



A UTILIZAÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA NO ESTUDO DE VIBRAÇÃO DINÂMICA DE CONJUNTOS MECÂNICOS. - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Hitalo Castro e Silva, hitalo48@gmail.com¹

Natália Lima Fernandes, natalialf123@gmail.com²

Francisco Marcelino Almeida de Araújo, francisco.marcelino@ifpi.edu.br³

Gean Carlos Moura Mota, geangcmm29@gmail.com⁴

¹Instituto Federal do Piauí, Praça da Liberdade, 1597, Centro - CEP: 64000-040

²Instituto Federal do Piauí, Praça da Liberdade, 1597, Centro - CEP: 64000-040

³Instituto Federal do Piauí, Praça da Liberdade, 1597, Centro - CEP: 64000-040

⁴Instituto Federal do Piauí, Praça da Liberdade, 1597, Centro - CEP: 64000-040

Resumo. *As máquinas rotativas estão presentes nas mais diversas aplicações industriais, sendo cada vez mais necessário para a garantia da eficiência do processo industrial e redução de custos de manutenção que o engenheiro de manutenção consiga identificar os modos de falhas presentes nas máquinas rotativas. Através do uso de técnicas de análise de vibrações mecânicas na manutenção é possível identificar defeitos específicos em diversos componentes de máquinas rotativas. Considerando a necessidade de tornar o estudo das vibrações mecânicas mais dinâmico, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica de projetos de desenvolvimento de bancadas didáticas que permitam a emulação de falhas mecânicas em rotores acionados por motores elétricos para a realização de análises de vibração, auxiliando em uma maior compreensão dos comportamentos vibratórios das máquinas rotativas quando sujeitas a anormalidades.*

Palavras chave: *Análise de vibrações. Bancada didática. Máquinas rotativas.*

1. INTRODUÇÃO

As máquinas rotativas tem vasta aplicação nas diversas áreas da engenharia. Os motores de indução, devido a sua robustez, baixo custo e flexibilidade, são os motores elétricos mais utilizados na indústria atualmente, tanto para aplicações em velocidade constante quanto em velocidade variável. (Benbouzid, 2003 apud Ferraz, 2013, p. 12).

Logo é de grande importância um processo de manutenção mais eficiente para máquinas rotativas para garantir seu pleno funcionamento, reduzir custos, perdas energéticas e paradas não programadas no processo produtivo por falha do equipamento.

Na busca pela aplicação de conceitos, validação de modelos teóricos e refinamento de projetos, a utilização de bancadas experimentais que simulam sistemas reais, revela-se uma alternativa bastante difundida em universidades e também em centros de pesquisa de todo o mundo. Sendo perfeitamente possível a aplicação desse conceito para a análise de vibrações e alinhamento entre eixos. (Lima & Nunes, 2014 apud Jesus & Cavalcanti, 2011).

Rao (2008), define vibração como qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo. O estudo desse fenômeno físico é essencial dentro da engenharia uma vez que seu efeito pode causar desgaste e falha mecânica de máquinas e equipamentos bem como excesso de ruído e perda de energia nos processos.

Dentre as principais causas de vibrações acentuadas podem-se destacar desbalanceamento de massa, desalinhamento, folgas mecânicas, baixa rigidez da estrutura, rolamento com defeitos (pista interna, externa, elemento girante e grade), além de folga excessiva em mancais de deslizamento. Para cada defeito citado, temos uma assinatura característica. As vibrações podem ser classificadas quanto à excitação, amortecimento, linearidade e magnitude (Rao, 2008).

