

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá

2012



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

CARLOS PEDROSO MARTINS

**ANÁLISE DE DEFEITOS EM MOTORES ATRAVÉS
DE VIBRAÇÃO MECÂNICA – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Faculdade de
Engenharia de Guaratinguetá,
Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Trani Brandão

Guaratinguetá

2012

M386a	<p>Martins, Carlos Pedroso</p> <p>Análise de defeitos em motores através de vibração mecânica - estudo de caso / Carlos Pedroso Martins – Guaratinguetá : [s.n], 2012. 58 f : il. Bibliografia: f. 57-58</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Trani Brandão</p> <p>1. Vibração 2. Rolamentos 3. Confiabilidade (Engenharia) I. Título</p> <p>CDU 534.1</p>
-------	--

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**ANÁLISE DE DEFEITOS EM MOTORES ELÉTRICOS ATRAVÉS DE
VIBRAÇÃO MECÂNICA – ESTUDO DE CASO**

CARLOS PEDROSO MARTINS

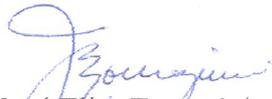
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

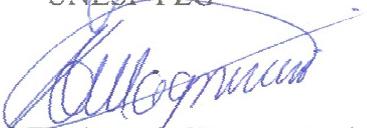
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. José Geraldo Brandão Trani
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. José Elias Tomazini
UNESP-FEG


Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
UNESP-FEG

Dezembro de 2012

Dedico este trabalho a meus amigos e familiares que sempre estão ao meu lado e tanto me ajudaram na conquista de mais este desafio, principalmente àqueles que já me aguardam em um outro plano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, que permite que meus passos sejam possíveis.

À minha Mãe Margareth e meu padrasto Rafael que tudo me propiciaram para que eu chegasse a este momento.

À minha esposa Carolina, que apesar das dificuldades, sempre me estimulou a seguir em frente.

A meus avós Vicentina e Carlos, e meu pai Manuel, que acredito estarem sempre me acompanhando e dando forças para seguir em frente.

Agradeço também ao professor Brandão, que se mostrou tão disposto a me auxiliar a concluir minha formação, e me permitiu visualizar rumos profissionais, pelos quais nunca havia antes visto.

"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.

Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.

Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."

[Martin Luther King]

MARTINS, C. P. **Análise de Defeitos em Motores através de Vibração Mecânica – Estudo de Caso** 2012. 58 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

As máquinas rotativas estão entre os equipamentos mais utilizados na indústria em geral, e conseqüentemente os gastos com esse tipo de equipamento é uma parcela significativa do montante total gasto pela empresa. Caso haja uma parada não programada em algum desses equipamentos, algumas plantas podem perder valores enormes com parada da produção e espera por peças; outras podem ter o custo da manutenção ampliado diversas vezes, devido a conseqüências em outras partes que não haviam sido afetadas; e outras ainda podem por em risco a segurança da instalação ou de pessoas caso haja interrupção do funcionamento sem acionamento de um backup. Este trabalho visa um estudo de caso de um sistema rotativo que é monitorado por análise de vibração, e mostra que com isso pode-se determinar o momento mais adequado para intervenção no equipamento, sem que haja qualquer detrimento da confiabilidade do mesmo, usando um sistema simples, no geral, de baixo custo e que por desconhecimento da maior parte dos profissionais da área é pouquíssimo utilizado. Foram avaliadas as instalações de uma planta industrial, identificado um equipamento que obteve uma detecção de falha e avaliado seu histórico, a fim de mostrar através de um “antes-durante-depois” a viabilidade do uso da análise de vibração. A planta avaliada faz parte de uma indústria química multinacional situada em Guaratinguetá-SP. A referida planta possuía na época em torno de 650 equipamentos críticos monitorados mensalmente e no período de um ano não houve nenhuma parada não programada devido aos equipamento monitorados.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Vibração, rolamento, rotativo, confiabilidade, análise de falha.

MARTINS, C. P. **Defect Analysis in Mechanical Vibration motors through - Case Study**. 2012. 58 f. **Undergraduate Final Work (Graduate in Mechanical Engineering)**– Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

Revolving machines are among the most used equipment in general industry and therefore expenditures on this equipment class are a significant portion of the total amount spent by the company. If there is an unscheduled stop of some of this equipment, industrial plants can lose huge amounts of money caused by interrupted production and parts delay. Others may increase significantly maintenance costs due to consequences elsewhere not affected before. Even plant and people safety can be in danger if there is an operation interruption without a backup system start. This work is focused on a rotating system case study which is monitored by vibration analysis that shows that is possible to determine when is the most appropriate time for equipment intervention without any reliability loss just by using a simple and cheap system which is not much used because professionals are not aware to its utility. Industrial facilities were evaluated by fail detection and historical analysis in some equipment in order to show feasibility of vibration analysis through a "before-during-after" process. The plant evaluated is part of a chemical multinational located in Guaratinguetá-SP. At this time, that plant had around 650 critical equipment monthly monitored and no unscheduled shutdown was registered in one year period due to equipment monitoring.

KEYWORDS: Vibration Analysis, bearing, rotating, reliability, failure analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de espectro de vibração com medição de pico	17
Figura 2 – Exemplos de espectros de vibração com medição de pico a pico.....	18
Figura 3 – Exemplo de espectro de vibração com medição RMS	19
Figura 4 – Representação da medição de deslocamento de uma onda senoidal.....	19
Figura 5 – Gráfico da atenuação de sinal de deslocamento com aumento da frequência medida	20
Figura 6 – Representação da medição de velocidade de uma onda senoidal	20
Figura 7 – Gráfico da atenuação de sinal de velocidade com aumento da frequência medida ...	21
Figura 8 – Representação da medição de aceleração de uma onda senoidal.....	22
Figura 9 – Gráfico da atenuação de sinal de aceleração com aumento da frequência medida.....	22
Figura 10 – Esquema de pontos de coleta de vibração em um conjunto moto-bomba	24
Figura 11 – Foto do coletor de dados Brüel & Kjaer.....	26
Figura 12 – Foto do coletor de dados Brüel & Kjaer, em conjunto com o sensor de aceleração.	27
Figura 13 – Tela inicial do programa da Brüel & Kjaer para análise de espectros.....	28
Figura 14 – Definição de pontos de coleta do equipamento selecionado (RM101A).	28
Figura 15 – Escolha dos tipos de coleta para cada ponto do equipamento selecionado (RM101A).	29
Figura 16 – Seleção dos parâmetros para cada um dos pontos de coleta do equipamento selecionado.....	29
Figura 17 – Dados de frequência para possíveis falhas no rolamento 6312 à 3600RPM.....	30
Figura 18 – Árvore de equipamentos evidenciando o RM101 do piso 6,0m do prédio B101 da BASF.	31
Figura 19 – Dados técnicos do motor RM101 do piso 6,0m do prédio B101 da Basf.	32
Figura 20 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.	33
Figura 21 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.	34

Figura 22 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.	34
Figura 23 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.	35
Figura 24 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.	36
Figura 25 – Diferença dos sinais no tempo quando representados no domínio da frequência.....	37
Figura 26 – Diferença da coleta de dados no domínio da frequência como autoespectro e como envelope.....	38
Figura 27 – Relatório Geral da Planta (RGP) apresentada à empresa BASF.....	39
Figura 28 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente à Maio 2009.....	39
Figura 29 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Junho 2009.....	40
Figura 30 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Julho 2009.....	40
Figura 31 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Agosto 2009.....	41
Figura 32 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Setembro 2009.	41
Figura 33 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Outubro 2009.	42
Figura 34 – Relatório Geral da Planta (RGP) apresentada à empresa BASF.....	42
Figura 35 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Outubro 2009.	43
Figura 36 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Novembro 2009.....	44
Figura 37 – Curva de tendência mostrando evolução do valor da aceleração através do tempo, entre maio e novembro de 2009.	44
Figura 38 – Relatório Geral da Planta (RGP) apresentada à empresa BASF, com evidência de alerta em outubro e abertura de RDP em novembro.	45
Figura 39 – Relatório de Análise de Vibração, Diagnóstico e Prognóstico (RDP) nº 00060, gerado após detecção de problema em análise do mês de novembro.....	46
Figura 40 – Prescrição da Intervenção gerada após recebimento da RDP00060 e avaliação do equipamento em campo.....	48
Figura 41 – Abertura de Ordem de serviço para execução da intervenção no RM101, devido envio de RDP ao encarregado da manutenção do prédio B101.....	49
Figura 42 – Rolamentos do RM101, logo após a sua retirada do equipamento.	50

Figura 43 – Rolamento do lado acoplado (LA) do RM101, após sua limpeza para avaliação. ...	51
Figura 44 – Rolamento do LA do RM101, após a retirada da gaiola para desmontagem do mesmo.	52
Figura 45 e 46 – Gaiola do rolamentos do RM101 em perfeito estado e as pistas e elementos rotantes do mesmo, prontos para desmontagem e avaliação interna.....	52
Figura 47, 48 e 49 – Rolamentos do RM101 desmontado.	53
Figura 50 e 51 – Parte interna da pista externa do Rolamentos do RM101.	54
Figura 52 e 53 – Parte externa da pista interna do Rolamentos do RM101.	54
Figura 54 e 55 – Esferas dos Rolamentos do RM101.....	54
Figura 56 – Espectro de aceleração no domínio da frequência, após a intervenção no RM101. .	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivo	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Delimitações do trabalho	14
1.4 Estrutura do trabalho	14
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	16
2.1 Princípios básicos de análise de vibração.....	16
2.1.1 Frequência:	16
2.1.2 Amplitude:	16
2.1.2.1 Valor de Pico:	17
2.1.2.2 Valor de Pico-a-Pico:	18
2.1.2.3 Valor RMS (Root-mean-square):	18
2.2 Parâmetros de medição:.....	19
2.2.1 Deslocamento:	19
2.2.2 Velocidade:	20
2.2.3 Aceleração:	21
2.3 Pontos e Procedimento de medição	22
2.4 A análise de dados:	24
3 ESTUDO DE CASO	26
3.1 Apresentação	26
3.2 Recursos utilizados	26

3.2.1 Equipamentos	26
3.2.2 Programas de coleta, armazenamento e análise	27
3.3 Equipamento do objeto de estudo.....	30
3.3.1 Pontos de estudo	35
3.4 Coleta de dados em campo	39
3.5 Detecção de indício de falha.....	41
3.6 Análise de espectro para definição de falha	43
3.6.1 Espectro de vibração.....	43
3.6.2 Curva de tendência	44
3.7 Geração de relatórios de intervenção	45
3.8 Preparações para a intervenção sugerida.....	49
3.9 Análise dos componentes substituídos	50
3.9.1 Recebimento	50
3.9.2 Limpeza externa	50
3.9.3 Abertura da gaiola espaçadora das esferas	51
3.9.4 Limpeza interna, desmontagem das pistas e das esferas	52
3.9.5 Análise das marcas dos componentes	53
3.10 Análise de vibração pós-intervenção.....	55
4 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

Na indústria moderna, há a crescente preocupação em reduzir-se o custo de manutenção de forma inteligente, sem que o mesmo afete o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos da unidade fabril.

Com o uso atual de equipamentos com elementos de elevada precisão, como rolamentos, por exemplo, consegue-se aumentar a vida útil dos mesmos em diversas vezes, porém ainda havia a dificuldade de se definir o melhor momento para a execução de uma manutenção, aliando uso máximo de sua vida útil, com programação de intervenção, permitindo preparação e logística de materiais e mão de obra, encaixe em paradas programadas de produção e até mesmo substituição em manutenções de oportunidade.

A manutenção preditiva veio oferecer diversas ferramentas para que o homem de manutenção possa melhor aproveitar os fatores citados, e especificamente na área mecânica de equipamentos rotativos, podemos dar destaque para a técnica de análise de vibração.

1.1 Justificativa

Mesmo relativamente difundida no mundo de manutenção de hoje em dia, a análise de vibração ainda passa por dificuldades de aceitação em muitos ambientes de fábrica, por se tratar de uma ferramenta de visualização mais complexa (não é tão simples se visualizar uma falha em um espectro de vibração como um aquecimento de rolamento em uma termografia).

Apesar de sua precisão e confiabilidade, que com monitoramento contínuo pode chegar a 99,99%, esse distanciamento do pessoal da manutenção com casos práticos da técnica, dificulta a implantação da mesma em muitas indústrias.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

Realizar um estudo de caso, que possa servir de exemplo demonstrativo da eficiência do monitoramento por análise de vibração, de modo que possa desmitificar desconfiças sobre o uso e aplicação desta ferramenta de preditiva.

1.2.2 Objetivos específicos

Efetuar o monitoramento de equipamentos de uma indústria química da região, e selecionar um dos equipamentos que possua uma falha detectada, com o objetivo de:

- Apresentar parâmetros para coleta e análise de dados de vibração.
- Demonstrar o efeito e variação da falha monitorada no espectro de vibração.
- Apresentar os componentes do equipamento após a intervenção, mostrando qual era a real causa da geração daquele espectro.
- Apresentação do espectro do mesmo equipamento após a intervenção, demonstrando a eliminação da causa antes detectada.

1.3 Delimitações do trabalho

Pelo fato de uma falha em um equipamento rotativo comum poder demorar anos para se desenvolver, não foi acompanhado um único equipamento até sua detecção, e sim, toda uma planta de equipamentos, e selecionado para o estudo o que apresentou uma falha mais próxima da data de início do trabalho, sendo utilizado seu histórico para posterior apresentação de dados anteriores à falha.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos:

Capítulo 1: Introdução

Aborda uma visão geral do tema, a justificativa do trabalho, os objetivos, as delimitações do trabalho e um resumo de cada capítulo.

Capítulo 2: Revisão da literatura

Apresentação de conceitos fundamentais sobre vibração e sua análise, e dos dados do equipamento usado no estudo de caso.

Capítulo 3: Estudo de Caso - Avaliação do equipamento selecionado

Avaliar o equipamento selecionado através da análise de espectro anterior e posterior à intervenção, incluindo avaliação do componente após sua retirada para confirmação da falha detectada.

Capítulo 4: Comentário e Conclusões

Descrição de fatores relevantes do trabalho e principais conclusões.

Referências Bibliográficas

Apresentação das referências bibliográficas utilizadas.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Princípios básicos de análise de vibração.

A vibração pode ser definida como a oscilação de um determinado corpo sobre um determinado ponto de referência, devido uma determinada força.

Pode-se definir esse movimento vibratório de diversas formas matemáticas, algumas mais simples, e outras muito mais complexas. Fisicamente, o fenômeno da vibração é o resultado da troca de energia entre dois “reservatórios” distintos de um mesmo sistema. Quando há a alteração entre energia cinética e potencial, e vice-versa, surge a vibração.

Diversos fatores podem ser medidos na vibração, porém os mais importantes e comumente usados são os seguintes:

2.1.1 Frequência

É descrita como o número de ciclos que um evento acontece em um determinado período de tempo. Quando o tempo referido é o segundo (s), a unidade de frequência é o Hertz (Hz).

O estudo da frequência dentro da análise de vibrações nos permite detectar em que ponto está a ocorrência, em avaliação da rotação dos componentes do equipamento e qual ponto seria capaz de gerar aquele valor encontrado.

Após a medição, é feita a transformação da onda no domínio do tempo para o domínio da frequência, onde poderemos evidenciar e discretizar as frequências que ocorrem em um determinado equipamento, permitindo sua análise.

2.1.2 Amplitude

É descrito como a intensidade com que um evento ocorre. Ele pode ser descrito em variadas unidades, de acordo com a conveniência do que está sendo medido (ex. Para deslocamento utiliza-se mm, para medições de velocidade utiliza-se de m/s e para aceleração utiliza-se m/s² ou g).

Para a análise de vibrações, o valor de amplitude indica principalmente o grau da falha detectada, podendo variar de acordo com o equipamento, devido suas dimensões, formas estruturais, acesso ao local de medição, entre outros.

Pode-se dizer que, para uma mesma condição de medição, quanto maior a amplitude de um sinal captado, maior a energia de vibração sendo gerada no equipamento.

Após a transformação do domínio do tempo no domínio da frequência, já teremos uma visualização clara da separação das frequências, e com isso conseguimos avaliar a amplitude de cada uma individualmente ou em conjunto, conforme a conveniência.

