



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM VEÍCULOS

**Gabriel K. Lunkes**

Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica Universidade Federal de Santa Maria  
herr.lunkes@gmail.com

**Carlos E. de Souza Dr. Eng.**

Professor do curso de Engenharia Mecânica Universidade Federal de Santa Maria  
carlos.souza@ufsm.br

**Resumo.** Este trabalho apresenta uma proposta de dispositivo prático e de baixo custo para medição das vibrações mecânicas e seus efeitos no corpo humano em veículos. De acordo com as normas internacionais, o foco são vibrações de baixa frequência (0,5-80 Hz) pois estas são capazes de causar sérios danos à saúde dos ocupantes. É apresentado a caracterização dos equipamentos e a comprovação por meio de experimento prático.

**Palavras-chave:** Vibrações mecânicas, Arduino, Matlab.

### 1. INTRODUÇÃO

Vibrações mecânicas transmitidas por veículos tem grande influência no conforto, performance e na saúde de seus ocupantes. Seja pela resposta subjetiva do conforto ou no desenvolvimento de patologias, conseguir mensurar estas vibrações no corpo humano é de fundamental importância no desenvolvimento de projetos de engenharia.

Soluções com o uso de equipamentos profissionais geram um considerável aumento no orçamento. Este elevado custo motivou o desenvolvimento deste trabalho. Objetivou-se propor um equipamento de baixo custo para avaliar o conforto veicular através da medição da aceleração linear incidente nos ocupantes e prever eventuais riscos para determinado tempo de exposição.

### 2. VIBRAÇÃO NO CORPO HUMANO

Como requisito para o desenvolvimento deste projeto, contemplamos os dois principais tipos de vibrações a que são expostos os ocupantes de veículos: vibração de corpo inteiro e vibração mão-braço.

A vibração de corpo inteiro incide diretamente a totalidade o corpo. Geralmente aplicado à superfície de contato (pés, nádegas, costas, etc). No caso da vibração mão-braço, é comumente experimentada por operadores de máquinas manuais, máquinas agrícolas e industriais.

#### 2.1 Riscos das vibrações ao corpo humano

Dependendo da intensidade da vibração, de sua frequência e do tempo de exposição, podem ocorrer sérios riscos à saúde afetando principalmente o sistema nervoso e circulatório. Fadiga, insônia, dor de cabeça, tremores, síndromes articulares, etc, são sintomas experimentados pela maioria dos indivíduos expostos às condições inadequadas de vibração.

Os potenciais problemas ficam evidentes ao analisarmos as frequências naturais de algumas partes do corpo humano como mostrado na Tabela 1.

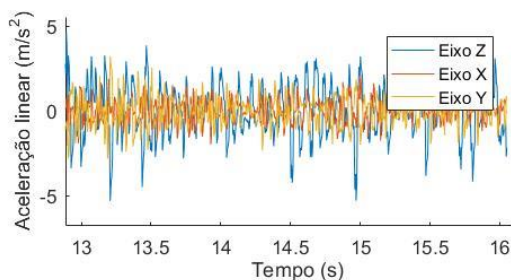
Tabela 1. Frequências naturais do corpo humano

Órgão	Frequência de ressonância
Cabeça	4-5 Hz
Maxilar	6-8 Hz
Olhos	60-90 Hz
Peitoral	5-9 Hz
Membros superiores	3 Hz
Estômago e intestino	4,5-10 Hz
Bexiga	10-18 Hz
Pélvis	5-9 Hz
Músculos	13-20 Hz
Fígado	3-4 Hz

## 2.2 Critérios de exposição humana

Para definir os limites de exposição às vibrações, algumas normas foram estabelecidas. A exemplo, ISO 2631 e a BS 6841. A ISO 2631 sugere medidas de vibração nos três eixos de translação no assento, mas apenas o eixo com a maior intensidade é usado para estimar a gravidade da vibração. Neste trabalho atentou-se a esta norma para avaliação da vibração de corpo inteiro de um condutor sentado. Para esta situação foi observado a predominância da vibração no eixo vertical conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1. Vibração mão-braço em via de paralelepípedo a 35 Km/h



## 3. REQUISITOS DO PROJETO E SOLUÇÕES PROPOSTAS

Para atender as condições apresentadas, propomos um equipamento barato e que consiga medir as acelerações lineares impostas aos ocupantes na faixa de frequência pertinente e de maneira prática em qualquer veículo.

