

# ESTUDO SOBRE A MANUTENÇÃO PREDITIVA EM MOTORES TRIFÁSICOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

**Geraldo Motta Azevedo Júnior**

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) – RJ – Brasil  
geraldom@unisuamdoc.com.br

**Mônica Affonso Debossam**

Mestre em Engenharia Mecânica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) – RJ – Brasil  
mdebossam@yahoo.com.br

**Rômulo Ventura Perpétuo**

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM – RJ – Brasil  
romullovp@msn.com

**Wallace da Silva Mota**

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM – RJ – Brasil  
wallacesmota@gmail.com

## RESUMO

O presente artigo aborda o uso da análise de vibrações como uma ferramenta para atenuar os impactos da paralisação do processo produtivo e de custos inesperados, em consequência de defeitos nos equipamentos rotativos. Explica de maneira concisa a simplicidade e as vantagens da utilização desta técnica de manutenção preditiva. A metodologia adotada no trabalho é o desenvolvimento de um roteiro básico de manutenção preditiva através da análise de vibrações, com o objetivo de demonstrar uma maneira simples de melhorar o processo produtivo, através do acompanhamento do desenvolvimento de defeitos. Para a validação da técnica, foram comparadas três análises de equipamentos distintos e, ao término do estudo, uma análise dos custos mostra a diferença entre contratar mão-de-obra terceirizada e capacitar os próprios funcionários da empresa para realizar a atividade.

**Palavras-chave:** Análise de vibrações. Manutenção. Manutenção preditiva. Motores elétricos.

## STUDY ON PREDICTIVE MAINTENANCE IN THREE-PHASE ENGINES THROUGH VIBRATION ANALYSIS

### ABSTRACT

This article discusses the use of vibration analysis as a tool to mitigate the impacts of the production process downtime and unexpected costs as a result of defects in rotating equipment. It explains in a concise way the simplicity and advantages of using this predictive maintenance technique. The methodology adopted in the work is the development of a basic roadmap of predictive maintenance through the analysis of vibrations, with the aim of demonstrating a simple way to improve the production process, by monitoring the development of defects. For the validation of the technique, three analyzes of different equipment were compared and, at the end of the study, a cost analysis shows the difference

between hiring outsourced workers and enabling the company's own employees to carry out the activity.

**Keywords:** Vibration analysis. Maintenance. Predictive maintenance. Electric motors.

## 1 INTRODUÇÃO

O atual panorama da manutenção no Brasil está de certa forma conectado com o desenvolvimento industrial do país, onde grande parte dos investimentos são relativamente recentes, contrastando com países que já investem nos setores produtivos há mais tempo. Pelo desgaste dos equipamentos e envelhecimento das instalações, nos países mais desenvolvidos, passou-se a notar a necessidade da implantação de técnicas e procedimentos que pudessem prolongar a vida útil dos equipamentos, surgindo assim, as primeiras técnicas de gerenciamento e otimização da manutenção.

Nas últimas décadas, a manutenção preditiva (devido à previsibilidade de problemas, precisão de diagnósticos, potenciais para a maximização de produtividade e lucratividade) se consolidou como uma importante ferramenta, proporcionando muitas discussões sobre as melhores maneiras de administrá-la de maneira eficiente (BARONI, 2002).

A proposta do método de manutenção preditiva é fazer o monitoramento das condições físicas dos equipamentos, reduzindo os reparos por defeito (manutenção corretiva), os reparos programados (manutenção preventiva) e proporcionar um aumento do rendimento do processo produtivo.

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).

Pesquisas sobre a eficiência da gestão da manutenção indicam que um terço de todos os custos de manutenção é desperdiçado, seja como resultado de manutenções desnecessárias ou inadequadamente realizadas por funcionários despreparados (KARDEC, 2009).

Em consequência desses fatos, o presente artigo tem como finalidade: desmitificar a prática da manutenção preditiva em equipamentos usados em áreas industriais, especificamente em motores trifásicos, a fim de reduzir os gastos com manutenções desnecessárias ou com o tempo de operação perdido com manutenções inesperadas; demonstrar uma maneira de minimizar os impactos da paralisação de linhas de produção, decorrente da manutenção dos equipamentos rotativos, através do planejamento; reduzir os casos de manutenções emergenciais, que geram despesas inesperadas e, conseqüentemente, aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos, através de monitoramentos periódicos, visando uma eficiência máxima. Para isso, esse estudo propõe o uso da manutenção preditiva através da análise de vibrações como uma ferramenta para redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade da produção. Serão expostas, também, as vantagens da capacitação da mão-de-obra interna em relação aos custos da contratação externa.

Desta forma, os procedimentos utilizados para atingir os resultados foram baseados em dados bibliográficos, com o levantamento de materiais publicados em livros, revistas e meios eletrônicos. Procedeu-se uma pesquisa de campo para levantamento de custos de manutenção e aquisição de equipamento, assim como dos dados coletados de equipamentos danificados para a execução das análises. Os dados foram obtidos de empresas de seguimentos diversos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os programas de manutenção preditiva em motores elétricos usam análise de vibração como ferramenta primária associada com espectros de corrente. Uma vez que a maioria dos equipamentos industriais são mecânicos, acionados por motores elétricos, o monitoramento da vibração fornecerá a melhor ferramenta para a coleta de rotina e identificação de problemas incipientes (ALMEIDA, 2016).

