

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E OS SEUS BENEFÍCIOS NO AMBIENTE INDUSTRIAL

BENEFIT OF VIBRATION ANALYSIS IN THE INDUSTRIAL ENVIRONMENT

Diego Luiz Ferreira Fernandes da Silva¹
Thiago Carvalho de Abreu²
João Paulo Bittencourt da Silveira Duarte³

RESUMO: Para as grandes indústrias é extremamente necessário garantir a integridade das máquinas e equipamentos vitais ao sistema, tendo em vista que, a não disponibilidade deles tem impacto negativo no processo produtivo. Essa situação tem grande influência nos resultados de uma empresa, a qual exige que as máquinas estejam em funcionamento contínuo. Como exemplo, temos as grandes siderurgias que perdem e deixam de ganhar milhões de reais por causa de paradas inesperadas de equipamentos cruciais na produção, que por sua vez, são provocadas por falhas. No entanto, essas paradas podem ser evitadas ou previstas através de técnicas preditivas de manutenção que identificam as falhas potenciais (ainda em estado inicial) possibilitando que seja feita a manutenção do equipamento antes que ocorra uma falha funcional (já instaurada). Existem várias técnicas preditivas e quanto antes for possível detectar a falha potencial mais eficiente é a técnica. Sendo assim, ao decorrer do artigo será abordada em específico a técnica de Análise de Vibrações, uma das mais eficientes, e principalmente os benefícios e resultados obtidos através dela.

3451

Palavras chave: Técnica Preditiva. Vibração. Benefícios da Análise de Vibrações. Manutenção. Manutenção Industrial.

ABSTRACT: For large industries, it is extremely necessary to guarantee the integrity of the machines and equipment belonging to the system, considering that their non-availability has a negative impact on the production process. This situation has a great influence on the results of a company, which requires machines to be in continuous operation. As an example, we have large steel companies that lose and stop earning millions of reais because of unexpected stops of crucial equipment in production, which in turn are caused by failures. However, these stops can be avoided or predicted through predictive maintenance techniques that identify potential failures (still in their initial stages) enabling equipment maintenance to be carried out before a functional failure occurs (already established). There are several predictive techniques and the sooner it is possible to detect a potential failure, the more efficient the technique is. Therefore, throughout the article, the Vibration Analysis technique will be specifically addressed, one of the most efficient, and mainly the benefits and results obtained through it.

Keywords: Predictive Technique. Vibration. Benefits of Vibration Analysis. Maintenance. Industrial Maintenance.

¹Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras.

²Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras.

³Docente do curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras, Vassouras, RJ, Brasil.

INTRODUÇÃO

A análise de vibração é uma técnica crucial na indústria que desempenha um papel fundamental na manutenção preditiva e no monitoramento da saúde de máquinas e equipamentos. Essa técnica envolve a medição e análise das vibrações mecânicas geradas por máquinas em operação. As vibrações são um subproduto natural de qualquer máquina em movimento e podem conter informações valiosas sobre seu estado de funcionamento.

A análise de vibração na indústria tem como objetivo identificar problemas mecânicos, como desalinhamento, desequilíbrio, folgas, desgaste de rolamentos, entre outros, antes que eles se tornem graves o suficiente para causar falhas catastróficas. Ela permite que as equipes de manutenção monitorem continuamente a condição das máquinas, identificando anomalias e tendências que podem indicar problemas iminentes.

Os principais benefícios da análise de vibração incluem a redução do tempo de inatividade não planejado, a otimização dos intervalos de manutenção, o aumento da vida útil dos equipamentos e a melhoria geral na eficiência operacional. Além disso, essa técnica desempenha um papel importante na segurança, pois pode prevenir acidentes relacionados a falhas mecânicas.

Para realizar a análise de vibração, são utilizados sensores de vibração que captam os dados de vibração, que são então processados por meio de software especializado. Os resultados são interpretados por técnicos de manutenção e engenheiros para tomar decisões informadas sobre a manutenção e reparo dos equipamentos.

Em resumo, a análise de vibração desempenha um papel vital na indústria, permitindo a detecção precoce de problemas mecânicos, melhorando a confiabilidade dos equipamentos e contribuindo para a eficiência operacional e segurança das instalações industriais.

