



XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica  
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

## DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO PARA ALINHAMENTO DE EIXOS PARA UMA BANCADA DIDÁTICA DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Marcos José de Moraes Junior, [d201910706@uftm.edu.br](mailto:d201910706@uftm.edu.br)<sup>1</sup>

Paulo Balduino Flabes Neto, [paulo.neto@uftm.edu.br](mailto:paulo.neto@uftm.edu.br)<sup>2</sup>

Ricardo Humberto de Oliveira Filho, [ricardo.humerto@ufu.br](mailto:ricardo.humerto@ufu.br)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Av. Frei Paulino, nº 30 – Bairro Abadia – Uberaba - MG

<sup>2</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Av. Frei Paulino, nº 30 - Bairro Abadia – Uberaba – MG

<sup>3</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, nº 2121 - Bairro Santa Mônica - Uberlândia - MG

**Resumo.** As máquinas rotativas têm um papel crucial em diversas indústrias, desempenhando funções vitais para a produção e operação eficiente de equipamentos. No entanto, tais máquinas estão sujeitas a uma série de defeitos que podem afetar seu desempenho e vida útil. O alinhamento dos acoplamentos dos eixos é fundamental para o correto funcionamento dessas máquinas, minimizando problemas operacionais. Existem diferentes tipos de desalinhamento, como o paralelo, o angular e o combinado, resultantes de erros de montagem, deformações estruturais e desgaste dos componentes ao longo do tempo. O desalinhamento pode acarretar sérios problemas operacionais, como vibrações excessivas, alto consumo de energia, ruído anormal e até mesmo falhas mecânicas. Diversos métodos são utilizados para realizar o alinhamento, como por exemplo o uso de uma simples régua, com relógios comparadores e até mesmo sistemas que utilizam laser, cada um com vantagens e limitações específicas. No presente trabalho, o projeto e a modificação de uma bancada didática para a aplicação de diversas técnicas de alinhamento de eixos utilizando relógios comparadores, seguidas de testes realizados, demonstraram-se produtivos e adequados para o aprendizado dos alunos. Essa iniciativa promete ser uma ferramenta extremamente útil no meio acadêmico, podendo ser utilizada dentro de disciplinas do curso ou em futuros trabalhos acadêmicos.

**Palavras chave:** Bancada didática; Alinhamento de eixos; Desalinhamento; Módulo didático.

**Abstract.** Rotating machines play a crucial role in various industries, performing vital functions for the efficient production and operation of equipment. However, these machines are subject to a range of defects that can affect their performance and lifespan. Alignment of couplings and shafts is fundamental for the proper functioning of these machines, minimizing operational issues. There are different types of misalignment, such as parallel, angular, and combined, resulting from assembly errors, structural deformations, and component wear over time. Misalignment can lead to serious operational problems, such as excessive vibrations, high energy consumption, abnormal noise, and even mechanical failures. Various methods are used for alignment, including the use of a simple ruler, dial indicators, and even laser systems, each with specific advantages and limitations. In this study, the design and modification of a didactic bench for the application of various shaft alignment techniques using dial indicators, followed by tests conducted, proved to be productive and suitable for student learning. This initiative promises to be an extremely useful tool in academia, applicable within course disciplines or in future academic endeavors.

**Keywords:** Didactic bench; Shaft alignment; Misalignment; Didactic module.

### 1. INTRODUÇÃO

As máquinas rotativas têm desempenhado um papel crucial em diversas indústrias, desempenhando funções vitais para a produção e operação eficiente de equipamentos. No entanto, essas máquinas estão sujeitas a uma série de defeitos que podem afetar seu desempenho e vida útil. Compreender os defeitos que podem ocorrer em máquinas rotativas é de extrema importância, pois essas falhas podem resultar em sérios problemas operacionais e em elevados custos de manutenção. Portanto, é fundamental dedicar esforços e estudos para identificar, compreender e solucionar esses defeitos, a fim de garantir a confiabilidade e a eficiência de tais equipamentos.

