



# Sistema embarcado para aquisição e processamento de sinais de vibração mecânica

## Embedded system for the acquisition and processing of mechanical vibration signals

Francisco Sergio Dias Martins Junior<sup>1</sup>, Luís Fernando Caparroz Duarte<sup>2</sup>

### RESUMO

Durante a operação, máquinas rotativas geram uma ampla gama de vibrações, algumas das quais podem se desviar de padrões regulares e se mostrar prejudiciais aos seus componentes mecânicos. Tais irregularidades podem acarretar consequências substanciais, incluindo interrupções nos fluxos de produção, danos extensos a equipamentos de alto valor e até mesmo potenciais riscos à segurança dos operadores humanos. Neste estudo, uma solução de hardware especializada foi concebida para a aquisição de sinais de vibração originários de uma unidade de medição inercial. Esses dados são subseqüentemente transmitidos em série para um computador para processamento por meio de um script em Matlab. Por fim, o estudo apresenta a avaliação realizada no sistema, acompanhada dos resultados que comprovam sua adequada funcionalidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aceleração; Análise Vibracional; Microcontrolador.

### ABSTRACT

During operation, rotating machinery generates a diverse range of vibrations, some of which may deviate from regular patterns and prove detrimental to their mechanical components. Such irregularities can carry substantial consequences, encompassing interruptions in production workflows, extensive damage to high-value equipment, and even potential safety hazards for human operators. In this study, a specialized hardware solution was devised for the acquisition of vibration signals originating from an inertial measurement unit. These data are subsequently transmitted serially to a computer for processing through a Matlab script. Ultimately, the study presents the conducted system evaluation, accompanied by results that substantiate its proper functionality.

**KEYWORDS:** Acceleration; Vibration Analysis; Microcontroller.

### INTRODUÇÃO

Os ruídos e vibrações são grandezas que estão presentes em todo sistema mecânico, majoritariamente em máquinas rotativas, cuja inspeção se denota de grande importância. Seu estudo é capaz de identificar padrões que podem acarretar em impactos negativos para o sistema inspecionado, sendo eles impactos monetários, de tempo ou mesmo de riscos à vida humana (BRANDT, 2011). Contudo, o desenvolvimento de um *hardware* capaz de captar vibrações e processar os dados adquiridos nos proporciona um estudo mais aprofundado sobre o que ocorre no equipamento em observação permitindo detectar irregularidades e atuar sob elas a tempo para evitar maiores problemas no futuro (WANG et al., 2017). Ao coletar dados vibracionais por medidas de variação de aceleração

<sup>1</sup> Voluntário do PIVIC na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil. E-mail: franciscosdm.jr@gmail.com. ID Lattes: 8356630379539188.

<sup>2</sup> Docente no Curso de Engenharia Eletrônica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil. E-mail: lfduarte@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7724520755108544.

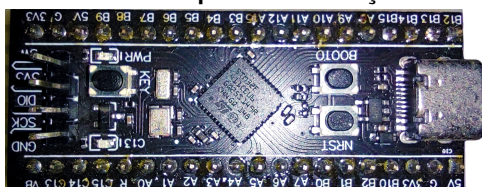


no domínio do tempo, é possível detectar harmônicas no domínio da frequência presentes no sistema investigado possibilitando observar, analisar seu espectro e detectar problemas de funcionamento de máquinas rotativas (VELARDE-SUÁREZ; BALLESTEROS-TAJADURA; HURTADO-CRUZ, 2006).

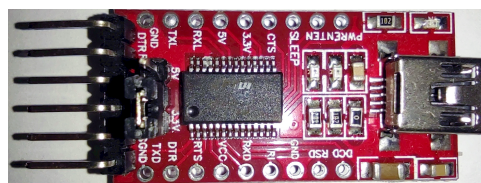
## MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa consiste em obter dados vibracionais provenientes de máquinas rotativas, através do desenvolvimento de um *hardware* para o qual foi implementado um sistema embarcado capaz de coletar dados de aceleração no domínio do tempo e transmiti-los ao computador para serem posteriormente processados. A máquina rotativa estudada nesta pesquisa é a máquina de lavar roupas modelo LTE12 da Electrolux.

