

Manutenção preditiva por análise de vibrações

Rogério Blaquez (UNIARA) blaquez@bol.com.br
José Camilo Barbosa (UNIARA) camilobarbosa@hotmail.com

Resumo:

Este artigo tem como objetivo apresentar e analisar os benefícios de adotar uma política de manutenção preditiva na indústria. Esta política apresenta vantagens competitivas, como o aumento da disponibilidade e confiabilidade dos ativos, diminuindo custos operacionais e possibilitando um ambiente de trabalho mais e seguro. Este trabalho apresenta o descritivo de um estudo de caso da aplicação de técnicas de manutenção preditiva com a análise de vibrações em um equipamento rotativo do tipo ventilador com rotor acoplado ao eixo, onde foi possível detectar um desbalanceamento no rotor e aplicar ações corretivas necessárias para evitar danos no ativo e paradas não planejadas da produção decorrente de possíveis quebras. Uma gestão eficiente no setor de manutenção pode representar um papel estratégico nas organizações, promovendo e sustentando vantagens competitivas no mercado.

Palavras chave: Manutenção preditiva, Análise de vibrações, Desbalanceamento, Equipamentos rotativos.

Predictive maintenance by vibration analysis

Abstract

This article aims to present and analyze the benefits of adopting a predictive maintenance policy in the industry. This policy has competitive advantages, such as increased availability and reliability of assets, reducing operating costs and enabling safer working environment. This paper presents a study case of the application of predictive maintenance techniques with the vibration analysis on a rotating equipment fan type which rotor is connected to the shaft, where it was possible to detect an imbalance in the rotor and apply corrective actions in order to avoid damage in the equipment and unplanned downtime due to possible breakage. Efficient management of maintenance sector can play a strategic role in organizations, promoting and sustaining competitive advantage in the market.

Key-words: Predictive maintenance, vibration analysis, imbalance, Rotating equipment.

1. Introdução

As atividades de manutenção têm como objetivo evitar a degradação dos equipamentos e/ou instalações, que podem se manifestar de diversas formas, desde a má aparência, perdas funcionais, na qualidade de produtos ou serviços, poluição e até desastres ambientais. A área de manutenção tem uma forte relação com os setores produtivos, principalmente com a qualidade e a produtividade, desempenhando um papel estratégico para a melhoria dos resultados operacionais (XENOS, 1998).

Quando um plano de manutenção não é adotado pela organização, pode gerar falhas inesperadas nos ativos, acarretando custos de reparação até dez vezes maior se comparado à um plano de ação de pré-falha, elevando as possibilidades de paradas não planejadas e

posteriores quedas na produção (SALOMÃO FILHO, 2013).

As falhas podem ser críticas, levando a danos nos ativos, perdas na produção e em casos mais graves até lesões nos operadores, por isso é muito importante que o departamento de manutenção trabalhe para impedir as possíveis falhas ainda em seu estágio inicial (ORHAN; AKTÜRK e ÇELİK, 2006).

Segundo Marçal e Susin (2005) a aplicação de técnicas de manutenção eficientes e o correto gerenciamento de tais técnicas, reduzem as ocorrências de falhas inesperadas e consequentes paradas não planejadas na produção, que podem acarretar atrasos, aumento nos custos e em casos críticos colocar em risco vidas humanas.

Políticas de manutenção bem sucedidas evoluíram para a manutenção baseada na estratégia. Estudos sobre o impacto das falhas no processo produtivo indicam a melhor estratégia a ser adotada. Avaliando um ponto ótimo de manutenção nota-se que o custo total de manutenção sofre influência dos custos de reparo e perda de produção gerada pela falha. Um plano de manutenção planejado permite a redução dos custos perante o aumento da capacidade, disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos (TAVARES 2001).

A política de manutenção preditiva é uma forma de manutenção preventiva planejada, que permite manter os ativos em condições satisfatórias de operação, através de inspeções sistemáticas, detecção e prevenção de falhas (SANTOS; COLOSIMO e MOTTA, 2007).

Um programa de manutenção preditiva é um trabalho em tempo integral. Independentemente da metodologia utilizada no programa de manutenção, algumas técnicas preditivas se mostram mais eficazes e devem ser praticadas de forma rotineira. A análise de vibrações é uma técnica utilizada para monitorar as condições do funcionamento dos ativos com tendências a deterioração, que visa à redução de custos com manutenção e tempo de inatividade do processo através de uma ação corretiva planejada antecedendo a falha (RENEWICK; BABSON, 1985).

Uma vez adotado um efetivo plano de manutenção, a organização pode obter vários benefícios, como o aumento da produtividade, o aumento entre intervalos de revisões, minimizar o número de inspeções para manutenção, melhorar o tempo de reparação, aumentar a vida útil dos ativos, diminuir o custo com manutenção, além de possibilitar vantagens competitivas com a diminuição dos custos operacionais (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

2. Revisão bibliográfica

Segundo Monchy (1989 apud Quinello e Nicoletti 2005) a origem do termo manutenção vem do vocabulário militar e significava manter nas unidades de combate, o efetivo e o material em nível constante.