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica de projetos de desenvolvimento de bancadas didáticas que permitam a emulação de falhas mecânicas em rotores acionados por motores elétricos para a realização de análises

de vibração, auxiliando em uma maior compreensão dos comportamentos vibratórios das máquinas rotativas quando sujeitas a anormalidades e servindo como base para o desenvolvimento de novos projetos de bancada didática.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão da literatura baseada em artigos, teses de dissertação e doutorado, disponíveis nas plataformas CAPES, Scielo, Google Acadêmico, entre outros. No modo de busca virtual foi utilizado as seguintes palavras chaves: "vibração", "motor de indução", "bancada didática", "manutenção preditiva" e "acelerômetro". Por seguinte foi selecionados trabalhos mais pertinentes dentro da temática em revisão. Inicialmente foram analisados os títulos e os resumos dos trabalhos, e aqueles indicados como relevantes foram estudados e analisados de forma integral.

Com isso, para o desenvolvimento desse artigo foram utilizadas pesquisas desde 2010 até os dias atuais, evidenciando trabalhos mais recentes, com o intuito de estudar as principais características das bancada de análise de vibração projetadas, bem como sua instrumentalização.

3. DESENVOLVIMENTO

Os trabalhos selecionados foram analisados com o intuito de destacar suas principais características e diferenciais para que possam servir de auxílio para futuros trabalhos. Foram analisadas normas de referências, elementos da bancada, instrumentação de análise, resultados obtidos e metodologia de projeto.

Em seu trabalho Silva (2018), desenvolveu uma bancada didática onde foi possível detectar e analisar os seguintes defeitos: desalinhamento angular e paralelo; desalinhamento de polias; deficiência de fixação (folga); folga em correia; defeito em rolamentos; defeito em engrenagens e desbalanceamento. No trabalho é possível diferenciar o comportamento de cada tipo de defeito.

Após a detecção dos defeitos utilizando o coletor e analisador de vibrações ROZH 802 e o software MRS3000, foi possível realizar a correção destes e realizar nova análise de vibração, para comparação de resultados e elaboração de gráficos de tendência. Através dos resultados obtidos é possível perceber a redução das vibrações e compará-los a valores permissíveis da norma ISO 20816-1:2016, demonstrando a importância da análise de vibração para manutenção preditiva.

Na sua análise bibliográfica para análise de falha em máquinas rotativas Silva (2018), também destaca a importância da assinatura vibracional de toda máquina rotativa, que representam a vibração da máquina em condições normais de uso, sem defeitos, para que seja possível realizar o comparativo com os momentos em que a máquina apresenta defeitos em desenvolvimento. Para a determinação do modo e frequência natural do sistema Cavalcante (2017), destaca a análise modal como uma fase importante do desenvolvimento de um projeto

Análise modal: Durante a fase de aquisição de dados, a resposta estrutural é medida em locais bem definidos, enquanto a estrutura é estimulada por cargas com conteúdo de frequência conhecida. Muitos métodos de estímulo e configurações existem, dependendo da complexidade da estrutura, mas a maioria é de excitação por impacto de martelo e excitação por agitação. As frequências de ressonância aparecerão nos gráficos como picos em funções de resposta de vibração em locais de resposta. Outra forma de obter os dados é executar um modelo digital do projeto em um software de elementos finitos. (Cavalcante, 2017)

Na sua metodologia de projeto Cavalcante (2017), lista 7 requisitos escolhidos para a bancada didática a ser desenvolvida:

1. Permitir mobilidade do conjunto;
2. Permitir futuras melhorias e/ou alterações em suas partes;
3. Ter um dispositivo para auxiliar no nivelamento da bancada;
4. Ter um dispositivo para alterar o alinhamento axial e paralelo entre eixos acoplados tanto no plano horizontal quanto no vertical;
5. Ter um elemento girante dotado de mecanismo para alterar o balanceamento em até dois planos;
6. Ter um equipamento para alterar a rotação do motor;
7. Ter espaço para adição de instrumentos de medição e acessórios complementares;

Na Fig. 1 Cavalcante (2017), compara sua bancada em relação aos sete requisitos estabelecidos anteriormente com quatro bancadas desenvolvidas em outros trabalhos analisados, utilizando "ok" para quando a bancada possui a característica desejada e "x" para não conformidade da característica. O "x*" foi assinalado para quando o equipamento atende o requisito em apenas um plano. Com isso ele demonstra o cumprimento dos requisitos que ele destaca como importantes para a aplicação da bancada didática.

