



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

01 a 03
de dezembro 2021

Análise do Efeito de Desalinhamento de Motores Elétricos para Aplicação de Manutenção Preditiva

Lucas Pires de Lima

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

Diego Alves de Miranda

Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade Senai

Resumo: Atualmente no meio industrial, existe uma alta demanda de produção, onde na maioria das vezes as empresas necessitam de 100% da disponibilidade de seus maquinários para garantir o produto final. Entretanto para que isso seja possível, um dos setores primordiais é o da manutenção. Por isso, este trabalho apresenta um estudo de análise da viabilidade da manutenção preditiva no setor industrial, acoplado um motor elétrico industrial a uma bancada didática, no qual foi mensurado alguns parâmetros físicos de corrente elétrica, vibração, aceleração e temperatura da carcaça e do eixo em pontos estrategicamente definidos. Este método foi intercalado sendo realizado com a bancada alinhada e também desalinhada em até 3mm no sentido axial e radial no eixo do motor. A cada desalinhamento aplicado foi realizado a coleta de dados de tais parâmetros e comparados graficamente. Os testes experimentais demonstraram que com um simples desalinhamento de 1mm no sentido axial do eixo do motor, os valores de vibração nos pontos mensurados chegaram a ter um aumento percentual de 264% em relação aos valores iniciais com a bancada alinhada.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva, Alinhamento de Eixos, Análise de Vibração.

Analysis of the Effect of Misalignment of Electric Motors for the Application of Predictive Maintenance

Abstract: Currently in the industrial environment, there is a high demand for production, where most companies need 100% of the availability of their machinery to guarantee the final product. However, for this to be possible, one of the main sectors is maintenance. Therefore, this work presents an analysis study of the feasibility of predictive maintenance in the industrial sector, coupling an industrial electric motor to a didactic bench, in which some physical parameters of electric current, vibration, acceleration and temperature of the housing and shaft were measured. at strategically defined points. This method was interspersed being performed with the bench aligned and also misaligned by up to 3mm in the axial and radial directions on the motor shaft. For each misalignment applied, data were collected from such parameters and compared graphically. Experimental tests showed that with a simple misalignment of 1mm in the axial direction of the motor shaft, the vibration values at the measured points reached a percentage increase of 264% compared to the initial values with the bench aligned.

Keywords: Predictive Maintenance, Shaft Alignment, Vibration Analysis.

1. Introdução

Com o grande crescimento industrial das empresas nos dias atuais fica cada vez mais evidente, não apenas no sentido quantitativo, mas também em seus aspectos qualitativos, a busca pela excelência nos processos. Entretanto, de acordo com Shaikoski Jr e Miranda (2018), um dos maiores vilões das empresas, são as perdas durante um processo, ocasionado pela quebra de máquina, tendo como consequência a manutenção imediata de tal equipamento, causando não só perda de rendimento financeiro para a empresa, mas como também a perda excessiva de tempo durante a execução do serviço, impactando diretamente nas linhas de produção.

Um estudo referente a aplicação dos tipos de manutenção realizado por Pinto e Xavier. (2019), traz à tona a importância da utilização de tipos de manutenção que antecipem as falhas prematuras de componentes mecânicos, tendo algum tipo de monitoramento dos mesmos ou até mesmo fazendo trocas de peças dentro de intervalos programados. O destaque que este autor aborda sobre o tema é de grande valia para o desenvolvimento de novos meios de manutenção, evitando sempre que o maquinário venha ter uma parada inesperada, obtendo uma perda de rendimento e disponibilidade do equipamento para a empresa.

No estudo realizado por Bezerra. (2004), o mesmo relata sobre a detecção de falhas em rolamentos por análise de vibração, no qual por meio da análise preditiva o autor conseguiu identificar falhas futuras nas pistas dos rolamentos, fazendo a intervenção antes mesmo da parada repentina do equipamento, trazendo ganhos significativos de produtividade e também garantindo a qualidade no processo.

Um estudo referente a regras de análise de vibração para auxílio à tomada de decisão na operação de bombas centrífugas realizado por Silva, Basilio e Silva (2010), os autores apresentaram um sistema com indicadores da manutenção preditiva que visava o monitoramento e diagnóstico de falhas durante a operação em bombas centrífugas.

Assunção. (2006), confrontou a aplicação das técnicas de análise preditiva para detectar falhas elétricas em motores de indução trifásicos. O autor traz que tais técnicas são muito vantajosas em relação as demais manutenções, por considerar que utilizando a preditiva, os motores não necessitam de abertura e nem desligamento do mesmo para efetuar alguma análise, e ainda permitem um monitoramento remoto, ainda menciona que tais vantagens representam sim um grande ganho, cerca de 30%, pois assim garante-se maior aproveitamento da vida útil do motor, diagnosticando de forma precisa uma possível falha existente.

Estudos realizados por Vathoopan et al. (2018) e Rodrigues et al. (2021), realizaram a aplicação de um gêmeo digital, que utilizam da tecnologia da manutenção preditiva para ter um diagnóstico real dos componentes de um maquinário, atuando basicamente como indicadores de manutenção e provando ser aplicável. Destaca-se que os autores aplicaram não apenas teoricamente, mas sim na prática, a viabilidade da preditiva em parceria com a manutenção corretiva, que é possível trazer ganhos significativos para as empresas, indiferente o ramo que atuam. Com a análise do autor fica claro a importância do estudo do tema de manutenção, até mesmo nos dias atuais.

Nesta contextualização percebe-se a relevância da manutenção preditiva nos dias atuais, sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar e mensurar praticamente parâmetros que poderiam interferir no funcionamento máquinas que possuem motores elétricos, ocasionado por uma possível falha prematura de algum componente. Sendo assim, foram realizados testes experimentais em uma bancada didática industrial, realizando a coleta de informações de temperatura, corrente, vibração e aceleração do conjunto em pontos estrategicamente definidos. Foi possível perceber como um

desalinhamento mínimo axial e radial na parte motora de um conjunto industrial, pode trazer várias consequências negativas para o restante do maquinário.