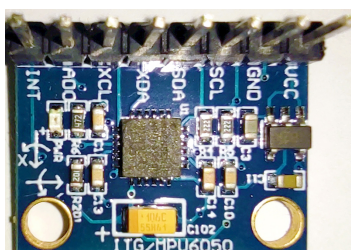
Figura 1 – Hardware para o sistema embarcado constituído de (a) uma placa de desenvolvimento blackpill, (b) um módulo FTDI para comunicação serial e (c) uma Unidade de Medida Inercial GY-521



(a)



(b)

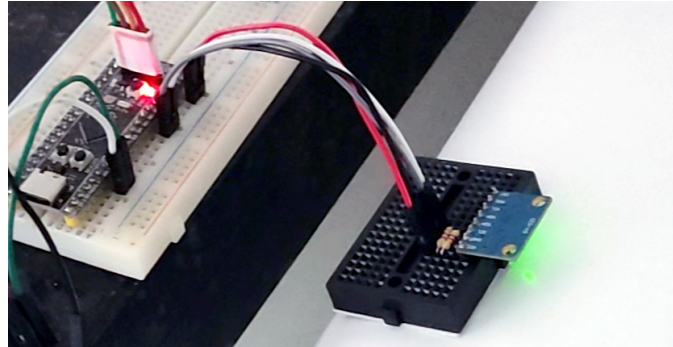


(c)

Fonte: Autoria própria (2023).

O hardware, ilustrado na Figura 1, compõe-se de uma placa de desenvolvimento com sistema microcontrolado baseado no microcontrolador STM32F411, de um módulo sensor de unidade de medida inercial (IMU - *Inertial Measurement Unit*) e de um módulo para comunicação serial com o computador baseado no circuito integrado FTDI232RL. O sistema microcontrolado foi programado para obter os valores de aceleração do IMU numa taxa de aquisição de 1KHz através do protocolo de comunicação I<sup>2</sup>C (circuito inter-integrado) e, no momento da coleta, transmiti-los ao computador através do protocolo de comunicação UART (Receptor-Transmissor Universal Assíncrono) numa taxa de 460800 bytes por segundo.

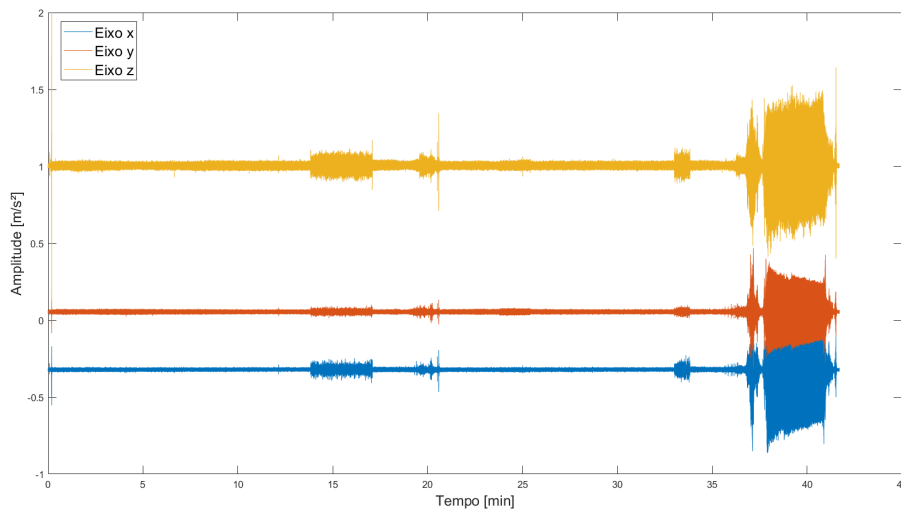
Figura 2 – Hardware acoplado ao chassi do equipamento para aquisição vibracional



Fonte: Autoria própria (2023).

Para a aquisição dos dados vibracionais, o módulo acelerômetro foi montado no chassi da máquina com ajuda de uma *protoboard*, ilustrado na Figura 2, durante todo período de funcionamento de uma função de lavagem. No momento da aquisição dos dados, os mesmos foram salvos, em tempo real, em um arquivo de texto para então serem processados com o auxílio do software MATLAB.