De acordo com Murphy (2010), enquanto algumas vibrações podem ser desejadas, outras podem perturbar o funcionamento ou até destruir equipamentos.

A análise de vibrações é uma técnica utilizada para o acompanhamento das condições de operação de máquinas, possibilitando identificar tendências a falhas com o intuito de reduzir custos de manutenção e inatividade. A técnica consiste na coleta de vibrações através de transdutores acoplados às máquinas. As medições são feitas periodicamente e o monitoramento é feito comparando as medições anteriores, a medição estipulada pela norma reguladora e a especificação do fabricante. Máquinas em perfeito funcionamento geram vibrações pequenas e constantes. No caso de avarias, ocorrem mudanças nas vibrações (ORHAN, AKTÜR & ELIK, 2006).

Os dados são coletados através de transdutores e tratados por um software de análise de vibração que permite gerar alarmes indicando possíveis problemas quando os níveis de vibração ultrapassam limites determinados por experiência técnica ou por normas regulamentadoras. Também permite a visualização de espectros de frequência, possibilitando a identificação dos componentes com tendências a falhas (SHEFFER & GIRDHAR, 2004).

## 3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

A análise de vibrações, corretamente executada, permite ao operador avaliar a atual condição do equipamento, evitando futuras falhas. Assim, a equipe de manutenção pode minimizar o tempo das paradas inesperadas, realizando os reparos necessários durante a manutenção de rotina. Por meio de equipamentos analisadores de vibração, é possível interpretar e compreender a assinatura do espectro de vibração de equipamentos rotativos, como por exemplo, desalinhamento de rotores, defeitos em rolamentos, folgas nos componentes, e diferenciá-los.

A paralisação não programada de um equipamento, dependendo de sua função dentro da empresa, pode custar muito dinheiro. Felizmente, os modernos equipamentos e softwares de análise de vibração podem antever problemas no desenvolvimento para que o reparo ocorra antes da quebra. Mesmo que essas ferramentas sofisticadas ofereçam muitos recursos, é necessária compreensão básica de análise de vibração para utilizá-las corretamente (SALOMÃO, 2013).

A seguir, são apresentados conceitos básicos de análise de vibração que operadores aprenderam através de anos de experiência prática. Além de orientações para interpretar as leituras de vibração, também são apresentadas análises, fornecidas por empresas que executam esse tipo de atividade, exemplificando alguns desses princípios aplicados em situações típicas.

### 3.1 COLETA DE DADOS

A princípio, é necessário reunir os dados, obtendo a assinatura de vibração com o espectro completo em pelo menos três eixos (horizontal, vertical e axial) nas duas extremidades do motor e no equipamento a ele acoplado. Geralmente, os operadores realizam apenas uma leitura para detectar problemas emergentes. Mas, infelizmente, alguns problemas aparecem em apenas um eixo, prejudicando a credibilidade da análise de vibração durante uma possível quebra. Nesse caso, provavelmente, uma coleta de dados mais abrangente teria previsto o problema.

De acordo com a NBR 10082 (ABNT, 2011), devem ser tomadas precauções para garantir que os transdutores estejam montados corretamente, pois sua fixação inadequada e uso em superfícies não planas podem interferir na qualidade da medição.

As medidas devem ser realizadas nas partes expostas das máquinas, em pontos de fácil acesso, para que os valores coletados representem da melhor maneira possível a vibração da carcaça do mancal, sem qualquer ressonância. Tampas com pequenas espessuras, parafusos e porcas devem ser evitados.

Os transdutores podem ser colocados em qualquer direção angular, na carcaça do mancal ou suporte (pedestal) para a realização das medidas radiais. Preferencialmente nas direções verticais e horizontais, pois é importante que sejam realizadas ao menos duas medições radiais e ortogonais entre si. Além das direções radiais, também é útil tomar uma medição na direção axial.

Ao se observar uma assinatura de vibração, deve-se atentar para a velocidade de rotação do equipamento, bem como para os seus múltiplos. Como nem todo equipamento de uma fábrica opera em sua velocidade nominal, isso simplifica a análise. O desequilíbrio do rotor, por exemplo, geralmente aparece na velocidade de rotação. Problemas mecânicos como um eixo torcido, defeito no acoplamento ou caixa de rolamento superdimensionada tendem a aparecer a  $2 \times$  RPM e múltiplos. As frequências em múltiplos altos da velocidade de rotação correspondem ao número de componentes em uma peça rotativa específica, como o número de esferas em um rolamento. Outras fontes de frequências de vibração em múltiplos da velocidade de rotação podem incluir lâminas de ventilador, pás do rotor, barras de rotor, ranhuras do estator, ou alguma combinação destes.

Em sistemas operando a 60 Hz, problemas elétricos quase sempre aparecem a 7200 RPM (120Hz), o que corresponde a duas vezes a frequência de alimentação. As possíveis causas podem ser: desequilíbrio de tensão, folgas nos rolamentos (que podem ser o resultado de uma carcaça de rolamento superdimensionada ou não-concêntrica), eixo do rotor retorcido entre os rolamentos, barras de rotor defeituosas ou até mesmo espiras em curto-circuito em um rotor síncrono.