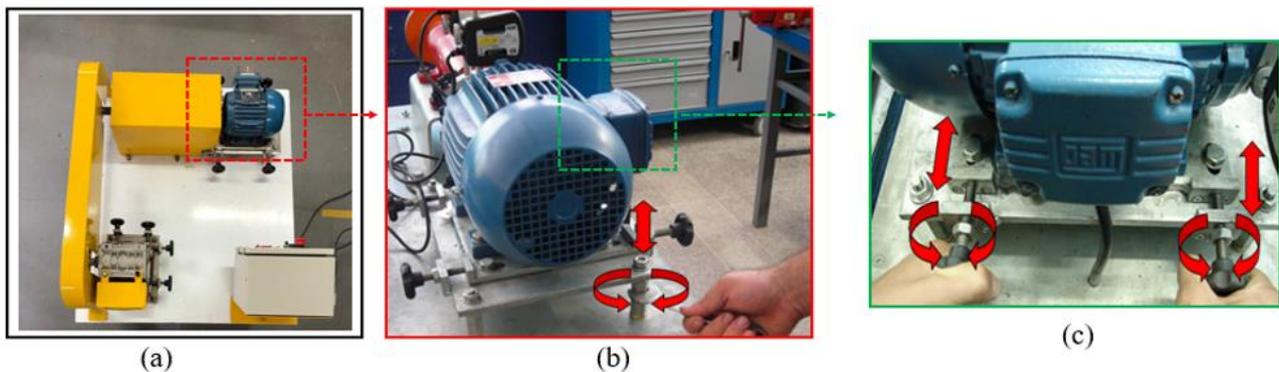
2. Metodologia

. Este estudo propõe analisar a viabilidade de aplicação da manutenção preditiva no setor industrial, realizando a mensuração de alguns dados de uma bancada didática industrial desalinhada. Dados esses como aceleração, vibração, medição da corrente do motor e também da temperatura em pontos específicos do equipamento. Após mensurar estas informações, foi realizada uma intervenção preditiva como o alinhamento de eixos e de polias, e refeito o mesmo procedimento inicial para confortar os resultados. Todos os dispositivos preditivos, inclusive a bancada, foi cedida pela instituição de ensino SENAI para que o desenvolvimento do estudo fosse possível.

2.1 Bancada Industrial Didática

A bancada industrial utilizada para a coleta de dados na análise preditiva, foi fabricada com o intuito de simulações de manutenções industriais, sendo elas corretivas, preventivas ou até mesmo preditivas, onde os mantenedores conseguem desmontar ela praticamente inteira, tendo acesso a equipamentos e componentes que estão presentes diariamente no setor industrial. Na Figura 1 é possível observar a bancada utilizada.

Figura 1 – Bancada Didática Industrial. a) Bancada Montada. b) Regulagem Axial. c) Regulagem Radial.



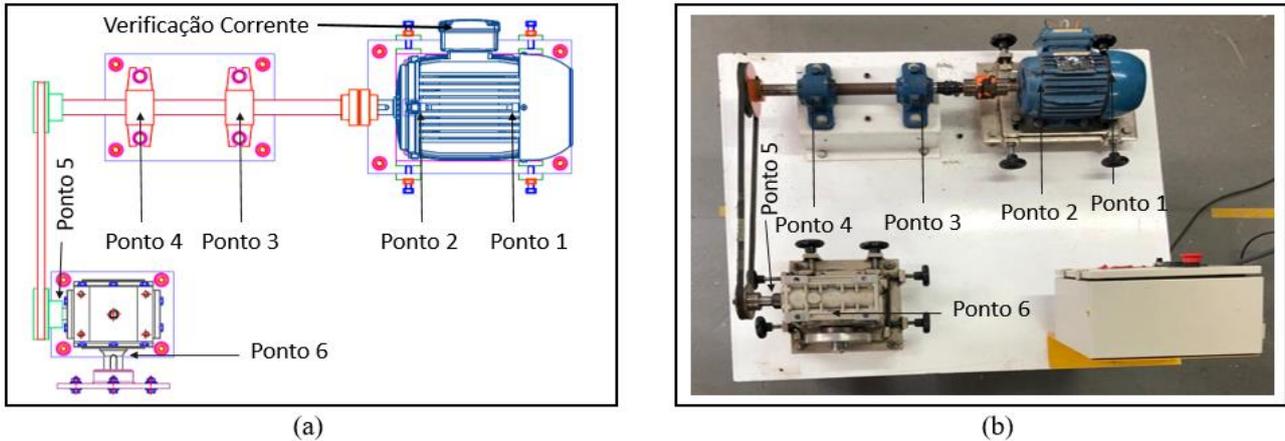
Fonte: Primária (2021).

Cabe ressaltar um detalhe importante desta bancada, que tanto as fixações do motor, quanto do redutor tem regulagens nos eixos de fixação (Figura 1.b e Figura 1.c), o que permite o alinhamento e desalinhamento dela de forma a facilitar a coleta de dados nas simulações práticas preditivas.

Para os ensaios práticos realizados foram utilizados os seguintes equipamentos de manutenção preditiva: Alicata Amperímetro, Câmera Termográfica, Caneta Medidora de Vibração, Alinhador de Eixos a Laser e Alinhador de Polias a Laser todos esses cedidos por empréstimo pela instituição de ensino SENAI. Para a coleta de dados na bancada industrial didática, seguiu-se a seguinte sequência de procedimentos:

- 1º Ligar a bancada em 30Hz e a manter em funcionamento por 10 minutos;
- 2º Medir a corrente no motor durante o funcionamento da bancada;
- 3º Medir a temperatura do conjunto nos pontos especificados na Figura 2 após os 10 minutos de funcionamento;
- 4º Medir a vibração com a caneta medidora de vibração durante o funcionamento do equipamento nos pontos especificados na Figura 2.

Figura 2 – Pontos de verificação da bancada. a) Representação esquemática. b) Demonstração na bancada.



Fonte: Primária (2021).