Figura 1: Comparativo das Características das Bancadas (Cavalcante, 2017)

Característica % Autor:	O autor	Silva (2012)	Jesus e Cavalcante	Silva (2004)	Szymon Pieta
1	ok	x	x	x	x
2	ok	ok	ok	x	x
3	ok	x	x	x	x
4	ok	x	ok	x	ok
5	ok	x*	x*	ok	x
6	ok	x	x	ok	x
7	ok	ok	ok	ok	ok

Na bancada de Cavalcante (2017), é possível ajustar o alinhamento do motor com 2 graus de liberdade através de mecanismo, enquanto nas outras bancadas analisadas essa mudança no alinhamento do motor se mostrou uma dificuldade. Silva (2018), relata que não foi possível corrigir eficientemente o desalinhamento do motor em sua bancada para análise posterior pois a bancada não permitia grandes alterações no alinhamento depois de construída. Cavalcante (2017), trata em seu referencial teórico de alinhadores de eixos que devem ser utilizados na montagem da bancada.

Através da bancada construída e da instrumentação listada na tabela 1 Cavalcante (2017), conseguiu traçar comparativos entre três fases de teste, estado de assinatura (balanceado e alinhado), puramente desalinhada e puramente desbalanceada. Utilizando a norma ISO 10816 concluiu que “O ciclo dos experimentos serviu para demonstrar que a bancada poderia ser utilizada sem restrições para fins didáticos”. Outro ponto de destaque na sua pesquisa é o estudo do efeito das vibrações no consumo de energia, tendo como base as medições realizadas com o alicate wattímetro. É possível perceber um aumento no padrão de consumo quando o equipamento se encontra em estado puramente desalinhado.

O bancada desenvolvida por Nilson (2016), traz como maior destaque o baixo custo quando comparada aos outros trabalhos analisados, uma vez que não utilizou acelerômetros piezoelétricos, analisadores e softwares comerciais, mas desenvolveu um sistema embarcado com acelerômetro de baixo custo que através da placa do computador consegue transmitir os dados de vibração para um software desenvolvido pelo autor para utilização em aulas práticas.

Ferraz (2013), em sua dissertação realizou um estudo da viabilidade de reproduzir os conjugados típicos dos principais problemas mecânicos no eixo de uma máquina elétrica, utilizando um servomotor. Ele realizou uma ampla revisão bibliográfica com o objetivo de modelar matematicamente as principais falhas mecânicas para máquinas elétricas. Através de modelos matemáticos ele conseguiu simular em software as falhas mecânicas por desbalanceamento e desalinhamento angular, e também propôs uma bancada dinamométrica para teste de sistemas de acionamento de máquinas elétricas e ensaios de análise de vibrações em sistemas rotores.

Silva (2012), destaca a importância das máquinas rotativas e do estudo de vibração para a indústria, faz uma revisão de outros trabalhos na área, e mostra diversas técnicas de medição de vibração baseado no trabalho de Antonioli (1999) sendo estas: Nível Global (RMS), Fator de Crista, Análise Espectral, Técnica do Envelope (para falhas em rolamentos) e Cepstrum (para defeitos em engrenagens e rolamentos).

Silva (2012), também destaca os diversos tipos de desbalanceamentos, e desenvolve um programa para o cálculo de correção deste desbalanceamento após análise inicial. A bancada utilizada em seu trabalho foi desenvolvida por Rocha, Farias e Soares (2012), e possui controle de acionamento através do software LabVIEW, utilizando placa de interface e contator, sistema de aquisição de dados com sensor indutivo, acelerômetro piezoelétrico e condicionador de sinais.