Logo, nesse artigo serão explorados os benefícios da análise de vibração, a forma como ela impacta a indústria e os principais pontos positivos que essa técnica proporciona. A Seção 2 traz uma revisão teórica sobre os principais conceitos que envolvem a análise de vibrações; Já a Seção 3 contextualiza alguns casos reais da aplicação da análise de vibrações no ambiente industrial; Na Seção 4 são discutidos os principais benefícios da análise de vibrações no meio industrial. Na última Seção são exploradas algumas considerações finais sobre o trabalho.

2 Fundamentação Teórica

O monitoramento e análise de vibrações em máquinas rotativas tem como propósito auxiliar na avaliação da saúde das máquinas durante sua operação prolongada. A depender do

tipo de máquina e dos componentes críticos a serem monitorados, um ou mais parâmetros de medição, assim como o sistema de monitoramento adequado deverão ser criteriosamente escolhidos (RANDALL, 2011)

O principal objetivo do monitoramento das condições através de vibrações é reconhecer uma condição anormal de saúde do equipamento monitorado em tempo suficiente para que as ações corretivas possam ser tomadas antes que defeitos nos componentes do equipamento possam reduzir o tempo de operação, a vida útil ou ocasionem a falha da máquina (RANDALL, 2011).

Segundo (CHAPMAN, 2013), uma máquina rotativa é constituída por elementos girantes que geram movimento e produzem vibrações de acordo com as características dos seus componentes, quando houver uma falha incipiente em um ou mais componentes desta máquina, a frequência e amplitude da assinatura de vibração começarão a apresentar mudanças em suas características.

A análise de vibração é uma técnica essencial na avaliação da condição de máquinas industriais, embasada em sólidos princípios teóricos de engenharia, física e matemática. Ela se fundamenta na compreensão de que o funcionamento de máquinas gera vibrações devido ao movimento relativo de seus componentes, como rotores e rolamentos. Essas vibrações são medidas por sensores, convertendo o movimento vibratório em sinais elétricos (VANCE, et al, 2010)

A análise de vibração opera em dois domínios principais: o tempo e a frequência. No domínio do tempo, as vibrações são observadas diretamente, permitindo a detecção de eventos transitórios. No domínio da frequência, as vibrações são decompostas em componentes de frequência, possibilitando a identificação de ressonâncias, frequências naturais e defeitos (CHAPMAN, 2013).

Além disso, a técnica se vale de normas da indústria e critérios de aceitação para determinar se um equipamento está operando dentro dos parâmetros adequados. A análise de vibração desempenha um papel crucial na manutenção preditiva, contribuindo para a prevenção de falhas, aumento da eficiência operacional e prolongamento da vida útil dos equipamentos industriais.

No livro de (SCHEFFER, et al, 2004) *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance* encontrasse um material robusto para se aprofundar nos fundamentos da análise de vibração.

2.1 O que é vibração?

Conforme (Rao, 2011) qualquer movimento que se repete de forma regular ou irregular dado um intervalo de tempo é a oscilação de um corpo em torno de uma posição de referência. No âmbito industrial o movimento vibratório é a resposta de uma máquina às forças dinâmicas as quais ela é submetida, este movimento pode ocorrer em diversas frequências e se propagar por todos os componentes e estruturas próximas.

Assi, o movimento vibratório, é o resultado de um ou mais movimentos oscilatórios.

A vibração mecânica, portanto, pode se apresentar de duas formas, através da vibração lateral e através da vibração torcional, sendo a primeira a vibração que comumente é medida e analisada pelos programas de manutenção preditiva por análise de vibrações.

2.2 Coleta e Interpretação de Dados

O local onde é realizada a coleta dos dados de vibração é de fundamental importância para que seja possível detectar as vibrações dos componentes da máquina monitorada. Por esta razão o local de medida deve ser muito bem escolhido. Segundo a NBR 10082 (ABNT, 2011) alguns cuidados devem ser tomados entre eles o posicionamento adequado, a repetibilidade do ponto de coleta, a limpeza da superfície e o modo de fixação do transdutor. A Figura 1 mostra um sensor de vibração sendo aplicado à um motor no ambiente industrial.

3454

Figura 1: Sensor de vibração na prática.



Fonte: Catálogo Valmet RVT-105

Após a coleta dos dados, eles precisam ser analisados e interpretados, para isso são utilizados coletores de dados e analisadores de vibração. Os coletores, que podem ser analisadores portáteis ou transmissores de vibração, são usados para a coleta direta de dados de vibração em máquinas e equipamentos. Esses dispositivos permitem medições em tempo real e a detecção de problemas iminentes. Por outro lado, os analisadores de vibração, geralmente combinados com software especializado, são utilizados para processar e interpretar os dados

coletados. Eles oferecem análises detalhadas, diagnósticos e recomendações para a manutenção preditiva, sendo essenciais para a identificação de falhas mecânicas e o aumento da confiabilidade dos sistemas industriais.