## 3.1 Hardware

**Arduino.** Microcontrolador de código aberto, popular entre estudantes e profissionais por seu baixo custo. Escolhemos trabalhar com o modelo de referência Arduino Uno pela facilidade de compra e tamanho reduzido. Baseia-se no microcontrolador ATmega328 e pode ser alimentado pela porta USB ou uma fonte de alimentação externa.

**Acelerômetro.** Escolhemos um acelerômetro MEMS (Micro Electro Mechanical System) com o módulo MPU9250 de três eixos. Este utiliza a interface I2C para se comunicar com o microcontrolador, tem baixo consumo de energia e atende ao espectro de frequências alvo.

**Demais componentes e montagem final.** Prezando pela praticidade, utilizamos um visor de cristal líquido com 16 colunas, 2 linhas. Na tela é apresentada informações pertinentes como os eixos que estão sendo medidos, a temperatura do sensor e a frequência de amostragem. Conectados os componentes, acondicionamos o equipamento em uma caixa de plástico. Nela criamos uma divisória para proteger o Arduino e um espaço para armazenar o cabo com o acelerômetro. Somado a este conjunto adequamos uma peça de borracha com uma fita de velcro para prender o sensor a mão do condutor ou onde se desejar efetuar a medição.

Figura 2. Montagem final



### 3.2 Software

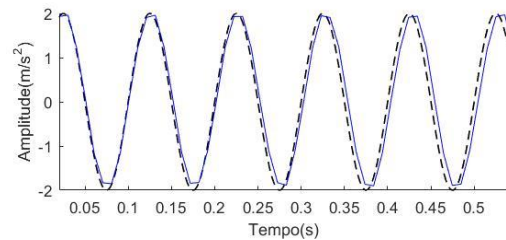
**Arduino.** Baseando-se na linguagem C/C++, definimos as funções “setup” onde checamos a integridade do hardware confirmando com um “ok” no visor. A função “loop” é essencialmente um loop infinito que é chamado repetidamente até o dispositivo ser desligado. Nela redigimos o código para a comunicação do Arduino com o acelerômetro e deste com a interface do programa no computador.

**Matlab.** É um ambiente de computação numérica construído em torno de uma linguagem de script, perfeito para testes rápidos e análise de dados. Primeiro, inicializamos a comunicação serial entre Matlab e o Arduino. Assim redigimos um programa para plotar os dados adquiridos pelo acelerômetro em tempo real. E a partir de um determinado número de dados, é possível gerar o gráfico com a Transformada Rápida de Fourier (FFT). Fundamental para avaliação do sinal no domínio da frequência. Outras análises pertinentes foram feitas com a manipulação do sinal através de filtros digitais.

### 4. CARACTERIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MÓDULO MPU 9250

Para caracterizar o acelerômetro, realizamos um experimento onde excitamos o sensor com uma frequência padrão conhecida e armazenamos os dados obtidos. Estas informações foram transferidas para o computador, onde, com auxílio do Matlab, as manipulamos para obter as análises pertinentes. Os dados brutos recebidos foram primeiramente plotados no domínio do tempo. Nesta etapa verificamos a correlação entre o sinal padrão (onda senoidal) e a resposta produzida pelo sensor.

Figura 3. Sinal padrão e sinal adquirido (10 Hz)



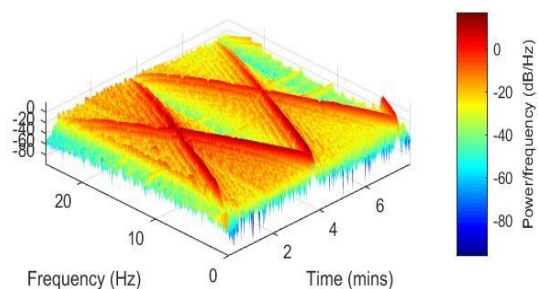
Assim, usando a Transformada de Fourier (FFT), os dados foram transformados para o domínio de frequência onde podemos comprovar que os picos do gráfico corresponderam a frequência na qual excitamos o sensor. Para diferentes frequências obtivemos o erro percentual apresentado na tabela abaixo