Um procedimento eficaz para detectar se a frequência é realmente devida a problemas elétricos é desligar a energia enquanto se monitora a assinatura de vibração. Se um pico a 120Hz desaparecer instantaneamente quando a energia é cortada, o problema é de natureza elétrica. Porém, caso a amplitude do pico diminua lentamente, o problema é mecânico. Este teste é especialmente útil, por exemplo, na diferenciação entre um problema de natureza elétrica e uma folga na caixa de rolamento em um motor de 2 polos. Um motor de 2 polos tem uma velocidade síncrona de 3600 RPM (60Hz), podendo operar a 3575 RPM (59,583Hz), sendo capaz de gerar uma frequência de 119,166Hz ( $59,583\text{Hz} \times 2 = 119,166\text{Hz}$ ), que pode ser considerada

aproximadamente 120Hz. A diferenciação entre as duas frequências requer um operador mais experiente, pois devido à proximidade entre as mesmas, pode ser interpretado como um erro de leitura.

### 3.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE

Atualmente no mercado existem várias normas que regem as atividades de análise de vibração, estabelecendo parâmetros para que os operadores possam ter um referencial ao analisar as assinaturas espectrais obtidas. Entre as normas existentes, destacam-se a norma internacional ISO 10816 e suas partes (no caso deste estudo, ISO 10816-1 e ISO 10816-3).

#### 3.2.1 ISO 10816-1

A ISO 10816-1 (ISO, 2009) é o documento básico que descreve os requisitos gerais para avaliar a vibração de vários tipos de máquinas quando as medições de vibração são feitas em suas partes não rotativas. Esta parte da ISO 10816 fornece a orientação específica para avaliar a severidade da vibração medida em rolamentos, pedestais de rolamentos ou revestimentos de máquinas industriais quando as medições são feitas no local. Esta parte da norma separa os equipamentos que serão analisados em quatro classes, de acordo com seu porte e base de fixação:

Classe I – Máquinas pequenas – até 20 HP;

Classe II – Máquinas médias – de 20 HP a 100 HP;

Classe III – Máquinas grandes – maiores que 100 HP montadas em base rígida;

Classe IV – Máquinas grandes – maiores que 100 HP montadas em base flexível;

#### 3.2.2 ISO 10816-3

Os critérios de vibração fornecidos nesta parte da ISO 10816 (ISO, 2009) aplicam-se a conjuntos de máquinas como turbinas a vapor ou acionadores elétricos; máquinas industriais com potência nominal superior a 15kW ( $\approx$ 20 HP) e velocidade nominal entre 120 RPM e 15000 RPM quando medidas no local.

De maneira geral, os conjuntos de máquinas abrangidos por esta parte da ISO 10816 incluem turbinas a vapor com potência até 50 MW, conjuntos de turbinas a vapor com potência superior a 50 MW e velocidades abaixo de 1500 RPM ou acima de 3600 RPM (não incluídos na ISO 10816-2), compressores rotativos, turbinas a gás industriais com potência até 3 MW, bombas de centrifugação, fluxo misto ou de fluxo axial, geradores, exceto quando usados em geradores hidráulicos e motores elétricos de qualquer tipo.

Esta parte da norma separa os equipamentos em quatro grupos, de acordo com seu porte, tipo de máquina e base de fixação:

Grupo 1 – Máquinas grandes – 300kW < Potência < 50MW

Grupo 2 – Máquinas medianas – 15kW < Potência  $\leq$  300kW

Grupo 3 – Bombas com potência > 15kW – Unidade externa

Grupo 4 – Bombas com potência > 15kW – Unidade integrada

### 3.3 TRITURADOR INDUSTRIAL SHREDDER

No primeiro caso, foram analisados os dados obtidos de uma empresa de grande porte do setor siderúrgico. O equipamento em questão, representado na figura 01, trata-se de um triturador industrial denominado “Shredder”, usado para o descarte e reciclagem dos resíduos de ferragens produzidas pela empresa.

Figura 1 - Motor Toshiba 6000HP



Para impulsionar o triturador, é utilizado um motor Toshiba 6000HP com as seguintes características:

- Potência nominal: 6000HP
- Velocidade nominal: 1780RPM
- Tensão nominal: 4,16kV