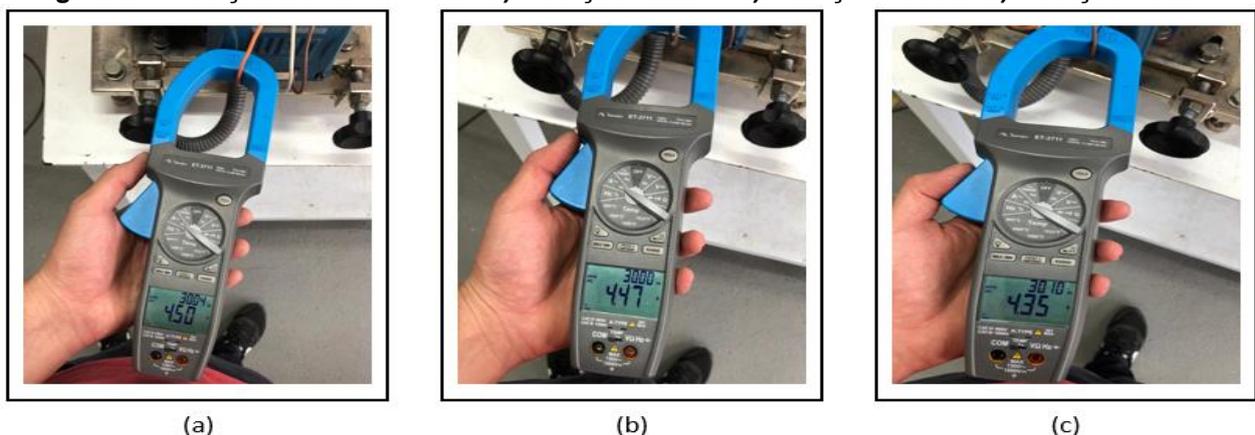
Para realizar a coleta de dados da bancada didática industrial nos pontos demonstrados na Figura 2, foi realizado o alinhamento de polias a laser e o alinhamento de eixos a laser e feito uma conferência dos dados obtidos, dados esses que são da bancada totalmente alinhada. Após essa mensuração e coleta dessas informações, foi realizado intervenções de desalinhamento de até 3 mm nos eixos X e Z dos pés do motor da bancada, e realizado novas medições seguindo o Anexo A.

Com base no Anexo A foi realizado todas as medições de Temperatura, Corrente, Vibração e Aceleração, cada vez que foi feito uma intervenção de desalinhamento em um de seus eixos X ou Z. Não foi realizado intervenções no eixo Y, devido a construção da bancada em si não permitir. Os resultados comparativos de alinhamento e desalinhamento, serão apresentados no tópico de resultados e discussões.

2.2 Alicate Amperímetro

Um alicate amperímetro é um instrumento de medição elétrica, utilizado para medir determinadas grandezas elétricas, como corrente e tensão. Este instrumento foi utilizado para medir as corrente do motor no ponto indicado na Figura 2, da forma mostrada na Figura 3.

Figura 3 – Medição Corrente Motor. a) Medição Fase R. b) Medição Fase S. c) Medição Fase T.



Fonte: Primária (2021).

O procedimento mostrado na Figura 3, é realizado com o equipamento em funcionamento, afim de monitorar um aumento em uma das fases do motor (R,S,T), que pode ser ocasionado por um desalinhamento do conjunto. Essas medições nas fases, foram executadas antes e depois do alinhamento, podendo assim comparar tais valores, esses que estão disponíveis no tópico resultados.

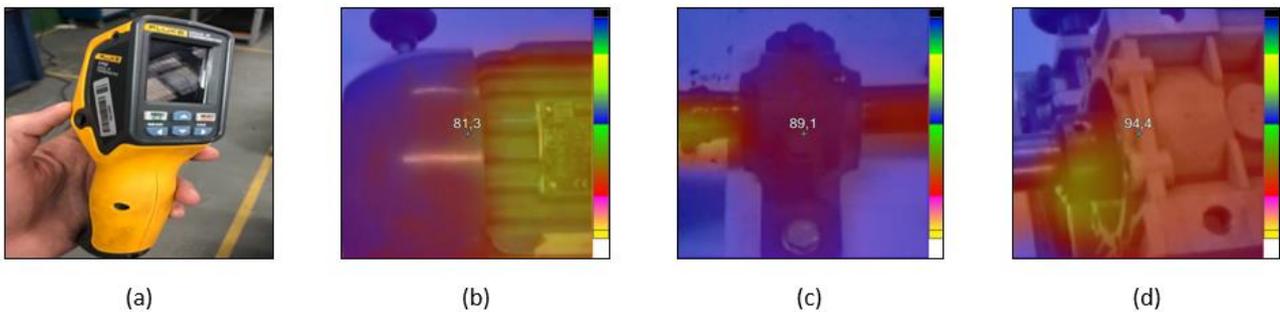
2.3 Câmera Termográfica

A câmera termográfica é utilizada na termografia, que é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que busca identificar a temperatura real de um determinado corpo em tempo real.

Em um estudo sobre aplicação da termografia em meio industrial feito por Pagnussat. (2016), o autor menciona que com este tipo de análise é possível antecipar possíveis falhas até mesmo em componentes elétricos que sofrem grandes avarias com altas temperaturas.

Levando em considerações experiências positivas como a do autor, é que se optou por considerar a utilização de tal técnica no trabalho, que pode ser vista na Figura 4.(a).

Figura 4 – Câmera Termográfica. a) Câmera Termográfica. b) Medição Ponto 1. c) Medição Ponto 3. c) Medição Ponto 5.



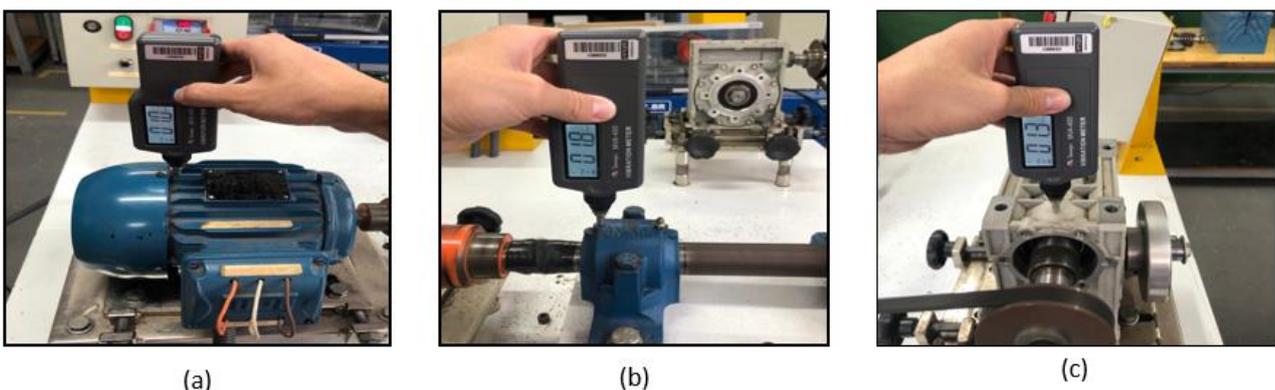
Fonte: Primária (2021).