Em geral, na indústria, utilizamos 3 modos de se medir a amplitude de vibração:

2.1.2.1 Valor de Pico

Como a vibração sempre ocorre em torno de um ponto determinado, pode-se medir essa amplitude do ponto de referência (ponto 0) até o ponto máximo da mesma. Por esse tipo de medição chamamos medição de “PICO”.

Esse tipo de medição é usado para detecção de falhas em geral, como desbalanceamentos, desalinhamentos e problemas de folga em rolamentos, pois os mesmos costumam gerar uma energia considerável, e de relativa facilidade de detecção.

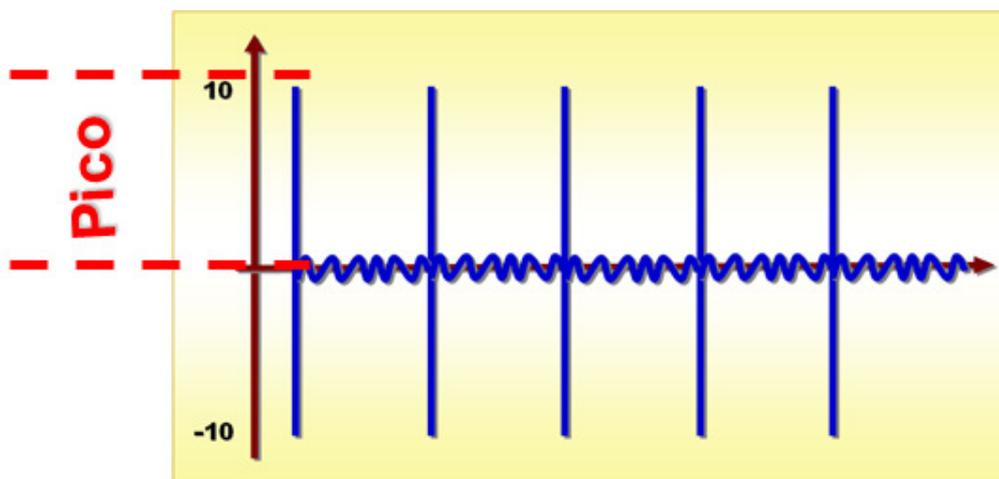


Figura 1 – Exemplo de espectro de vibração com medição de pico
(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

2.1.2.2 Valor de Pico-a-Pico

Outro modo de medir a amplitude é pegando-se o valor máximo em que aquela amplitude variou, ou seja, soma-se ao valor de pico, o módulo do valor de pico negativo, sendo assim, temos o valor de um pico máximo até o pico mínimo.

Esse tipo de medição é usado para detecção de falhas mais discretas, como pittchin em pistas de rolamentos ou elementos rolantes e problemas de gaiola, pois os mesmos geram um valor baixo de energia, o que poderia dificultar a detecção. Para isso, usa-se o valor de pico-a-pico, que apresenta o valor “ampliado” e mais fácil de ser analisado.

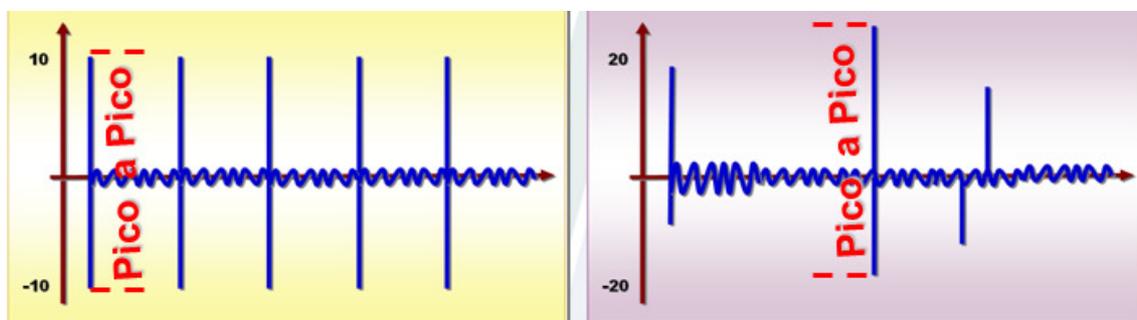


Figura 2 – Exemplos de espectros de vibração com medição de pico a pico

(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

2.1.2.3 Valor RMS (Root-mean-square):

O tipo de medição RMS avalia não apenas os valores de cada frequência discretamente, mas o conjunto das mesmas, como se fosse uma média dos valores. O valor RMS é definido pela equação (1):

$$\sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t x^2(t) dt} \quad (1)$$

Esse valor permite que se faça uma avaliação “global” do problema, pois conforme ele evolui, não apenas uma determinada frequência aumenta sua amplitude, mas também aumenta-se o número de frequências que possuem mais energia, e com isso o valor RMS aumenta.

Esse tipo de medição é muito utilizado na avaliação da evolução da falha, sendo um dos principais métodos usados para se gerar curvas de tendência.

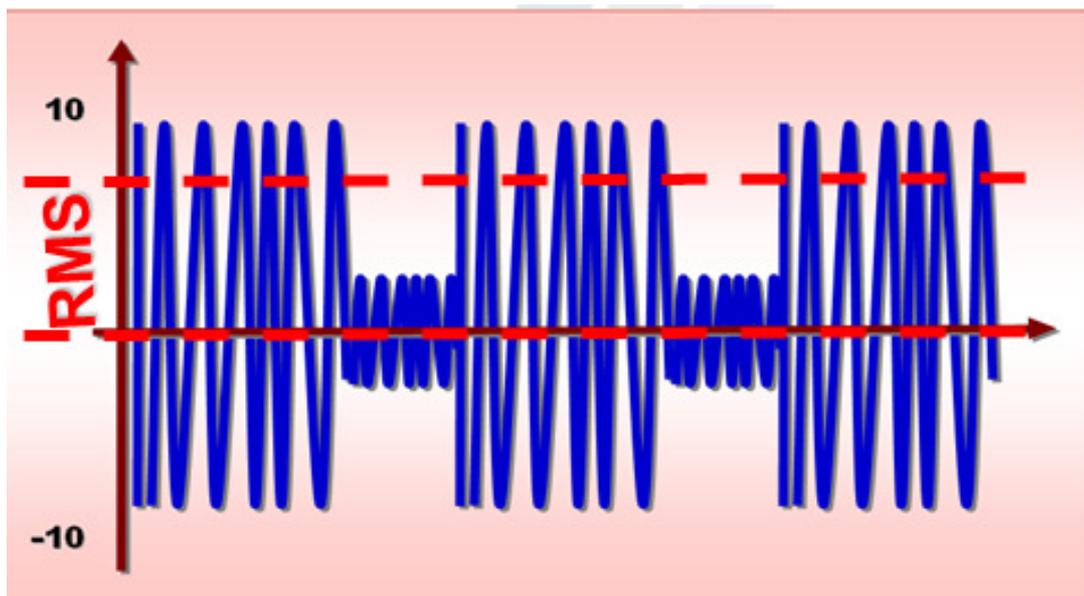


Figura 3 – Exemplo de espectro de vibração com medição RMS
(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

Após saber quais são as grandezas de vibração e quais os modos de medi-los, pode-se concentrar em o que deve ser medido. Existem basicamente 3 parâmetros para monitorarmos a vibração de um determinado objeto.

2.2 Parâmetros de medição:

2.2.1 Deslocamento:

Esse parâmetro mede a distância percorrida, entre o ponto mínimo e máximo, pelo objeto em um determinado sentido.

- **Deslocamento**
(μm)

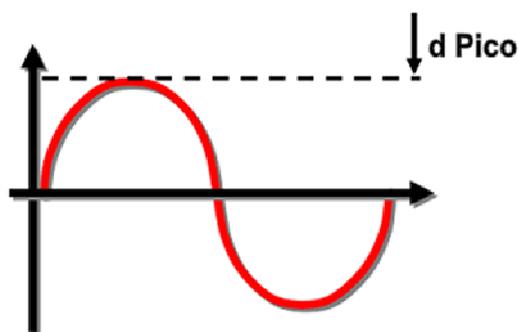


Figura 4 – Representação da medição de deslocamento de uma onda senoidal
(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

Como em geral a grandeza desse parâmetro é muito pequena, utilizam-se unidades de medida apropriadas, como micrometro. Pelo fato que todas as medidas de

vibração devem ser medidas dinamicamente, a medição na escala dos micrometros se torna difícil, e apenas viável para movimentos de baixa frequência (até 10Hz, ou seja, 600rpm para máquinas rotativas) e maiores amplitudes. Esse tipo de aplicação acaba sendo em equipamentos de grande porte, e que em geral movem-se a baixas rotações, e principalmente na detecção de falhas do tipo de desbalanceamento e falta de rigidez.

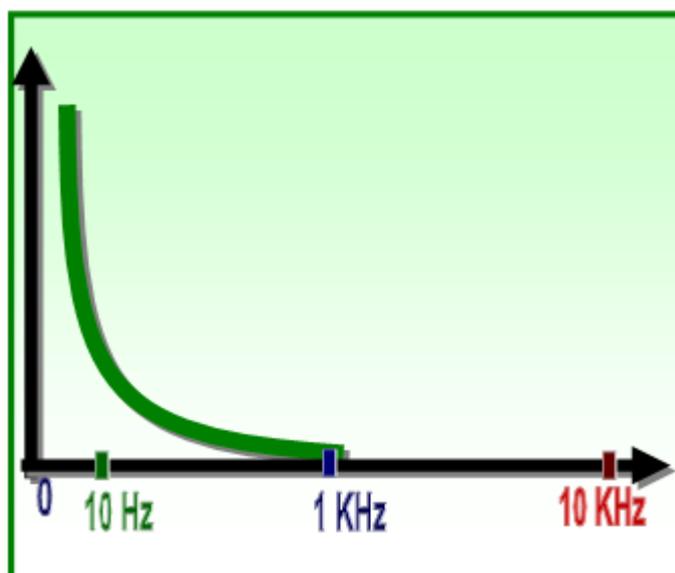


Figura 5 – Gráfico da atenuação de sinal de deslocamento com aumento da frequência medida.

(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

2.2.2 Velocidade

Esse parâmetro mede a velocidade média em que um determinado ponto do equipamento a ser analisado se move, em uma determinada direção.

A medição da velocidade tende a ser de mais simples, uma vez que pode-se utilizar sensores para medir diretamente a velocidade, com uma grande precisão e confiabilidade.

A unidade de medida utilizada no Brasil é a do sistema métrico, e se dá em m/s.

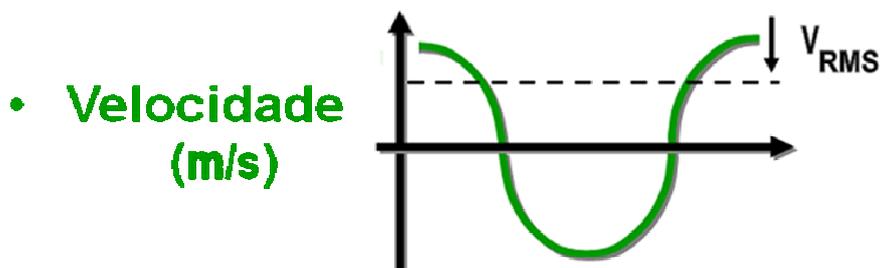


Figura 6 – Representação da medição de velocidade de uma onda senoidal.

(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

Na maioria das excitações de vibração em aplicações industriais, deve-se medir, detectar e analisar utilizando-se do parâmetro da velocidade. Desbalanceamentos, falta de rigidez, desgaste de acoplamentos, desalinhamento paralelo e angular, empenamento de eixos, folgas em rolamentos, rotores, polias e mancais, batimento de correias, ovalização dos canais de polias e até como determinação da data limite antes de intervenção em algumas falhas em rolamentos.

O intervalo ótimo de utilização desse parâmetro se dá na faixa de frequência entre 10 e 1.000Hz.

É amplamente utilizado para monitorar motores elétricos de 2, 4 e 6 polos, redutores com rotação de saída acima de 10Hz, turbinas a vapor e a gás, e mancais de ventiladores e exaustores, cobrindo assim a maior parte dos casos da indústria

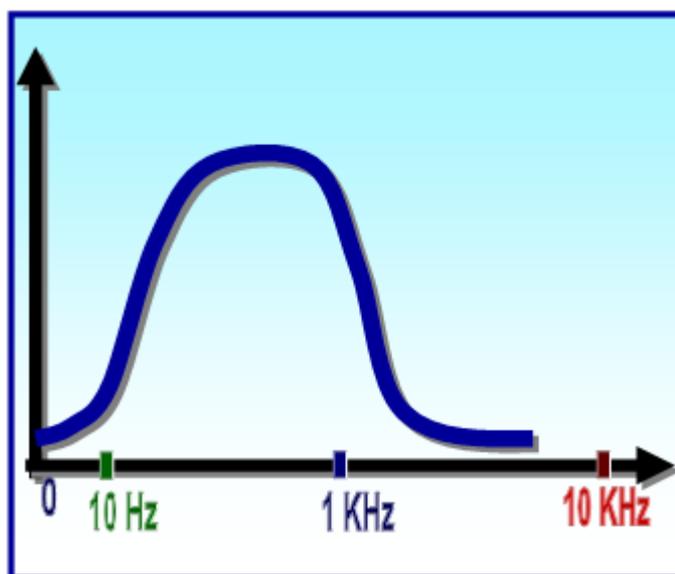


Figura 7 – Gráfico da atenuação de sinal de velocidade com aumento da frequência medida

(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

2.2.3 Aceleração

É o parâmetro que melhor representa os componentes de alta frequência. Ela pode ser descrita como a velocidade com que um corpo varia a sua própria velocidade. Devido sua natureza, ela é medida em m/s^2 .

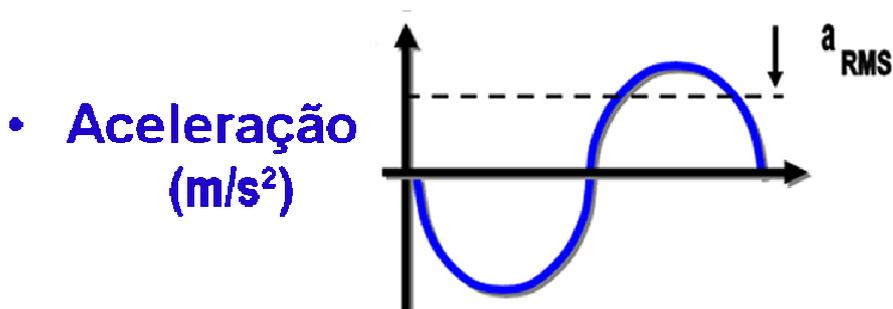


Figura 8 – Representação da medição de aceleração de uma onda senoidal.

(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

Pode-se utilizar um sensor específico para medição direta (acelerômetro), ou então utilizar um sensor normal de medição de velocidade (erroneamente, também chamado na indústria de acelerômetro) e posteriormente o aparelho de coleta faz a integração da função para se achar os valores de aceleração. Sua aplicação é recomendada na monitoração de frequências entre 1.000 Hz e 10.000 Hz o que se torna ideal na identificação de problemas de engrenamento, falhas de rolamento, cavitação em bombas e frequência de ranhuras de rotores de motores elétricos.

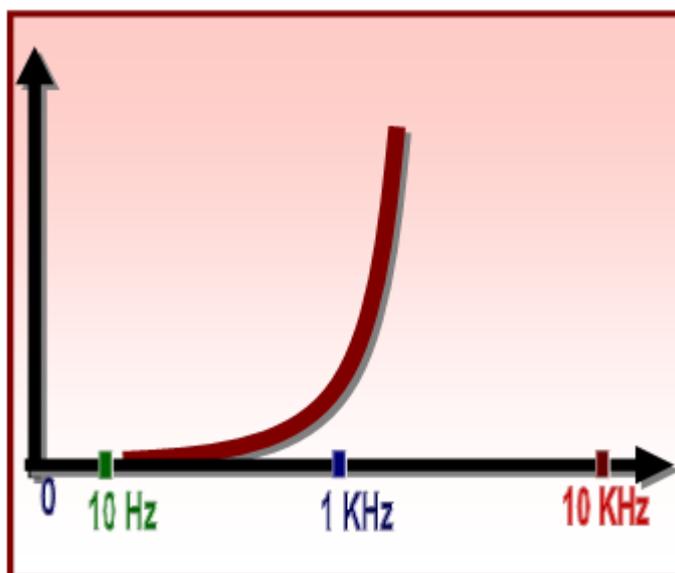


Figura 9 – Gráfico da atenuação de sinal de aceleração com aumento da frequência medida.