A escolha entre coletores e analisadores depende das necessidades específicas da aplicação, com os coletores sendo ideais para monitoramento em campo em tempo real, enquanto os analisadores oferecem recursos avançados de análise de dados e diagnóstico. Ambos desempenham um papel crucial na manutenção preditiva, na redução de tempo de inatividade não planejado e na economia de recursos industriais. A Figura 2 mostra um profissional da manutenção coletando os dados obtidos pelo sensor e interpretando-os através de um analisador.

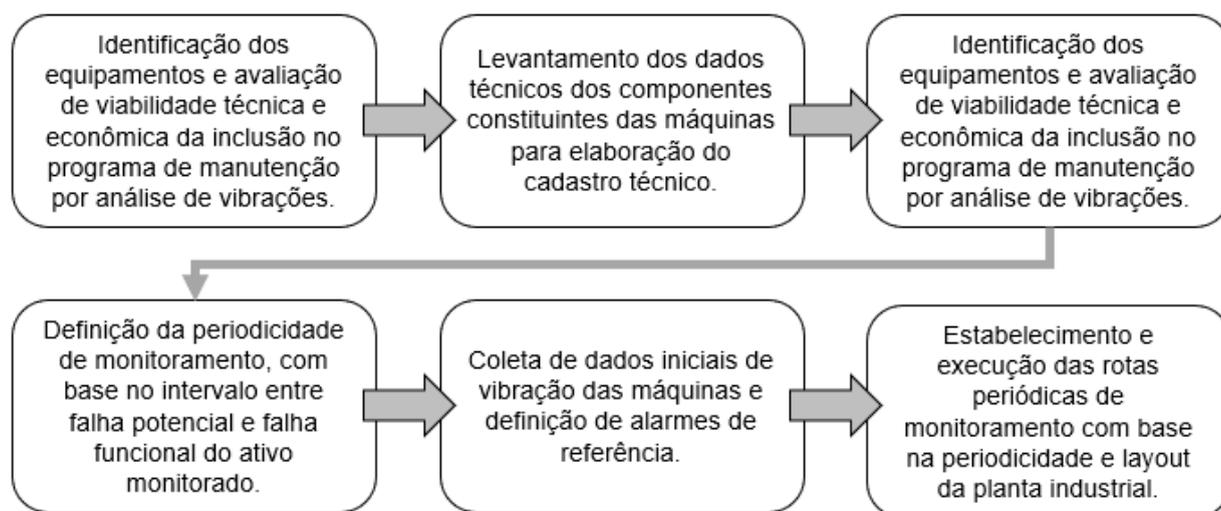
Figura 2: Coletor / Analisador



Fonte: Catálogo Windrock 6400

Um resumo das etapas para implantação do processo de manutenção preditiva por análise de vibrações são mostradas na Figura 3:

Figura 3



Fonte: Dos Autores

3 Aplicação da Análise de Vibração em Casos Reais

O texto descreve três casos de análise de vibração em motores elétricos e equipamentos industriais extraídos do artigo de (JÚNIOR, et al, 2017) Estudo Sobre a Manutenção Preditiva em Motores Trifásico Através da Análise de Vibrações, como parte de um estudo sobre manutenção preditiva em motores trifásicos.

Caso 1 - Triturador Industrial Shredder: Neste caso, o equipamento analisado é um triturador industrial chamado "Shredder" usado para reciclar resíduos de ferragens em uma empresa siderúrgica. O motor utilizado é um Toshiba de 6000HP. A análise de vibração revelou uma anomalia devido a uma falha no sistema de filtragem de ar dos mancais. A análise foi realizada de acordo com as normas ISO 10816-3 e ISO 2372 e identificou um possível defeito na pista interna do rolamento. O problema foi resolvido com manutenção preventiva.

Caso 2 - Moto-redutor: Neste segundo caso, o equipamento analisado é um moto-redutor usado em uma planta fabril de bens de consumo. O motor é de 125CV e está acoplado ao moto-redutor. A análise de vibração revelou a presença de frequências associadas ao desenvolvimento de anomalias no rolamento do motor e no funcionamento das engrenagens do redutor. Embora as amplitudes não fossem alarmantes, foi recomendada uma nova inspeção vibrométrica em um prazo inferior a 4 meses.

