

UNESP
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Guaratinguetá
1990



1110000196



15

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE
MANUTENÇÃO PREDITIVA
POR ANÁLISE DE VIBRAÇÕES
NA USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA

PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO

12

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ
BIBLIOTECA

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA POR ANÁLISE DE VIBRAÇÕES
NA USINA TERMOELÉTRICA PIRATINIÇA

PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO

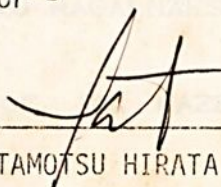
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE "MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
PROJETOS E MATERIAIS E, APROVADA EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Prof. Dr. NAZEM NASCIMENTO

- Orientador -



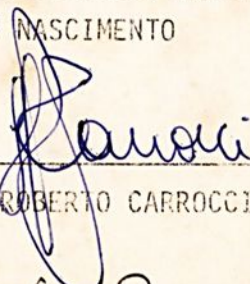
Prof. Dr. TAMOTSU HIRATA

- Coordenador -

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. NAZEM NASCIMENTO



Prof. Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI



Prof. Dr. DOUGLAS EDUARDO CAMPIERI

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

CAMPUS DE GUARATINGUETÁ - FACULDADE DE ENGENHARIA

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA
POR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
NA USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA



Autor : PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO

Orientador : PROF. DR. NAZEM NASCIMENTO

GUARATINGUETÁ - OUTUBRO - 1990

i

196

00196

T62-7(043)
M1882

AGRADECIMENTOS

- Ao meu orientador Prof. Dr. Nazem Nascimento ;
- Aos meus amigos da Eletricidade de São Paulo S.A. (ELETROPAULO), Engenheiros Antonio Raimundo Ribeiro, José Maria Anson Anson, Omar Fernandes Aly e aos técnicos Ricardo, Augustinho e Emílio.
- Ao analista de sistemas Wagner Valentini Vieira de Souza da UNESP - Campus de Guaratinguetá.
- Ao Departamento de Energia da UNESP - Campus de Guaratinguetá.



RESUMO

Este trabalho apresenta a implantação da manutenção preditiva por análise de vibração na Usina Termoeletrica Piratininga.

Primeiramente descreve-se as técnicas de manutenção, suas aplicações, vantagens, desvantagens, o lay-out e o processo de geração que a Usina utiliza.

Posteriormente são apresentados os critérios de seleção dos equipamentos monitorados e como detectar um equipamento defeituoso.

Mostra-se, também, como escolher um equipamento para medição e análise de vibração, bem como a metodologia de coleta de dados.

Através de um "software" desenvolvido especificamente para gerenciar e analisar os dados, discute-se os resultados obtidos durante o tempo de implantação do método de manutenção preditiva e, apresenta-se os resultados através de gráficos e tabelas.



ABSTRACT

This work shows the start up to predictive maintenance by vibration analysis at Piratininga power plant.

It is first described the techniques of maintenance and their applications, advantages, disadvantages, as well as the lay-out and the process of energy generation used by power plant.

It is also presented the criteria of selection of monitoring equipments and the ways of how to detect a defectful equipment.

It is shown how to choose an equipment to vibrations measure and analyse as well as methodology of data collection.

By use of a software developed specifically to manage and analyse the data, it is discussed their results during the start up time of predictive maintenance methods through graphs and tables.



dB - decibéis;

DC - ponto de inspeção do lado direito da carcaça do motor;

EC - ponto de inspeção do lado esquerdo da carcaça do motor;

ETU - estação transformadora da usina; •

FFT - fast Fourier transform (transformada rápida de Fourier);

mil - milésimo de polegada;

pico - valor de pico do sinal;

RGD - revisão geral desmontada;

RMS - valor médio quadrático do sinal;



ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 - Manutenção e suas técnicas.....	5
2.1 - Técnicas de manutenção.....	5
2.1.1 - Manutenção corretiva.....	6
2.1.2 - Manutenção preventiva.....	7
2.1.3 - Manutenção preditiva.....	8
2.1.4 - Manutenção de oportunidade.....	9
2.1.5 - Modificação de projeto em manutenção.....	9
2.2 - Plano de manutenção.....	10
2.3 - Manutenção preditiva e suas técnicas.....	11
2.3.1 - Métodos de acompanhamento.....	13
2.3.2 - Técnicas de acompanhamento de aplicação geral..	14
2.3.3 - A aplicação sistemática do acompanhamento.....	15
2.3.4 - Registro de dados.....	15
2.3.5 - Análise de tendência de parâmetros.....	16
2.4 - Acompanhamento de vibrações e ruídos.....	17
2.4.1 - A causa das vibrações e dos ruídos.....	18
2.4.2 - Os sinais de vibração.....	18
2.4.3 - Acompanhamento do sinal.....	22
2.4.4 - Análise de frequência.....	23
CAPÍTULO 3 - Levantamento do processo de produção de energia elétrica e descrição da Usina Piratininga.....	24



CAPÍTULO 4 - Critérios para definição dos equipamentos a serem monitorados.....	29
4.1 - Fatores que influenciam os critérios de seleção..	29
4.2 - Escolha dos equipamentos nos quais serão implantados, inicialmente, a manutenção preditiva na Usina Piratininga.....	31
CAPÍTULO 5 - Diagnose de defeitos em uma máquina de fluxo.....	33
5.1 - Diagnose de defeitos por análise de vibrações....	33
5.2 - Estabelecimento de níveis de vibração toleráveis.	38
CAPÍTULO 6 - Especificação de instrumentos de medida e análise de vibração.....	41
CAPÍTULO 7 - Metodologia de coleta de dados.....	46
7.1 - Definição de rotas e periodicidade.....	46
7.2 - Rota e periodicidade de monitoramento definido para a Usina Piratininga.....	47
7.3 - Criação de fichas de acompanhamento de medidas de vibração.....	49
CAPÍTULO 8 - Programa de gerenciamento e análise de dados.....	57
CAPÍTULO 9 - Resultados.....	77
9.1 - Resultados obtidos.....	77
9.2 - Avaliação da Eletropaulo.....	115
CAPÍTULO 10 - Comentários e conclusões.....	116
CAPÍTULO 11 - Bibliografia.....	118





Como é de conhecimento geral, as empresas existem em função do lucro, e essas devem operar com o maior grau de confiabilidade possível, pelo menor custo possível.

Os trabalhos de manutenção elevam o desempenho e a disponibilidade dos equipamentos para a produção, mas ao mesmo tempo contribuem para acrescer os custos gerais, pois influenciam diretamente os custos operacionais dos equipamentos, portanto, o número de intervenções da manutenção deve ser o menor possível.

Na ocasião da Revolução Industrial iniciada na Inglaterra, foram criadas máquinas destinadas a produzir em massa a fim de baixar o custo final do produto; desde esta época até os dias de hoje ainda é aplicada uma técnica que se baseia apenas no bom senso do mestre responsável pela manutenção ou no reparo do equipamento quando ocorre a sua quebra.

É o método mais convencional utilizado amplamente na maioria das empresas que possuem máquinas de custo reduzido e que geralmente possuem uma duplicata nos processos mais importantes.

No entanto, esta técnica não é muito conveniente quando se possui máquinas mais complexas ou com maiores potências e velocidades envolvidas, pois o seu custo é elevado; torna-se então necessário um controle mais eficiente das condições operacionais de um equipamento.

Para estes casos mais delicados desenvolveu-se então uma técnica que se utiliza paradas de máquinas baseadas em parâmetros estatísticos como período de utilização, e quantidade de partidas, porém, sempre derivadas do fator tempo.

Nesta técnica admite-se que normalmente a grande maioria das máquinas passarão pelo período de operação, onde raramente haverá a ocorrência de defeitos.

No entanto, esta técnica baseada no tempo, a experiência mostrou que pode se tornar anti-econômica, pois o índice de defeitos em diversas máquinas não é reduzido através da substituição regular das peças de desgaste. Ao contrário, a segurança da máquina revisada freqüentemente é reduzida pela interferência humana e também através desta técnica não se pode determinar qual é o real defeito que ela possui.



Passou-se então a desenvolver métodos baseados no estado real da máquina, esta técnica denominada manutenção preditiva.

Segundo Kelly & Harris [16] e Arruda [1] só se começou a encontrar meios mais eficientes para acompanhar o estado real de deteriorização de uma máquina, a partir da segunda metade do século 20, devido ao desenvolvimento da tecnologia e ao processamento de dados, que atualmente nos permite diagnosticar precisa e confiavelmente as condições da máquina.