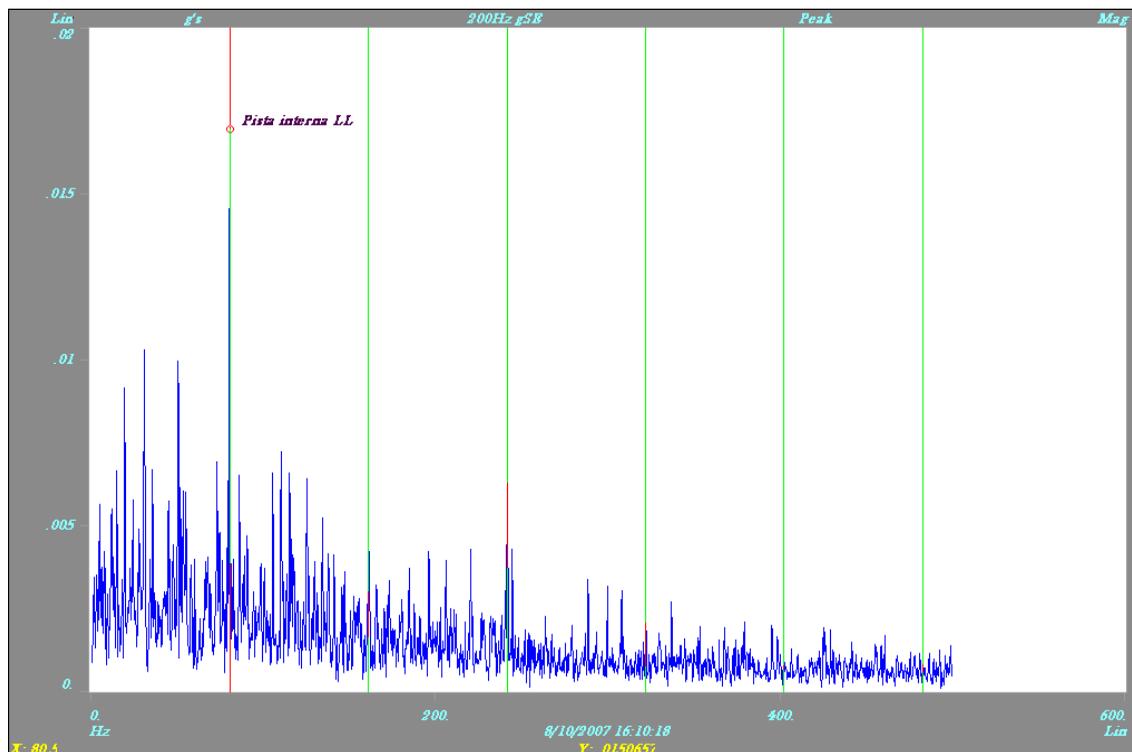
Este motor apresentou sua primeira anomalia em seu primeiro ano de trabalho devido à falha no sistema de filtragem de ar dos mancais. Esta anomalia foi verificada por análise de vibração, confirmada pela termografia e análise de óleo.

A coleta de dados foi realizada por um técnico especializado, utilizando um sensor de vibrações do tipo acelerômetro piezoelétrico com amplificador de carga interno (0,8 a 10kHz), acoplado a um coletor de dados de vibrações do tipo VIB – 100. Após a coleta, os dados foram tratados por um software de gerenciamento de vibrações coletadas do tipo SIGPRED.

A análise obtida através dos dados coletados foi comparada com as normas, ISO 10816-3 e ISO 2372, que estabelecem os critérios de severidade de vibração para motores deste porte.

A medição no equipamento resultou em um espectro de vibração com o pico em 0,0150657 in/s (aproximadamente 0,383mm/s), com seus respectivos harmônicos, conforme pode ser visto na figura 02.

Figura 02 - Análise de vibração do motor de 6000HP



O equipamento se enquadra no grupo 3 da ISO 10816-3, com limite de vibração de 2,30mm/s. Assim, constatou-se que os níveis de vibrações se apresentavam dentro dos valores aceitáveis para a classe do equipamento, porém com o começo de uma possível falha na pista interna do rolamento, observada no pico fora da tendência, que deveria ser monitorada com certa constância.

Como solução do problema, o óleo foi drenado e os mancais foram lavados e, para manter o sistema de filtragem confiável, foram instalados nos mancais filtros absolutos. Para essas ações, não foi preciso a paralisação do motor, apenas a programação de uma manutenção preventiva, uma vez que a análise de vibração não mostrou valores alarmantes.

Posteriormente, o motor foi retirado de operação devido a uma irregularidade nos enrolamentos e constatou-se o defeito encontrado anteriormente na análise de vibrações. Rolamentos intactos, com 3 pitting (desgaste de carga excessiva) na pista interna do rolamento do lado livre, ocasionados pelo esforço contínuo do equipamento.

### 3.4 MOTO-REDUTOR

Em um segundo caso, tem-se a análise de um moto-redutor instalado em uma planta fabril de bens de consumo, para uso no sistema de refrigeração. O equipamento se refere a um motor de 125CV acoplado a um moto-redutor conforme a figura 03, com as seguintes características:

- Potência nominal do motor: 125CV
- Velocidade nominal do motor: 1750RPM
- Tensão nominal: 380V