(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

2.3 Pontos e Procedimento de medição

Para se efetuar as medições, devem ser definidos pontos específicos, para que possa se adquirir o melhor sinal para análise e para que se possa garantir a repetibilidade das medições.

Esses pontos são definidos de acordo com o equipamento a ser analisado, em geral, procura-se que as medidas tomadas sejam o mais próximo possível do objeto a ser analisado.

Em um motor elétrico, por exemplo, onde o foco é nos mancais do mesmo, por onde pode-se detectar praticamente todos os problemas do mesmo.

Para a análise, além dos pontos, definem-se direções de medição, com o intuito de se detectar diferentes problemas.

Desalinhamento angular, por exemplo, deve ser detectado no mancal próximo ao acoplamento e no sentido axial.

Porém, um desalinhamento paralelo, deve ser detectado no mesmo mancal, porém no sentido radial, tanto vertical como horizontal.

Por convenção, denomina-se que os pontos de medição sejam descritos por um número sequencial que determina o seu local, seguido por uma letra que por sua vez determina o sentido de medição.

A numeração segue sempre o “sentido da força”, do sentido do motor para o movido. Desse modo, o mancal traseiro de um motor é o “1”, o mancal dianteiro o “2”, o mancal da bomba próximo ao acoplamento o “3” e assim por diante.

A letra que acompanha a numeração, segue o seguinte raciocínio:

V = Vertical (radialmente)

H = Horizontal (radialmente)

A = Axial (indiferente, se vertical ou horizontal)

Para maior entendimento, pode-se observar a Figura 10, que ilustra diversos pontos de medição em um conjunto motor-bomba.

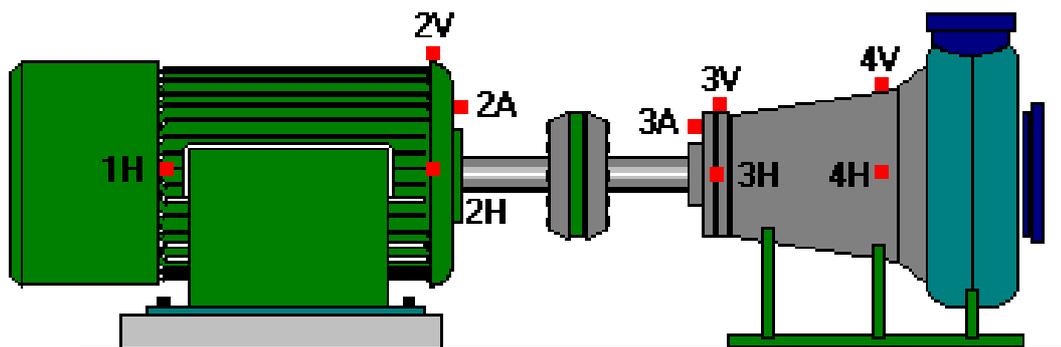


Figura 10 – Esquema de pontos de coleta de vibração em um conjunto moto-bomba.

(Fonte: Apresentação sobre Manutenção Preditiva, 20/03/2003)

2.4 A análise de dados:

Após a coleta dos dados, transferem-se os mesmos para um computador e com um programa específico analisa-se o sinal.

A teoria de análise de vibração para detecção de falhas diz que cada tipo de falha gera um espectro de vibração específico.

Um desbalanceamento simples, que é talvez a forma de vibração mais básica, é vista no espectro de vibração como um valor mais elevado no ponto correspondente à frequência de rotação do equipamento.

Um desalinhamento paralelo por sua vez, gera no espectro de vibração um sinal mais elevado em 2x a rotação nominal, e “reflexos” menores em 1x e 3x a rotação nominal.

A dedução de formulas para todos os tipos de falhas é longa e para alguns tipos bem complexa, e por não ser o foco deste estudo, não serão analisados formulas e cálculos para determinação de frequências de vibração, pois hoje em dia são muito mais utilizados programas específicos para cálculos dessa natureza, o que evita erros e demoras no serviço. Com isso, pode-se iniciar o monitoramento, propriamente dito, de um determinado equipamento.

O monitoramento consiste em repetir periodicamente a coleta de dados, de forma consistente e metódica, em intervalos determinados pelo tempo estimado de evolução de uma falha em potencial, sendo o período ideal, igual ao menor tempo de evolução de uma falha, menos um dia. Com isso, pode-se dizer que estatisticamente tem-se uma

leitura que possa detectar em algum momento o instante em que o equipamento está entre a condição de trabalho perfeito e a condição de quebra não desejada.

Para isso, deve-se observar além dos espectros de vibração, suas respectivas curvas de tendência.

As curvas de tendência, em conjunto com tabelas técnicas e históricos de equipamentos semelhantes, mostrarão ao analista a evolução da falha e o momento ideal de parada do equipamento, a fim de reduzir ao mínimo o impacto da intervenção nos objetivos da empresa, sejam eles parada não programada, redução de custos, segurança, etc.

3 ESTUDO DE CASO – AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO SELECIONADO

3.1 Apresentação

O estudo de caso apresentado foi extraído do período de trabalho na empresa SEMEQ, que por sua vez, prestava serviços de monitoramento dentro da unidade de Guaratinguetá da empresa BASF S.A.

Durante o período de trabalho nessa unidade (de aproximadamente 1 ano), foram detectadas diversos princípios de falhas em variados equipamentos. Porém, para o estudo de caso, foi selecionado um equipamento que no período citado apresentou apenas uma falha, e que a desmontagem foi acompanhada pela equipe da Semeq, o que permitiu o registro dos componentes defeituosos, evidenciando a falha descrita na prévia análise.

3.2 Recursos utilizados

3.2.1 Equipamentos

Para monitoramento, nesse período, foram utilizados equipamentos da empresa Semeq. Na coleta de dados foi utilizado um aparelho da marca Brüel & Kjaer, de modelo 2526.



Figura 11 – Foto do coletor de dados Brüel & Kjaer.

(Fonte: <http://www.bksv.com/Products/VibrationMeters.aspx> , 15/07/2011)

O equipamento utilizou em conjunto um sensor de aceleração da mesma marca, sendo o sinal transformado para velocidade quando necessário.

O uso de sensor de aceleração se dá pela melhor precisão do que um sensor de velocidade, tendo assim uma melhor definição nas leituras.

Com esse equipamento, pode-se fazer a completa coleta dos espectros de vibração de equipamentos que estão em uma pré-determinada rota, descarregar esses dados em um computador com software específico e posteriormente analisar seus dados afim de localizar os modos potenciais de falha monitorados.



Figura 12 – Foto do coletor de dados Brüel & Kjær, em conjunto com o sensor de aceleração.

(Fonte: <http://www.bksv.com/Products/VibrationMeters.aspx> , 15/07/2011)

3.2.2 Programas de coleta, armazenamento e análise

Para armazenamento e análise dos dados foi utilizado o programa Sentinel 7107M

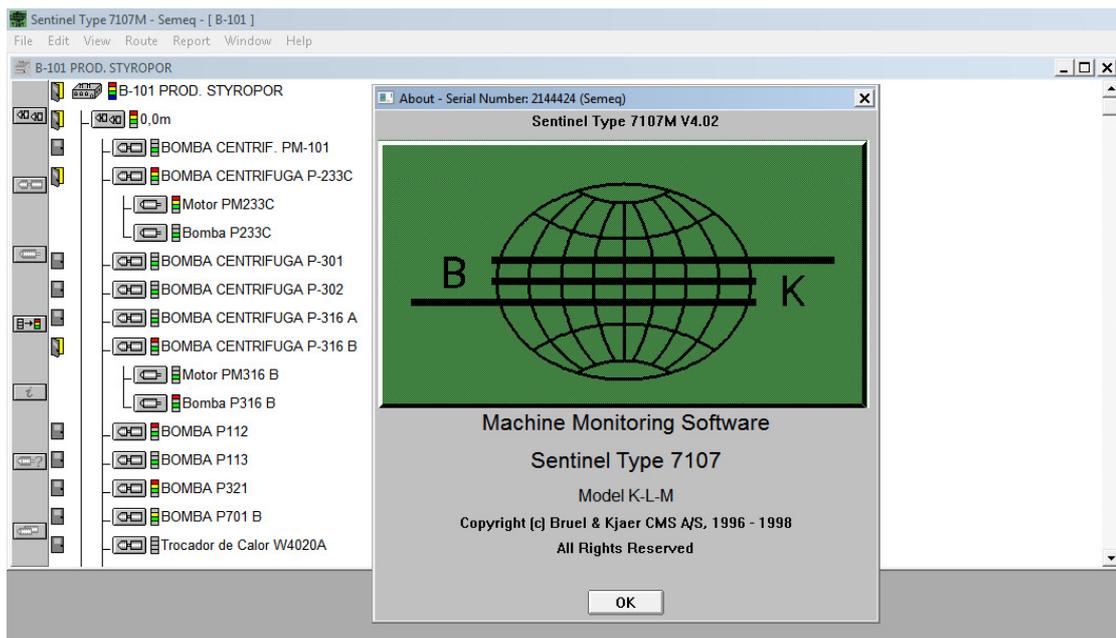


Figura 13 – Tela inicial do programa da Brüel & Kjaer para análise de espectros.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

No Sentinel 7107M pode-se criar um banco com registro de equipamentos, onde normalmente são organizados por localização, sendo neste caso por plantas, prédios, piso e finalmente por equipamentos.

Para cada equipamento são definidos diversos parâmetros, como:

a) Os pontos de coleta:

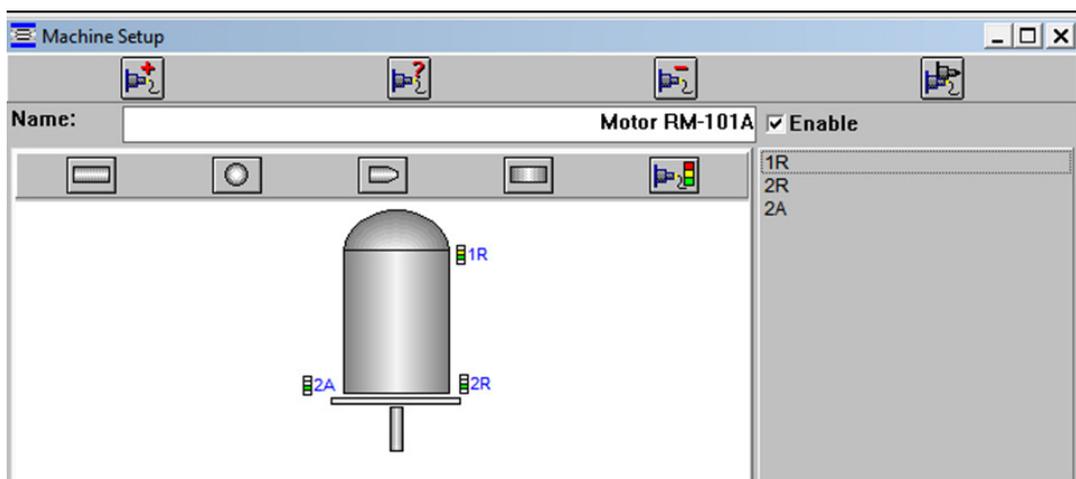


Figura 14 – Definição de pontos de coleta do equipamento selecionado (RM101A).

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

b) Tipos de coleta para cada um dos pontos:

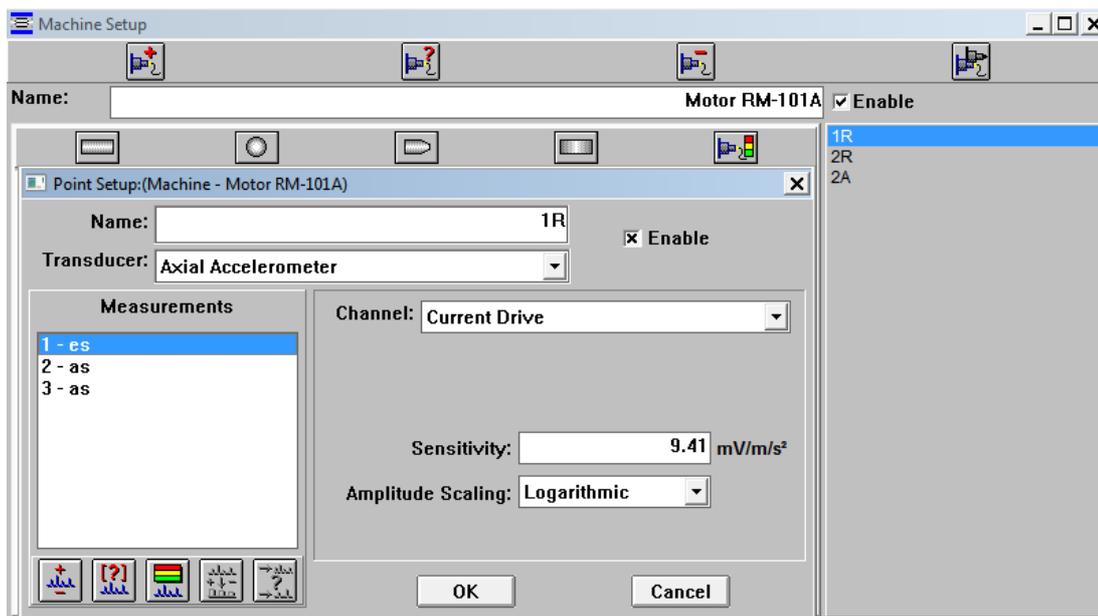


Figura 15 – Escolha dos tipos de coleta para cada ponto do equipamento selecionado (RM101A).

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

c) Parâmetros para cada um dos tipos de coleta:

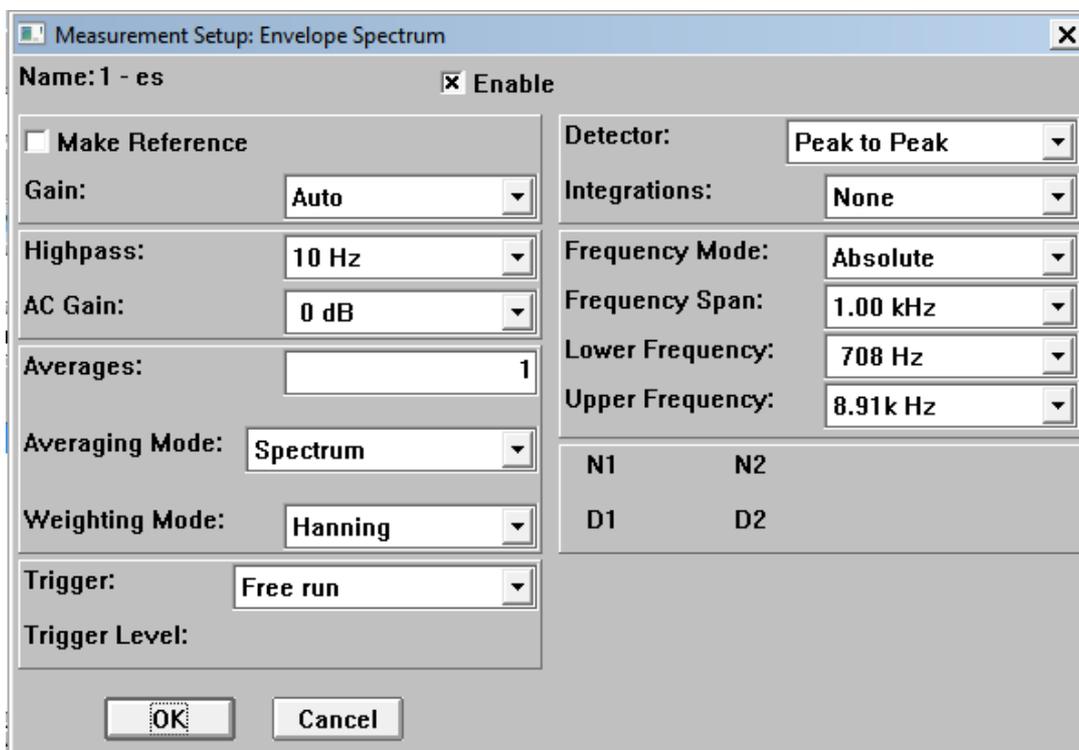


Figura 16 – Seleção dos parâmetros para cada um dos pontos de coleta do equipamento selecionado.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

Pelo fato de os parâmetros serem modificados de acordo com a finalidade de detecção e com o equipamento à ser monitorado, esses dados são considerados know-

how da maioria das empresas que trabalham com análise de vibração, e por esse motivo não serão tratados neste trabalho.