Nesse contexto, o alinhamento dos acoplamentos dos eixos de máquinas rotativas é um processo fundamental para garantir o funcionamento correto desses equipamentos, tal processo consiste no ajuste preciso e adequado dos elementos rotativos das máquinas de modo que fiquem alinhados em relação um ao outro. Para Pacholok (2004), um conjunto só está alinhado quando as linhas de centro de dois eixos, durante todo o seu comprimento, estiverem dentro de níveis aceitáveis de tolerância. O objetivo principal do alinhamento é minimizar o desalinhamento dos elementos rotativos, que

pode ocorrer devido a diferentes fatores, tais como erros de montagem, deformações estruturais, expansão térmica e desgaste dos componentes ao longo do tempo. Segundo Sekhart e Prabhu (1994), o alinhamento impróprio de eixos, causa forças e momentos impróprios ao processo, que podem acarretar em uma série de problemas como vibrações excessivas que causam desgaste prematuro das peças e ruído anormal, aumento do consumo de energia, e até mesmo falhas mecânicas causando a paralisação inesperada da produção. Além disso, o desalinhamento pode afetar negativamente a eficiência do equipamento, reduzindo sua capacidade de transmitir potência de forma eficaz

Existem diferentes tipos de desalinhamento que podem ocorrer em máquinas rotativas, como o desalinhamento paralelo, no qual os eixos estão deslocados no mesmo plano, mas não estão perfeitamente alinhados. Isso significa que os eixos estão paralelos, porém em diferentes posições horizontais ou verticais; o desalinhamento angular, que ocorre quando os eixos não estão perfeitamente alinhados em um ângulo reto, ou seja, eles estão inclinados um em relação ao outro; e o desalinhamento combinado em que os eixos das máquinas rotativas apresentam tanto desalinhamento angular quanto desalinhamento paralelo. Nesse caso, os eixos estão inclinados um em relação ao outro e também deslocados em diferentes posições horizontais ou verticais. De acordo com Hines et al. (1999), o desalinhamento real que ocorre entre máquinas rotativas é uma combinação dos dois tipos de desalinhamentos, conhecido como desalinhamento combinado. Exemplos destes tipos de desalinhamento podem ser visualizado na Figura 1.

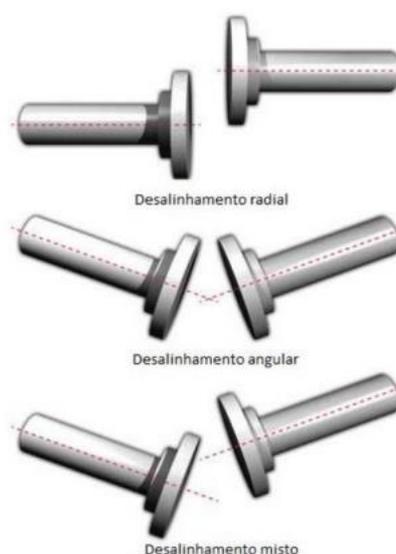


Figura 1. Tipos de desalinhamento (Adaptado de [www.machinerylubrication.com](http://www.machinerylubrication.com))

O atual trabalho tem como objetivo criar um módulo para prática de alinhamento de eixos para uma bancada didática de elementos de máquinas. Os componentes necessários para o módulo didático foram projetados e construídos para se realizar as modificações necessárias na bancada didática de elementos de máquinas já existente. Posteriormente, foi montada e calibrada a instrumentação necessária e, então implementado diferentes métodos de alinhamento de eixos com o uso de relógios comparadores.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Desenvolvimento e montagem da bancada didática

A primeira etapa do desenvolvimento do módulo didático envolve a modificação da bancada pré-existente para a implementação das técnicas de alinhamento de eixos com relógios comparadores. Durante este processo, identificou-se a necessidade de elevar os componentes de alinhamento de eixos, devido à restrição de espaço para o uso dos relógios comparadores. Para resolver esse problema, foram projetados e construídos dois tipos de bases para os mancais utilizando impressão 3D, uma com altura fixa e outra com altura regulável através de um parafuso sextavado, para facilitar o seu uso forçando desalinhamentos para análises posteriores.

Pensando na utilização da bancada didática para análises dinâmicas de desalinhamento de eixos em trabalhos futuros, também foi necessário projetar um sistema de transmissão de movimento, para isso utilizou-se duas polias dentadas juntamente com uma correia de transmissão. A bancada didática antes e após as modificações está ilustrada nas Figuras 2 e 3.

Para a correta fixação dos relógios comparadores, foi necessário projetar e construir três tipos de fixadores diferentes utilizando impressão 3D, além de modificar um dos relógios comparadores para se ter espaço para realizar medições com o método diâmetro-face.