Figura 3 – Dados de aceleração no domínio do tempo



Fonte: Autoria própria (2023).

Nele, foi implementado um código para ler este arquivo de texto e obter os dados de aceleração para então gerar o gráfico do comportamento no domínio do tempo (Figura 3) e, com o auxílio do algoritmo FFT (Transformada Rápida de Fourier), gerar o gráfico do espectro no domínio da frequência. Foi desenvolvido também um *script* no MATLAB responsável por automatizar a detecção de irregularidades no espectro que foram encontradas conforme descritas em (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

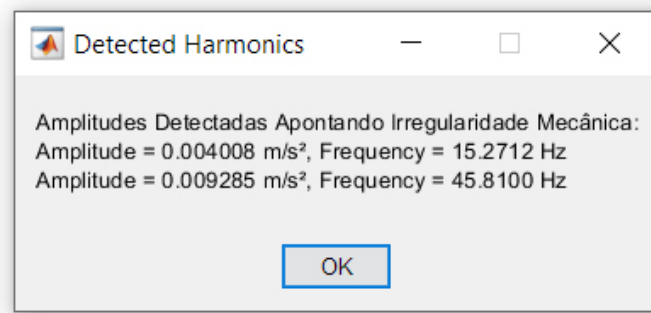
## RESULTADOS

O hardware desenvolvido nesta pesquisa foi utilizado para obter dados vibracionais de uma máquina de lavar roupas modelo LTE12 da Electrolux. Esta máquina consiste em um motor principal e



uma polia que conecta este motor a um eixo do qual estará ligado ao cesto centrifugador. Ao analisar o comportamento vibracional durante o período de funcionamento de sua função de lavagem rápida, com o nível mais baixo de água e com pouca carga, notou-se amplitudes que se destacaram às demais ao observar o seu espectro no domínio da frequência. Foi observado também que as cargas são uniformemente distribuídas no cesto durante o período de funcionamento da máquina, reduzindo assim desbalanços mecânicos provenientes da distribuição irregular das cargas. Na Figura 3, foi observado que as amplitudes predominantes estão relacionadas majoritariamente ao período em que a máquina está na função de centrifugação. Por conseguinte, as amplitudes no domínio da frequência também terão suas amplitudes com predominância durante este período. Com o auxílio do *script* no MATLAB, foi possível apontar exatamente as frequências nas quais se destacaram as amplitudes dominantes conforme estudado previamente. A mensagem gerada pelo *script* pode ser vista na Figura 4.

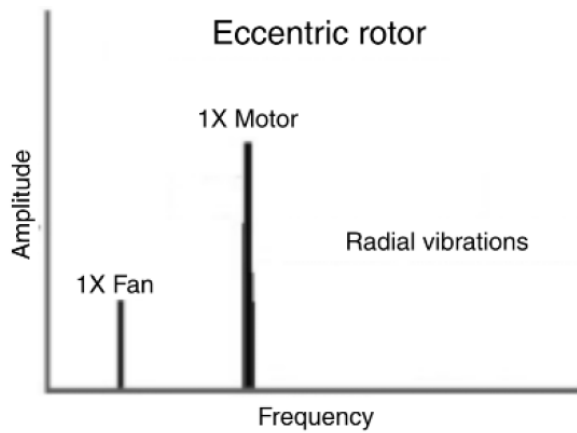
Figura 4 – Mensagem gerada pelo código no MATLAB



Fonte: Autoria própria (2023).