Figura 03 - Motor acoplado ao redutor

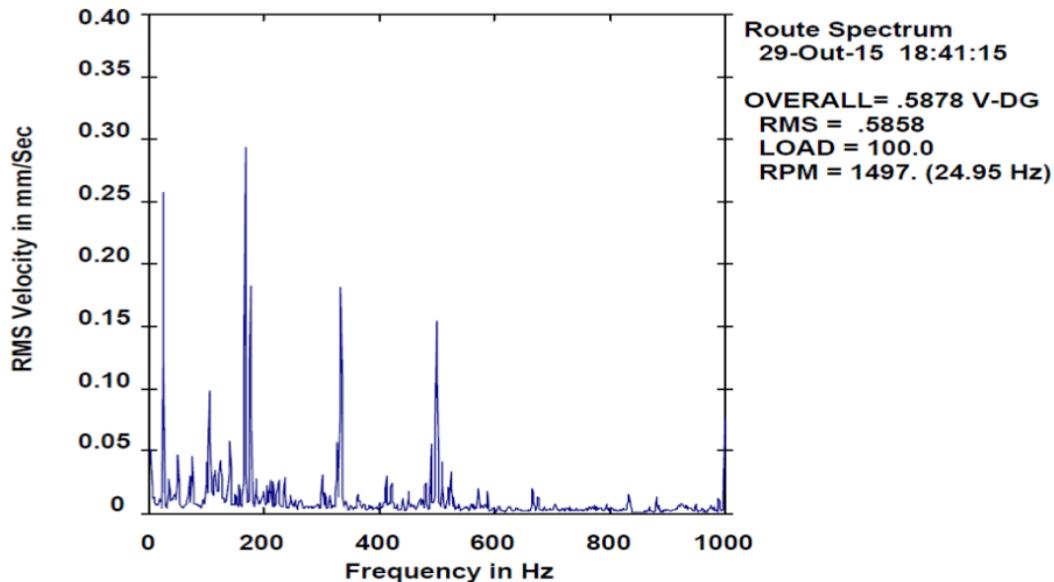


A coleta de dados foi realizada por uma empresa contratada, utilizando sensores de vibrações do tipo acelerômetro piezoelétrico com amplificador de carga interna (0,8 a 10kHz), acoplado a um coletor de dados de vibrações do tipo CSI modelo 2130 RBM Consultant Pro. Após a coleta, os dados foram tratados por um software de gerenciamento de vibrações coletadas do tipo CSI AMS Suíte.

Os valores de alerta e alarme para avaliação da severidade vibratória, foram estabelecidos em conformidade com a norma ISO 10816-1. De acordo com as suas características, a máquina foi considerada na Classe III.

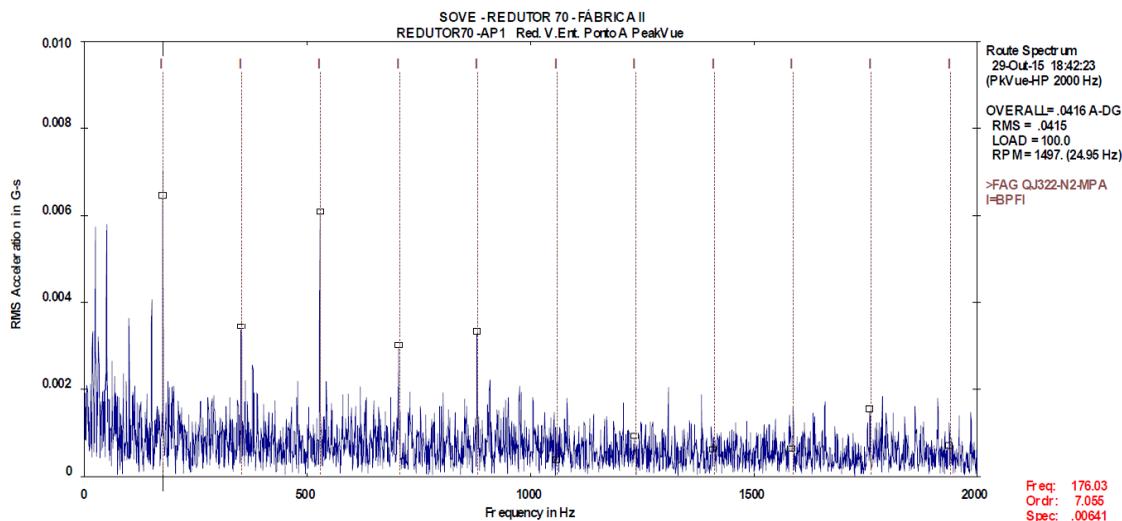
O gráfico da figura 04 mostra as frequências registradas no apoio do veio de entrada do lado do acionamento (ponto de medição A - Horizontal). Embora o gráfico tenha revelado níveis de vibração global (valor RMS) aceitáveis para a potência do equipamento analisado, foi realizada posteriormente uma análise PeakVue (valor de pico), que revela de um modo mais preciso as frequências que estão surgindo na área em questão.

Figura 04 - Espectro de Frequência no Ponto A - Horizontal



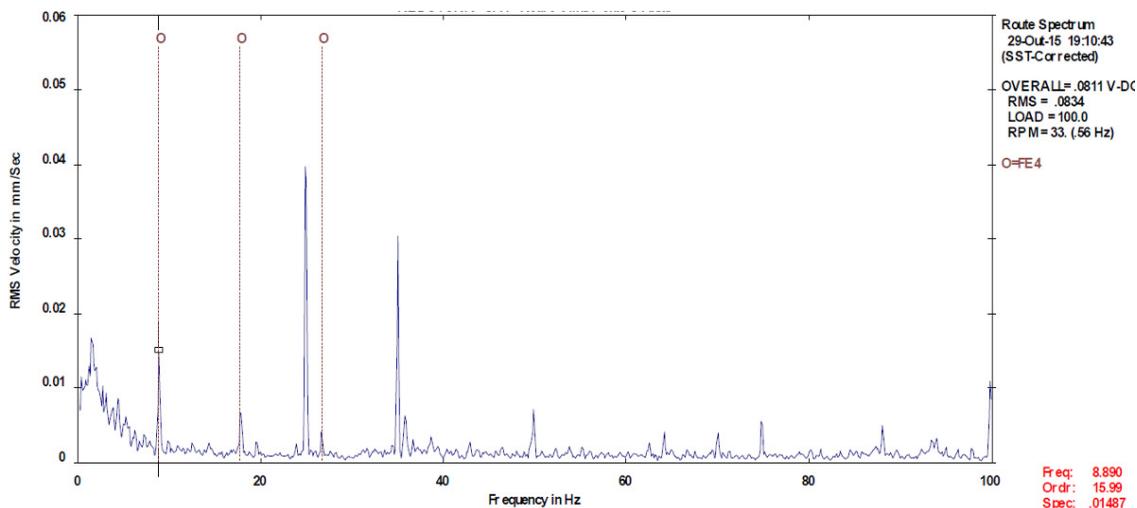
A análise dos espectros de PeakVue, registrados no ponto de medição A – Horizontal - revelou a presença da frequência de 176,03 Hz e respectivas harmônicas. Esta característica, ilustrada na Figura 05, está associada ao desenvolvimento de anomalias no rolamento instalado (Referência QJ322). No entanto, as amplitudes registradas são ainda características de uma fase inicial do seu desenvolvimento.

