



Análise de vibrações em máquinas rotativas desbalanceadas

Matheus Henrique Junqueira de Moraes¹, Rodrigo Francisco Borges Lourenço²
Rafael de Oliveira Silva³, Fabiola Medeiros da Costa³, Darlan Marques da Silva³

¹Graduando do curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde. Aluno de Iniciação Científica - PIVIC.

²Orientador, Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.

³Prof. Dr. da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde.

Reitor:

Prof. Me. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:

Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:

Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:

Profa. Dra. Ana Paula Fontana

Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva

Prof. Dr. Fábio Henrique Baia

Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob

Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:

Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2022-2023

Resumo: Na área de manutenção preditiva, a escolha dos parâmetros a serem examinados é de extrema importância e deve ser feita com cautela a fim de garantir que os resultados obtidos serão confiáveis. Assim o objetivo desse trabalho foi verificar qual o melhor ponto para instalação de sensores em uma máquina rotativa com base em outros trabalhos acadêmicos já publicados. Foram utilizados três parafusos m6x20 em três diferentes arranjos como pesos de desbalanceamento no rotor em conjunto com três diferentes frequências de funcionamento da máquina e três acelerômetros posicionados de forma estratégica para a coleta de dados, os quais foram processados por meio de um algoritmo que se utiliza da transformada de Fourier que representa o sinal coletado, antes do domínio do tempo, no domínio da frequência tornando assim a análise mais fácil de se interpretar. Teve-se como resultado que o sensor da posição dois, referente ao rotor e a flange de acoplamento, foi o que melhor proporcionou dados concretos em relação as mudanças de balanceamento do rotor nas diferentes frequências de funcionamento.

Palavras-Chave: Manutenção Preditiva. Rotores. Transformada de Fourier.

Vibration analysis in unbalanced rotary machines

Abstract: In the area of predictive maintenance, the choice of parameters to be examined is extremely important and must be done with caution to ensure that the results obtained are reliable. Therefore, the objective of this work was to verify the best point for installing sensors in a rotating machine based on other scientific works already published. Three m6x20 screws were used in three different arrangements as unbalance weights on the rotor in conjunction with three different operating frequencies of the



machine and three accelerometers strategically positioned for data collection, which were processed using an algorithm that The Fourier transform is used, which represents the signal collected, before the time domain, in the frequency domain, thus making the analysis easier to interpret. The result was that position sensor two, referring to the rotor and the shielding flange, was the one that best provided concrete data in relation to rotor balancing changes at different operating frequencies.

Keywords: Predictive maintenance. Rotors. Fourier transform.

Introdução

A junção de equipamentos mecânicos para execução de uma tarefa conjunta e específica, caracteriza os sistemas dinâmicos. As máquinas rotativas, ou rotores dinâmicos, são equipamentos capazes de transformar um tipo de energia em outro, como por exemplo, os motores de indução, que convertem energia elétrica em energia mecânica e cinética de rotação. Esses equipamentos são amplamente utilizados na indústria, isso se justifica devido sua alta eficiência, boa relação peso/potência e o fato de utilizarem uma forma limpa de energia. (Volk do Brasil, 2021)

Devido as máquinas rotativas serem utilizadas em grande escala na indústria, é de extrema importância investigar formas de detecção de falhas nesses equipamentos (Silva, 2012)

Em funcionamento normal, os diferentes mecanismos presentes em uma máquina apresentam determinadas vibrações características, que podem se modificar pelo desgaste e desbalanceamento do rotor, mudando sua amplitude e período. Tais características e mudanças podem ser medidas e monitoradas a partir de sensores e equipamentos que são capazes de converter parâmetros mecânicos como velocidade, aceleração e deslocamento em parâmetros elétricos como tensão e corrente. Os sensores devem ser instalados em pontos estratégicos dos sistemas rotativos, sendo conectados a computadores, a fim de fazer a leitura desses sinais por meio de programas e fornecer em tempo real o espectro das vibrações provenientes do funcionamento da máquina (Neto *et al.*, 2022).

A escolha do parâmetro a ser medido deve ser cautelosa, para que retratem de forma adequada as falhas sobre investigação, pois devem fornecer informações que permitam a inspeção de itens específicos no conjunto da máquina. Com base nos dados coletados, é possível montar um histórico de funcionamento da máquina que, após análise estatística, fornecerá os elementos mais propícios a falharem no conjunto (Marçal; Susin, 2005).