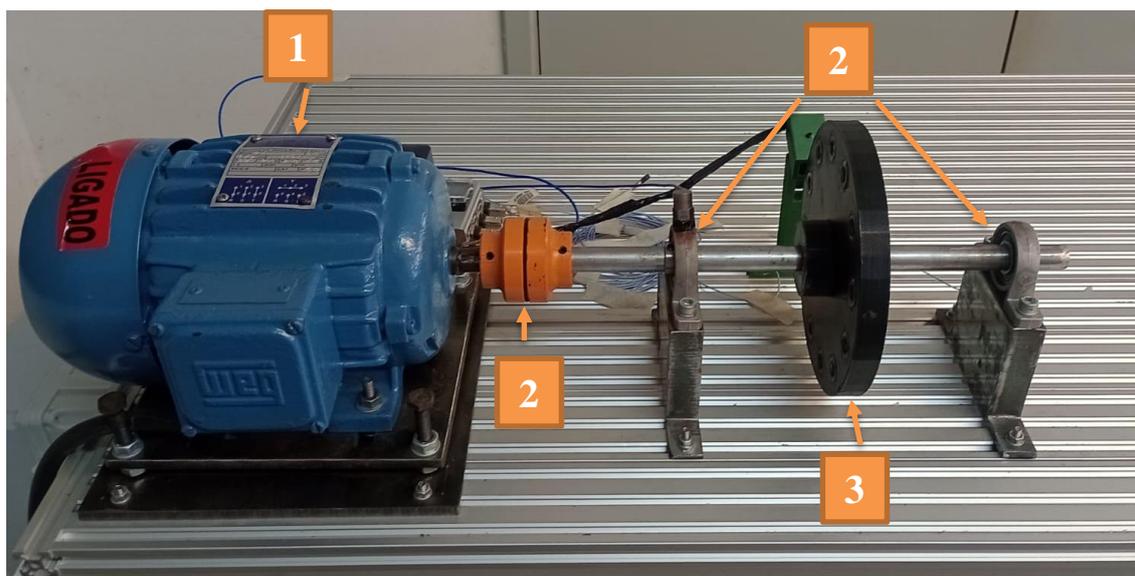


Figura 2. Bancada didática antes das modificações (Dos Autores, 2024)

Na Fig. 2, ilustra o módulo de desbalanceamento de eixos pré-existente ao trabalho e os componentes do sistema estão numerados e identificados conforme a seguir: 1 (motor elétrico), 2 (acoplamento de eixos com diâmetro máximo de 50mm), 3 (mancais de rolamento), 3 (disco de inércia).

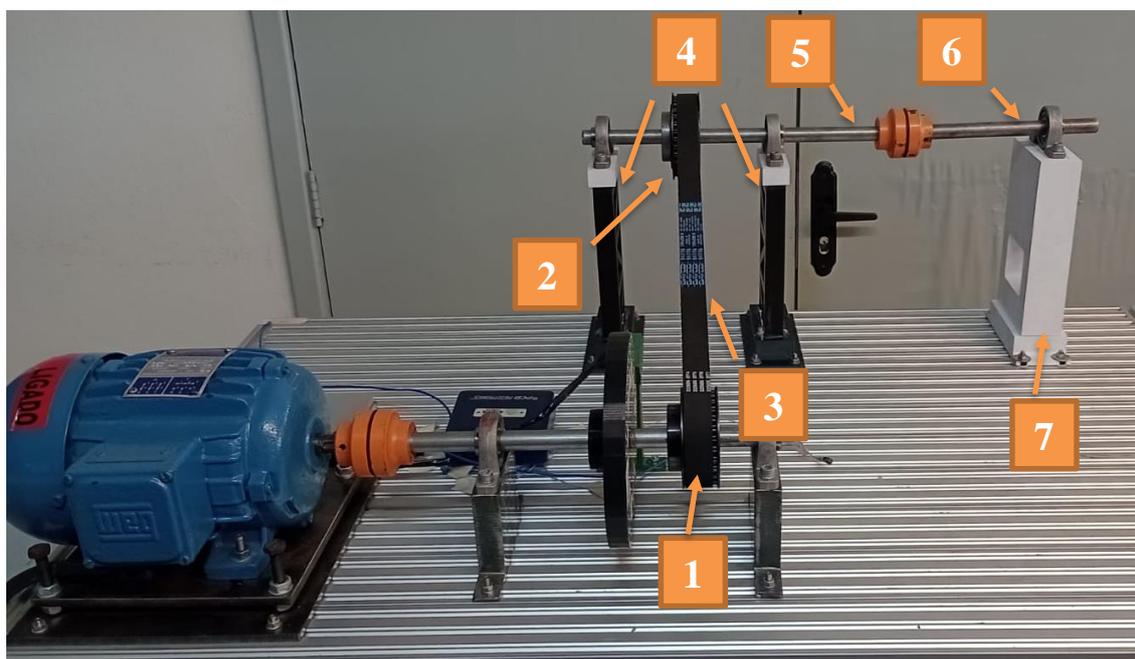


Figura 3. Bancada didática após as modificações (Dos Autores, 2024)