No ensaio prático realizado nas Figuras 4.(b),(c) e (d), a câmera termográfica serviu para medir a temperatura nos 6 pontos mostrados na Figura 2, podendo assim fazer um comparativo da temperatura antes da intervenção e depois da intervenção preditiva na bancada didática. Por se tratar de algo visual e em tempo real, fica fácil identificar uma possível falha nos conjuntos, sejam mecânicos ou elétricos.

2.4 Caneta Medidora de Vibração

Atualmente existem vários tipos de equipamentos destinados a captar a intensidade de vibração de componentes de um maquinário, como por exemplo o da Figura 5.(a).

Figura 5 – Caneta Medidora de Vibração. a) Medição no Ponto 1. b) Medição no Ponto 3. c) Medição no Ponto 5.



Fonte: Primária (2021).

A caneta medidora de vibração realiza leitura de nível global de velocidade de vibração e compara automaticamente com parâmetros ISO (*International Organization for Standardization*) pré-programados. Esse equipamento foi utilizado nas medições de vibrações na bancada industrial nos 6 pontos indicados na Figura 2, onde o valor encontrado de vibração pode ser comparado antes e depois da intervenção de alinhamento de eixos e polias a laser, de forma a analisar no tópico de resultados. Vale ressaltar que essa análise foi feita tendo como base a norma ISO 10816-3 que é responsável pela

classificação da severidade das vibrações em equipamentos rotativos, e tem suas divisões como mostra o Anexo B.

O Anexo B mostra as duas divisões existentes para análise, sendo a primeira do grupo 2 aplicada a máquinas de tamanho pequeno e médio porte, que tenham altura de eixo entre 160mm e 315mm, onde essas máquinas normalmente são equipadas com rolamentos. Já o grupo 1, refere-se a máquinas de grande porte, com alturas de eixo superior a 315mm. Na coleta de dados foi baseado no grupo 2, por se tratar de um equipamento de pequeno a médio porte.

Outro ponto importante a analisar conforme a Norma 10816-3, foi em relação a classe que a bancada iria se adequar. Essas classes podem ser vistas no Anexo C, que refere-se a quantas rotações por minuto é utilizado no equipamento e também ao diâmetro do eixo do mesmo. Sendo a primeira classe para equipamentos que tenham a velocidade inferior a 500rpm e o eixo que varie entre 200mm e 500mm, a segunda para equipamentos entre 500rpm a 1800rpm que tenham um eixo entre 50mm e 300mm e pôr fim a terceira classe para equipamentos que alcancem as rotações entre 1800rpm e 3600rpm e tenha seus respectivos diâmetros de 20 a 150mm.

Para a análise da bancada didática, foi levado em consideração a classe 2, devido ao diâmetro do eixo da mesma e da rpm utilizada na bancada.

2.5 Alinhador de Eixos a Laser

A técnica de alinhamento de eixos acoplados utilizando o alinhador de eixos a laser tem grande superioridade a outras técnicas existentes, como por exemplo o alinhamento por régua graduada, ou até mesmo o meio utilizando relógio comparador. Utilizando o alinhador de eixos a laser, o alinhamento chega a ser inúmeras vezes melhor e mais preciso do que as técnicas citadas anteriormente. O alinhador pode ser visto na Figura 6.

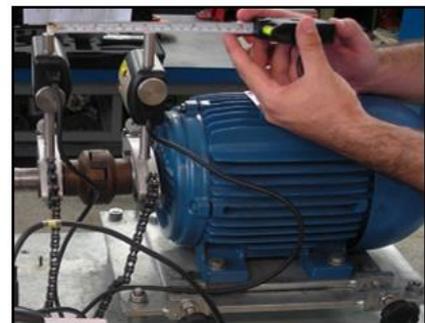
Figura 6 – Alinhador de Eixos a Laser. a) Alinhador de Eixos a Laser. b) Posicionamento do Alinhador no Acoplamento. c) Medições sendo conferidas no Alinhador.



(a)



(b)



(c)

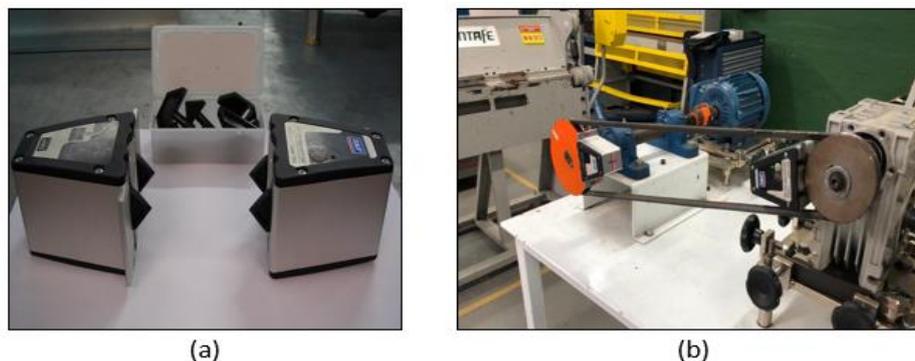
Fonte: Primária (2021).

Por se tratar de um alinhamento por feixes de luz que manda em tempo real leituras numéricas para o visor do alinhador, mostrando o quanto de interferência o operador necessita efetuar no conjunto a ser alinhado, elimina erros comuns e leituras inconsistentes, aumentando assim a confiabilidade e também a rapidez no alinhamento (PEREIRA,2010). Conforme a Figura 6.(b) e (c), é possível identificar o equipamento que foi utilizado para fazer a intervenção e a coleta de dados na bancada industrial. Esse tipo de alinhamento de eixos, evita avarias futuras devido a falha prematura de algum componente, causado pelo desalinhamento da máquina.

2.6 Alinhador de Polias a Laser

O alinhamento de correias a laser é um método fácil e preciso para ajustar a máquina, de forma a alinhar com exatidão as ranhuras das polias em V.