Ruídos e vibrações com alta intensidade podem comprometer o funcionamento dos mecanismos de uma máquina, prejudicando seu desempenho e reduzindo por consequência sua vida útil. Esse fato destaca a importância da análise e o monitoramento dos níveis de vibrações que uma máquina pode atingir tanto na fase de projeto quanto na fase operacional. (Neto *et al.*, 2022)

Segundo (Silva, 2012), a análise de vibrações é um método muito eficiente na manutenção preditiva, pois baseia-se no prévio conhecimento do funcionamento normal do equipamento.

No processo de análise de vibrações, pode-se utilizar a Transformada Rápida de Fourier ou FFT, que consiste em uma ferramenta matemática, desenvolvida por J. W. Cooley e J. W. Tukey, baseado na Transformada de Fourier criada por Jean Baptiste Joseph Fourier. Tal ferramenta é capaz de obter a transformação de um sinal que está no domínio do tempo para domínio da frequência, podendo simplificar seu espectro analisado, vez que, quando este se encontra no domínio do tempo apresenta excesso de informações devido a repetição de amplitudes em diferentes períodos de tempo, proveniente dos vários componentes individuais do sistema em análise, que quando transferido para o domínio da frequência, pode ser filtrado evitando superposições de sinais. (Martins *et al.*, 2012)

Um método amplamente utilizado em universidades pelo mundo, para o desenvolvimento de novas técnicas visando a manutenção preditiva, devido à alta complexidade de máquinas rotativas, é a utilização de bancadas de ensaios que em sua maioria tem ampla eletrônica embarcada. Isso torna possível a validação de modelos teóricos, análise de conceitos e elaboração de projetos através da análise de vibrações (Cavalcante; Jesus, 2011).

A NBR 10082 é a norma que diz respeito as posições onde se deve colocar os sensores tomando as precauções para a otimização na qualidade dos dados coletados, podendo os sensores em posicionamento indevido afetar nos diagnósticos posteriores das possíveis falhas a serem detectadas. Os sensores devem ser colocados nas partes expostas da máquina de modo que se possa coletar dados mais precisos referentes a carcaça do mancal ou pedestal sem nenhuma ressonância. Tampas, parafusos, porcas e chapas de espessura muito fina devem ser evitadas (Junior *et al.*, 2017).

Segundo (Lourenço, *et al.*, 2021), o sensor posicionado para a coleta entre o redutor e a flange de acoplamento em um motor de bancada é o que fornece os melhores dados para análise e detecção de falhas comparadas a um sensor posicionado para a coleta direta de dados do acoplamento flexível e outro para a coleta de dados direta do redutor.

Dessa forma, tem-se como objetivo analisar as vibrações provenientes de uma bancada de estudos em laboratório, a fim de se investigar os melhores pontos para de análise de falhas, aplicando a FFT para melhor análise de espectro.

Material e Métodos

Para realização dos experimentos, foi utilizada uma bancada de estudos desenvolvida para simular condições encontradas em campo composta pelos itens enumerados na Figura 1a.

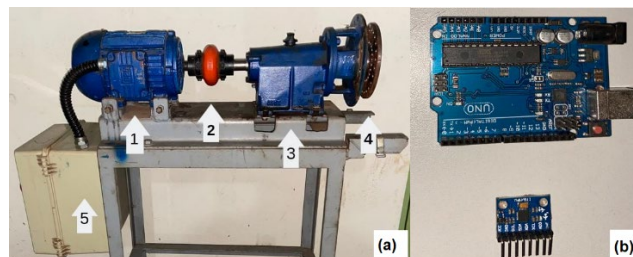


Figura 1 - Bancada de estudo e sistema de aquisição de dados

Fonte: Autoria própria

1. Motor elétrico WEG de 3 CV trifásico 220V, frequência 60hz;
2. Acoplamento flexível Rex Omega tipo standard;
3. Carcaça de motobomba hidráulica Mark com mancal com adaptação para acoplamento de disco de aço;
4. Disco de aço com 180mm de diâmetro, 10mm de espessura e 48 furos;
5. Inversor de frequência Schneider Altivar 312 (alternância 0 a 60hz), dentro do quadro de comando;

Essa configuração da bancada permite a variação da rotação do rotor de 2 a 60hz através do inversor de frequência. É possível também realizar ajustes variando-se os limites e parâmetros do acoplamento elástico, responsável por atenuar e eliminar problemas de desalinhamento e folga, tornando o sistema como um todo mais estável e proporcionando maior precisão nos dados coletados.