Na Fig. 3, os componentes do sistema estão numerados e identificados conforme a seguir: 1 (polia dentada modelo 32-8M-20), 2 (polia dentada modelo 28-8M-20), 3 (correia dentada de acionamento modelo Dayco 130S8T200 HNBR), 4 (duas bases de elevação de mancais sem regulagem, com altura de 210 mm), 5 (eixo com diâmetro de 15 mm e comprimento de 420mm), 6 (eixo com diâmetro de 15mm e comprimento de 300 mm) e 7 (base de elevação de mancal com regulagem de altura por uso de parafuso sextavado).

Cabe ressaltar que o trabalho está em fase de desenvolvimento, possivelmente serão realizadas alterações na disposição dos componentes listados.

## 2.2. Técnica de alinhamento pelo método diâmetro-face

O método de diâmetro-face, utilizando dois relógios comparadores, é empregado para a medição de alinhamento de eixos. Para a execução do procedimento, os relógios comparadores são montados na configuração ilustrada na Figura 4.

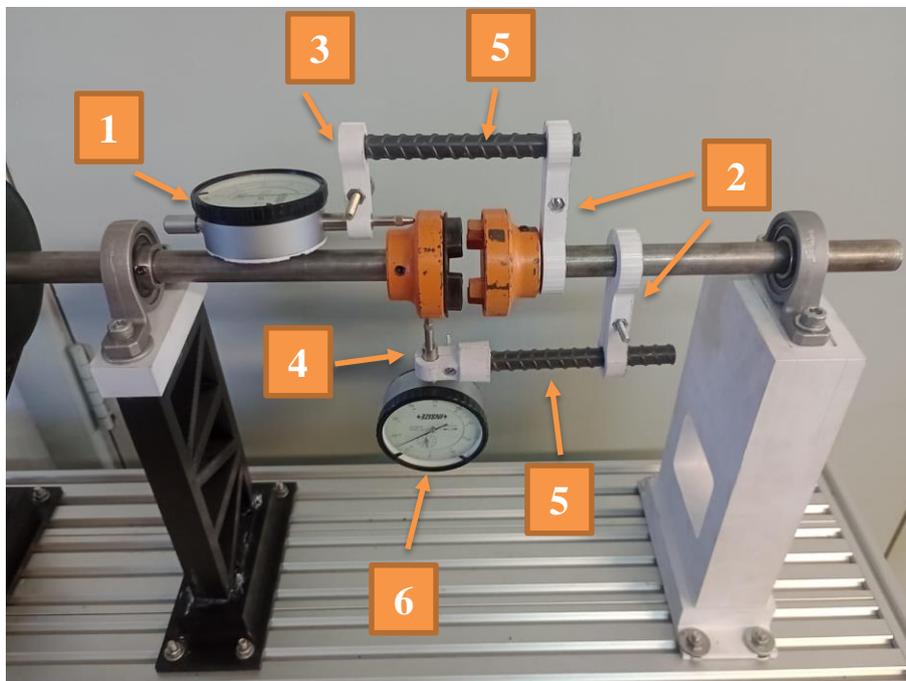


Figura 4. Método diâmetro-face (Dos Autores, 2024)

Na Fig. 4, os componentes estão numerados e identificados conforme a seguir: 1 (relógio comparador com tampa modificada), 2 (suportes fixadores eixo-haste), 3 (suporte fixador para leitura na face do acoplamento), 4 (suporte fixador para leitura radial/diâmetro do acoplamento), 5 (hastes de montagem com diâmetro de 10mm e comprimento de 100mm) e 6 (relógio comparador sem modificação)

Para a utilização deste método, inicialmente os eixos foram desacoplados e definiu-se o eixo do lado esquerdo como móvel e o eixo do lado direito como fixo. Um dos relógios comparadores é fixado com o seu apalpador posicionado na face do acoplamento com o uso do componente 3, possibilitando a medição do alinhamento angular. Já o outro relógio comparador tem o seu apalpador fixado perpendicularmente ao acoplamento utilizando o componente 4 e permitindo assim a medição do alinhamento paralelo. Ambos os relógios comparadores são calibrados com a medida zero antes do início das medições.