Para auxiliar a análise, é utilizado um programa que efetua os cálculos das frequências de falha em rolamentos, de acordo com dados como código do rolamento e rotação nominal do equipamento.

Esse tipo de programa facilita o cálculo contínuo de valores, uma vez que se tornaria inviável o cálculo manual para cada uma das possíveis falhas em cada um dos equipamentos monitorados.

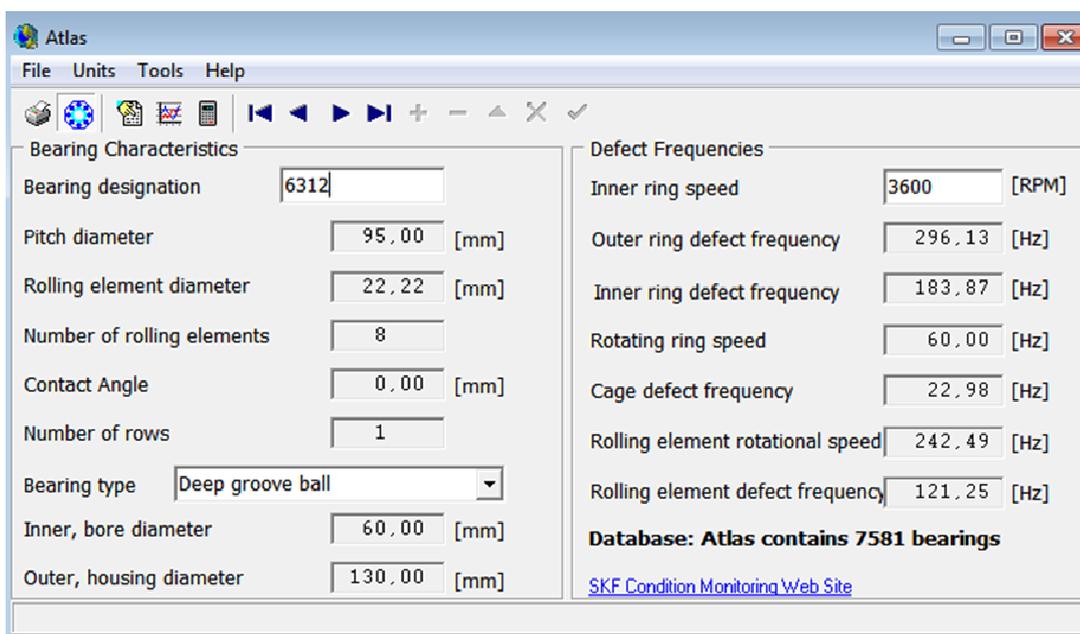


Figura 17 – Dados de frequência para possíveis falhas no rolamento 6312 à 3600RPM.

(Fonte: Programa Atlas V2.01 da SKF, licenciado à Semeq, 07/05/2008)

Na Figura 1, pode-se ver o programa Atlas, fornecido pela própria SKF, para cálculo de frequências de falha. Nele já foi inserido o modelo do rolamento dianteiro do motor estudado e a rotação nominal do motor elétrico, e com isso temos os valores de frequências que serão observados no analisador toda vez que houver algum princípio de falha.

3.3 Equipamento em estudo

O equipamento selecionado foi o motor elétrico de um conjunto motor-redutor-eixo agitador, de um tanque hermético, mais conhecido como Reator.

O conjunto completo possui uma identificação (TAG) R-101A.

O redutor do conjunto, que não será alvo deste estudo por não ter apresentado nenhum problema no período, possui o seguinte TAG: RG-101A.

O motor elétrico que é o objeto de estudo deste trabalho, possui TAG: RM-101A.

Todo o conjunto está instalado na área externa do primeiro andar (conhecido como Piso 6,0m) do prédio B-101 Styropor, que por sua vez está dentro da unidade BASF Guaratinguetá.

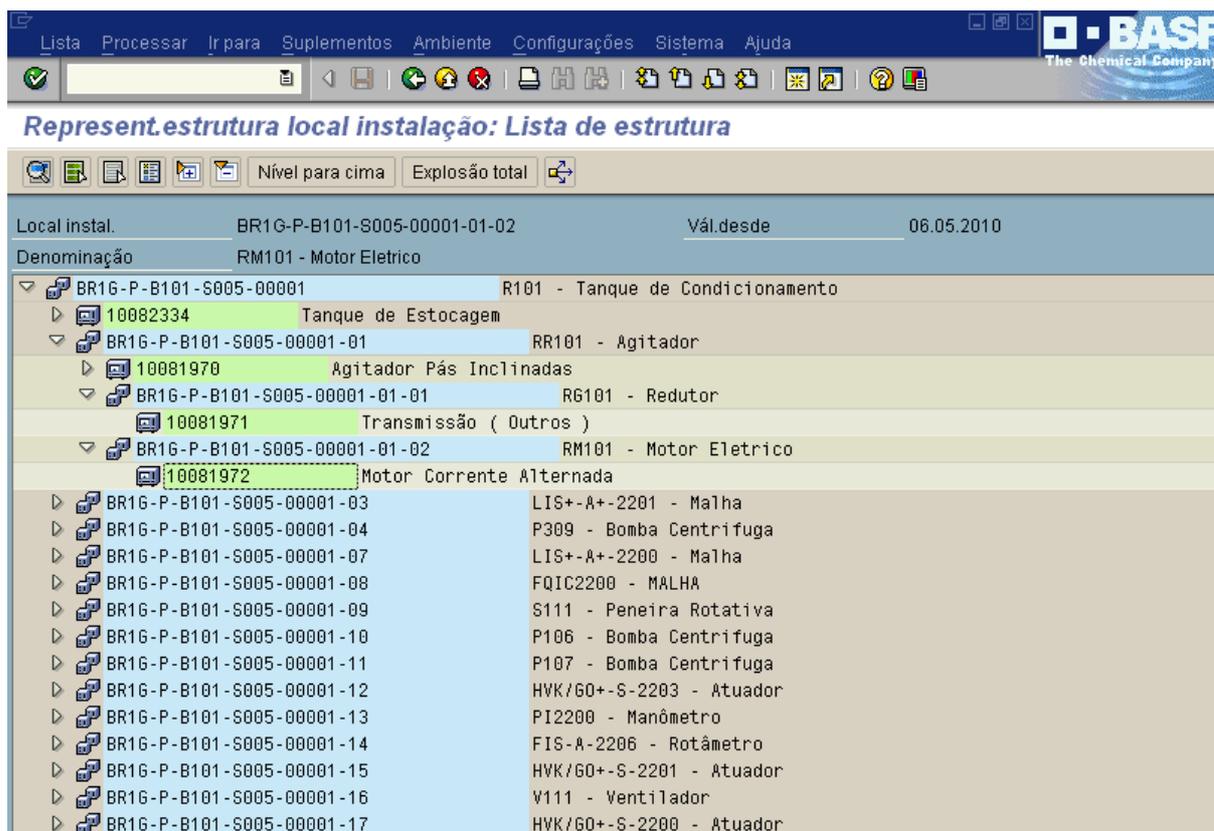


Figura 18 – Árvore de equipamentos evidenciando o RM101 do piso 6,0m do prédio B101 da Basf.

(Fonte: Programa SAP da Basf, Lista de estrutura de equipamento, 06/05/2010)

O motor elétrico RM-101A, como será referenciado daqui para frente, é um motor elétrico de indução trifásico da WEG, com o diferencial de ser à prova de explosão (necessidade da área onde foi instalado, devido à atmosfera explosiva do local).

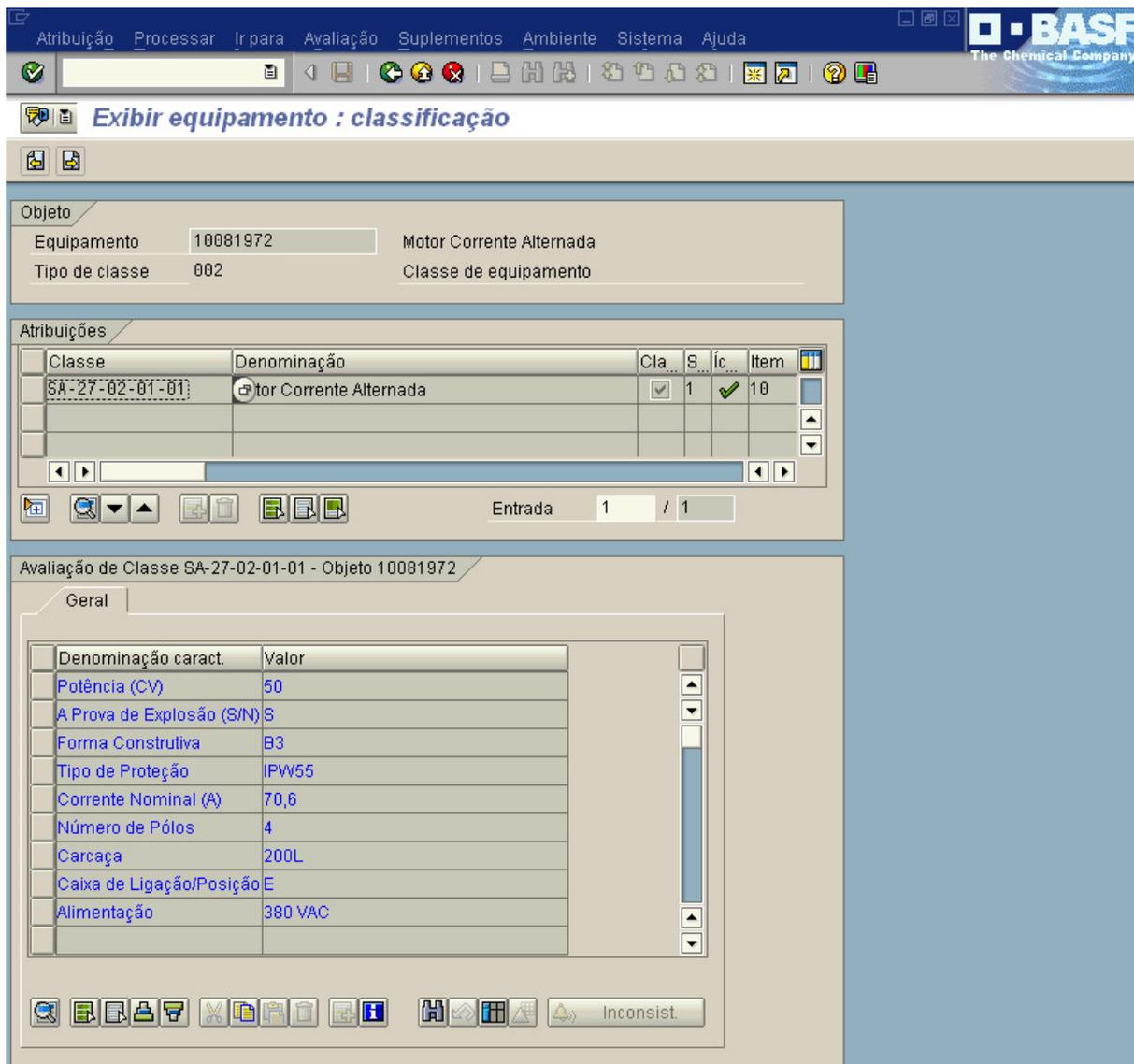


Figura 19 – Dados técnicos do motor RM101 do piso 6,0m do prédio B101 da Basf.

(Fonte: Programa SAP da Basf, Exibição da Classificação do equipamento, 06/05/2010)

A folha de dados do equipamento (adquirida no próprio site da WEG) pode ser vista na Figura 20, onde temos como dados importantes para o estudo: sua carcaça (e os rolamentos nela instalados), frequência de rede e número de pólos (consequentemente sua rotação nominal).

	Basf GTA		No.: 01			
			Data: 7/24/2011 3:52:06 PM			
FOLHA DE DADOS Motor trifásico de indução - Rotor de gaiola						
Cliente : Carlos Pedroso Linha do produto : Motor à prova de explosão						
Carcaça : 200L Potência : 50 HP Frequência : 60 Hz Polos : 4 Rotação nominal : 1770 Escorregamento : 1,67 % Tensão nominal : 220/380/440 V Corrente nominal : 122/70,6/61,0 A Corrente de partida : 805/466/403 A Ip/In : 6,6 Corrente a vazio : 42,0/24,3/21,0 A Conjugado nominal : 200 Nm Conjugado de partida : 230 % Conjugado máximo : 230 % Categoria : N Classe de isolamento : F Elevação de temperatura : 80 K Tempo de rotor bloqueado : 16 s (quente) Fator de serviço : 1,00 Regime de serviço : S1 Temperatura ambiente : -20°C - +40°C Altitude : 1000 m Proteção : IP55 Massa aproximada : 292 kg Momento de inércia : 0,33095 kgm ² Nível de ruído : 71 dB(A)						
		Dianteiro	Traseiro	Carga	Fator potência	Rendimento (%)
Rolamento	6312 C3	6212 Z-C3		100%	0,86	92,5
Intervalo de lubrificação	20000 h	20000 h		75%	0,83	92,3
Quantidade de graxa	21 g	13 g		50%	0,75	92,0
Observações: Material técnico para uso em TCC apresentado à Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP						
Executor:			Verificado:			
-			-			

Figura 20 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.

(Fonte: Pagina da WEG na Internet: http://catalogo.weg.com.br/FILES/tecnico/motor/FolhaDados/RFD-PT_114532_460035699.PDF, 07/09/2010)

WEG » Motor à prova de explosão Brasil » Português (Brasil)

Seleção do Motor Dados Elétricos Desenhos Curvas

» Informe aqui as características do motor que deseja

Mercado	Brasil » Português (Brasil)
Categoria	Industriais
Linha de Produto	Motor à prova de explosão
Norma	<input checked="" type="radio"/> IEC <input type="radio"/> NEMA
Frequência	<input type="radio"/> 50 Hz <input checked="" type="radio"/> 60 Hz
Polaridade	<input type="radio"/> 2 Polos <input checked="" type="radio"/> 4 Polos <input type="radio"/> 6 Polos <input type="radio"/> 8 Polos <input type="radio"/> 10 Polos <input type="radio"/> 12 Polos
Tensão	220/380/440V
Unidade	<input checked="" type="radio"/> kg/Nm,kgm ² /m <input type="radio"/> lb/ft.lb/sq.ft.lb/ft
Potência	50 <input checked="" type="radio"/> HP (cv) <input type="radio"/> kW
Carcça	200L

[ver dados do motor](#)

Copyright © 2011 WEG - Todos os direitos reservados.

Figura 21 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.

(Fonte: http://catalogo.weg.com.br/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp, 07/09/2010)

WEG » Motor à prova de explosão Brasil » Português (Brasil)

Seleção do Motor Dados Elétricos Desenhos Curvas

Características

- Potência: **50 HP**
- Polos: **4**
- Frequência: **60 Hz**
- Conjugado: **200 Nm**
- Tensão: **220/380/440 V**
- Carcaça: **200L**
- RPM: **1770**
- In: **122/70,6/61,0 A**
- Rendimento (100%): **92,5**
- F.P. (100%): **0,86**
- Isolamento: **F**
- Ruído: **71 dB(A)**
- Corrente a vazio: **42,0/24,3/21,0 A**
- Ip / In: **6,6**



[clique para ampliar](#)

[gerar arquivo PDF](#) [gerar proposta técnica](#)

Pot	Carc.	In (A) 220/380/440 V			Ip / In	Cp / Cn	Cm / Cn			
50 HP	200L	122/70,6/61,0 A			6,6	230 %	230 %			
Rendimento (%)		Fator de Pot.			FS	Inércia	Tr (s)	Ruído	Massa	
50	75	100	50	75	100	1,00	0,33095 kgm ²	16 s	71 dB(A)	292 kg
92,0	92,3	92,5	0,75	0,83	0,86					

[alterar os dados](#) [outras potências](#)

Copyright © 2011 WEG - Todos os direitos reservados.