A manutenção como função industrial é um conjunto de ações técnicas, administrativas e supervisionais que visam manter os ativos em perfeito estado de funcionamento, garantindo assim o aproveitamento planejado e desejável de tais ativos, mantendo níveis de produção, segurança e lucratividade (QUINELLO; NICOLETTI, 2005).

As atividades de manutenção têm como princípio evitar a degradação de instalações e equipamentos, desde sua aparência externa até desempenho e confiabilidade, empresas que não possuem planos de manutenção adequados e eficientes costumam enfrentar problemas com falhas de equipamentos. As atividades de manutenção podem ser divididas em dois tipos, atividade de manutenção e atividade de melhoria, as atividades de manutenção compreendem ações diárias de prevenção, correção de pequenas falhas, lubrificação, inspeção, substituição de peças, entre outros, já as atividades de melhoria, tem como objetivo corrigir pequenos erros de projeto nos equipamentos, evitando a reincidência de desgastes prematuros ou falhas,

ou ainda para a modernização do equipamento, adequando a novas metas ou processos produtivos (XENOS, 1998).

Segundo Fragoso (2013) podem ser relacionados cinco principais objetivos da manutenção, são eles, a racionalização de custos, rentabilidade, desenvolvimento de novos projetos, disponibilidade e economia, estes relacionados ao aumento de produtividade e lucro das organizações.

Segundo Marçal e Susin (2005) um adequado e eficiente plano de manutenção reduz e até elimina as possibilidades de ocorrência de falhas em equipamentos. São três as principais formas de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva, conforme ilustrado no Quadro 1.

	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva
Estado de operação da máquina	Fora de serviço	Fora de serviço	Operando ou fora de serviço
Razão da interferência	Falha	Inspeção programada	Controle programado ou contínuo
Tarefas a serem executadas na máquina	Reposição de componentes	Desligamento da máquina para inspeção ou reposição de componentes	Monitoramento
Objetivo da intervenção	Retorno ao trabalho	Garantir o funcionamento por um tempo	Predizer ou detectar falhas

Fonte: Adaptado de Marçal e Susin (2005, p.229)

Quadro 1 - Modalidades de manutenção e suas características

2.1 Manutenção preditiva

Na política de manutenção preditiva as condições mecânicas e operacionais são monitoradas periodicamente e quando alguma tendência à falha é detectada, as partes problemáticas são identificadas e é feito um agendamento para manutenção antes da ocorrência da possível falha, permitindo um *lead time* na compra das peças necessárias para a manutenção, reduzindo a necessidade de estoques de peças de reposição. A possibilidade do agendamento das paradas para reparos também contribui para um aumento na produção e capacidade (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

A técnica consiste na detecção e análise dos sintomas provenientes de possíveis desgastes de componentes que podem levar a posterior falha do equipamento. São utilizadas diversas modalidades de ensaios para possibilitar a manutenção preditiva, tais como análise térmica, níveis de ruído, ultrassonografia, análise química de óleo, análise de vibrações entre outros, cada uma indicada para um tipo de equipamento ou situação. Esta política de manutenção aumenta a confiabilidade da planta produtiva, pois reduz drasticamente a possibilidade de falha dos ativos, permanecendo apenas as possibilidades de falhas humanas (SALOMÃO FILHO, 2013).

O uso do ensaio de análise de vibrações é um exemplo de técnica preditiva, na qual são feitas medições de parâmetros (Quadro 2) que fornecem informações apontando para inspeções em elementos específicos da máquina. A escolha do parâmetro adequado é muito importante, para uma maior precisão na investigação. Após a coleta de dados, é possível uma análise técnica com a finalidade de indicar a natureza da possível falha, além de identificar os elementos críticos do sistema (MARÇAL; SUSIN, 2005).

Parâmetro a ser medido	Natureza da falha ou defeito a ser detectado
Amplitude do deslocamento de vibração	Deslocamento, falta de alinhamento, folgas, má fixação, mal acoplamento, correias frouxas, eixo torto, etc.
Amplitude da velocidade da vibração	Mancais ou rolamentos defeituosos, etc.
Amplitude da aceleração da vibração	Estado do rolamento, fricção excessiva entre componentes, falta de lubrificação nos mancais, etc.
Frequência da vibração	Dados complementares para monitoramento de qualquer característica de vibração essencial na determinação de qualquer problema detectado, etc.

Fonte: Adaptado de Marçal e Susin (2005, p.229)

Quadro 2 – Parâmetros de medição na análise de vibrações

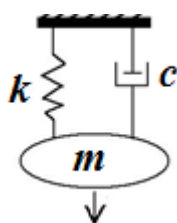
Segundo Salomão Filho (2013) a análise de vibrações é o ensaio não destrutivo mais importante para o acompanhamento das condições das partes móveis de um ativo, possibilitando informações precisas sobre o estado interno do equipamento. A possibilidade de prever possíveis defeitos, permite uma programação das atividades de manutenção com maior prazo e para o momento mais oportuno, com isso as peças de reposição são adquiridas apenas quando necessário, evitando estoques. Estes fatores permitem a redução de custos, aumento na produtividade e confiabilidade da planta produtiva.