Os dados são processados e analisados no software LabVIEW, onde passa por processo de filtragem passa faixa entre 15 e 35Hz e gera os gráficos necessários para análise das amplitudes no domínio do tempo e tipos de falhas no domínio da frequência. Por fim é utilizado o método vetorial de balanceamento em um único plano para calcular através do algoritmo desenvolvido o valor da massa de balanceamento necessária para correção do sistema bem como sua posição angular. Para essa fase a norma ISO 1940-1 foi utilizada como referência para valores de desbalanceamento residual permissível.

Jesus e Cavalcante (2011), realizaram como estudo de caso uma análise experimental utilizando uma bancada experimental localizada na Refinaria Landulpho Alves (RLAM) – PETROBRAS. Através do estudo de caso foi possível conhecer definições, conceitos básicos e características principais dos parâmetros que regem o estudo da Vibrações Mecânicas. O trabalho mostrou diferentes formas de quantificação, controle e diagnóstico de defeitos relacionados a

vibração mecânica. Utilizando a bancada do RLAM foram realizadas análises com simulações de desbalanceamento, pequenos desalinhamentos e roçamento, onde foi possível observar utilizando acelerômetros com cristal piezolétrico (ASH210-A) e analisador portátil CSI 2130, o nível de vibração das bandas para cada defeito e os padrões de vibração no domínio da frequência, que se mostraram bem definidos para cada tipo de defeito comprovado afirmações teóricas estudadas.

Tabela 1 – Resumo das principais características encontrados nos trabalhos avaliados.

Ano	Autor	Tipo	Título	Elementos da bancada	Instrumentos Utilizados
2018	Silva	Trabalho de Conclusão de Curso	Bancada Didática para Manutenção Preditiva utilizando análise de vibrações	<ol style="list-style-type: none"> 1. Motor elétrico WEG 5 CV. 2. Redutor de velocidades de engrenagens cônicas helicoidais. 3. Polia motora, 95 mm. 4. Polia movida, 65mm. 5. Mancais de rolamento SN 505 (rolamento 1205 EKTN9/C3) 6. Rotor. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inversor de frequência WEG CFW08 ➤ Acelerômetro Piezolétrico RH 103 - Rozh ➤ Coletor e analisador de vibrações ROZH 802 ➤ Software MRS3000
2017	Cavalcante	Dissertação	Bancada Didática para Testes e Estudos das Vibrações em Máquinas Rotativas Acopladas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Motor WEG trifásico 0,25kW 2. Acoplamento flexível de garra FC250 (GG-25) Gtrendutores 3. Mancais de rolamento com buchas cônicas SNA 506 Burguer, rolamento 1206K FAG 4. Inversor de frequência CFW - 500 WEG 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sistema de alinhamento óptico a laser Shaftalign OS3 - Pruftechnik, ➤ Analisador de vibração portátil FAG, modelo Detector III ➤ Software Trendline ➤ Alicates wattímetro digital ET-4091 - Minipa ➤ Balanceador/ analisador de vibração portátil computadorizado "WATT" modelo WCPBP
2016	Nilson	Artigo (Projeto de Fim de Curso)	Bancada Acadêmica para Análise de Vibração Mecânica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Base em U, 2. Motor 3. Acoplamento, 4. Mancais de rolamento, 5. Discos de desbalanceamento 6. Polias de canal tipo B 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Acelerômetro ADXL 335 ➤ Placa de som do computador com conexão por entrada microfone. ➤ Software Matlab (Interface Guide)