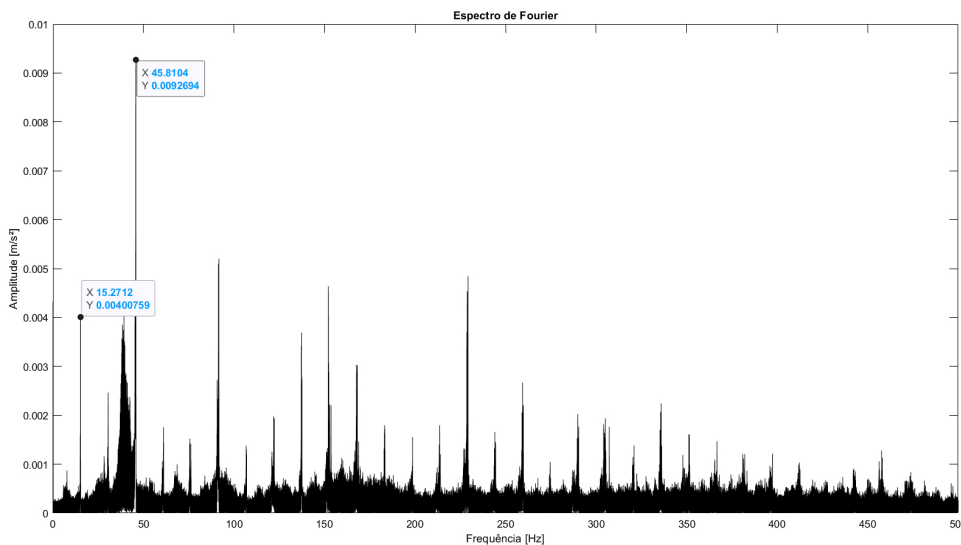
Estas amplitudes dominantes, segundo (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004), representam um desbalanço mecânico proveniente da excentricidade do rotor que causa uma amplitude alta nas harmônicas associadas à velocidade de rotação do motor que, durante o momento da centrifugação, tem uma velocidade de aproximadamente 2700 rotações por minuto em comparação com a velocidade de rotação do cesto de centrifugação cuja velocidade se dá no entorno de 900 RPM. Estes valores foram encontrados ao inspecionar o gráfico do espectro de Fourier, ilustrado na Figura 6, e observar as frequências de maior amplitude encontrando assim a velocidade do motor em 45Hz e do cesto de centrifugação em 15Hz. Contudo, ao observar estas frequências com estes padrões de amplitudes e referenciar a teoria ilustrada na Figura 5, foi possível caracterizar possíveis irregularidades mecânicas relacionadas ao motor da máquina de lavar.

Figura 5 – Referência de padrão relacionado ao desbalanço mecânico proveniente da excentricidade do rotor



Fonte: GIRDHAR; SCHEFFER (2004).

Figura 6 – Dados de aceleração no domínio da frequência com as harmônicas estudadas destacadas



Fonte: Autoria própria (2023).

## CONCLUSÃO

A análise vibracional destaca importantes características para a inspeção e manutenção em equipamentos motorizados e, neste presente estudo, foi desenvolvido um hardware capacitado para coletar estas informações e transferi-las para o computador para uma análise mais aprofundada. Dados vibracionais provenientes de aquisições de dados de aceleração no domínio do tempo proporcionou a observação de amplitudes altas no equipamento rotativo estudado indicando irregularidades no momento de operação do mesmo.



## Agradecimentos

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná do campus de Cornélio Procópio por toda oportunidade de conhecimento e estudo disponibilizados à pesquisa em todo o processo de desenvolvimento.

## Disponibilidade de Código

Os códigos utilizados para a implementação desta pesquisa no microcontrolador e no matlab estão disponíveis no seguinte link do site GitHub: [https://github.com/FranciscoMartinsJr/Vibration\\_Analysis\\_Data\\_Processing\\_Codes](https://github.com/FranciscoMartinsJr/Vibration_Analysis_Data_Processing_Codes)

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

BRANDT, Anders. **Noise and vibration analysis: Signal Analysis and experimental procedures**. [S.l.]: Wiley, 2011.

GIRDHAR, Paresh; SCHEFFER, C. **Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance**. [S.l.]: Newnes, 2004.

VELARDE-SUÁREZ, Sandra; BALLESTEROS-TAJADURA, Rafael; HURTADO-CRUZ, Juan Pablo. A predictive maintenance procedure using pressure and acceleration signals from a centrifugal fan. **Applied Acoustics**, v. 67, n. 1, p. 49–61, 2006. DOI: [10.1016/j.apacoust.2005.05.006](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.05.006).

WANG, Li-Hua et al. Motor fault diagnosis based on short-time fourier transform and convolutional neural network. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 30, n. 6, p. 1357–1368, 2017. DOI: [10.1007/s10033-017-0190-5](https://doi.org/10.1007/s10033-017-0190-5).