Tabela 2. Erro percentual entre O sinal de referência e o MPU 9250

Frequência (Hz)	Erro (%)
5	0,80
10	0,74
20	0,73
50	0,68
100	0,72

**Filtros Digitais.** Para melhorar o sinal e ampliar as possibilidades de análise, tratamos o sinal com auxílio de um filtro digital do tipo FIR (Filtro de Resposta Finita ao Impulso) utilizando o método das janelas de Kaiser. Este método de janelamento permite dividir o sinal em trechos de tamanho variável. Assim, mede-se a ‘importância’ destes valores do sinal para então definir o filtro adequado a análise no domínio da frequência. A Figura 4 representa um exemplo de resposta do acelerômetro ao espectro de frequências (0-225Hz) aplicando o método de Kaiser a determinada taxa de amostragem.

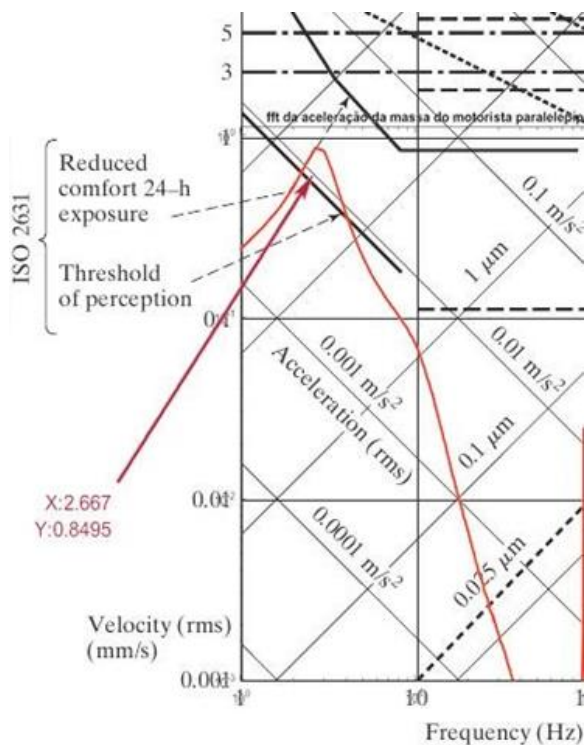
Figura 4. Espectrograma 0-225Hz em 120s



## 5. RESULTADO EXPERIMENTAL E CONCLUSOES

De posse do sinal medido no veículo (Figura 1) com o sistema proposto, em resposta ao sinal da pavimentação de paralelepípedos na velocidade de 35Km/h, gerou-se a FFT em escala logarítmica. Este recurso é adequado para a sobreposição da curva em um nomograma de vibrações. Neste diagrama é apresentado curvas que indicam os limites do tempo de exposição a vibrações mecânicas adequados à norma ISO 2631.

Figura 5. Nomograma de vibrações



Podemos aferir com a Figura 5 que a aceleração sentida pelo condutor durante a situação simulada é perceptível embora a exposição contínua não gere danos à saúde.

Com o uso do microcontrolador Arduino associado ao programa redigido em Matlab, obtivemos uma ferramenta eficaz e prática para estudos de vibração mecânica de corpo inteiro e mão-braço. O investimento dos principais componentes de hardware é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Custo do projeto

Componente	Custo (R\$)
Arduino uno	20
Acelerômetro MPU 9250	35
Visor lcd	11
<b>Valor total</b>	<b>66</b>

Ainda que com qualidade abaixo de equipamentos industriais de medição e com apenas um acelerômetro, o custo para o sistema de medição proposto é um fator relevante. A gama de aplicação deste dispositivo pode ser ampliada de acordo com a programação dos softwares utilizados. Tornando assim o estudo dos efeitos das vibrações mecânicas mais acessíveis, uma vez que são tão importantes para a saúde e bem-estar do ser humano.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Bruel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S. (2009).
- [2] Vilay K. Madiseti, The Digital Signal Processing Handbook, CRC Press, 2010.
- [3] Lyons, R. G., Understanding Digital Signal Processing, Pearson Education, 2011.
- [4] International Organization for Standardization ISO 2631-1. Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole – Body Vibration. Part 1: General Requirements. Geneva, 1997
- [5] British Standards Institution BS 6841. Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole – Body Mechanical Vibration. London, 1987.
- [6] Griffin, M. J. Handbook of Human Vibration, Academic Press, London, (1990).