Caso 3 - Motobomba: No terceiro caso, o equipamento é um conjunto motobomba utilizado em uma estação de tratamento de água em uma refinaria. O motor tem 2550CV. A análise de vibração indicou níveis alarmantes de vibração, especialmente no mancal LA (lado de acoplamento) do motor, sugerindo desalinhamento e esforços nos mancais. Recomenda-se a inspeção do acoplamento, alinhamento do equipamento e verificação de folgas nos mancais da bomba.

Em todos os casos, a análise de vibração desempenhou um papel crucial na identificação de problemas potenciais ou reais nos equipamentos, permitindo a intervenção de manutenção adequada para evitar falhas mais graves e custosas. A manutenção preditiva baseada na análise de vibração é uma técnica importante para garantir a confiabilidade e a eficiência de máquinas industriais.

4 Benefícios da Análise de Vibração na Indústria

A análise de vibração é uma técnica poderosa e essencial na indústria que oferece uma série de benefícios substanciais, afetando positivamente diversos aspectos da operação industrial.

A manutenção industrial é uma parte fundamental das operações industriais em qualquer localidade. A eficácia da manutenção industrial pode ter um impacto significativo na eficiência operacional, na segurança no local de trabalho e nos custos de produção.

É importante observar que a situação da manutenção industrial pode variar dependendo do setor industrial, das regiões do país e das condições econômicas gerais. Em geral, as empresas têm buscado cada vez mais a manutenção preditiva, utilizando tecnologias avançadas, como análise de vibração para melhorar a confiabilidade de seus equipamentos e reduzir os custos de manutenção.

4.1 Redução de Custos

Os custos de manutenção correspondem à maior parte das despesas operacionais totais das plantas industriais de manufatura e de produção. Dependendo do tipo de indústria, os custos de manutenção podem representar de 15% a 30% do custo dos bens produzidos (ALMEIDA, 2016).

Em decorrência da diminuição do tempo de inatividade não planejado e do prolongamento da vida útil dos equipamentos, as organizações podem almejar uma expressiva redução nos custos de manutenção e reparo. A análise de vibração, nesse contexto, não apenas economiza recursos financeiros, mas também otimiza o uso dos recursos humanos, tornando-se um investimento altamente rentável.

A eficiência da manutenção é tipicamente avaliada com base na disponibilidade dos sistemas e nos custos associados.

Investir em capacitação e equipamentos de manutenção pode aumentar os custos a curto prazo, mas pode resultar em melhores resultados no futuro.

A Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN, 2014) indica que em 2013, o custo foi o indicador de desempenho mais importante para as empresas, seguido pela qualidade.

No artigo de (JUNIOR, et al, 2017), o texto que aborda os custos envolvidos, exemplifica a viabilidade econômica da implementação da técnica preditiva de análise de vibração na manutenção. Destaca-se que treinamento específico para técnicos pode ser necessário, com um custo médio de R\$1.900,00 por funcionário (para treinar 5 funcionários, o custo é de R\$9.500,00) e que os equipamentos podem variar de R\$10.000,00 a R\$50.000,00.

O investimento inicial para treinamento e equipamentos seria em torno de R\$160.000,00. No entanto, a aplicação da análise de vibração pode levar a uma redução significativa do tempo de máquina parada em manutenções, resultando em ganhos para a empresa.

Uma empresa terceira cobra cerca de R\$200,00 para realizar a análise de vibração de um equipamento. Se essa análise for realizada mensalmente para 100 motores, o gasto anual seria de aproximadamente R\$240.000,00.