O método se baseia em medições regulares, com as quais pode-se detectar o início de uma condição defeituosa e acompanhado o seu desenvolvimento.

Evidentemente que esta técnica não se aplica a todo e qualquer equipamento; somente aos prioritários cuja parada acidental provocaria perdas na produção ou grandes prejuízos sociais.

Principalmente nos países industrializados, onde existe uma forte concorrência entre empresas, o desenvolvimento desta técnica tem sido muito difundido e os resultados obtidos tem sido altamente compensadores.

No Brasil, infelizmente, esta técnica está tendo um grande impulso somente nos últimos anos, devido à grande barreira criada pela desconfiança e o mal esclarecimento dos gerentes industriais sobre o assunto.

Em geral esta técnica é aplicada com sucesso em diversas indústrias de processo contínuo, tais como:

- indústrias químicas;
- petrolíferas ;
- de papel e celulose;
- metalúrgicas, etc..

É também amplamente utilizada na manutenção de aeronaves militares e civis .

O motivo que leva a aplicação dessa técnica, é devido a maior disponibilidade das máquinas para o trabalho, conseqüentemente da produtividade, que é um fator muito importante.

A literatura disponível no Brasil sobre a manutenção preditiva ainda é um pouco escassa, pois o assunto é muito vasto e quando se pretende estudar o tema, existe uma certa dificuldade de se encontrar informações mais amplas sobre o mesmo, geralmente ela descreve superficialmente o método, não entrando em maiores detalhes.



Na literatura internacional podemos encontrar referências, nas quais encontra-se maiores detalhes sobre o assunto.

Este trabalho tem por objetivo implantar a manutenção preditiva por análise de vibração na Usina Termoeletrica Piratininga - ELETROPAULO.

O trabalho é composto deste capítulo introdutório, e de mais 10 capítulos, os quais são descritos a seguir:

- Capítulo 2 :

Apresentação das técnicas de manutenção que são praticadas em geral.

- Capítulo 3 :

Apresentação do processo de produção de energia elétrica que a Usina Piratininga utiliza, bem como a descrição dos seus principais processos e equipamentos.

- Capítulo 4 :

Apresentação dos critérios para definição dos equipamentos que deverão ser monitorados, e descrição dos critérios de escolha dos equipamentos selecionados para a implantação desta técnica na Usina Piratininga.

- Capítulo 5 :

Descreve sucintamente como é possível diagnosticar os problemas de uma máquina por análise de vibração e como se estabelece níveis toleráveis de vibração bem como os que foram estabelecidos para os equipamentos monitorados da Usina Piratininga.

- Capítulo 6 :

Descreve o critério de escolha do equipamento para medição e análise de vibração.

- Capítulo 7 :

Descreve os processos de definição das rotas, periodicidade de monitoramento e preparo de fichas de acompanhamento de medidas de vibração.

- Capítulo 8 :

Descreve o "software" desenvolvido para gerenciamento e análise de dados.

- Capítulo 9 :

Apresenta os resultados obtidos no trabalho.

- Capítulo 10:

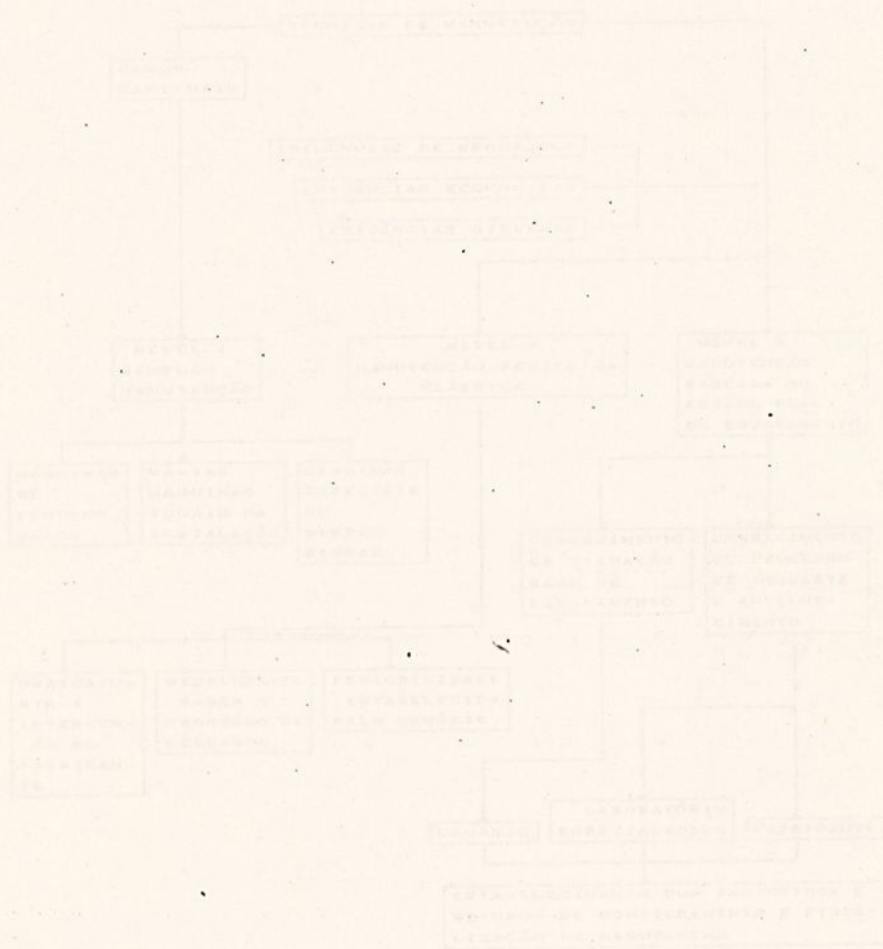
Apresenta comentários e discussões a respeito do trabalho e ainda sugestões para trabalhos futuros.

- Capítulo 11:

É apresentada a bibliografia utilizada .



No apêndice se encontra uma planta da Usina Piratininga contendo a disposição dos equipamentos que foram monitorados, na qual se baseou o estudo da rota ideal para o inspetor responsável pela coleta de medições de vibrações.



2.1- Técnicas de manutenção

Diversas técnicas de manutenção podem ser aplicadas a cada unidade de uma fábrica, quer isoladamente quer combinadas, conforme mostra a figura 2.1. . O plano de manutenção é constituído por este conjunto de técnicas de manutenção aplicadas à fábrica.

As ações efetuadas antes da ocorrência de uma falha são consideradas preventivas e, inversamente, as efetuadas após são consideradas corretivas. As ações preventivas, podem, portanto, ser programadas e executadas sob a forma de um plano de manutenção preventiva. A manutenção corretiva não pode ser programada, dada a natureza aleatória de falha e as incertezas que cercam a tomada de decisões correspondente. No entanto, para as unidades críticas de fábricas, é essencial a formulação de diretrizes de manutenção corretiva que orientem a tomada de decisões após a ocorrência de uma falha.