2013	Ferraz	Dissertação	Simulador de Falhas Mecânicas Para Bancada de Análise de Vibrações	<ol style="list-style-type: none"> 1. Motor de indução trifásico, 2. Gerador síncrono 3. Servomotor a ímãs permanentes 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Acelerômetros piezoelétricos ➤ Simulação em Matlab
2012	Silva	Dissertação	Bancada para Análise de Vibração: Análise de falhas em máquinas rotativas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Placa base da bancada 2. Mancais de deslizamento 3. Eixo 4. Acoplamento 5. Disco Rotativo para introdução de massas para desbalanceamento 6. Motor trifásico de 0,19HP; 7. Contator 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Placa De Aquisição De Dados Ni Usb-6009 ➤ Sensor Indutivo Tubular Cc 4 Fios ➤ Acelerômetro Piezoelétrico 353 B18 ➤ Condicionador De Sinais Modelo 482A16 ➤ Software Labview
2011	Jesus & Cavalcante	Artigo	Utilização de Bancadas de Ensaio para Estudo do Comportamento Dinâmico de Máquinas Rotativas - Vibrações Mecânicas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Base Metálica 2. Motor 3. Acoplamento 4. Eixo 5. Disco de Inércia 6. Mancais de deslizamento 7. Suporte para sensores 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Acelerômetros com cristal piezoelétrico (ASH210-A) ➤ Analisador portátil CSI 2130

4. CONCLUSÕES

O estudo dos trabalhos apresentados possibilitou conhecer definições, conceitos, características principais e parâmetros que regem a Ciência das Vibrações Mecânicas. As diversas bancadas analisadas conseguiram atender a aplicações didáticas, através da demonstração de padrões de assinatura vibracional dos elementos do conjunto mecânico bem como os padrões de vibração no domínio da frequência, que se mostraram bem definidos para cada tipo de defeito comprovado afirmações teóricas estudadas. Também foi possível analisar a instrumentalização e softwares utilizados na análise de vibração, uma vez que estes aumentam consideravelmente o custo final da utilização de bancadas didáticas no estudos de vibração mecânica.

Espera-se que os pontos positivos destacados nos trabalhos, sirvam de referência para projetos posteriores de bancadas didáticas para o estudo de padrões de vibração em máquinas rotativas na engenharia.

5. REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, Laerty Moraes. Bancada Didática para Testes e Estudos das Vibrações em Máquinas Rotativas Acopladas. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica-PPGEM, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/27540>>. Acesso em: 27 abr. 2019.
- CAVALCANTE, Paula Francinetti; JESUS, Solival Santana. Utilização De Bancadas de Ensaio para Estudo do Comportamento Dinâmico de Máquinas Rotativas - Vibrações Mecânicas -. *Holos*, [s.l.], v. 3, p.18-40, 30 jun. 2011. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2011.590>. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/590>>. Acesso em: 04 maio 2019.
- FERRAZ, Úrsula Barbosa. Simulador de Falhas Mecânicas Para Bancada de Análise de Vibrações. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia,

- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<https://www.ppgee.ufmg.br/defesas/903M.PDF>>. Acesso em: 27 abr. 2019.
- LIMA, Israel Antônio Macedo de; NUNES, Maria Alzira de Araújo. PROPOSIÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM MANUTENÇÃO PREDITIVA. 2014. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Faculdade Unb Gama - Fga, Universidade de Brasília - Unb, Brasília, 2014.
- NILSON, Osmar André; VALVERBO, Dr Lino Rossel. Bancada Acadêmica para Análise de Vibração Mecânica. 2016. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Salesiano de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://www.academia.edu/35294061>>. Acesso em: 27 abr. 2019.
- RAO, Singiresu S. Vibrações Mecânicas. 4. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.
- ROCHA JUNIOR, J. F. A.; SOARES, A. M. S., Projeto e Construção de Uma Bancada Para Análise de Vibração em Sistemas Rotativos. XVII ENIC - ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Taubaté, 2012.
- SILVA, Bruna Tavares Vieira da. Bancada para Análise De Vibração: Análise de falhas em máquinas rotativas. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissionalizante de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2012. Disponível em: <http://www.btdt.unitau.br/tesdesimplificado/tde_arquivos/5/TDE-2013-03-20T083828Z-498/Publico/Bruna%20Tavares%20Vieira%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2019.
- SILVA, Raíssa Maradja Kadydja. Bancada Didática para Manutenção Preditiva Utilizando Análise de Vibrações. 2018. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/7902>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.