Figura 7 – Alinhamento de Polias a Laser. a) Alinhador de Polias a Laser. b) Alinhamento sendo realizado na bancada.



Fonte: Primária (2021).

Esse procedimento de alinhamento mostrado na Figura 7.(b), foi realizado com o intuito de alinhar as polias do conjunto, auxiliando assim que os valores de temperatura, corrente, vibração e aceleração coletados nos pontos na Figura 2 fossem normalizados, conforme será apresentado no tópico de resultados.

3. Resultados e Discussão

Neste tópico será apresentado os resultados de corrente, temperatura, vibração e aceleração, obtidos através das mensurações nos pontos mostrados da Figura 2, seguindo a sequência dos desalinhamentos conforme o Anexo A. De forma a ficar mais visual, foi gerado gráficos de comparação por meio do software *Origin* com os dados coletados.

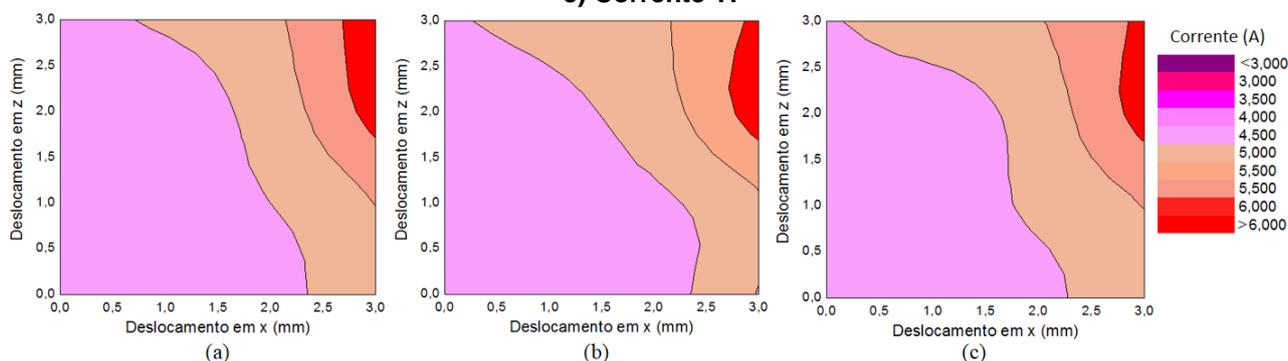
3.1 Resultados da Coleta de Dados

Para a coleta de dados na bancada industrial didática, seguiu-se os procedimentos anteriormente citados, utilizados a cada intervenção realizada nos eixos X e Z, para que os resultados iniciais e finais fossem cabíveis para análise.

3.1.1 Alteração da Corrente

A cada desalinhamento realizado de acordo com o Anexo A, foi efetuado a medição das 3 fases de entrada do motor elétrico industrial, que gerou dados comparativos de corrente conforme mostra o Figura 8.

Figura 8 – Alteração da corrente em função do desalinhamento em x e z. a) Corrente R. b) Corrente S. c) Corrente T.



Fonte: Primária (2021).

A partir da Figura 8, nota-se que a corrente sofre uma alteração levemente maior quando aplicado um desalinhamento radial (eixo x) de 3mm, como retrata na Figura 8.(a), em que a corrente foi de 4,7A para 5,5A, e já no sentido axial (eixo Z) quando desalinhado em 3mm, a corrente foi de 4,7A para 4,9A.

Entretanto quando esses desalinhamentos são combinados em 3mm nos dois eixos, o valor da corrente sobe aproximadamente de 4,7A para 6,3A. De acordo com

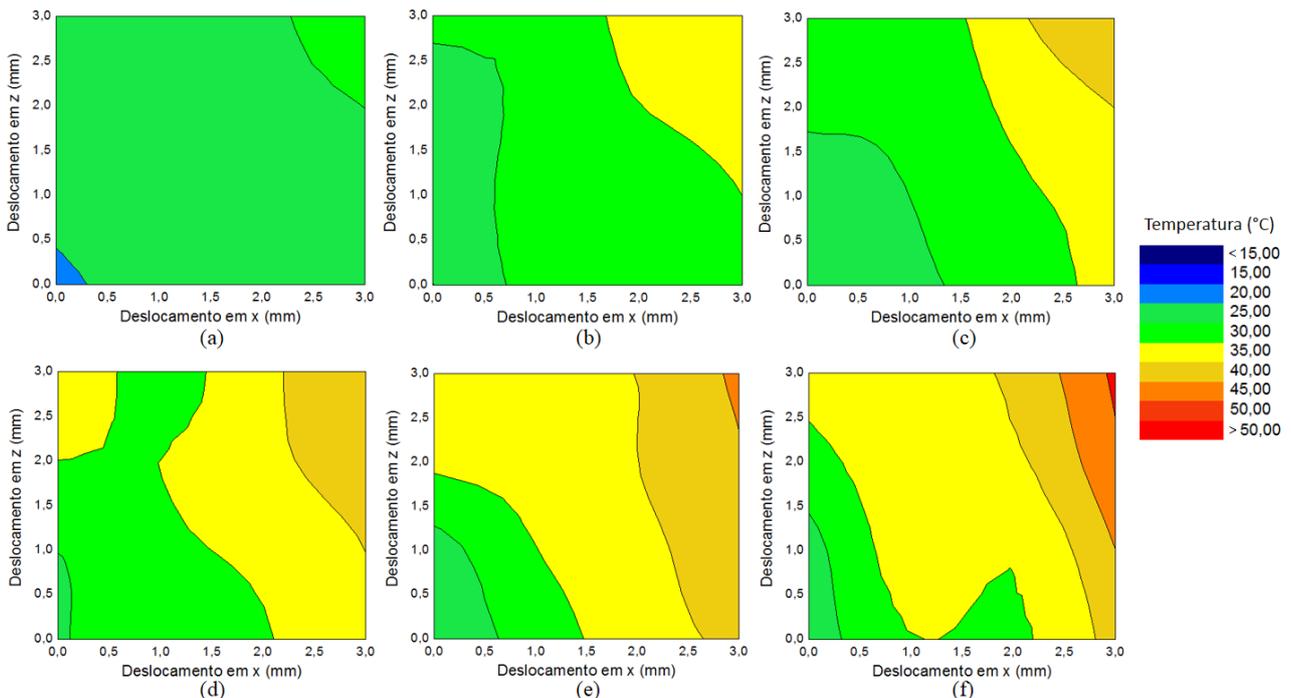
Pscheidt e Miranda (2019). esse aumento da corrente é consequência do motor estar trabalhando de forma forçada, ou seja precisa de mais energia para executar determinado trabalho.