Para o monitoramento e coleta de dados, utilizou-se conforme a Figura 1b uma placa Arduino Uno R3, composta por 14 pinos de entrada/saída digital, 6 entradas analógicas, microcontrolador ATmega328, botão de reset, conexão USB, conexão ICSP e um cristal oscilador de 16MHz. Junto ao microcontrolador, foi utilizado três sensores MPU-6050 que se trata de um módulo que contém em uma única placa um giroscópio com três eixos e 6 graus de liberdade e um acelerômetro com 3 eixos com uma tensão de operação na faixa de 3 a 5V.

Ao realizar a coleta de dados, em primeiro houve a caracterização do sistema em seu estado normal de trabalho, ou seja, sem nenhum desbalanceamento, e em segundo houve o

desbalanceamento proposital do rotor através de dois arranjos diferentes de fixação de massas no disco. Na primeira configuração foi utilizado um parafuso M6x40 na extremidade do disco conforme a Figura 2a. Na segunda configuração, foi posicionado outro parafuso M6x40 no furo mais interno alinhado com o parafuso da primeira configuração conforme a Figura 2b.

Os sensores foram posicionados conforme três posições distintas, sendo um sensor para análise das vibrações do acoplamento referente a posição 1, outro sensor para análise da junção entre o redutor e a flange referente a posição 2, e por último um sensor para análise da fixação entre estrutura e motor referente a posição 3, conforme a Figura 2c.

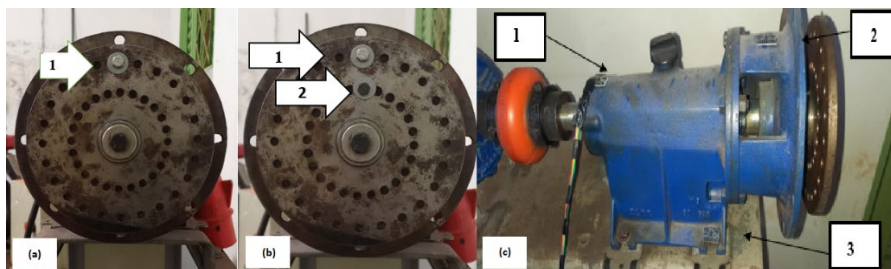


Figura 2 – Arranjos de desbalanceamentos e posicionamento dos sensores
Fonte: Autoria própria

Para a coleta de dados, foi arbitrado três frequências diferentes, sendo elas de 10hz, 36hz por se aproximar da frequência natural do sistema e 60hz que é a frequência máxima do motor. Para cada um dos dois arranjos foi coletado os dados de cada sensor para as três frequências diferentes.

O programa recebe os sinais dos sensores de vibração que se configuram no espaço 3d nas coordenadas x, y e z, após isso, realiza soma vetorial obtendo a resultante. Após isso, muda – se o domínio da função que era do tempo para o domínio da frequência através da transformada rápida de Fourier, gerando assim um gráfico unidimensional para análise. Devido o sinal ser muito grande para processamento, este foi dividido em 400 pontos a fim de proporcionar uma simplificação da análise de vibração através da aproximação.

Resultados e Discussão

Após o processar os dados coletados por meio de um algoritmo que aplica a transformada rápida de Fourier, foram gerados os seguintes gráficos, em que o sinal em azul representa o funcionamento da bancada em seu estado natural e o sinal vermelho é referente ao funcionamento pós-desbalanceamento de cada arranjo (Figura 3 e Figura 4):