Figura 22 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.

(Fonte: http://catalogo.weg.com.br/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp, 07/09/2010)

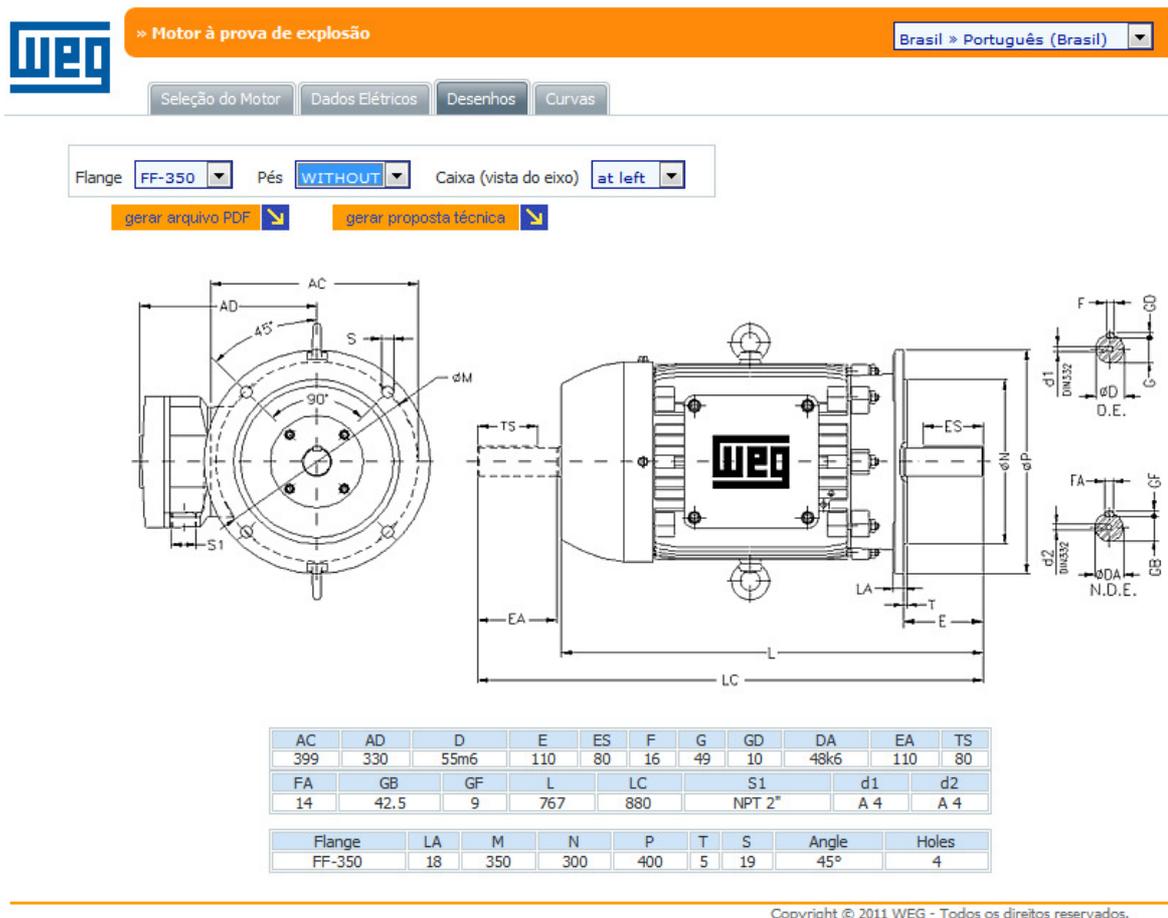


Figura 23 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.

(Fonte: http://catalogo.weg.com.br/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp, 07/09/2010)

3.3.1 Pontos de estudo

Tendo esses dados em mãos, podemos definir o tipo de análise desejado, afim de cobrir a maior parte dos modos potenciais de falha.

Para o RM-101A, foram definidos 3 pontos de coleta, conforme Figura 24:

Ponto radial traseiro, ponto radial dianteiro e ponto axial dianteiro.

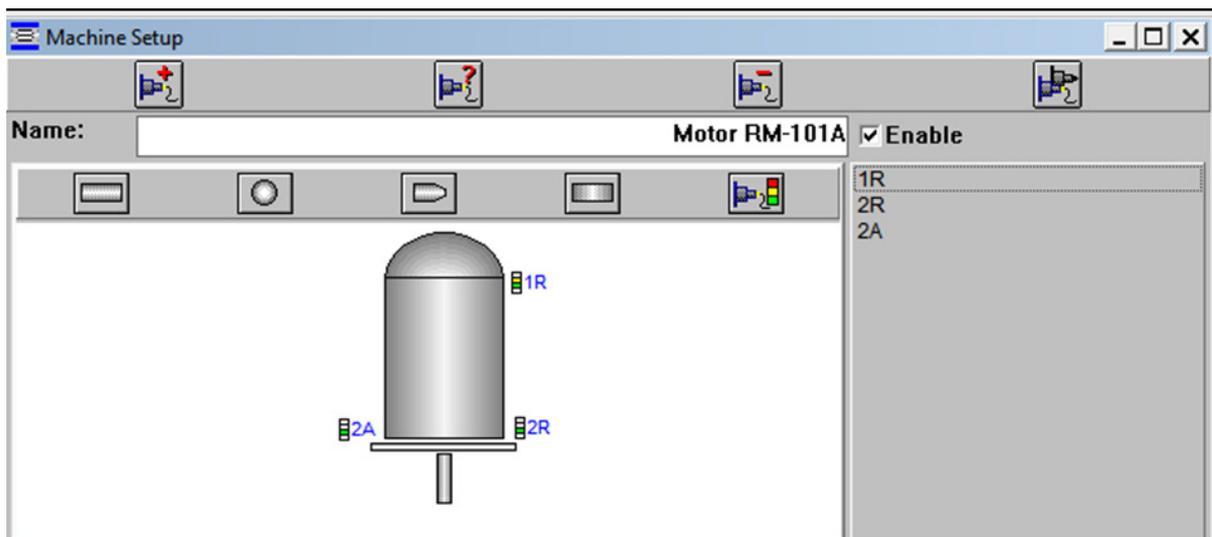


Figura 24 – Ficha de dados técnicos do 200L usado no RM101.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

Para cada ponto foram definidos padrões de coleta, sendo eles Envelope de Aceleração RMS, Aceleração Pico-a-Pico e Velocidade RMS.

Na Velocidade RMS, pode-se obter a visualização de problemas com grande magnitude e em baixas à médias frequências e por ser coletado em modo RMS tem por padrão a redução de picos isolados e esporádicos durante a coleta, permitindo uma leitura mais limpa e precisa.

Na prática, usa-se para detecção de baixa rigidez, desbalanceamentos, desalinhamentos paralelos, angulares e combinados, folgas em estado avançado, batimento de correias e polias, entre outros.

Na Aceleração de Pico-a-pico, pode-se obter falhas de baixa magnitude e alta frequência, como falhas em rolamentos, cavitação, falhas de engrenamento e outras. Por pegar o sinal de aceleração “puro”, tem-se o problema de coletar muito ruído oriundo de interferências, como falhas de lubrificação, turbulência de fluidos em bombas e variações no campo magnético dos motores. Por esse motivo seu uso é muito restrito e não será analisado nesse equipamento.

Já no envelope de Aceleração RMS, pode-se obter principalmente as falhas de baixa magnitude e alta frequência, que são características de falhas em componentes de rolamento, como desgaste de pistas de rolamento, de elementos rotantes, falha ou ruptura de gaiolas e deficiências de lubrificação.

O uso de envelope de aceleração ao invés de aceleração pura consiste em antes de se efetuar a transformada de Fourier, os sinais no tempo de impacto com alguma intensidade e consideravelmente espaçados sejam lidos como se tivessem uma intensidade menor, porém quase sem espaçamento, o que permite uma leitura mais eficiente no domínio da frequência, conforme pode ser visto na Figura 25:

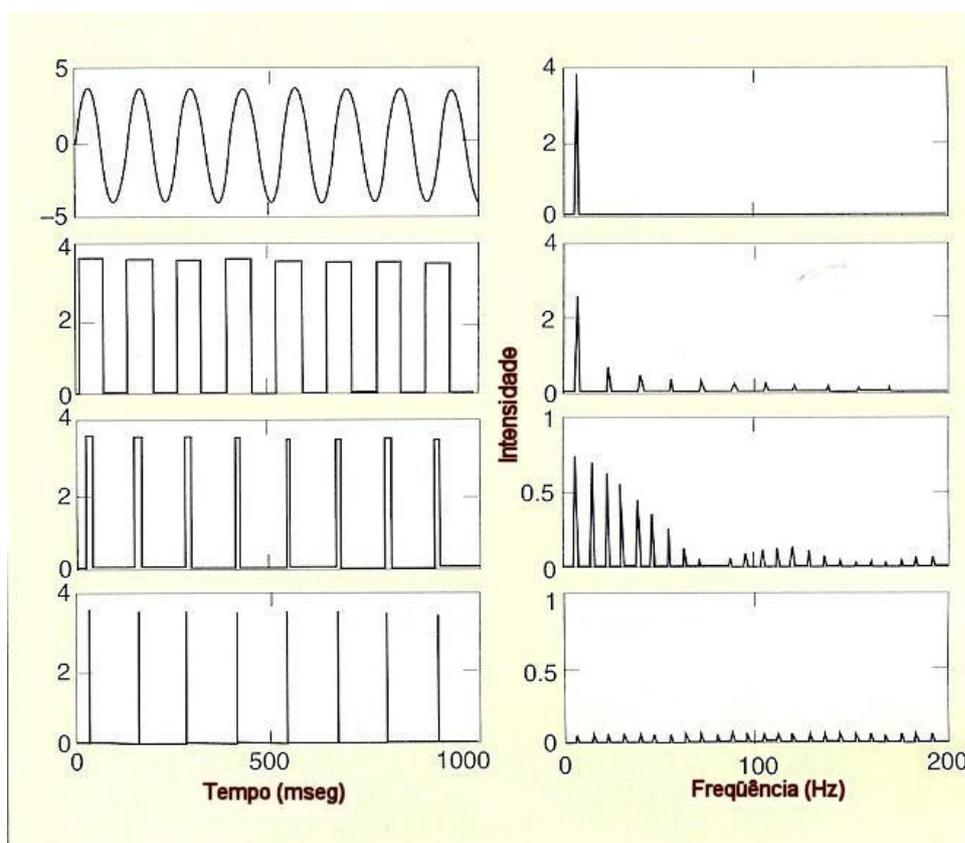


Figura 25 – Diferença dos sinais no tempo quando representados no domínio da frequência.

(Fonte: Apresentação Seminário Semeq: “A teoria do envelope”, Eng. MSC Eduardo Beltrame, 08/08/2003)

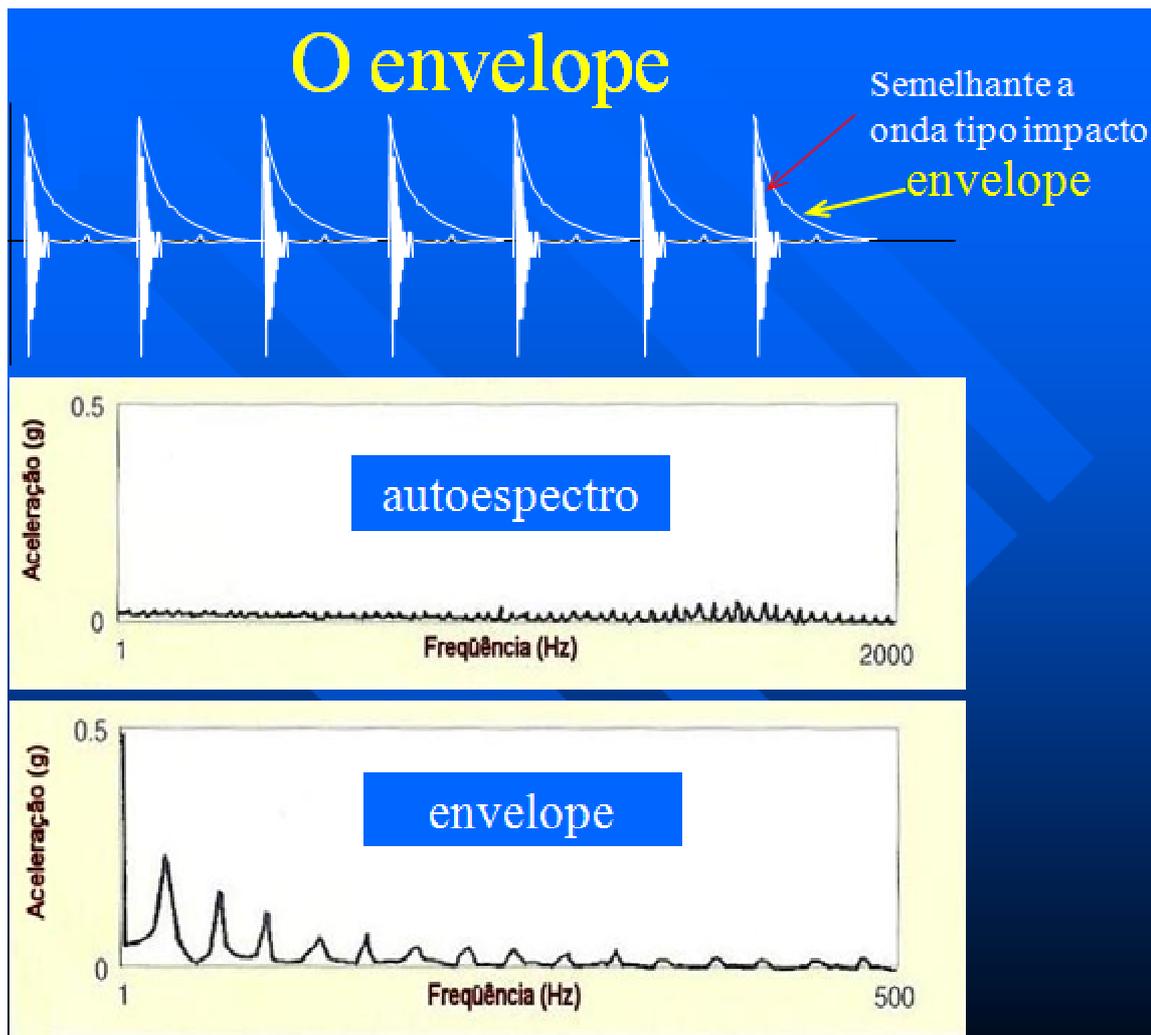


Figura 26 – Diferença da coleta de dados no domínio da frequência como autoespectro e como envelope.
(Fonte: Apresentação Seminário Semeq: “A teoria do envelope”, Eng. MSC Eduardo Beltrame, 08/08/2003)

Após definição de quais tipos de dados serão analisados, determina-se de acordo com o histórico e experiência em outras empresas, a periodicidade de monitoramento do equipamento.

Para o equipamento em questão, foi determinado que a melhor periodicidade de monitoramento é a de 30 dias, pois o período é menor do que a evolução das falhas em um equipamento desse porte sendo monitorado, sendo assim suficiente para acompanhar a evolução de qualquer um dos modos potenciais de falha.

3.4 Coleta de dados em campo

Desse modo foram efetuadas coletas de dados periodicamente, e após análise de cada uma das coletas foi anotado o estado do equipamento em um documento chamado Relatório Geral de Planta, adiante denominado apenas como RGP.