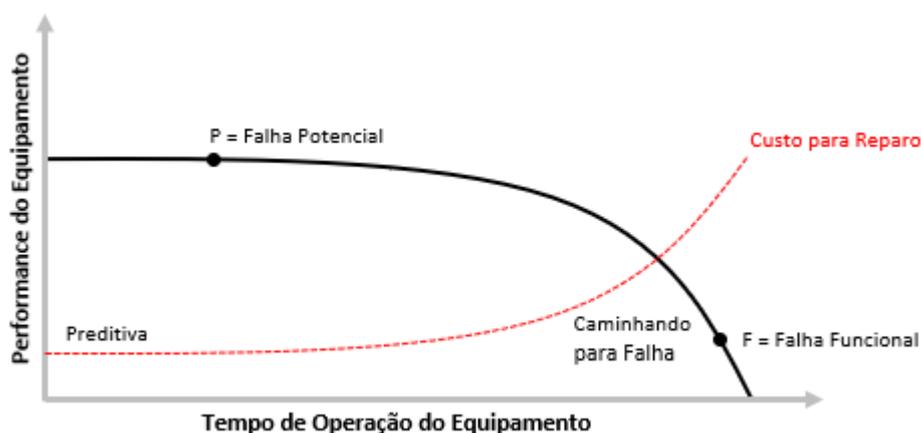
O texto conclui que, em médio prazo, o investimento em aquisição de equipamentos e capacitação da equipe de manutenção pode ser mais lucrativo. A adoção da análise de vibração é especialmente vantajosa em empresas de grande porte onde a paralisação de máquinas afeta diretamente a operação. Para empresas menores, a viabilidade deve ser analisada caso a caso. A tendência é que, com maior adoção, os custos dessa técnica possam diminuir e se tornar acessíveis a empresas menores.

4.2 Manutenção Preditiva

A análise de vibração destaca-se como um instrumento poderoso no âmbito da manutenção preditiva. Essencialmente, ela possibilita a detecção precoce de potenciais problemas mecânicos em equipamentos industriais. Tal capacidade de diagnóstico precoce viabiliza a realização de intervenções antes que ocorra uma falha completa, reduzindo de forma significativa o tempo de inatividade não planejado. Isso não apenas preserva a integridade dos equipamentos, mas também economiza recursos valiosos. A Figura 4 mostra a linha do tempo de um equipamento em relação a sua performance e o tempo de operação.

3458

Figura 4: Demonstrativo do tempo entre a detecção de falhas e o custo para reparo em relação ao tempo.



Fonte: Dos Autores, 2023.

É importante destacar que a principal razão para a adoção da manutenção preditiva é de natureza econômica, e isso se reflete nos seguintes benefícios:

- Redução do desperdício de peças;
- Diminuição dos níveis de estoque associados;
- Melhoria da eficiência nos reparos;
- Aumento da confiabilidade das instalações;
- Redução da gravidade das falhas;

- Maior disponibilidade das máquinas, resultando em menor perda de tempo. Como resultado, são alcançados os seguintes impactos:
- Redução dos custos globais;
- Aumento da confiabilidade;
- Melhoria da produtividade;
- Aprimoramento da qualidade.

A Figura 5 demonstra os principais resultados alcançados com o uso da manutenção preditiva em um total de 500 empresas de vários ramos “Plant Performance Group (uma divisão da Technology for Energy Corporation, 1988)”.

Figura 5: Quadro com aumento de benefícios com manutenção preditiva.

Atividade	% Benefícios
Custos de manutenção	Redução de 50 a 80%
Falhas nas máquinas	Redução de 50 a 60%
Estoque / reposição	Redução de 20 a 30%
Horas extras para manutenção	Redução de 20 a 50%
Tempo de parada de máquinas	Redução de 50 a 80%
Vida útil dos equipamentos	Aumento de 20 a 30%
Lucratividade	Aumento de 25 a 60%

Fonte: Adaptado de Plant Performance Group uma divisão da Technology for Energy Corporation, 1988.

4.3 Aumento da Vida Útil

A identificação e correção de problemas de vibração, como desalinhamento, desequilíbrio ou desgaste de rolamentos, representam um dos pilares da análise de vibração. Ao atuar sobre esses problemas, a análise de vibração contribui de maneira substancial para prolongar a vida útil dos equipamentos. Isso evita o desgaste prematuro e danos graves, resultando em economias substanciais a longo prazo.

4.4 Eficiência Operacional

Equipamentos que operam em condições ideais de funcionamento tendem a ser mais eficientes em termos de consumo de energia e recursos. A análise de vibração desempenha um papel crucial na otimização do desempenho dos equipamentos, contribuindo para a economia de recursos, redução dos custos operacionais e, por conseguinte, aumentando a eficiência operacional da empresa.

4.5 Segurança

Problemas mecânicos não abordados podem representar riscos substanciais à segurança dos trabalhadores e das instalações industriais. Nesse sentido, a análise de vibração emerge como uma ferramenta preventiva crucial, minimizando a probabilidade de acidentes relacionados a falhas mecânicas. O aumento da segurança no local de trabalho é, portanto, um dos benefícios mais essenciais e tangíveis dessa abordagem.