2.2 Vibrações mecânicas

Uma máquina é sistema de elementos mecânicos acoplados. Cada elemento ao sofrer excitação pode gerar vibração que é transmitida aos demais componentes. O conjunto de vibrações de todos os elementos resulta em uma frequência global. Alterações nos componentes do sistema, como desgastes, trincas e desalinhamentos, geram alterações nas frequências de tais componentes (MARÇAL; SUSIN, 2005).

Segundo Hibbeler (2007) vibração é todo movimento periódico de um corpo ou sistema de corpos interligados, em torno de uma posição de equilíbrio. Podem ser mencionados dois tipos de vibração, a vibração livre e a forçada. Um exemplo de vibração livre é o movimento de um pêndulo que é mantido por forças como a gravitacional, já a vibração forçada é proveniente de uma força externa aplicada ao sistema.

A compreensão básica de como um sistema massa-mola com amortecimento (Figura 1) responde a uma força externa pode ser útil na compreensão e resolução de muitos problemas encontrados na medição e análise de vibrações. Todas as máquinas possuem as três propriedades fundamentais que se combinam para determinar a forma como as máquinas reagirão às forças que causam vibrações, assim como o sistema de massa-mola. As três propriedades fundamentais são: massa (M), rigidez (k) e amortecimento (C). Um defeito em uma máquina traz um movimento vibratório, a massa, rigidez e amortecimento tentam opor-se as vibrações que são induzidas pelo defeito, se as vibrações devido ao defeito forem maiores do que a soma líquida das três características de retenção, as quantidades de vibrações resultantes serão maiores e o defeito pode ser detectado (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).



Fonte: O próprio autor

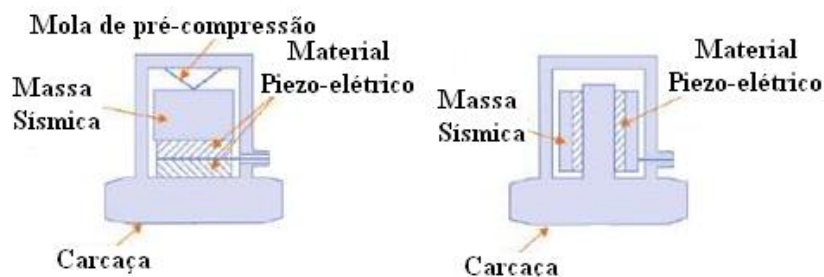
Figura 1 – Sistema massa-mola com amortecimento

O desbalanceamento é uma das possíveis fontes de vibração em uma máquina rotativa. Isto pode ser decorrente de problemas ligados à assimetrias, tolerâncias dimensionais, desvios de forma e até imperfeições da matéria prima ou na montagem. Qualquer um destes problemas ou até a soma deles, geram um desvio de massa no corpo rotativo, ocasionando desbalanceamento e vibrações, quando em operação (SILVA 2006).

2.3 Análise de vibrações

O monitoramento das condições de uma máquina através de análise de vibrações foi usado pela primeira vez em 1939. No início apenas a amplitude era analisada, com o passar do tempo, através de estudos, foi introduzida a análise de frequências, posteriormente, observou-se também o deslocamento de eixos. Atualmente é possível realizar esta análise em tempo real, até mesmo através de aplicativos para celulares (SALOMÃO FILHO, 2013).

Para medir as vibrações em máquinas é usado um transdutor, um dispositivo que converte um tipo de energia, no caso as vibrações, em outro tipo de energia, normalmente em uma corrente elétrica ou tensão. Os transdutores mais utilizados são captadores de velocidade, acelerômetros, correntes parasitas e sondas de proximidade. Cada tipo tem vantagens distintas para certas aplicações. Os acelerômetros (Figura 2) são os transdutores mais utilizados, são robustos, compactos e leves com uma gama ampla de resposta de frequências. São amplamente utilizados em muitas aplicações de monitoramento de condição, em componentes como mancais de rolamento ou conjuntos de engrenagens. (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

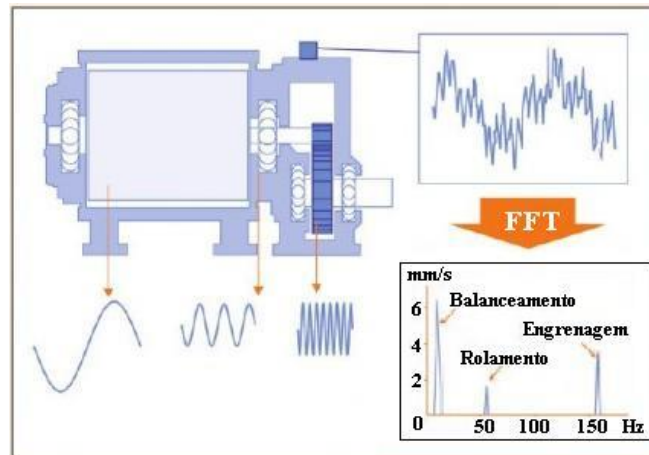


Fonte: Adaptado de Comitti, Kramer e Michalak (2003)