SEMEQ		Relatório Geral da Planta (RGP)				Legenda				
		Data de Emissão: 27/09/2009	Medição Setembro /2009			<ul style="list-style-type: none"> Intervenção Alerta Normal Não Medido Corretiva 				
		Planta: BASF GUARATINGUETÁ			Página Nº. 24					
				Histórico					Situação Atual	
Área / Setor	Equipamento	Inventário	Conjunto - Subconjunto	Última intervenção	abr/2009	mai/2009	Jun/2009	Jul/2009	ago/2009	set/2009
FRÉDIO - B101	PISO EDM	R-121	REATOR R-121							
			MOTOR RM-121							
	PISO EDM	R-101A	REATOR R-101A							
			MOTOR RM-101A							
			REATOR R-101A							
			REDUTOR RG-101A							

Figura 27 – Relatório Geral da Planta (RGP) apresentada à empresa BASF

(Fonte: Arquivo pessoal da empresa SEMEQ, 12/10/2009)

Conforme pode ser visto na Figura 27, o equipamento estava com o status de monitoramento como “normal”, dos meses de Abril à Setembro.

Pode se observar na Figura 28, os espectros de vibração referentes aos meses de Maio até Setembro, onde se mostra claramente sinais baixos, sem frequências discretas e com amplitudes que não chegam a 1m/s^2 .

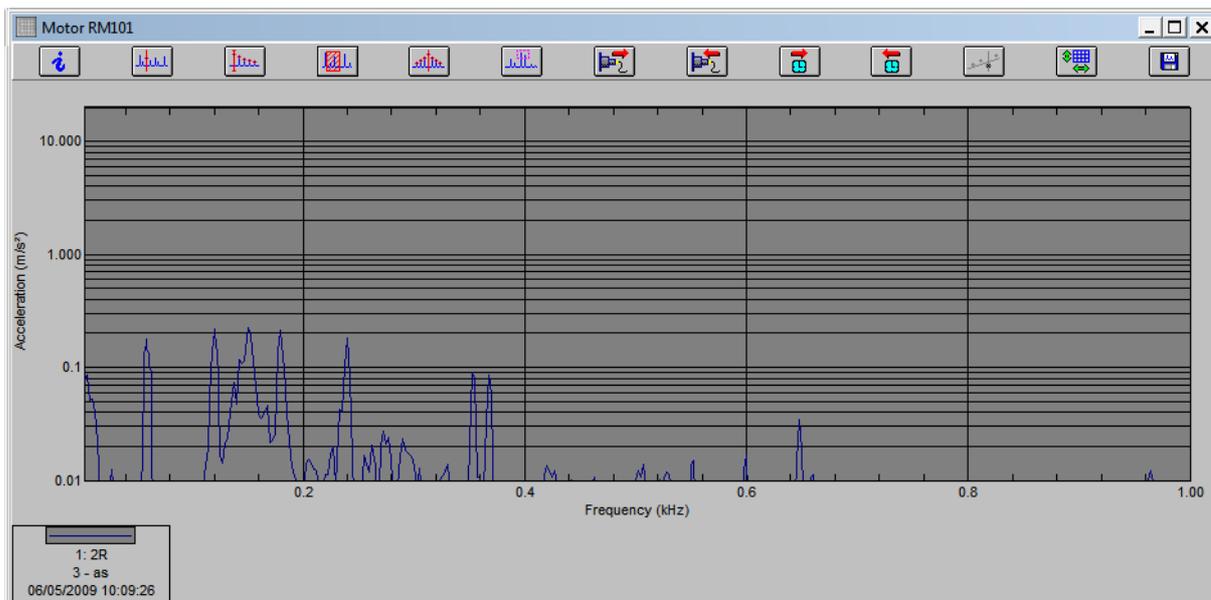


Figura 28 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente à Maio 2009.

Sem sinais significativos.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

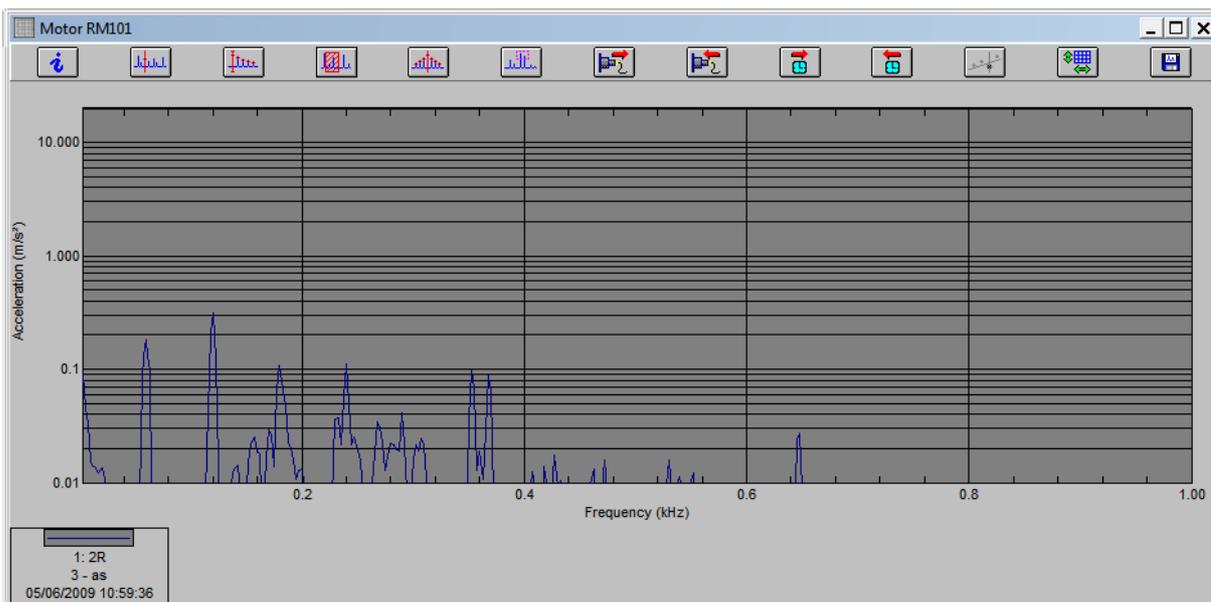


Figura 29 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Junho 2009.
Sem sinais significativos.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

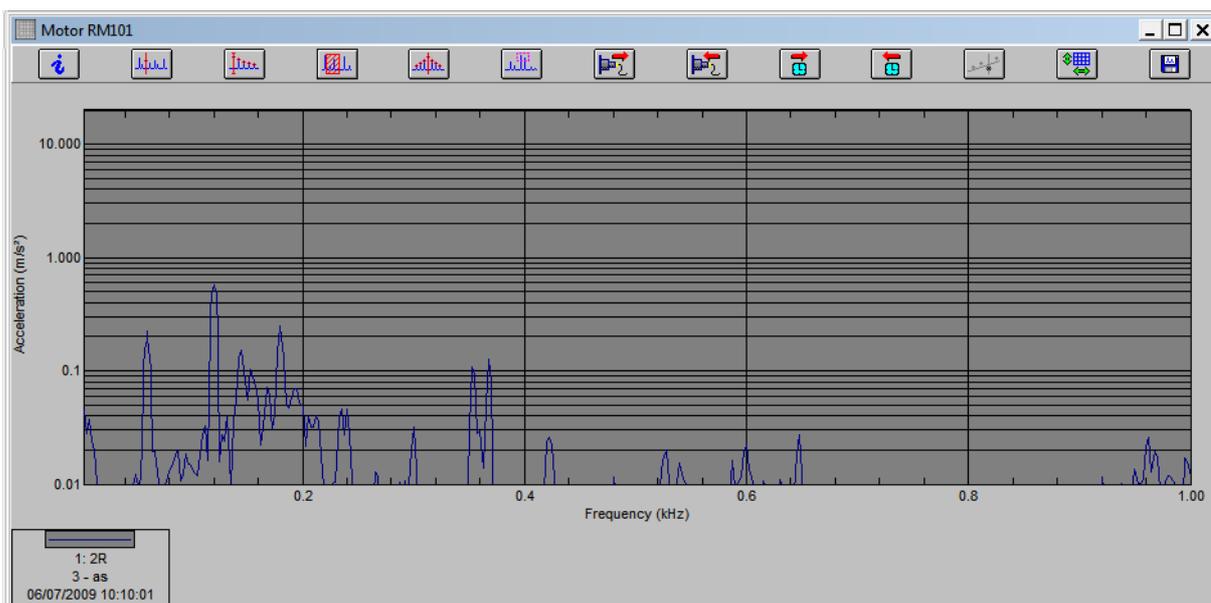


Figura 30 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Julho 2009.
Sem sinais significativos.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado a Semeq, 21/07/2008)

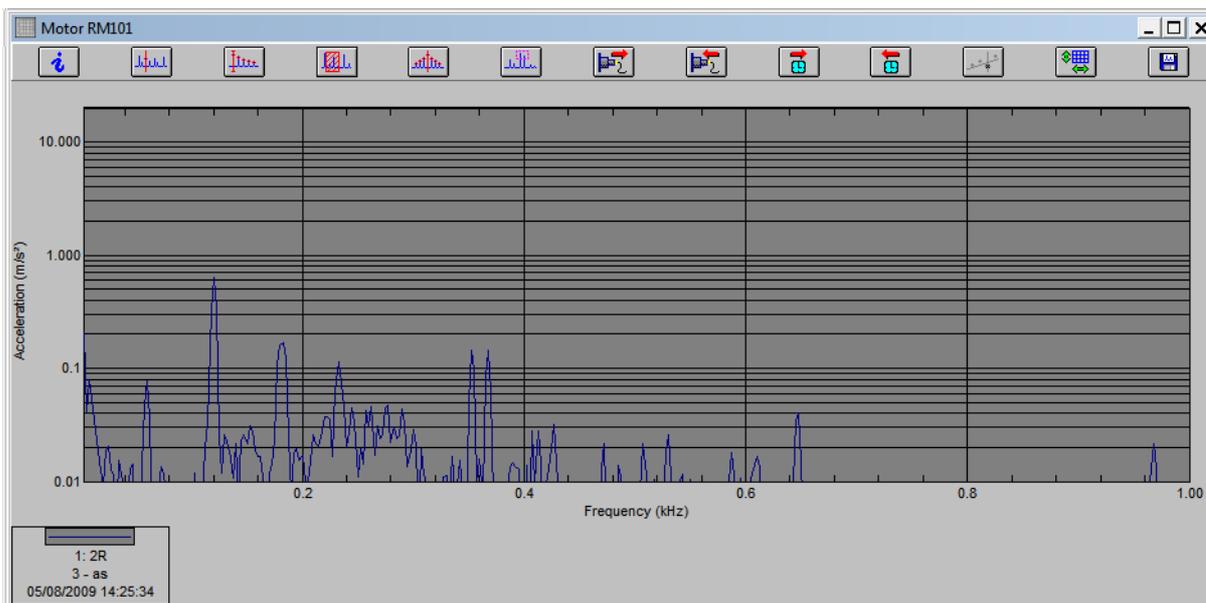


Figura 31 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Agosto 2009.
Sem sinais significativos.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

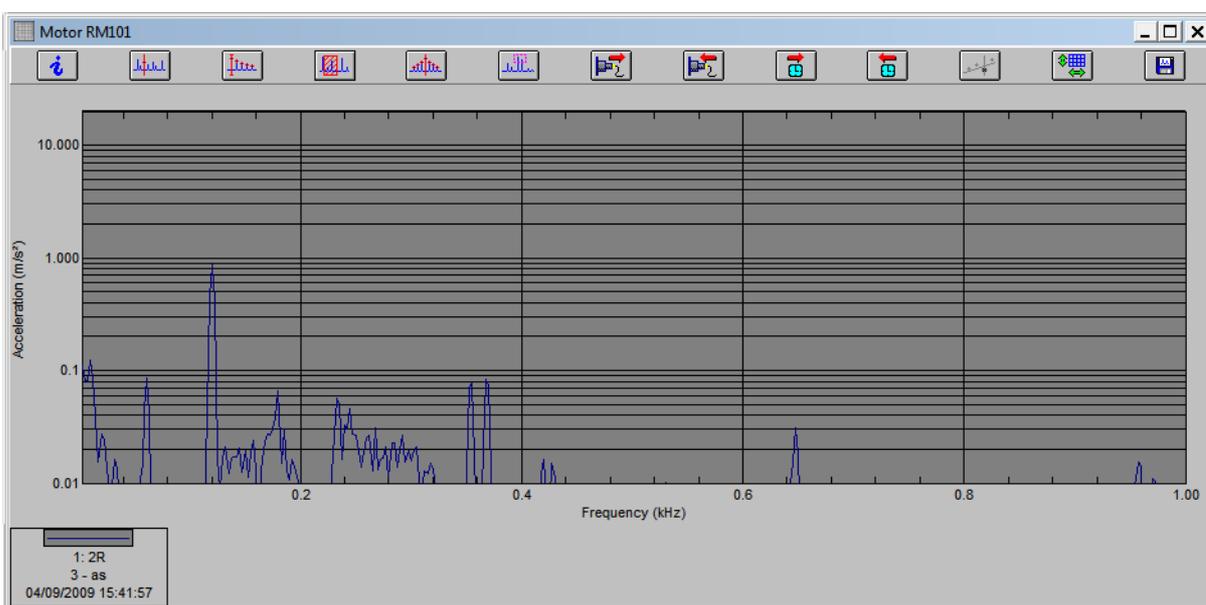


Figura 32 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Setembro 2009.
Sem sinais significativos.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

3.5 Detecção de início de falha

A partir do mês de outubro, o analista de vibração detectou um aumento leve na vibração, evidenciado mais claramente no espectro de envelope de Aceleração RMS, o

que a princípio indica um início de falha em elementos rotantes, porém sem indicar necessidade de intervenção imediata, pois ainda se apresentava em um estágio muito inicial

Na Figura 33, pode-se perceber o início de valores elevados na faixa de 120Hz, referente à falha em elemento rotante (esferas).

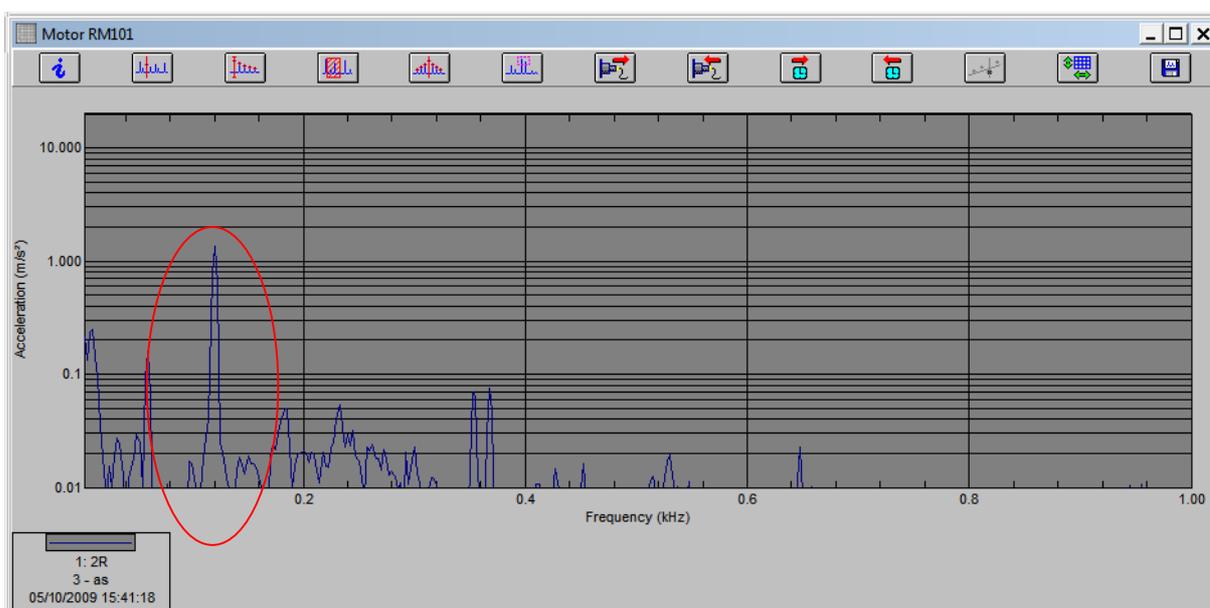


Figura 33 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Outubro 2009.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

A partir desse aumento é gerado um aviso de “alerta”, que além de reduzir o tempo entre análise de 30 dias para 15 dias, tem-se como intenção sinalizar ao gestor de manutenção que caso haja uma intervenção na planta, ou parada por outro motivo, pode-se utilizar esse período para a intervenção no equipamento, evitando assim outra parada após a partida da planta.