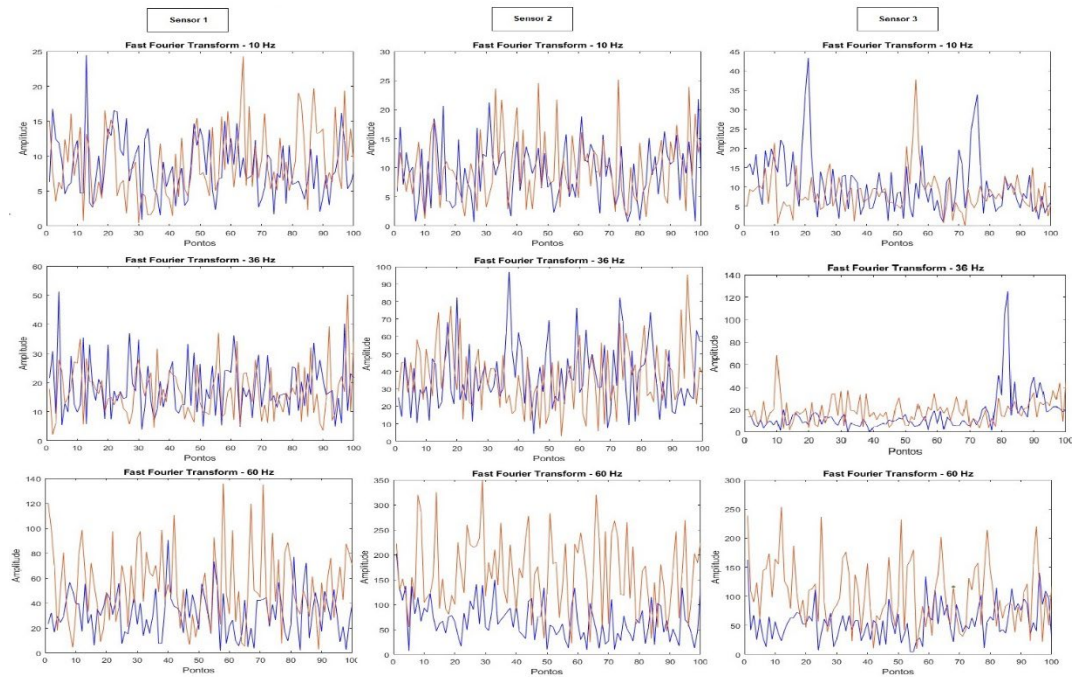


Figura 3 - Dados do primeiro arranjo
Fonte: Autoria própria

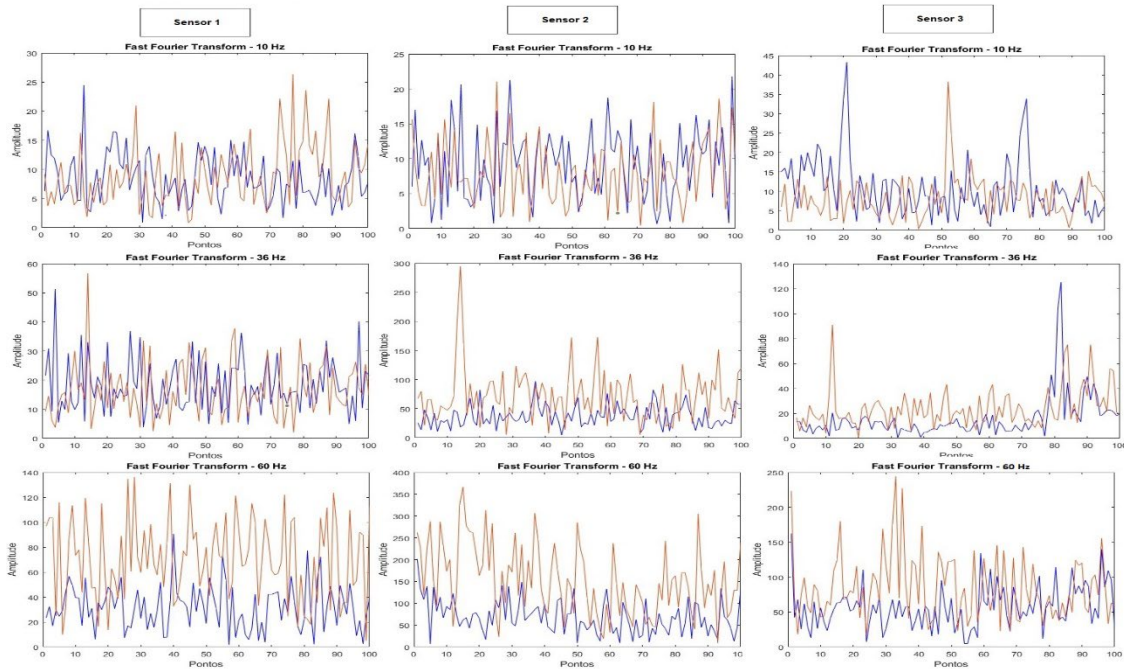


Figura 4 - Dados do segundo arranjo
Fonte: Autoria própria



Ao realizar a análise visual dos gráficos, é possível notar na maioria das vezes que os dados do sensor 2 apresentam maior consistência nas suas variações de amplitude, tanto em análise individual de cada frequência, quanto na comparação das duas frequências presentes no gráfico.

No primeiro arranjo, ao analisar o sensor 2, referente a frequência de 36 Hz, é possível notar que houve um amortecimento das vibrações, enquanto nas frequências de 10 e 60 Hz houve um desbalanceamento muito acentuado. Para o segundo arranjo, o sensor 2 demonstra um amortecimento para a frequência de 10 Hz e desbalanceamento tanto na frequência de 36 quanto na de 60 Hz. Analisando então o terceiro arranjo, o sensor dois já mostra desbalanceamento para todas as três frequências.