Figura 2 – Acelerômetro

A análise de vibrações é uma técnica utilizada para o acompanhamento das condições de operação de máquinas, possibilitando identificar tendências de falhas a fim de reduzir custos de manutenção e inatividade. A técnica consiste da coleta das vibrações através de sensores acoplados às máquinas. As medições são feitas periodicamente e em geral o monitoramento se dá pela comparação entre as medições anteriores. Máquinas em perfeito funcionamento geram vibrações pequenas e constantes e no caso do surgimento de avarias, ocorrem mudanças nas vibrações, possibilitando a identificação de tais avarias (ORHAN; AKTÜRK e ÇELİK, 2006).

O coletor de dados é um equipamento para utilização em campo, permite armazenar uma quantidade limitada de dados, que são transferidos para um computador, possibilitando formar um histórico das condições de funcionamento dos ativos e a observação de tendências a falhas. Os dados coletados são tratados por um software de análise de vibração que permite gerar alarmes indicando possíveis problemas quando os níveis de vibração atravessam limites determinados, também permite a visualização de espectros de frequência (Figura 3), possibilitando a identificação dos componentes com tendências a falhas (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).



Fonte: Adaptado de Comitti, Kramer e Michalak (2003)

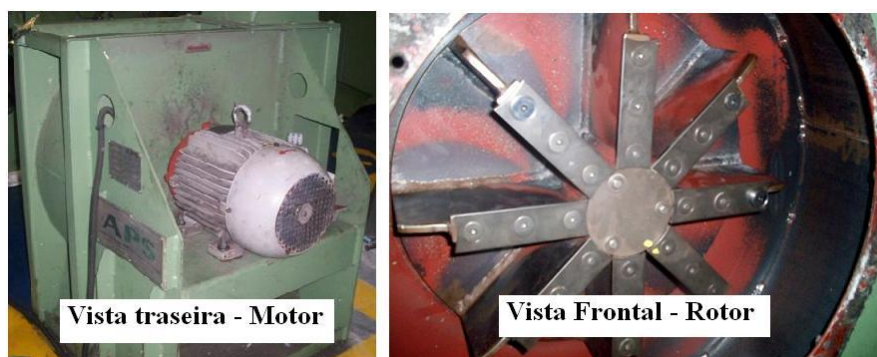
Figura 3 – Análise através do espectro de frequência

As vibrações decorrentes do desbalanceamento de eixos e rotores normalmente dominam o espectro, sua amplitude é proporcional ao grau de desbalanceamento e ao quadrado da rotação. As maiores amplitudes são radiais, ou seja, horizontal ou vertical, mas também podem ocorrer em pontos axiais (SILVA 2006).

3. Aspectos metodológicos

Esta é uma pesquisa de caráter qualitativo, um descritivo de um estudo de caso, com o intuito de apontar os benefícios na implantação de uma política de manutenção preditiva nos ativos de uma empresa.

Foi realizado um estudo a partir de um caso real de implantação e gerenciamento de um plano de manutenção preditiva em uma empresa de grande porte do setor de papelaria, onde houve o monitoramento de uma máquina rotativa do tipo ventilador com rotor acoplado ao eixo, denominada Puxador de Aparas (Figura 4) que no processo produtivo de folhas de papel, é responsável por coletar e armazenar as aparas provenientes do corte das folhas, após a coleta estas aparas são recicladas e reaproveitadas no processo produtivo.



Fonte: O próprio autor

Figura 4 – Puxador de Aparas

A coleta de dados foi realizada por um técnico utilizando um acelerômetro piezoelétrico tipo ICP (0,8 a 10kHz) (Figura 5), acoplado a um coletor de dados de vibrações modelo 2117 D1 (Figura 6).