SEMEQ				Relatório Geral da Planta (RGP)						Legenda			
				Data de Emissão: 27/09/2009	Medição Outubro /2009						Intervenção		
				Planta: BASF GUARATINGUETÁ						Página Nº. 24		Alerta	
				Histórico							Situação Atual		
Área / Setor	Equipamento	Inventário	Conjunto - Subconjunto	Última Intervenção	mai/2009	Jun/2009	Jul/2009	ago/2009	set/2009	out/2009			
PRÉDIO - B101	PISO 6.0M	R-121	REATOR R-121 MOTOR RM-121										
	PISO 6.0M	R-101A	REATOR R-101A MOTOR RM-101A REATOR R-101A REDUTOR RG-101A									RECAMBIOS	

Figura 34 – Relatório Geral da Planta (RGP) apresentada à empresa BASF

(Fonte: Arquivo pessoal da empresa SEMEQ, 12/10/2009)

3.6 Análise de espectro para definição de falha

3.6.1 Espectro de vibração

No meio do mês de Outubro, como já pode se ver na Figura 35, ouve um leve aumento dos níveis de vibração, sendo que aumentou também a discretização de vibrações na faixa de 120Hz, o que confirma o indício inicial de falha de elementos rotantes de rolamento. O equipamento continua como “alerta” na RGP.

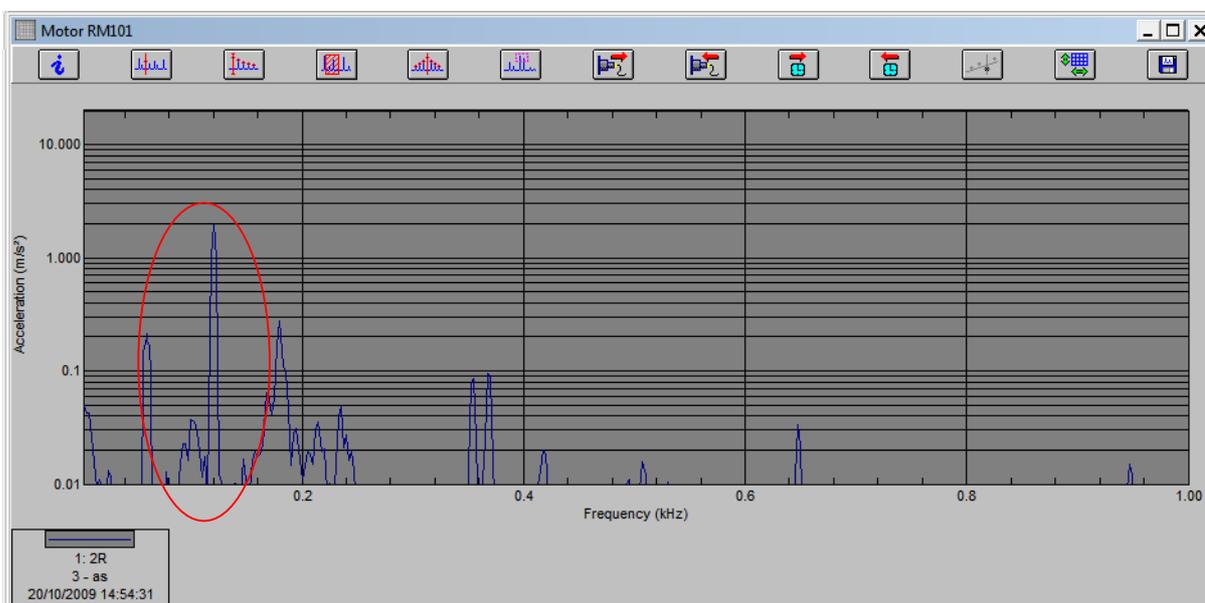


Figura 35 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Outubro 2009.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

No mês de Novembro, conforme pode ser visto na Figura 36, houve um aumento significativo dos níveis de vibração, surgimento de harmônicas, além de um aumento na frequência na casa dos 180Hz, o que indica já um início de falha na pista interna de rolamento.

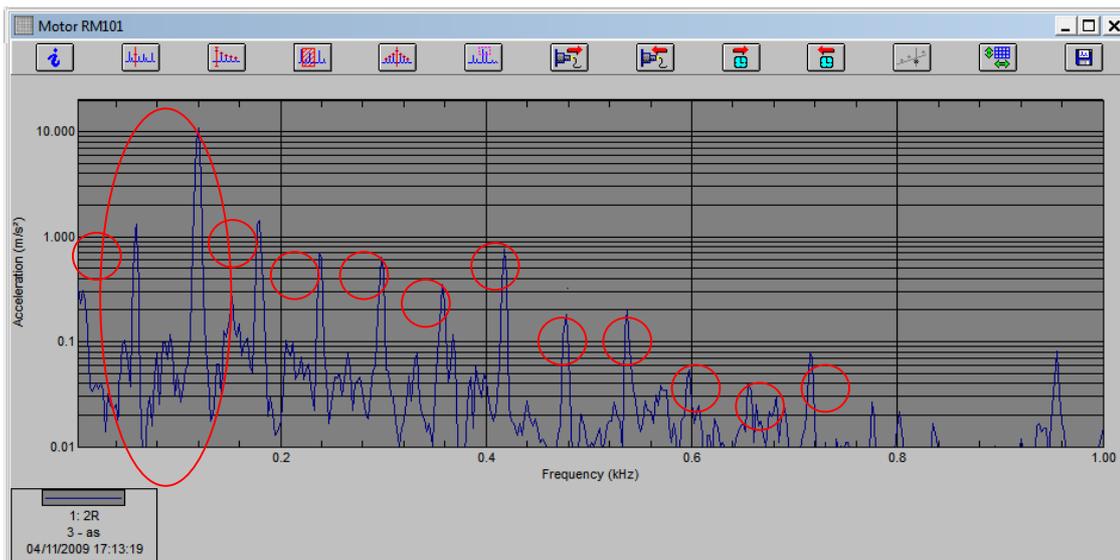


Figura 36 – Espectro de aceleração no domínio da frequência referente a Novembro 2009. Aumento de amplitude na faixa de 120Hz e de 180Hz, e harmônicas que já indicam folga no conjunto.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

3.6.2 Curva de tendência

Utilizando-se a curva de tendência, pode-se prever como evoluirá a falha, e com isso, determinar a parada programada do equipamento para intervenção, antes do colapso da estrutura e parada repentina do equipamento.

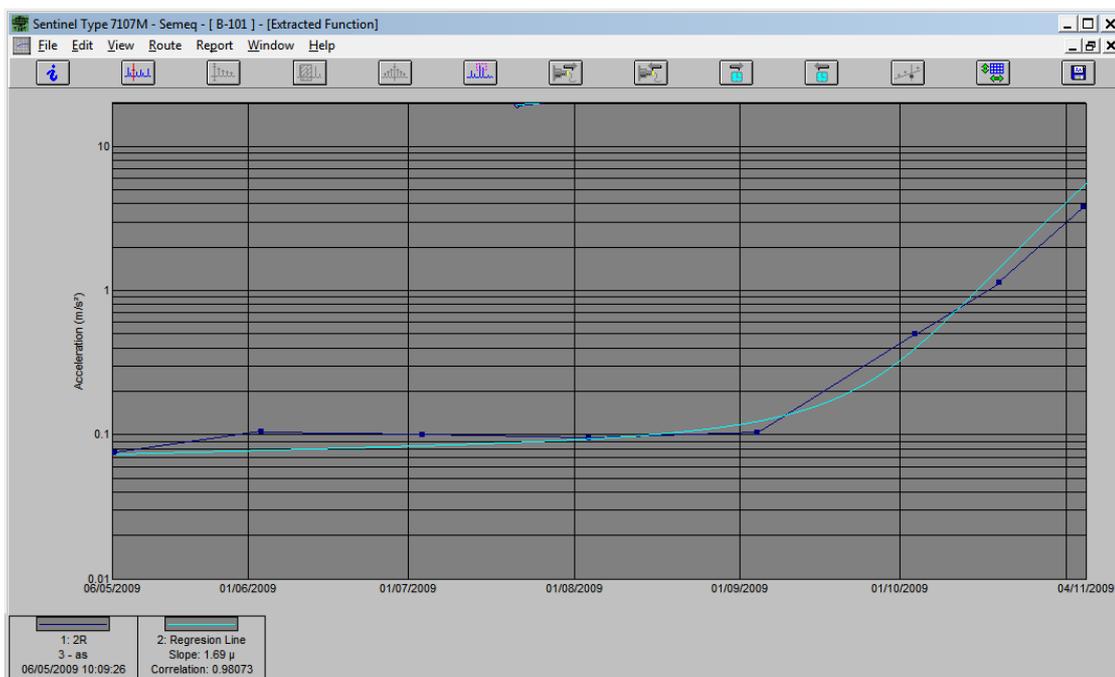


Figura 37 – Curva de tendência mostrando evolução do valor da aceleração através do tempo, entre maio e novembro de 2009.

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2008)

O cliente nesse momento é informado do problema através do RGP com o quadro em vermelho no equipamento referido

SEMEQ		Relatório Geral da Planta (RGP)						Legenda		
		Data de Emissão: 27/09/2009			Medição Novembro / 2009			<ul style="list-style-type: none"> Intervenção Alerta Normal Não Medido Corretiva 		
		Planta: BASF GUARATINGUETÁ				Página Nº. 24				
				Histórico						Situação Atual
Área / Setor	Equipamento	Inventário	Conjunto - Subconjunto	Última intervenção	Jun/2009	Jul/2009	ago/2009	set/2009	out/2009	nov/2009
PRÉDIO - B101	PISO 5.0M	R-121	REATOR R-121							
			MOTOR RM-121							
	PISO 6.0M	R-101A	REATOR R-101A						RECLAMENTOS	RDP 0000
			MOTOR RM-101A							
			REATOR R-101A							
			REDUTOR RG-101A							

Figura 38 – Relatório Geral da Planta (RGP) apresentada à empresa BASF, com evidência de alerta em outubro e abertura de RDP em novembro.

(Fonte: Arquivo pessoal da empresa SEMEQ, 17/11/2009)

3.7 Geração de relatórios de intervenção

Tendo isso em vista, foi gerado o documento Relatório de Diagnóstico Preditivo, que é chamado de RDP, conforme Figura 39

SEMEQ						Relatório de Análise de Vibração - Diagnóstico e Prognóstico (RDP)								
Data de Emissão:			06/11/2009			Medição:			Novembro / 2009			RDP nº:		
Planta: Basf - Guaratinguetá / SP												00060		
Área		Setor		Conjunto Rotativo		TAG		Equipamento		TAG				
B-101		Piso 6,0 M		Bomba Centrífuga		R-101A		Motor		RM-101A				

Diagnóstico

Elemento	Defeito Encontrado	Especificação	Posição
Rolamento	Elemento Girante danificado		LA

ESPECTRO UTILIZADO PARA DIAGNOSE

CURVA DE TENDENCIA

Prognóstico

Ação Recomendada					Prazo recomendado
Substituir o rolamento do lado do acoplamento					30 dias
Analista: Luiz Fernando Alves			Aprovado por: Claudemir dos Santos		
Para uso do cliente:	P.S.M. / O.S.	Data de intervenção	Tempo de Intervenção	Tempo de Parada	Responsável pela Intervenção

Relatório de Conclusão de Intervenção (RCI)

01. O defeito encontrado na prática, foi o mesmo daquele diagnosticado?
 Sim Não havia nenhum defeito Não correspondia ao diagnóstico. Encontrada: _____

02. A especificação do componente defeituoso está completa e correta? (No caso do rolamento, se é Z, ZZ, 2R, K... Etc)
 Sim Não. Qual é a correta?: _____

03. A posição indicada do componente defeituoso estava correta?
 Sim Não. Qual é a correta?: _____

04. Além da ação recomendada foi executada mais alguma intervenção?
 Sim Não. Quais?: _____

OBS: Após conclusão do preenchimento do relatório, remeter cópia do mesmo à SEMEQ.

Classificação do tipo do defeito acordado entre SEMEQ / BASF - Guaratinguetá/SP		
<input type="checkbox"/> Sucesso	<input type="checkbox"/> Imprecisão	<input type="checkbox"/> Defeito Virtual
Análise da classificação acordada por:	_____	_____
	BASF - Guaratinguetá/SP	SEMEQ

IT.01.03 * FORM030 04/06/1998

Figura 39 – Relatório de Análise de Vibração, Diagnóstico e Prognóstico (RDP) nº 00060, gerado após detecção de problema em análise do mês de novembro.

(Fonte: Arquivo pessoal da empresa SEMEQ, 17/11/2009)

Em seguida, a coordenação da empresa de preditiva tem como função avaliar, em conjunto com o analista de vibração, a criticidade, risco, custo e outros fatores. A partir daí, estima-se a sobrevida do equipamento, e com isso determina-se posteriormente com o responsável do setor a melhor data para intervenção no motor. Esses dados são registrados em um relatório chamado Prescrição da Intervenção, que fazendo uma analogia com a medicina, seria o equivalente à receita de um médico ao paciente.

Pelos níveis de vibração, histórico do equipamento e conhecimento prático de outros equipamentos semelhantes, determinou-se que deveria intervir no equipamento em até 30 dias, a fim de evitar a falha completa do equipamento.

SE/SEQ		PRESCRIÇÃO DA INTERVENÇÃO			RDP:	00060
					DATA:	06/11/2009
CLIENTE: BASF Guaratinguetá		AREA: B101 - Piso 6,0m		TAG: RM101-A		
EQUIPAMENTO:				PROGNÓSTICO:		
Motor do Reator R101-A				Elemento Girante		
Técnica para diagnóstico:		AV	AO	SE	TM	US
INFORMAÇÕES ANTES DA INTERVENÇÃO						
Qual o MTBF da falha diagnosticada? Aceitável?						SIM
Havia excitação dinâmica / lubrificação deficiente durante o MTBF? Qual?						NAO
Outras falhas iniciais (rolam/to, desbal/to, desgaste, etc.) desenvolvendo no conjunto?						NAO
Análise de óleo. () SIM (x) NÃO		Normal	Grandeza Alterada:		Falha:	
		Alterada	-		-	
Temperatura.		Normal	Valor:		Falha:	
		Alterada	-		-	
Testes em motores. () SIM (X) NÃO		Teste alterado:		Falha:		
		-		-		
Outras informações/técnicas de monitoramento (sensitiva inclusive, operador, mecânico):			Equipamento sem ruído ou aumento de temperatura significativo.			
OBSERVAÇÕES ANTES DA INTERVENÇÃO						
Como se apresenta o equipamento? (sujo, úmido, peças soltas, base flexível, etc.)		Normal				
O equipamento recebe ataque de água ou produto, aquecimento, etc.?		Umidade devido ficar no tempo (chuva)				
Comentários do mecânico/ eletricista:		Nenhum				
Comentários do operador:		Nenhum				
CAUSA RAIZ						
1.) Porque ocorreu esta falha?	Folga no rolamento					
2.) Porque?	Desgaste dos elementos internos			4.) Porque?	Tempo de uso	
3.) Porque?	Fim de vida útil			5.) Porque?		
AÇÕES						
De normalização	Efetuar a desmontagem do motor, troca do rolamento LA devido problema e troca do rolamento LOA por motivo preventivo de oportunidade.					
De bloqueio	Não aplicável. Se necessário, avaliar outra possível causa dos danos no rolamento durante a desmontagem.					
ANÁLISE DE RISCO						S / N
Gera aquecimento e trabalha em ambiente explosivo?						NÃO
Provoca quebra de componentes (eixo, mancais, etc.) que podem atingir o homem?						NÃO
Compromete contingência de equipamentos de segurança (bombas de incêndio, etc.)?						NÃO
Pode contaminar rios, ar, solo?						NÃO
Pode gerar maior quantidade de resíduos ou refugos?						SIM
Equipamento sem redundância? Se possui: ativa() ou passiva()						SIM
Pode causar redução na produção						SIM
Está envolvida com um produto que tem prioridade alta para negócio?						SIM
É o equipamento mais importante do setor?						NÃO
Paralisa: Logística () Linha () Equipamento (X) ou Nenhum ()						
Tempo limite em intervenção em função do estoque: _____ horas						-
Pode provocar danos iminentes (alta excitação dinâmica / lubrificação deficiente)						SIM
Pode provocar danos de longo prazo aos componentes (baixa excitação dinâmica)						SIM
Trata-se de Manutenção Pesada						NÃO
Pode danificar outros componentes ou outros equipamentos?						SIM
A FALHA COMPROMETE:						
estratégia	custo	processo		Meio ambiente	Segurança	
	X	X				
PROGRAMAÇÃO DA INTERVENÇÃO						
Urgente		X		Primeira oportunidade em 30 dias		
Próxima parada programada no dia:		Outros:				
Elaborado por: SEMEQ Carlos Pedroso		Colaborou: BASF Guaratinguetá Edmilson Santiago				

Figura 40 – Prescrição da Intervenção gerada após recebimento da RDP00060 e avaliação do equipamento em campo.