Figura 05 - Espectro de PeakVue registrado no ponto A - Horizontal



A análise do espectro de frequências registrado no lado oposto ao veio de entrada (ponto de medição B – Axial) revelou a presença da frequência de 8,890Hz, sendo esta um múltiplo da frequência original de 0,56Hz, seguida das demais harmônicas. Esta característica, ilustrada na figura 06, está associada ao funcionamento das engrenagens do redutor, sendo considerada normal, levando-se em conta que não apresentou uma amplitude alarmante.

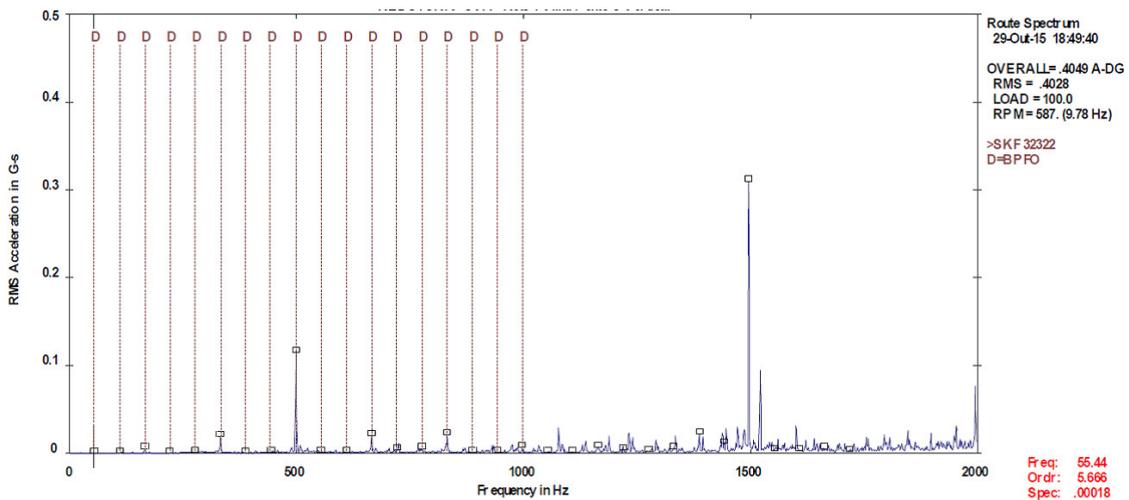
Figura 06 - Espectro de frequências registrado no ponto B - Axial



Por fim, a análise do espectro de frequências registrado no apoio inferior (ponto de medição C – vertical), revelou a presença da frequência de 55,44Hz (um múltiplo da frequência original de 9,78Hz) e respectivas harmônicas.

Esta característica, ilustrada na figura 07, está associada ao desenvolvimento de anomalias no rolamento instalado (Referência 32322), possivelmente o início de um defeito na pista externa (BPFO). Mais uma vez, as amplitudes registradas são características de uma fase inicial do desenvolvimento do problema.

Figura 07 - Espectro de frequências registrado no ponto C - Vertical



Os níveis vibrométricos registrados são considerados bons, de acordo com o critério de avaliação adotado. Os parâmetros definidos para monitorar a emissão de altas frequências apresentam amplitudes consideradas normais para este tipo de equipamento. A análise dos espectros de frequências registrados revelou a presença de frequências associadas ao desenvolvimento de anomalias no rolamento inferior do Ponto C. A análise dos espectros de PeakVue revelou também a presença de frequências associadas ao desenvolvimento de anomalias no rolamento do veio de entrada do lado do acionamento (Ponto A). Em ambas as situações referidas, as amplitudes registradas são ainda características de uma fase inicial do seu desenvolvimento.

Devido às amplitudes registradas, a empresa responsável pelas medições recomendou que a máquina fosse objeto de nova inspeção vibrométrica num prazo inferior a 4 meses, para avaliar eventuais agravamentos da sua condição de funcionamento.

### 3.5 MOTOBOMBA

Por fim, foram analisados os dados obtidos de um conjunto Motobomba (figura 08) instalado em uma estação de tratamento de água (ETA) de uma grande refinaria.