Fonte: O próprio autor

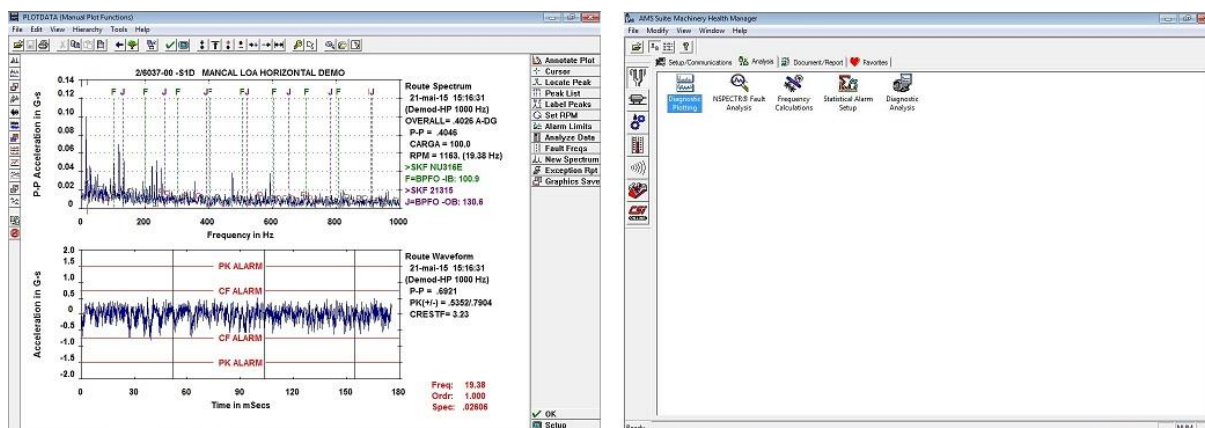
Figura 5 – Acelerômetro piezoelétrico tipo ICP



Fonte: O próprio autor

Figura 6 - Coletor de dados modelo 2117 D1

Após a coleta, os dados foram transferidos ao computador e tratados com o auxílio de um software de gerenciamento de manutenção preditiva do tipo AMS Suite Machinery Health Manager – CSI (Figura 7).



Fonte: O próprio autor

Figura 7 – Software AMS Suite Machinery Health Manager – CSI

A análise através do Software apresentou níveis de vibrações que foram comparados aos valores existentes na tabela de James E. Berry (Tabela 1) que apresenta níveis globais de vibração para diversas categorias de máquinas.

Tipo de Máquina	Valor RMS da Velocidade de Vibração (mm/s)			
	Bom	Aceitável	Alarme 1 (Alerta)	Alarme 2 (Perigo)
Ventiladores, Exaustores e Sopradores				
De fusos rotativos (lobulares)	até 5,4	5,4 a 8,1	8,1	12,2
Sopradores acionados por correias	até 4,9	4,9 a 7,6	7,6	11,0
Ventiladores com acoplamento direto	até 4,5	4,5 a 6,7	6,7	10,2
Ventiladores de Ar Primário	até 4,5	4,5 a 6,7	6,7	10,1
Grandes ventiladores de circulação forçada	até 3,6	3,6 a 5,4	5,4	8,1
Grandes ventiladores de circulação induzida	até 3,1	3,1 a 4,9	4,9	7,4
Ventiladores com rotor montado no eixo do motor	até 3,1	3,1 a 4,9	4,9	7,4
Ventiladores axiais	até 2,7	2,7 a 4,5	4,5	6,8

Condições de aplicação e observações:

Medições do valor RMS de velocidade por transdutores rigidamente fixados à carcaça dos mancais.

Aplica-se às máquinas já em operação (não recomenda-se testes em máquinas novas ou reformadas).

Velocidades de operação de 600 a 60.000 rpm.

Para máquinas sobre isoladores usar alarmes 30 a 50 % mais altos.

Para redutores ou multiplicadores use alarmes 25 % mais altos do que para o acionado.

Fonte: Adaptado Barrys (2000)

Tabela 1 – Níveis globais de vibração para ventiladores, exaustores e sopradores

4. Coleta e análise de dados

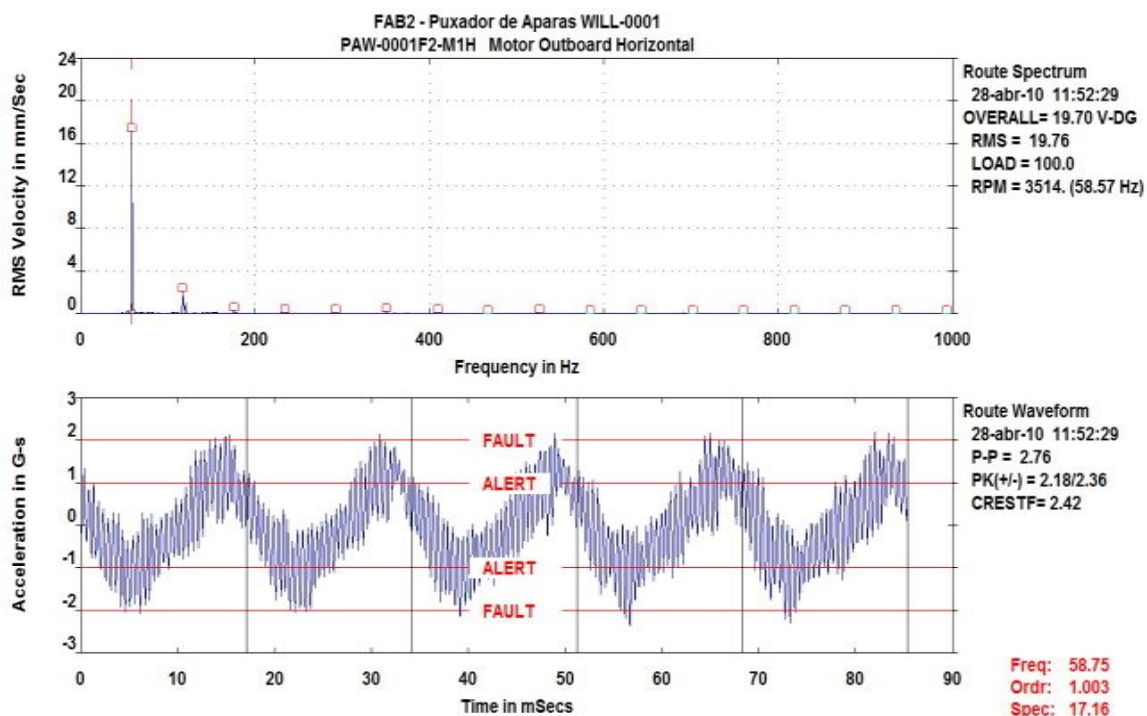
O técnico realizou a medição dos níveis de vibrações dos mancais M1H e M2A do motor de acionamento do rotor de aspiração, ilustrados na figura 8.