(Fonte: Arquivo pessoal da empresa SEMEQ, 17/11/2009)

3.8 Preparações para a intervenção sugerida

Após isso, com base na Prescrição da Intervenção, foi gerada pelo programador de manutenção da empresa, uma ordem de serviço programada (de numero 90658093), acordada com o departamento de produção para uma data que não fosse impactar na mesma.

Nota PM Processar Ir para Suplementos Ambiente Sistema Ajuda

Exibir nota PM: Solicitação MT BASF

Nota 12277352 Z1 MNT-RM101 - Revisar motor elétrico (P)

Status MSIM MSPR ORDA

Ordem 90658093

Nota Disponibilidade da instalação Dados Avaria Localização

Objeto de referência

Local instal. BR16-P-B101-S005-00001-01-02 RM101 - Motor Elétrico

Equipamento 10081972 Motor Corrente Alternada

Conjunto

Responsabilidades

Grp.plnj.PM EC1 / BR16 ENGENHARIA CAMPO /

CenTrab respon. INTEC1PL / BR16 ENGENHARIA CAMPO "A" - INT PLANEJAMENTO

Autor da nota 3-EDMILSON Data da nota 09.11.2009 07:40:05

Datas-base

Início desejado 30.11.2009 07:40:46 Prioridade 4 Normal

Conclus.desejad 30.11.2009 07:40:46 Parada

Revisão BR16

Item

Parte objeto 27020101 Z293 Rolamentos

Sintom.dano 27020101 Z120 Desgaste/Folga

Texto Substituir rolamentos motor conf. RDP060

Cód.causa 27020101 Z239 Não Definida

Texto da causa

Entrada 1 de 1

Figura 41 – Abertura de Ordem de serviço para execução da intervenção no RM101, devido envio de RDP ao encarregado da manutenção do prédio B101.

(Fonte: Programa SAP da Basf, Exibição de ordens de serviço - 06/05/2010)

Com isso foi programado e retirado o equipamento para manutenção em um fim de semana, no dia 21 de Novembro, tendo sido aproveitado uma parada da unidade fabril por motivo de limpeza no tanque para alteração do produto produzido.

3.9 Análise dos componentes substituídos

3.9.1 Recebimento

Após a abertura do equipamento e troca dos rolamentos conforme solicitação da ordem de serviço, os rolamentos que visualmente aparentavam bom estado e poderiam até ser equivocadamente mantidos por algum mecânico desatento, foram enviados ao setor de análise de falhas da Semeq.



Figura 42 – Rolamentos do RM101, logo após a sua retirada do equipamento.

(Fonte: Arquivo pessoal)

3.9.2 Limpeza externa

O processo de análise conforme práticas da SKF consiste inicialmente em uma limpeza superficial da graxa, afim de detectar se há partículas inseridas junto com a graxa.



Figura 43 – Rolamento do lado acoplado (LA) do RM101, após sua limpeza para avaliação.

(Fonte: Arquivo pessoal)

O rolamento traseiro (LOA – Lado Oposto ao Acoplamento) não apresentava nenhum indício de desgaste em sua análise, o que foi confirmado na sua desmontagem, e por esse motivo não foi feito mais nenhum registro do mesmo.

3.9.3 Abertura da gaiola espaçadora das esferas

Após isso, dá-se a extração dos rebites que fecham a gaiola, para poder movimentar todas as esferas para um mesmo lado do rolamento, e assim com isso efetuar a desmontagem do rolamento.

A extração dos rebites é feita fazendo-se um furo de diâmetro próximo ao do mesmo, em cada um de seus centros. Com isso pode-se retirar todos os rebites permitindo a retirada intacta dos dois lados da gaiola, que poderia ter alguma falha de funcionamento, e com a quebra da mesma se perderia essa importante informação.



Figura 44 – Rolamento do LA do RM101, após a retirada da gaiola para desmontagem do mesmo.

(Fonte: Arquivo pessoal)



Figura 45 e 46 – Gaiola do rolamentos do RM101 em perfeito estado e as pistas e elementos rotantes do mesmo, prontos para desmontagem e avaliação interna.

(Fonte: Arquivo pessoal)

3.9.4 Limpeza interna, desmontagem das pistas e das esferas

Após a desmontagem completa do rolamento, todas as partes foram lavadas com desengraxante, afim de permitir completa visualização das falhas, e posteriormente os mesmos foram banhados com um fino spray de óleo lubrificante, permitindo o armazenamento sem que ocorra a corrosão.

3.9.5 Análise das marcas dos componentes



Figura 47, 48 e 49 – Rolamentos do RM101 desmontado.

Acima à esquerda a pista externa, à direita a pista interna e abaixo os elementos rotantes (esferas, no caso).

(Fonte: Arquivo pessoal)

Como se pode observar nitidamente nas Figuras 50 e 51, o rolamento dianteiro (6312 C3) apresentava acelerado processo de desgaste na pista externa e já marcas de descamamento da pista de rolamento na pista interna como nos elementos rotantes.

As gaiolas do rolamento apresentavam-se praticamente intactas, demonstrando que as mesmas não foram a causa do problema.

Os elementos rotantes (esferas, no caso) apresentavam diversos descamamentos, comumente chamados de “cáries”, em sua superfície polida, que pode ser se originada inicialmente em impurezas na lubrificação, partículas soltas pelo próprio rotor do motor ou até mesmo fim da vida útil do componente.

Essas “cáries” por sua vez ao rodar e se chocar com as pistas de rolamento, foram marcando-as e com o passar do tempo desgastando-as, gerando folga e ruído, e também o “ruído” aleatório nas medições e que apareciam como falha na lubrificação.

O desgaste descentralizado do rolamento se deve principalmente pela posição de montagem do motor no equipamento, que por ser vertical deixa todo o peso do rotor do motor apoiado na parte de baixo dos rolamentos.



Figura 50 e 51 – Parte interna da pista externa do Rolamentos do RM101. A superfície com aparência de “jateado” se deve pelo atrito de partículas suspensas na graxa entre as esferas e a pista.

(Fonte: Arquivo pessoal)



Figura 52 e 53 – Parte externa da pista interna do Rolamentos do RM101. Nota-se uma faixa com descamamento na parte “de baixo” do rolamento, por onde as esferas mantinham contato.

(Fonte: Arquivo pessoal)

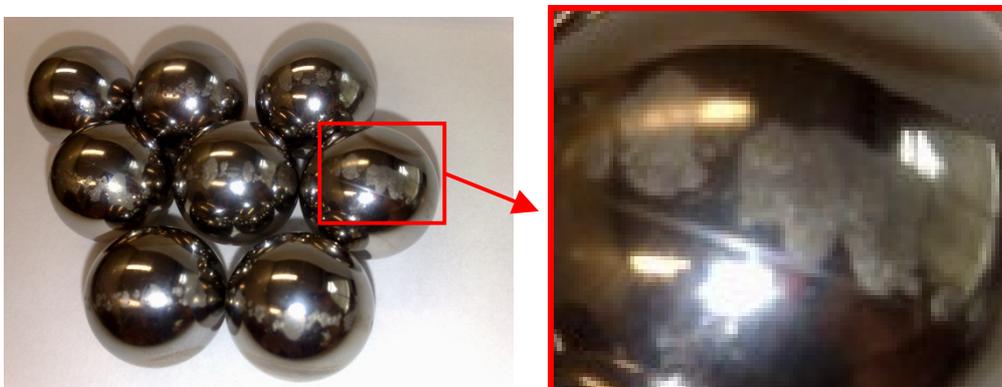


Figura 54 e 55 – Esferas dos Rolamentos do RM101.

No detalhe nota-se o desgaste e descamamento nas esferas, que foram a causa inicial da falha.

(Fonte: Arquivo pessoal)

3.10 Análise de vibração pós-intervenção

Após a remontagem do equipamento em campo e passada o tempo de acomodação da graxa de montagem de aproximadamente 2 dias (que se não for respeitada, poderia gerar um excesso de ruído na leitura, atrapalhando a análise), foi efetuada uma nova medição de vibração, que é apresentada na Figura 56.

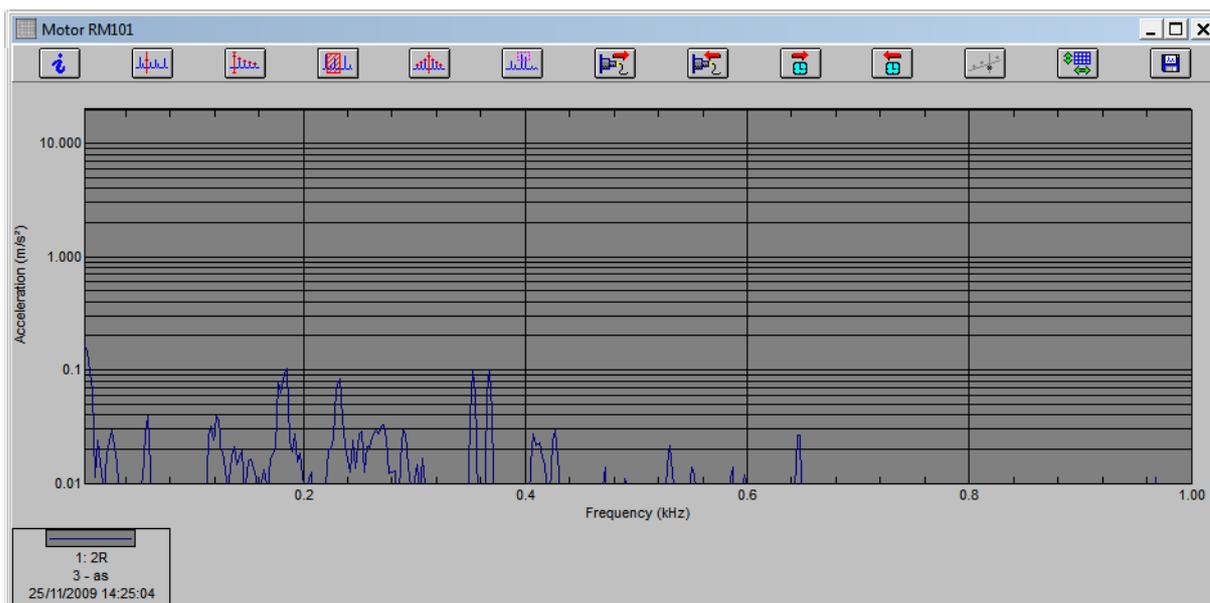


Figura 56 – Espectro de aceleração no domínio da frequência, após a intervenção no RM101. Redução significativa da vibração em todas as faixas de frequência, sem nenhum ponto acima de 0,1m/s².

(Fonte: Programa Sentinel 7107M, V4.02 licenciado à Semeq, 21/07/2011)

Nela pode-se observar claramente a redução nos níveis de vibração do equipamento, o que indica o sucesso na intervenção do equipamento, conseguindo como resultado eliminar a causa do problema.

4 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Por meio verbal, o operador do equipamento informou que após a montagem o motor encontra-se com o nível de ruído bem mais baixo que antes da intervenção.

Apesar de que, antes da intervenção, o operador havia informado que o ruído do mesmo estava normal.

Isso pode ser explicado pelo fato que o ruído, vibração, temperatura e outros fatores sensitivos do equipamento, em geral, aumentam gradativa e muito lentamente. Uma vez que a audição, tato e outros sentidos humanos não possuem escala exata e são facilmente influenciados por fatores diversos, torna-se muito difícil o acompanhamento da evolução da falha sensitivamente por parte do operador e mecânicos.

A análise de vibração por sua vez se mostra, desde que usada com critério, uma ferramenta precisa e de fácil utilização, que pode ser fundamental em um plano de manutenção sério de uma empresa que preze a melhoria contínua de seus processos.

O valor por equipamento em geral pode variar muito, de acordo com a complexidade do equipamento e da análise, periodicidade de medição e até mesmo custo de deslocamento de pessoal, porém, para contratos de médio à grande porte, pode-se estimar que o custo por ponto medido esteja por volta de R\$15,00, um valor realmente pequeno se comparado com o valor de lucro cessante de algumas plantas produtivas.

Tendo em vista a viabilidade técnica e viabilidade comercial da Análise de Vibração, pode-se dizer que hoje em dia ela se torna a melhor forma de monitorar equipamentos rotativos a fim de reduzir custos de manutenção corretiva e até mesmo preventiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.T., GÓZ, R.D.S., *Análise de Vibrações I – Medidas e Diagnósticos* FUPAI. Minas Gerais, 1997.

Arato Junior, A., *Manutenção Preditiva usando análise de vibração*, Manole, Barueri, 2004.

Arruda, J.R.F., *Manutenção Preditiva de Máquinas pela Análise de Vibrações Mecânicas*, Mundo Mecânico, 25 – 32, Julho, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Vibração Mecânica de Máquinas com Velocidade de Operação de 600 a 12000 rpm, base para especificação e padrões de avaliação*. Norma NBR-10082.

Bendat, J.S. & Piersol, G., *Randon Data – Analysis and Measurement Procedures*. London, Wiley – Interscience, Ven Vor, John Wiley and Sons Inc, 1986.

Brüel & Kjaer, Departamento Técnico, *Balanceamento por meio de equipamento de medição portátil I e II*, Mundo Mecânico, 16 – 32, maio, 1980.

Brüel & Kjaer, Departamento Técnico, *Balanceamento por meio de equipamento de medição portátil I e II*, Mundo Mecânico, 16 – 32, maio, 1980. *The Application of Vibration Measurement and Analysis in Machine Maintenanc*. Aplication Note, 1978.

Catálogo eletrônico de motores elétricos Trifásicos WEG – www.weg.com.br.

Catálogo eletrônico de rolamentos SKF/NSK.

Champeney, D.C., *Fourier Transforms and Their Phisical Aplications*, Unwin Brothers Limited, London, 1973.

Dyer, D. & Stewart, R.M., *Detection of Rolling Element Bearing Damage by Statistical Vibration Analysis*, *Journal of Mechanical*, p229, april, 1978.

FAG ROLAMENTOS – *Danificação em Rolamentos*.

LACA ROLAMENTOS - *Danos em Rolamentos e Medidas Corretivas*.

Material técnico do “I learn interactive” , Disponível em www.ilearninteractive.com e www.mobiusinstitute.com.

Norma ISO 2372 – *Critérios de Vibração*.

Normas e Apostila de Vibração Petrobras. Rio de Janeiro: 1998.

NSK Bearing Doctor - *Diagnóstico Rápido de Ocorrências em Rolamentos*.

PONCI, L.P., CUNHA, P.M.R., Previsão de Falha de Rolamentos por Análise Espectral e de Envelope – Apostila Teknikao Ind. e Com. Ltda.

Randall, R.B., Vibration-Based Condition Monitoring, John Wiley & Sons, London, 2011.

SANTOS, C., Apostila de Análise de Vibração Nível I. São Paulo: SEMEQ, 2006.

SANTOS, C., Apostila de Análise de Vibração Nível II. São Paulo: SEMEQ, 2006.

SANTOS, C., Apostila de Coleta de Dados de Vibração Nível I. São Paulo: SEMEQ, 2008.

Scheffer, C. & Girdhar, P., Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance.

SKF - Product information 401 - Bearing failures and their causes - Publication PI 401 E - Reg. 770 • 15 000 • 1994-04.