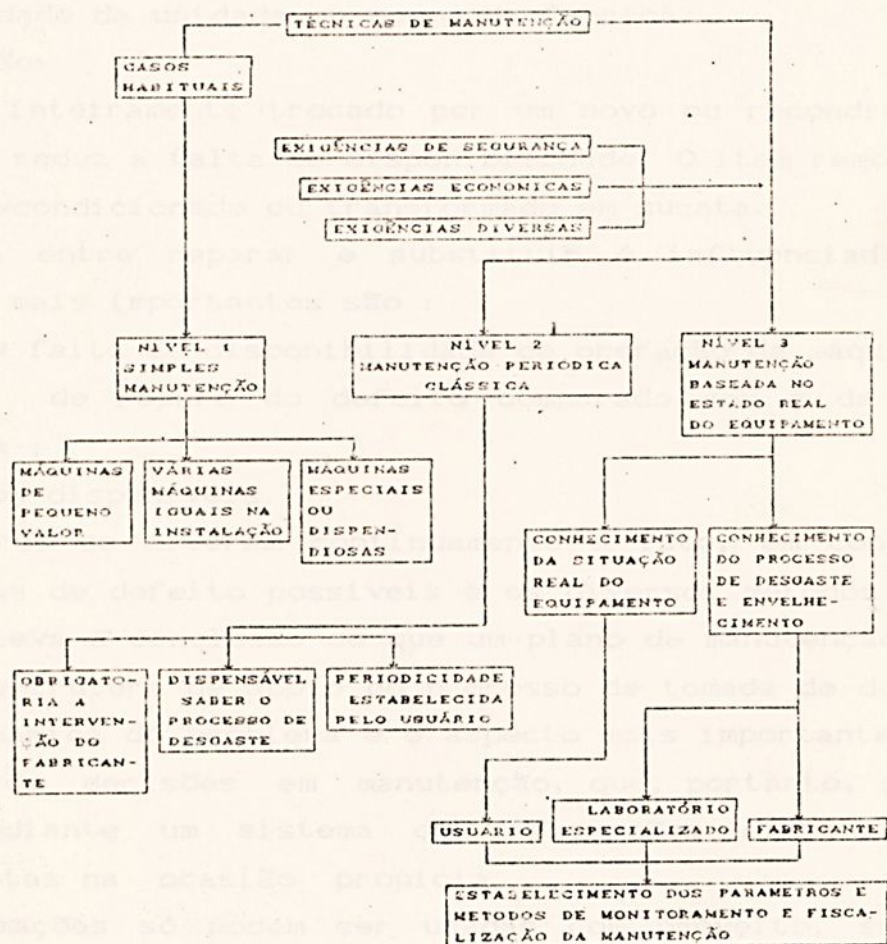


figura 2.1 - técnicas de manutenção

Convém analisar as técnicas apresentadas na figura 2.1, antes de estudar um procedimento para determinar o plano de manutenção mais adequado.

2.1.1 - Manutenção corretiva

Nesta técnica não se toma nenhuma ação pré-determinada para evitar a falha. A ênfase é colocada em uma manutenção corretiva eficiente.

A manutenção corretiva surge não só em decorrência de uma falha, como também quando indicada por critérios de acompanhamento de condição. A ênfase do método consiste em estabelecer a forma mais econômica de restaurar a unidade a uma condição aceitável.

As alternativas adotadas quando de falha de um item de reposição complexa pode ser, por exemplo, as seguintes:

-Reparo no local:

Desmontagem do item e substituição dos componentes defeituosos na própria área de operação. Esta alternativa pode incorrer na falta de disponibilidade da unidade ou mesmo da fábrica.

-Substituição:

O item é inteiramente trocado por um novo ou recondicionado. Esta alternativa reduz a falta de disponibilidade. O item removido pode ser reparado, recondicionado ou transformado em sucata.

A escolha entre reparar e substituir é influenciada por muitos fatores, os mais importantes são :

- o custo da falta de disponibilidade de operação da máquina ;
- o tempo de reparo do defeito comparado com o da substituição da máquina ;
- os recursos disponíveis.

Tais fatores se alteram continuamente e isto, em conjunto com as várias causas de defeito possíveis e os diversos métodos alternativos de reparo, leva à conclusão de que um plano de manutenção corretiva é apenas uma estrutura de apoio do processo de tomada de decisões. Esta natureza dinâmica do problema é o aspecto mais importante do processo de tomada de decisões em manutenção, que, portanto, só pode ser abordado mediante um sistema de informações disponíveis para as pessoas certas na ocasião propícia.

Tais informações só podem ser usadas com proveito, se, quem toma a decisão tiver, a seu nível, uma completa compreensão da empresa pela qual é responsável.



2.1.2 - Manutenção preventiva

Esta técnica conhecida como manutenção preventiva só é eficaz nos casos onde o mecanismo de falha da peça é típico de desgaste e o custo total de reposição (direto e indireto) é substancialmente menor que o reparo ou reposição após uma falha. Em outras palavras é aplicável a itens de reposição simples.

O princípio da substituição a intervalos pré-fixados está ilustrado a seguir.

A figura 2.2 (a) mostra uma distribuição típica de desgaste.

O problema consiste em identificar um intervalo tal que torne mínima a soma dos custos de reposição periódica e de substituição por falha.