No entanto, ao analisar os gráficos dos outros sensores no que se refere ao primeiro arranjo, não é possível analisar visualmente os dados das frequências mais baixas, sendo apenas a frequência de 60 Hz capaz de demonstrar um desbalanceamento devido a grade diferença de amplitudes entre os dados. O mesmo pode ser dito para o segundo arranjo. No entanto, para o terceiro arranjo, para as frequências de 36 e 60 Hz, é possível notar também pela diferença de amplitudes, um desbalanceamento do sistema.

Conclusão

Este trabalho tinha como intuito a análise de vibrações de uma bancada de estudos e verificar em qual das três posições previamente escolhidas os sinais seriam os mais precisos para uma análise visual de qualquer mudança no funcionamento do sistema.

Analisando os dados e discussões do projeto é possível dizer que (Lourenço *et al*, 2021) está correto em afirmar que o sensor na posição 2 é o melhor para coleta de dados, pois em todos os arranjos e diferentes frequências ele foi o que apresentou gráficos com maior consistência de dados mantendo um certo padrão em suas amplitudes, porém os sensores das demais posições possuem um bom desempenho em frequências de rotação mais altas, sendo capazes de detectar desbalanceamentos mais severos.

Seria necessário, porém, que se realizasse mais experimentos, mudando os arranjos e frequências a fim de se quantificar o quão preciso são esses dados apontados pelos sensores, pois apesar da análise visual ser viável e até mesmo utilizada em ambientes industriais na manutenção preditiva, não torna possível inferir quão preciso são as informações visualizadas nos gráficos.

Agradecimentos

Ao PIVIC por cancelar a execução do projeto.

Referências Bibliográficas

CAVALCANTE, P. F.; JESUS, S. S. D. Utilização de bancadas de ensaio para estudo do comportamento dinâmico de máquinas rotativas: Vibrações mecânicas. **Holos**, v. 2, n. 27, p. 18-40, junho 2011. ISSN 1807-1600.

JUNIOR, G. M. A. *et al*. Estudo sobre a manutenção preditiva em motores trifásicos através da análise de vibrações. **Projectus**, v. 1, n. 4, p. 70-83, 2017.

LOURENÇO, R. F. B. *et al*. Analysis and Recognition of Standards in Intelligent Hybrid. **Journal of Applied and Computational Mechanics**, Ahvaz, v. VII, n. 3, p. 1764-1773, jul. 2021. ISSN 2383-4536.

MACIEL, D. C.; CAMPOS, T. R. Análise da aplicação da FFT (Fast Fourier Transform) no diagnóstico de falha em máquinas rotativas. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, [S. l.], v. 2, n. 15, p. 43–54, 2017. DOI: 10.26512/ripe.v2i15.21378. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/21378>. Acesso em: 16 nov. 2022.



MARÇAL, R. F. M.; SUSIN, A. A. Detectando falhas incipientes em máquinas rotativas. **Gestão industrial**, v. 01, n. 021, p. 083-092, junho 2005. ISSN 1808-0448.

MARTINS, M. L.; MAGALHÃES JÚNIOR, P. A. A.; SILVA, G. C. da; ALMEIDA, V. C.; MARTINS, N.; MACIEL, D. de C.; CAMPOS, T. R. Análise da aplicação da FFT (Fast Fourier Transform) no diagnóstico de falha em máquinas rotativas. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, 2(15), 43–54., 2017. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/21378>. Acesso em: 16 nov. 2022.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. 9. ed. São Paulo: Blucher, v. I, 2018.

NETO, A. D. R. F. *et al.* **Vibrações mecânicas**. 1º. ed. Porto Alegre: Sagah Educação S.A., 2021.

SILVA, B. T. V. D. **Bancada para análise de vibração: Análise de falhas em máquinas rotativas**. Universidade de Taubaté. Taubaté, p. 71. 2012.

SILVA, B. T. V. da. **Bancada para análise de vibração: Análise de falhas em máquinas rotativas**. Orientador: Prof Dr. Álvaro Manoel de Souza Soares. 2012. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Taubaté, 2012.

VOLK DO BRASIL. Máquinas rotativas industriais: Veja quais os cuidados necessários. **Volk do Brasil**, 2021. Disponível em: <https://blog.volkdobrasil.com.br/maquinas-rotativas-industriais/>. Acesso em: 01 nov. 2022.