Em um estudo sobre o impacto do desalinhamento em máquinas rotativas no consumo da energia elétrica feito por Almeida. (2018), o autor aplicou um desalinhamento de 0,05mm e 0,10mm no sentido axial e radial de um conjunto industrial, desalinhamentos esses que estão dentro da tolerância conforme o autor. O autor ainda coletou as correntes do motor para comparação em cada desalinhamento aplicado, ao qual o mesmo relatou um aumento de 4,5% nas correntes mesmo trabalhando com valores de desalinhamentos aceitáveis. Tais aumentos de corrente provocado pelo desalinhamento do conjunto, tem um impacto direto no consumo de energia elétrica, pois quanto maior a corrente, maior será a potência dissipada, ou seja, maior será o consumo. Em relação a Figura 8, quando os desalinhamentos de 3mm foram combinados nos dois sentidos, obteve-se um aumento de consumo de 34% em relação ao conjunto alinhado inicialmente.

3.1.2 Alteração de Temperatura

A cada desalinhamento realizado de acordo com o Anexo A, foi efetuado a medição da temperatura em cada um dos pontos indicados na Figura 2, gerando dados comparativos, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Alteração da Temperatura em função do desalinhamento em x e z. a) Ponto 1. b) Ponto 2. c) Ponto 3. d) Ponto 4. e) Ponto 5. f) Ponto 6.



Fonte: Primária (2021).

Como apresentado na Figura 9, quanto maior o desalinhamento, mais altas são as temperaturas alcançadas, como por exemplo na Figura 9.(e), que retrata o Ponto 5 mensurado com base na Figura 2, onde a temperatura inicial com a bancada alinhada estava em aproximadamente 27°C, e logo após com um desalinhamento de 3mm no eixo axial e também radial, alcançou 46°C.

Segundo Dinamox. (2019), esse aumento de temperatura ocasionado por um desalinhamento acaba dissipando boa parte da energia que deveria ser convertida em trabalho, isso devido ao contato em excesso dos componentes, levando uma redução direta de até 15%. Já no estudo referente ao uso da termografia em desalinhamentos feito por Bomfim (2013), o autor testou um conjunto motobomba desalinhado em três níveis,

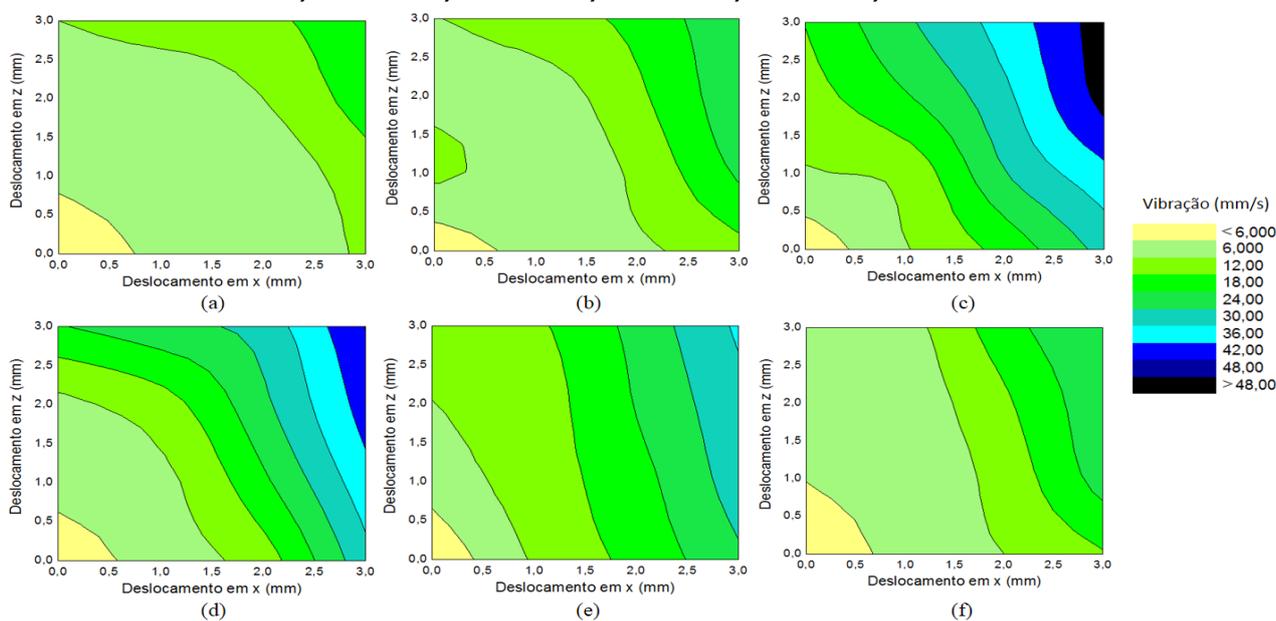
0,127mm, 0,254mm e 0,508mm, onde para cada desalinhamento aplicado foi coletado a temperatura máxima alcançada próximo ao acoplamento, tendo como resultado um aumento de até 20%.

Conforme a Figura 9.(b)(c), que são os Pontos 3 e 4, pontos estes próximos ao acoplamento, partiu-se de 25°C para 32°C com um desalinhamento axial máximo de 3mm, obtendo um aumento percentual de temperatura em 26%, algo próximo o do estudo feito por Bomfim, identificando assim a viabilidade da aplicação da termografia em situações de desalinhamento.

3.1.3 Alteração da Amplitude de Vibração

A cada desalinhamento realizado de acordo com o Anexo A, foi mensurado o nível de vibração em cada um dos pontos indicados na Figura 2, gerando dados comparativos, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Alteração da Amplitude de Vibração em função do desalinhamento em x e z. a) Ponto 1. b) Ponto 2. c) Ponto 3. d) Ponto 4. e) Ponto 5. f) Ponto 6.