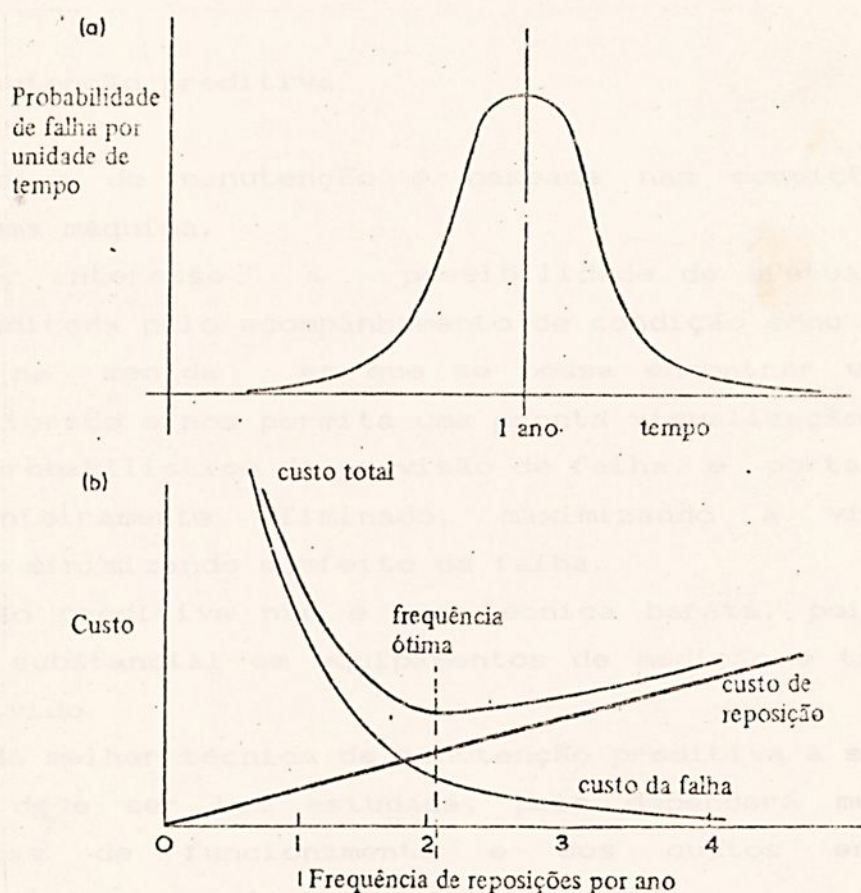


figura 2.2 - distribuição típica de desgaste (16)

Os dados da figura 2.2 (a) são usados no cálculo da taxa provável de falha em função do período de reposição.

Sua combinação com os dados de custo fornece o custo total esperado em função do período de reposição, conforme mostra a figura 2.2 (b). A substituição periódica perfeita só será a melhor técnica caso seu custo seja inferior ao das demais alternativas listadas na figura 2.1.

O custo e a dificuldade de coletar os necessários dados estatísticos constituem também um fator preponderante a ser considerado.

Há duas razões principais que tornam esta política inadequada para peças de reposição complexa, são elas :

- quanto mais complexo o item, menos provável será um padrão de falha típico de desgastes;
- reparo ou substituição de peças complexas é oneroso, tornando o processo bastante dispendioso.

Em tais casos é preferível adotar uma das alternativas já vistas, a exemplo da manutenção baseada na condição de parâmetros, ou seja, a manutenção preditiva.

2.1.3 - Manutenção preditiva

Esta técnica de manutenção é baseada nas condições reais de operação de uma máquina.

É do maior interesse a possibilidade de efetuar um reparo na ocasião indicada pelo acompanhamento de condição e/ou desempenho do equipamento, na medida em que se possa encontrar um parâmetro para ser monitorado e nos permita uma pronta visualização do problema.

O elemento probabilístico da previsão de falha é portanto reduzido, ou quase inteiramente eliminado, maximizando a vida útil do equipamento e minimizando o efeito da falha.

A manutenção preditiva não é uma técnica barata, pois envolve um investimento substancial em equipamentos de medição e treinamento do pessoal envolvido.

A seleção da melhor técnica de manutenção preditiva a se utilizar em uma máquina deve ser bem estudada, pois dependerá muito de suas características de funcionamento e dos custos envolvidos na implantação.

Como exemplo pode-se citar a aplicação da técnica de inspeção visual, que é a mais simples, em lonas de freio que podem ser inspecionadas visualmente em intervalos curtos de tempo e a baixo



custo. Por outro lado existem itens de reposição complexos, como por exemplo motores que exigem uma desmontagem dispendiosa, que caso for somente inspecionado pelo método visual pode estar sujeito a uma desmontagem desnecessária, e com isso podendo ser introduzido falhas subseqüentes.