- Potência nominal do motor: 2550CV
- Velocidade nominal do motor: 711RPM
- Tensão nominal: 13,2kV

Figura 08 - Conjunto Motobomba

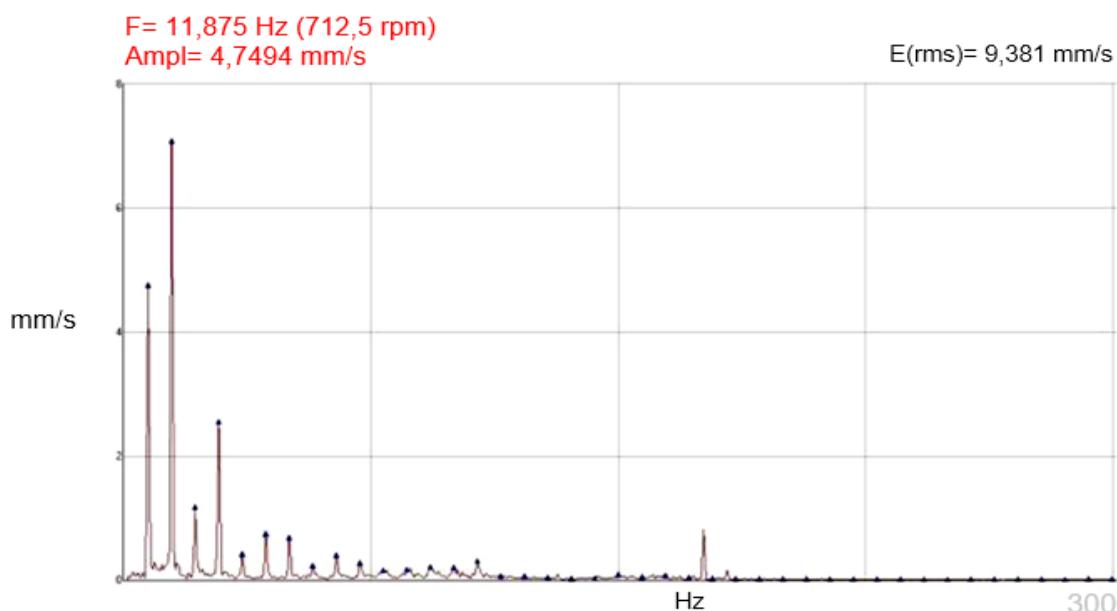


Devido a necessidade da confiabilidade do equipamento, este é inspecionado com uma frequência de no máximo 6 meses, através de técnicas de análise de vibração. Na sua última análise, apresentou uma anomalia em seu funcionamento, atingindo níveis alarmantes segundo seus critérios. Os limites de alarme para análise de vibrações utilizados nas medições são baseados na norma ISO 10816-3, enquadrando o equipamento na Classe III da mesma norma.

Os dados coletados foram armazenados e examinados por técnicos especializados de uma empresa contratada, utilizando sensores de vibrações da linha ASH com amplificador programável, conectados a um coletor de dados Movipack. Após coleta, os dados foram tratados pelo software de gerenciamento de vibrações coletadas DivaDiag 2.10.

O equipamento apresenta níveis de vibração com maiores esforços no mancal LA (lado de acoplamento) do motor e LA da bomba com níveis de aproximadamente 4,7 mm/s e 1,9 mm/s, respectivamente. O nível de vibração apresenta-se mais alto na direção axial com 9,3 mm/s, sendo evidenciado através do nível RMS do sensor instalado no motor, caracterizando assim defeito do acoplamento, conforme é mostrado na figura 09.

Figura 09 - Espectro de vibração global do conjunto (LA do motor)



Este defeito visto a partir do mancal LA caracteriza desalinhamento e esforços nos mancais. As vibrações acontecem com maior ênfase no LA do motor e bomba, gerando vibrações na direção axial dos eixos.

Recomenda-se inspeção do acoplamento, investigando a integridade do mesmo e dos elementos. Alinhar equipamento, verificar fixação/aperto dos parafusos da base. Tendo possibilidade, averiguar folgas dos mancais da bomba, desacoplar motor e dar partida no mesmo a fim de examinar se a vibração ocorre com o mesmo desacoplado.

### 3.6 CUSTOS

A atividade de manutenção costuma ser qualificada através da disponibilidade dos sistemas sob sua responsabilidade e pelo custo que permitiu oferecer a disponibilidade alcançada. Em curto prazo, o investimento em capacitação e equipamentos pode acarretar em aumento dos custos imediatos, em virtude de melhores resultados no futuro. De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção - ABRAMAN (ABRAMAN, 2014), em 2013 o indicador de desempenho da manutenção considerado mais importante pelas empresas foi o custo, seguido pela qualidade.

