C. **Ruído e Vibrações no Corpo Humano. Avaliação de Ruído e Vibrações – LAUAK PORTUGUESA – Indústria Aeronáutica, LDA.** Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal. Setúbal, 2014.