Fonte: Primária (2021).

Conforme a Norma ISO 10816-3, identificado no Anexo B, os níveis de vibração mensurados em todos os pontos quando a bancada foi alinhada (x_0, y_0 e z_0), apresentavam-se em grau Satisfatório, ou seja pronto pra utilização industrial. Entretanto quando foi aplicado um desalinhamento mínimo de 1mm no sentido radial e ou também 1mm no sentido axial, tais valores foram para o grau de Inaceitável. Esse desalinhamento de 1mm, em qualquer um dos eixos X ou Z, teve um aumento percentual mínimo aproximado nos pontos medidos de 264%.

Nakhaeinejad, e Ganeriwala (2009), desenvolveram um estudo sobre a análise de vibração, mensurando níveis de vibração em máquinas rotativas desalinhadas na faixa de 0,10 a 0,15mm no sentido angular e paralelo, e em sequência alinhadas, onde experimentalmente relataram que as máquinas desalinhadas apresentaram níveis de vibração em até 10 vezes maior do que quando alinhadas.

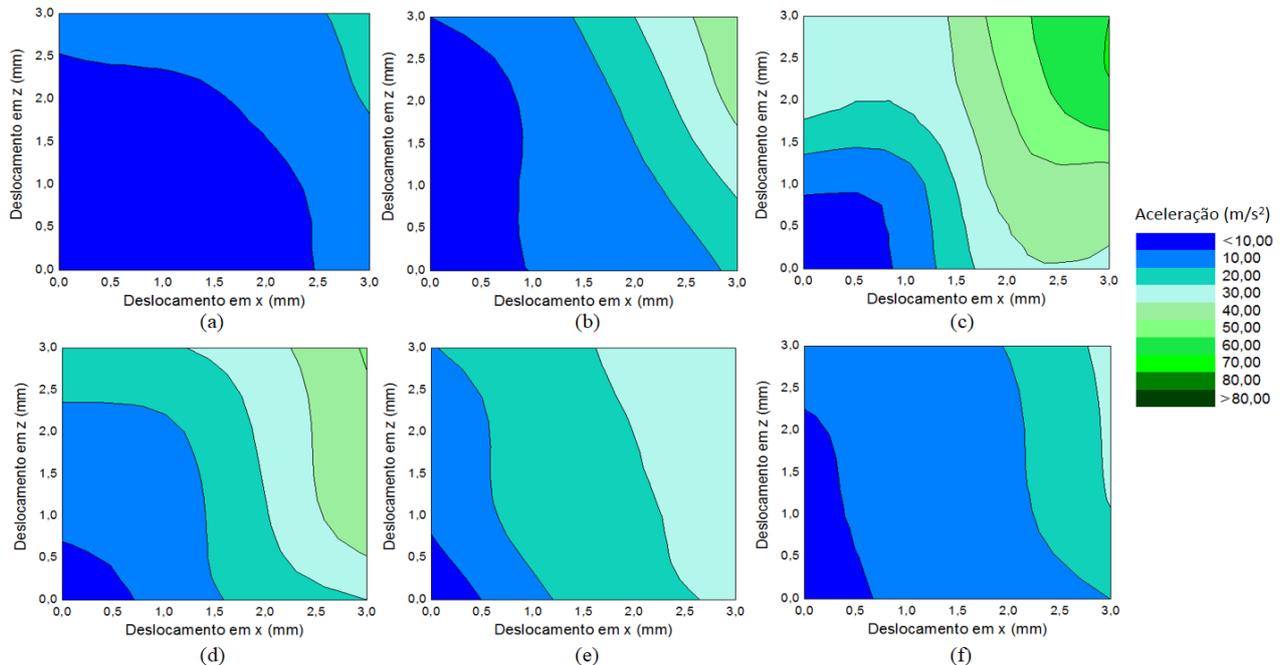
Analisando o aumento de vibração apresentado pelos autores no experimento, e também o apresentado na Figura 10, mostra-se como um pequeno desalinhamento pode causar um aumento significativo da amplitude da vibração, o que pode gerar uma possível quebra de maquinário. Segundo Younus e Yang. (2010), esse aumento da amplitude da vibração se dá pelo aumento do atrito mecânico entre as partes internas do conjunto,

ocasionando assim uma vibração acima do grau Satisfatório, o que pode ocasionar a quebra prematura de componentes essenciais para o funcionamento do conjunto industrial.

3.1.4 Alteração da Aceleração

A cada desalinhamento realizado de acordo com o Anexo A, foi mensurado o nível de aceleração em cada um dos pontos indicados na Figura 2, gerando dados comparativos, conforme mostra o Figura 11.

Figura 11 – Alteração da Aceleração em função do desalinhamento em x e z. a) Ponto 1. b) Ponto 2. c) Ponto 3. d) Ponto 4. e) Ponto 5. f) Ponto 6.



Fonte: Primária (2021).

Conforme a Norma ISO 10816-3, identificado no Anexo C, o equipamento analisado se enquadra na Classe 2, classe essa que recomenda uma aceleração máxima de 19,62 m/s² em cada ponto mensurado. Como apresentado na Figura 11, a partir de 2mm de desalinhamento individual no sentido axial ou radial, em alguns pontos mensurados tais valores ultrapassaram esse limite máximo de aceleração, como por exemplo na Figura 11.(c), que o valor inicial mensurado era de 1,7m/s², valor OK conforme o Anexo C, e depois de aplicado um desalinhamento de 2mm no sentido axial o mesmo foi para aproximadamente 35m/s², valor este que entra na escala de Alerta.

No entanto, quando combinado os desalinhamentos de 2mm e 3mm no eixo axial e radial, é visível que tais valores mensurados ultrapassaram o limite de aceleração na maioria dos pontos analisados, entrando na escala de Perigo, acima de 39,24m/s², conforme o Anexo C.

4. Conclusão

Este estudo avaliou experimentalmente o impacto causado pelo desalinhamento axial e radial, em parâmetros de corrente, temperatura, vibração e aceleração, desalinhamentos esses aplicados de formas propositalis de até 3mm em uma bancada didática industrial. Com base nos valores graficamente apresentados, foi possível analisar e comparar os parâmetros mensurados dos 6 pontos com a bancada alinhada e desalinhada de forma individual no eixo X e Z. Identifica-se assim que um desalinhamento mínimo de 1mm em qual for o eixo (x ou z), pode trazer diversas variações negativas para o conjunto industrial, seja na temperatura, corrente, vibração e também na aceleração.