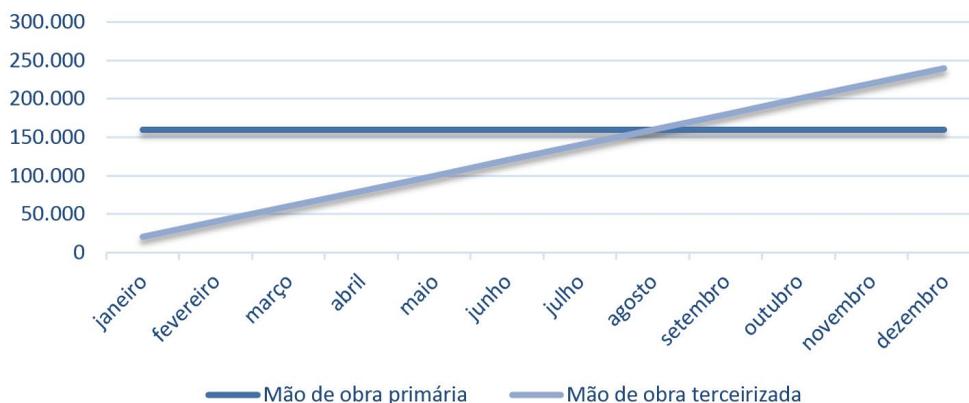
Para exemplificar a viabilidade econômica da implantação da técnica preditiva no roteiro de manutenção de uma empresa, foram consultados os custos médios da mão de obra utilizada por uma indústria de grande porte para reparos preventivos e corretivos. Em uma empresa que já possui uma equipe de manutenção não se faz necessária a contratação de nova mão de obra, visto que existem no mercado instituições que ministram treinamentos específicos para técnicos que desejam se especializar em análise de vibração. O treinamento tem um custo médio de R\$ 1.900,00 com carga horária de 24 horas; desta maneira para treinar 5 funcionários, a empresa teria um gasto de R\$ 9.500,00. O valor dos equipamentos utilizados para efetuar a análise de vibração varia de acordo com o modelo e tecnologia aplicada, partindo de R\$ 10.000,00 a R\$ 50.000,00. Desta forma, utilizando valores médios, o investimento em um equipamento seria aproximadamente de R\$ 30.000,00 e para toda a equipe (5 equipamentos), R\$ 150.000,00. Somando com o custo de treinamento da equipe, o investimento inicial ficaria próximo de R\$ 160.000,00. Um valor bem significativo, porém, com o benefício de se ter uma manutenção mais qualificada utilizando a técnica preditiva da análise de vibração, em que o tempo de máquina fora de operação em manutenções preventivas ou corretivas diminuiria significativamente. Isto resultará então em um ganho para a empresa, pois dependendo da sua atividade, o investimento na manutenção preditiva será recompensado em pouco tempo.

De acordo com a pesquisa realizada, os valores cobrados por uma empresa terceira para executar a análise de vibração de um equipamento, gira em torno de R\$200,00, podendo variar dependendo do equipamento utilizado e do número de equipamentos solicitados medição. Desta forma, uma empresa que possui 100 (cem) motores irá investir aproximadamente R\$ 20.000,00 para efetuar esta análise e, como este método tem a necessidade de se ter uma periodicidade regular, caso seja efetuada mensalmente, em 1 (um) ano o gasto será em torno de R\$240.000,00.

Com base no exposto anteriormente, o investimento em aquisição e capacitação da mão de obra da empresa se mostra um investimento mais lucrativo em médio prazo conforme ilustrado na figura 10.

Figura 10 - Demonstrativo de gastos

### Gastos no final de 1 ano



Em empresas de pequeno porte ou nas quais o tempo de paralisação para a execução das manutenções corretivas e preventivas não impacta significativamente o processo de operação, esta prática não se mostra interessante. Desta forma, é necessário uma análise específica para avaliar a viabilidade técnico-econômica da implantação deste método. Por outro lado, em empresas de grande porte, onde há muitos motores e influência direta na operação, este método se torna quase que obrigatório, apresentando grandes vantagens no quesito custo/benefício. Possivelmente, com a aplicação cada vez mais difundida entre as empresas, este método pode ter uma redução de custos, tornando-se acessível às empresas de menor porte.

#### 4 CONCLUSÃO

Com base na bibliografia pertinente ao tema proposto, esse estudo alcançou seus objetivos, demonstrando o uso da manutenção preditiva, através da análise de vibrações, como uma importante ferramenta para a redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade da produção.

Foram apresentados três estudos de caso de equipamentos elétricos, utilizando a técnica de manutenção especificada anteriormente. Nos dois primeiros casos, foi possível detectar avarias nos rolamentos antes que pudessem causar a interrupção do equipamento, possibilitando a organização de ações corretivas para evitar danos, o que levaria a um aumento de custo operacional, devido a uma parada não programada e custos superiores de reparo referentes a possível quebra. No entanto, no terceiro caso, a realização da inspeção foi tardia, acarretando em altos níveis vibrométricos e ocasionando a necessidade do desligamento do equipamento. O que comprova a importância de uma rotina de manutenção preditiva regular.

O custo para a implantação da manutenção preditiva pode indicar um gasto substancial a princípio, mas em longo prazo, quando realizada eficientemente, a revisão por análise de vibrações pode reduzir consideravelmente o custo operacional, possibilitando aos gestores a realização da manutenção no exato momento de sua necessidade.

## 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/](http://www.abraman.org.br/). Acesso em 20 de Maio de 2017
- ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade.** ITAJUBÁ - MG: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2016.
- BARBOSA, João Paulo. **Elementos de máquinas.** São Mateus: Instituto Federal do Espírito Santo, 2011.
- BARONI, T. E. **A Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- 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.
- ISO. **ISO 10816-1** : Mechanical vibration - Measurement and evaluation of machine vibration - Part 1: General guidelines. International Standards Organization, 2009.
- KARDEC, A., & NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- MURPHY, B. V. J. & Z. F. **Machinery Vibration and Rotordynamics.** Hoboken: [s.n.], 2010.
- ORHAN, S.; AKTUR, N.; ÇELIK, V. **Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies.** NDT & E International, p.293 - 298, 2006.
- RELIABILITYWEB. (s.d.). Disponível em : [www.reliabilityweb.com](http://www.reliabilityweb.com). Acesso em 15 de Junho de 2017.
- SALOMÃO FILHO, L. F. **Manutenção por análise de vibrações: Uma valiosa ferramenta para gestão de ativos.** Rio de Janeiro, 2013.
- SHEFFER, C.; GIRDHAR, P. **Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance.** India, 2004.