Após a fixação dos relógios comparadores e a calibração, são realizadas marcações no acoplamento do eixo móvel em  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$  e em seguida o mesmo é rotacionado para se obter a leitura dos desvios nos relógios comparadores. Durante as rotações, as variações nas leituras dos relógios comparadores são observadas e registradas para análise posterior. Para melhor precisão, são realizadas pelos menos duas rotações completas no eixo móvel.

A partir das leituras obtidas, é possível determinar o desvio máximo de concentricidade entre o eixo e a face de referência. Essa informação é então comparada com as tolerâncias aceitáveis, estabelecidas pelo fabricante da máquina, para avaliar se o alinhamento está adequado.

## 2.3. Técnica de alinhamento pelo método reverso

No método de relógio comparador reverso, o procedimento é similar ao anterior, são empregados dois relógios comparadores, sendo um acoplado ao eixo da esquerda e outro ao eixo da direita. Ambos os relógios comparadores são montados de forma perpendicular aos acoplamentos, conforme ilustrado na Figura 5.

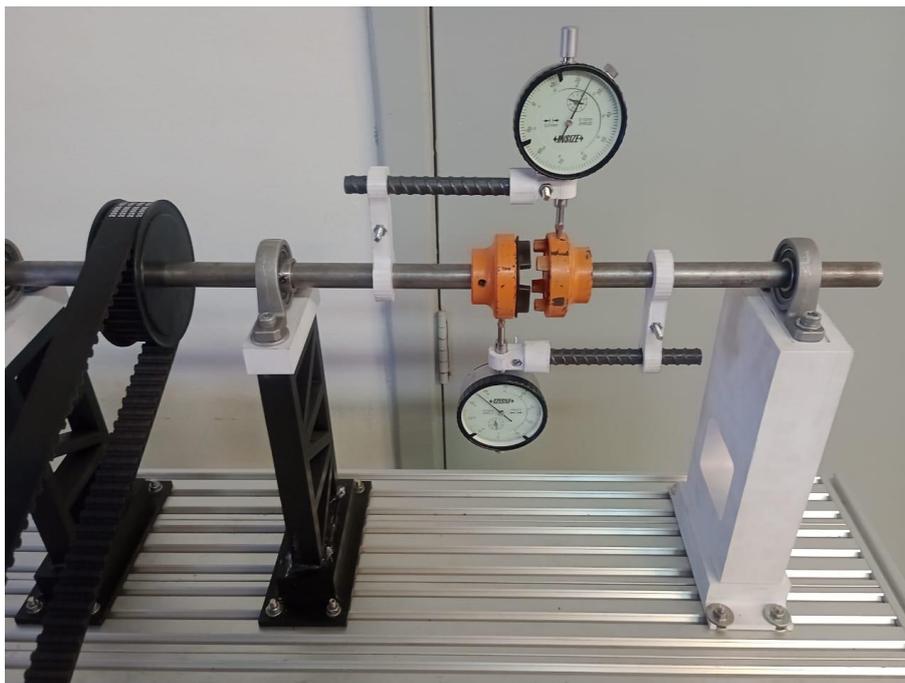


Figura 4. Método reverso (Dos Autores, 2024)

Durante a execução do método, os eixos são rotacionados simultaneamente, enquanto são coletadas as medidas de desvio para análise posterior.

#### 2.4. Método de alinhamento angular

Após realizar as medições com o relógio comparador, é necessário comparar os valores obtidos com as tolerâncias especificadas para o acoplamento utilizado. Segundo Shaeffer e Girdhar (2004, p. 163) as faixas de tolerância são estabelecidas correlacionando a velocidade angular de operação do maquinário com uma medida segura de desalinhamento. Caso o valor medido esteja fora da margem de tolerância, é necessário realizar o alinhamento do sistema. Para determinar a altura dos calços a serem colocados ou retirados durante o processo de alinhamento, utiliza-se a Eq. 1:

$$H = (X * L)/D \quad (1)$$

Onde:

- H representa a altura a ser corrigida para o alinhamento;
- X corresponde à leitura obtida pelo relógio comparador.
- L é a distância entre o centro do acoplamento e os pontos de fixação do equipamento.
- D representa o diâmetro da circunferência descrita pela ponta do relógio comparador.

Essa fórmula é utilizada para calcular a altura de correção necessária, com base na leitura do relógio comparador, a distância entre os pontos de fixação e o diâmetro da circunferência percorrida pela ponta do relógio. Portanto, com base nas medições e nos cálculos realizados, é possível determinar a altura correta dos calços a serem adicionados ou removidos para realizar o alinhamento adequado do sistema.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Vale ressaltar que o trabalho está em fase de desenvolvimento e os testes finais serão realizados posteriormente com a montagem da bancada didática finalizada.