4.6 Planejamento de Manutenção

Os dados obtidos por meio da análise de vibração permitem que as equipes de manutenção planejem suas atividades com antecedência e de forma mais precisa. Isso implica a programação eficaz de manutenções corretivas e preventivas, o que, por sua vez, aprimora a gestão de recursos e reduz o impacto das paralisações não programadas.

Em resumo, a análise de vibração emerge como um recurso de inestimável valor na indústria, oferecendo uma gama diversificada de benefícios que abrangem desde a redução de custos até o aprimoramento da segurança no local de trabalho. Essa ferramenta não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também contribui significativamente para a sustentabilidade e o desempenho geral das empresas industriais. Ao reconhecer seu potencial, as organizações podem se posicionar de forma mais competitiva e resiliente em um mercado cada vez mais exigente.

CONCLUSÃO

A análise de vibração, como demonstrado, assume um papel central na indústria, oferecendo uma série de benefícios substanciais. Em primeiro lugar, essa ferramenta desempenha um papel fundamental na redução de custos operacionais, identificando problemas mecânicos e de desgaste em estágios iniciais, o que permite intervenções proativas, evitando reparos mais dispendiosos e paralisações não programadas. Além disso, a análise de vibração aprimora a segurança no local de trabalho, uma vez que ajuda a identificar potenciais problemas antes que eles se tornem ameaças tangíveis, garantindo que os funcionários estejam protegidos de incidentes relacionados a falhas mecânicas.

O potencial da análise de vibração na indústria é promissor devido a avanços tecnológicos como a Internet das Coisas, Inteligência Artificial, sensores avançados e integração com sistemas de gerenciamento de ativos. Futuramente técnicas como essa não serão mais um diferencial e sim padrão, mostrando que é essencial investir em treinamento,

infraestrutura e pesquisa contínua para aproveitar esses benefícios.

É importante prever recursos para a implementação da análise de vibração em um ambiente industrial, é essencial realizar uma avaliação das necessidades da empresa, determinar um orçamento, priorizar ativos e sistemas, escolher tecnologias adequadas, integrar sistemas, monitorar e ajustar operações, realizar avaliações regulares e considerar fontes de financiamento. O investimento deve ser alinhado com os objetivos estratégicos da empresa, visando aprimorar a eficiência operacional e a confiabilidade dos ativos a longo prazo.

O impacto da análise de vibração vai além da economia de custos e da segurança. Ela também desempenha um papel crucial na sustentabilidade, permitindo a otimização de recursos e o prolongamento da vida útil dos equipamentos industriais. Isso, por sua vez, contribui para a eficiência energética e a redução da pegada ambiental das operações industriais. Em última análise, o uso eficaz da análise de vibração pode posicionar as empresas de forma mais competitiva, capacitando-as a operar de maneira mais eficiente e confiável em um mercado industrial que se torna progressivamente mais exigente. Ao reconhecer a importância e realizar o uso dessa ferramenta, as organizações podem impulsionar seu desempenho geral e reduzir resistência ao seu uso em um mundo cada vez mais desafiador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR10082: Ensaio não destrutivo — Análise de vibrações — Avaliação da vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 rpm a 15000 rpm.** Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

ABRAMAN. Brasil: Associação brasileira de manutenção e gestão de ativos, 2014. Disponível em www.abraman.org.br/. Acesso em: 18 de outubro de 2023.

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade.** ITAJUBÁ - MG: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2016.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas** . Editora AMGH, 2013.

ISO. **ISO 10816-1 : Mechanical vibration - Measurement and evaluation of machine vibration - Part 1: General guidelines.** International Standards Organization, 2009.

ISO. **ISO 10816-3 : Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ.** International Standards Organization, 2009.

JÚNIOR, Geraldo Motta Azevedo et al. **Estudo Sobre A Manutenção Preditiva Em Motores Trifásicos Através Da Análise De Vibrações.** Projectus, Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, p. 70-83, 2017.

RANDALL, Robert Bond. **Vibration-based condition monitoring: industrial, automotive and aerospace applications**. John Wiley & Sons, 2021.

RAO, Singiresu S. **Mechanical Vibrations**, prentice Hall. Indianapolis, IN, 2011.

SCHEFFER, Cornelius; GIRDHAR, Paresh. **Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance**. Elsevier, 2004.

VANCE, John M.; ZEIDAN, Fouad Y.; MURPHY, Brian G. **Machinery vibration and rotordynamics**. John Wiley & Sons, 2010.