Fonte: O próprio autor

Figura 8 – Pontos de medição dos níveis de vibrações no Puxador de Aparas

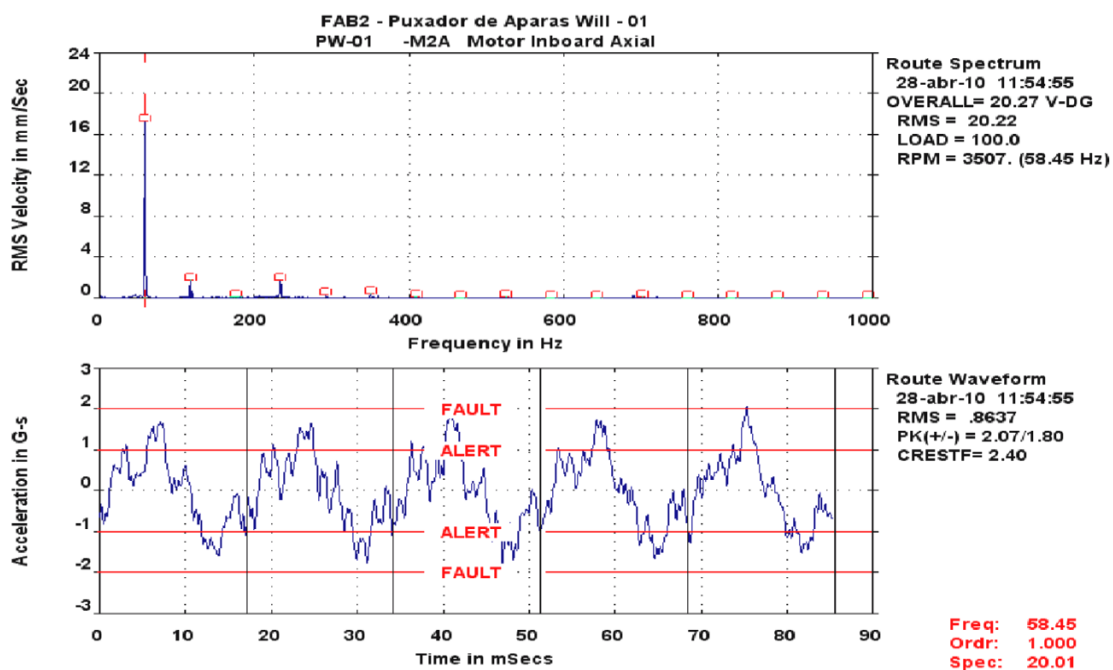
A medição no mancal M1H resultou em 19,76mm/s (Figura 9).



Fonte: O próprio autor

Figura 9 – Espectro inicial M1H

A medição no mancal M2A resultou em 20,22mm/s (Figura 10).



Fonte: O próprio autor

Figura 10 - Espectro inicial M2A

Após a coleta e análise dos dados, constatou-se que os níveis de vibrações apresentavam-se fora dos valores aceitáveis para a classe do equipamento, segundo o Critério de James E. Berry, o valor recomendado para ventiladores com rotor acoplado direto ao eixo de é de 3,1mm/s (Tabela 1).

O técnico de manutenção iniciou o processo de balanceamento em campo, utilizou técnicas de análise de picos de fase, que possibilitaram a identificação dos pontos de desbalanceamento. Em determinado momento, os níveis de vibração não regrediam, após uma nova análise na máquina, foi identificada uma deficiência na fixação da base, corrigida com a adição de um parafuso (Figura 11).