Um dos parâmetros que foi analisado de forma criteriosa foi o de vibração, onde quando mensurado em cada ponto de forma individual, tais valores encontravam-se na escala Satisfatório, e logo depois quando desalinhado em 1mm apenas no eixo X ou no eixo Z, tais valores chegaram a ter um aumento percentual de 264%, entrando automaticamente na escala Inaceitável, ou seja, se tal equipamento operar dessa forma, poderá ter uma quebra prematura de componentes essenciais para o funcionamento do mesmo.

Como apresentado no estudo foram realizados desalinhamentos no eixo x e no eixo z do motor, e mensurado cada parâmetro obtido. Para um trabalho futuro, recomenda-se realizar o desalinhamento no eixo y e realizar as medições novamente, comparando tais valores com os apresentados no trabalho, identificando assim se tal eixo desalinhado traria algum impacto nos valores de corrente, temperatura, vibração e aceleração.

Referências

ALMEIDA, R. C.; BOELHO, D. C. C; CABRAL, V. R. **Estudo do Impacto do Desalinhamento de Máquinas Rotativas no Consumo de Energia Elétrica**. Porto, Portugal.: 11º Congresso Nacional de Mecânica Experimental. INEGI/FEUP, 2018.

ALMEIDA, B.; CORREA, J.; OSCLARLAN, C. **Análises Termográficas Utilizando Termovisores**. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. v. 1, p. 199-201, 2010.

ASSUNÇÃO, F. O. **Técnicas de Análise Preditiva para Falhas Elétricas em Motores de Indução Trifásicos**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Itajubá, 2006.

BEZERRA, R. A. **Detecção de Falhas em Rolamentos por Análise de Vibração**. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, 2004.

BOMFIM, P. R. S. **Estudo Experimental da Potencialidade do Uso da Termografia para Avaliação do Desalinhamento de Máquinas Rotativas na Indústria**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

DINAMOX: **Como o desalinhamento de eixos ocorre e quais os perigos para o seu equipamento**. Disponível em: <<https://dynamox.net/como-o-desalinhamento-de-eixos-ocorre-e-quais-os-perigos-para-o-seu-equipamento/>>. Acesso em 23 de out. 2020.

GARCIA, A. G. P. G. **Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria**. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10816 – 3: 2009 – Mechanical Vibration - Evaluation of machine by Vibration by measurements on non-rotating Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ**. 2009.

NAKHAEINEJAD, M; GANERIWALA, S. **Observations on Dynamic Responses of Misalignments**. *Tech Note, SpectraQuest Inc*. p. 01 – 09. 2009.

PAGNUSSAT, M. V. **Aplicação da Termografia para Melhoria do Desempenho da Manutenção Preditiva em uma Indústria Madeireira**. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerência de Manutenção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

PEREIRA, M. J. **Técnicas Avançadas de Manutenção**. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2010.

PINTO, A. K; XAVIER, J. N. **Manutenção: função estratégica**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019.

PSCHEIDT, A.; MIRANDA, D. A. **Development of Maintenance Plans Appropriate to Plant Assets and Creation of a Spare Parts Database**. American Journal of Engineering Research, v8, i5, p109-114. 2019.

RODRIGUES, J.; MIRANDA, D. A.; KUROWSKY, E, J. **Aplicação de um Plano de Lubrificação em Máquinas de Conversão de Papel Tissue**. Diamantina, MG: II Congresso Brasileiro Interdisciplinar de Ciência e Tecnologia. COBICET, 2021.

SILVA, A. A; BASILIO, C. S; IRMÃO, M. A. S. **Sistema Especialista Baseado em Regras de Análise de Vibração para Auxílio à Tomada de Decisão na Operação de Bombas Centrífugas**. Campina Grande, PB: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. CONEM, 2010.

SHAIKOSKI JR, R.; MIRANDA, D. A. **Implementação do Indicador de Eficiência Global de Equipamentos para Diagnóstico e Melhoria do Desempenho Produtivo: Estudo de Caso**. Ponta Grossa, PR: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. CONBREPRO, 2018.

VATHOPAN, M; JOHNY, M; ZOITL, A; KNOLL, A. **Modular Fault Ascription and Corrective Maintenance Using a Digital Twin**. *IFAC-PapersOnline*, v. 51, n. 11, p. 1041-1046. 2018.

YOUNUS, A. M; YANG, B. S. **Diagnóstico inteligente de falhas de máquinas rotativas usando imagem térmica infravermelha**. *Sistemas especialistas com aplicativos*, v. 39, n. 2, p. 2082-2091. 2012.

Anexo A – Intervenções de Desalinhamento da Bancada.

Temperatura (C)			Corrente (A)			Vibração (mm/s)			Aceleração (m/s ²)		
x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2
3	0	3	3	0	3	3	0	3	3	0	3

Fonte: Primária (2020).

Anexo B - Severidade de Vibração ISO 10816 – 3.

Gravidade da Vibração	Grupo de Máquinas			
	Grupo 2 e 4		Grupo 1 e 3	
Valores de Velocidade (mm/s)	15kW - 300kW		300kW - 50MW	
0.71	Bom		Satisfatório	
1.4				
2.3	Insatisfatório		Inaceitável	
2.8				
3.5	Insatisfatório		Inaceitável	
4.5				
7.1	Insatisfatório		Inaceitável	
11.0	Insatisfatório		Inaceitável	
Estado da Base da Máquina	Rígido		Flexível	
	Bom		Satisfatório	
	Insatisfatório		Inaceitável	

Fonte: SKF Machine, 2009.

Anexo C - Severidade de Aceleração ISO 10816 – 3.

ISO 10816-3 (Aceleração m/s ²)			
Classe	OK (m/s ²)	Alerta (m/s ²)	Perigo (m/s ²)
Classe 1	0 - 9,81	9,81 - 19,62	Acima de 19,62
Classe 2	0 - 19,62	19,62 - 39,24	Acima de 39,24
Classe 3	0 - 39,24	39,24 - 98,1	Acima de 98,1

Fonte SKF Machine, 2009.