Inicialmente foram projetadas bases de elevação sem regulagem de altura, com o intuito apenas de se realizar medições e análises estáticas de desalinhamento de eixos, forçando desalinhamentos utilizando calços fabricados em lata instalados entre as bases de elevação e os mancais, porém ao decorrer dos testes notou-se a necessidade em simplificar o uso da bancada didática, pensando principalmente em futuras aulas do curso de Engenharia Mecânica. Para solucionar este problema foi projetada e construída um novo tipo de base de elevação que possui regulagem de altura feita por uma porca e parafuso sextavados, facilitando o forçamento de todos os tipos de desalinhamentos.

Para a utilização do módulo de alinhamento em trabalhos futuros com análises dinâmicas, detectou a necessidade de transmitir movimento do motor elétrico para o módulo de alinhamento de eixos, para tanto foi necessário encontrar uma

correia dentada comercial que atendesse todas as necessidades do projeto, para isso foi realizado um estudo em catálogos de peças automotivas para encontrar uma correia ideal para o projeto. Outros tantos desafios foram encontrados e superados durante a modificação da bancada didática e testes iniciais, como por exemplo a forma de se fixar os relógios comparadores nos eixos e a falta de espaço para realizar as medições na face dos acoplamentos, para tanto foram projetadas peças específicas que foram construídas utilizando impressão 3D.

Foram realizados testes iniciais para comparação da viabilidade e facilidade dos dois métodos de alinhamento propostos. Assim foi possível observar que o método de medições reversas apresenta desvantagens em relação ao método de diâmetro-face. Enquanto o método diâmetro-face permite medições tanto paralelas quanto angulares, o método de relógio comparador reverso é limitado a medições paralelas. Isso significa que ele avalia apenas o alinhamento paralelo dos eixos, sem considerar desvios angulares entre eles. Outra dificuldade encontrada com a utilização do método reverso é de se realizar a leitura dos valores nos relógios comparadores nas diferentes posições de rotação.

#### **4. CONCLUSÃO**

Este artigo destaca a relevância da exploração de uma característica amplamente presente em máquinas rotativas, bem como os desafios associados à sua operação eficiente. A montagem da bancada didática e os testes experimentais representaram etapas cruciais para o desenvolvimento deste estudo.

A aplicação de técnicas de alinhamento de eixos com relógio comparador exerce uma influência significativa no desempenho e na eficiência das máquinas rotativas. Devido às suas soluções eficazes e de baixo custo, tais técnicas possuem ampla aplicação na indústria.

As dificuldades encontradas durante a montagem e ajuste das diferentes configurações para o uso de relógios comparadores na bancada didática de alinhamento de eixos permitem simular situações reais encontradas na indústria, proporcionando uma valiosa capacitação para os alunos do curso de Engenharia Mecânica e devido à sua facilidade de adaptação, esse módulo didático pode ser modificado ou reutilizado em futuros trabalhos acadêmicos relacionados ao tema abordado neste estudo.

Por fim, a modificação da bancada didática promoverá um impacto positivo dentro da comunidade acadêmica, auxiliando os alunos em seu aprendizado.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Agradecemos profundamente à FAPEMIG pelo financiamento da Iniciação Científica.

#### **6. REFERÊNCIAS**

- HINES et al., Shaft Misalignment Reduces Bearing Life. 1999. Artigo. Disponível em: <<https://www.efficientplantmag.com/1999/04/study-shows-shaft-misalignment-reducesbearing-life/>>. Acesso em: abr. 2024.
- PACHOLOK, M. Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos de máquinas rotativas: uma ferramenta auxiliar à análise de vibrações. 2004. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Disponível em: <<http://www.biblioteca.pucpr.br/>>. Acesso em: abr. 2024.
- SCHAEFFER, C.; GIRDHAR, P. Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance. 2004.
- SEKHART, A. S.; PRABHU, B. S.; Effects of Coupling Misalignment on Vibrations of Rotating Machinery. Journal of Sound and Vibration, India, 10 abr. 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X85704075>>. Acesso em: abr. 2024.
- SENAI; Alinhamento de máquinas rotativas. 1997. Espírito Santo. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/25205120/Mecanica-Alinhamento-de-Maquinas-Rotativas-SENAICST>>. Acesso em: jul. 2023

#### **5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

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