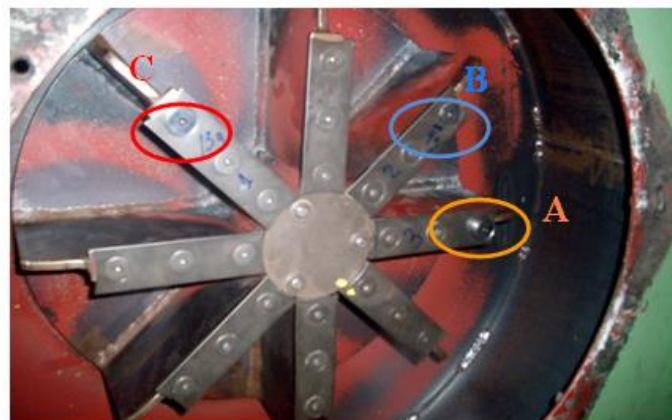


Fonte: O próprio autor

Figura 11 – Adição de parafuso faltante na base de fixação da máquina

Após a adição do parafuso na base, foi possível retornar ao processo de balanceamento do rotor, utilizando como referência o ponto axial, que apresentou maior nível de vibração (Figura 10).

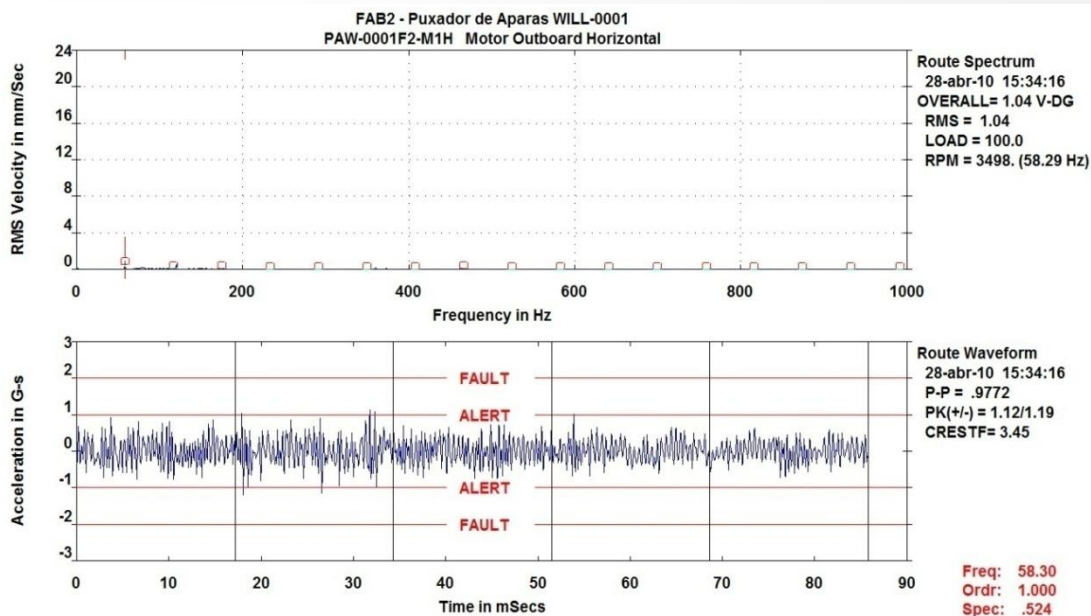
A ação corretiva foi através da adição de massa nas pás do rotor. Foram adicionados 15g no ponto A, 9g no ponto B e 13g no ponto C, conforme ilustrado na figura 12.



Fonte: O próprio autor

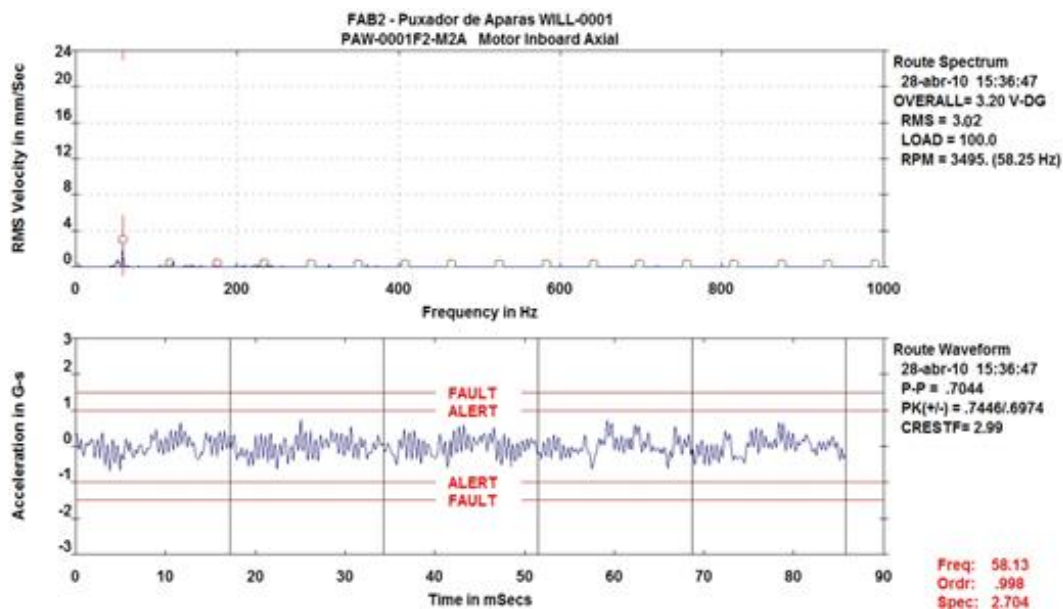
Figura 12 – Adição de massa para balanceamento do rotor

O resultado final após o balanceamento do rotor, foi uma redução de 19,76mm/s para 1,04mm/s no mancal M1H (Figura 13) e de 20,22mm/s para 3,02mm/s no mancal M2A (Figura 14).



Fonte: O próprio autor

Figura 13 – Espectro após ações corretivas M1H



Fonte: O próprio autor

Figura 14 – Espectro após ações corretivas M2A

5. Considerações finais

A literatura permite afirmar que a manutenção representa um papel estratégico para as organizações e que uma gestão eficaz da manutenção permite ganhos na qualidade, produtividade e lucro, com redução significativa de custos, retrabalhos e outras perdas.

Uma análise do impacto das falhas sobre o processo produtivo contribui para a decisão de qual política de manutenção a ser implantada, isto depende da importância do equipamento no processo, em termos de produtividade, qualidade, custo, segurança e meio ambiente.

No estudo de caso apresentado, com a utilização de técnicas de manutenção preditiva, mais especificamente a análise de vibrações, foi possível detectar problemas de desbalanceamento

presentes no rotor do Puxador de Aparas. Isto possibilitou ações corretivas, evitando danos do equipamento, o que acarretaria um aumento no custo operacional, devido uma parada não planejada do equipamento e maiores custos de reparo após uma possível quebra.

A manutenção preditiva através da análise de vibrações pode ser utilizada em diversas ocasiões, a adoção deste método depende de variáveis como tipo do equipamento, conhecimento técnico de seu funcionamento, dentre outros.

Quando realizado eficientemente o ensaio por análise de vibrações pode reduzir o custo da operação de manutenção, influenciando também no tempo de intervenção. Outra vantagem, é fornecimento de dados para os gestores da manutenção, tornando-os mais capazes de realizar a manutenção no exato momento em que o equipamento necessita, aumentando o rendimento de produção, evitando perdas de produto e paradas desnecessárias e/ou imprevistas, contribuindo de maneira significativa para redução de custos operacionais.

Referências

BERRY J. *Proven Method for Specifying Both Spectral Alarm Bands As Well As Narrowband Alarm Envelopes Using Today's Condition Monitoring Software Systems.* SKF Technology Conference, San Diego, California, 2000.

COMITTI A.; KRAMER W. R.; MICHALAK E. J. *Manutenção Preditiva Análise de vibrações.* Revista Mecatrônica Atual, n. 12, Editora Saber, São Paulo, 2003.

GABILLAUD A. M. P. *Método de análise e solução de problemas (MASP) – aplicação na gestão da manutenção de uma rede varejista no estado de Sergipe.* Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

HIBBELER, R. C. *Dinâmica: Mecânica Para Engenharia.* Pearson, Ed. 10. São Paulo, 2007.

LAZAR A.; STAN M.; PAPADOPOULOU-BAKALI M. *Vibration analysis and diagnostics for oil production Units by pumping rod.* International Journal of Research in Engineering and Technology. v. 02, p. 919 - 925, India, 2013.

MARÇAL, R. F. M.; SUSIN, A. A. *Detectando falhas incipientes em máquinas rotativas.* Revista Gestão Industrial. v. 01, n. 021, p. 087-096, 2005.

MORAES, P. H. A. *Manutenção Produtiva Total: Estudo de caso em uma empresa automobilística.* Universidade de Taubate. Taubate, 2004.

ORHAN, S.; AKTÜRK, N.; ÇELİK, V. *Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies.* NDT&E International 39, p. 293–298, 2006.

QUINELLO, R; NICOLETTI, J. R. *Inteligência competitiva nos departamentos de manutenção industrial no Brasil.* JISTEM. vol. 2, n. 1, pp. 21-37. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005

RENWICK, J. T.; BABSON, P. E. *Vibration Analysis-A Proven Technique as a Predictive Maintenance Tool.* IEEE transactions on industry applications. Vol. 1A - 21. n. 2. New Yorker. 1985.

SALOMÃO FILHO, L. F. *Manutenção por análise de vibrações: Uma valiosa ferramenta para gestão de ativos.* Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, W. B.; COLOSIMO, E. A.; MOTTA, S. B. *Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório.* Revista Gestão da Produção, v. 14, n. 1, p. 193-202, São Carlos, 2007.

SILVA D. A. *Diagnóstico de equipamentos de propulsão naval através de análise de vibração.* COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

SHEFFER, C.; GIRDHAR, P. *Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance.* Elsevier, Índia, 2004.

TAVARES, L. A. *Manutenção Centrada no Negócio.* Congresso de Gestão e Técnicas na Manutenção. Belo Horizonte, 2001.

XENOS, H. G. *Gerenciando a Manutenção Produtiva.* EDG, Rio de Janeiro, 1998.