Um acompanhamento sofisticado pode ser adotado com enormes vantagens em itens deste gênero, a exemplo do acompanhamento de vibrações, de análise de óleo, de termografia e outros. O custo da instrumentação pode ser justificável se comparado com os elevados custos de reparo e da falta de disponibilidade da máquina.

2.1.4 - Manutenção de oportunidade:

Este termo é usado para ações de manutenção executadas após uma falha, ou durante a manutenção a intervalos pré-fixados ou em reparos baseados no acompanhamento da condição de parâmetros, sendo no entanto dirigidas a outros itens além dos que originaram o reparo. Esta técnica é mais adequada para itens de reposição complexos ou de operação contínua, de elevados custos de parada ou de falta de disponibilidade. Esta técnica, de uma forma geral, assemelha-se à operação até a falha.

2.1.5 - Modificação de projeto em manutenção

Em contraste com as técnicas precedentes, que tem por objetivo minimizar o efeito da falha, as modificações de projeto em manutenção visam à eliminação de sua causa. Este é, evidentemente, um problema mais afeto à engenharia do que à manutenção propriamente dita, porém esta responsabilidade é com freqüência atribuída ao departamento de manutenção.

Esta técnica é usualmente adotada em áreas de elevado custo de manutenção, quer resultante de um projeto deficiente quer pelos equipamentos, por serem operados fora de suas condições de projeto.



2.2 - Plano de manutenção

O plano de manutenção de uma fábrica deve ser constituído seleccionando-se, para cada unidade, a melhor combinação das políticas apresentadas na figura 2.1. e, a partir daí, pela coordenação destas políticas com o objetivo de uma melhor utilização possível do tempo e dos recursos disponíveis.

O ideal seria que as ações preventivas e corretivas de cada unidade de fábrica fosse especificada detalhadamente pelos fabricantes. Isto ocorre normalmente para itens de reposição simples, cuja manutenção é barata e determinista, mas raramente é assim para itens de reposição complexa, cuja manutenção é onerosa e probabilística.

Os itens de uma terceira classificação, os que tem vida útil igual a da própria máquina, não deveriam por definição requerer ação pré-determinada de manutenção, uma vez que sua vida esperada deveria exceder a especificada pelo fabricante.

Alguns itens críticos desta categoria poderiam, no entanto se beneficiar de uma manutenção baseada na condição de parâmetros.

Muitos fatores, afetam a relação de uma política adequada para cada item, e isto, em conjunto com o grande número de itens normalmente envolvidos, dá origem à necessidade de alguns procedimentos sistemáticos para a determinação do melhor procedimento de manutenção, para um período de tempo particular.

A figura 2.3 mostra uma tabela comparativa de investimentos nas diferentes técnicas de manutenção, nas diversas áreas de produção no Brasil. Pode-se notar que a preditiva é a que possui a menor porcentagem.

SETORES	CORRETIVA	PREVENTIVA	PREDITIVA	PROJETO	OUTROS
PETROLEO	51.6	34.8	2.1	7.2	4.4
QUÍMICA E PETROQUÍMICA	57.3	21.4	6.9	7.6	6.8
ELETRICIDADE	35.5	52.1	5.6	0.6	6.2
SIDERURGIA	67.6	23.5	0.2	-	8.7
MINERAÇÃO	27.6	61.0	0.8	3.9	6.5
PAPEL E CELULOSE	42.2	25.1	9.3	12.0	11.4
CIMENTO	29.5	62.7	0.2	4.7	2.9
TRANSPORTE	25.0	56.1	1.2	7.6	10.1
METALURGIA E METAL-MECÂNICA	66.5	19.0	2.5	7.8	4.2
BEBIDAS, CIGARROS	52.6	17.5	5.5	20.4	4.0
OUTROS	52.6	17.5	5.5	20.4	4.0
TOTAL	44.8	39.9	3.2	5.5	6.6

tabela 2.3 - tabela comparativa de investimentos nas diferentes técnicas de manutenção no Brasil [34]



2.3 - Manutenção preditiva e suas técnicas

A manutenção preditiva é efetuada com base no estado do equipamento e é aquela que resulta de uma deterioração significativa indicada pela alteração de um parâmetro cujo acompanhamento é sistemático.

A manutenção com base no estado do equipamento difere da manutenção após a falha ou da substituição a intervalos pré-fixados, na medida em que requer o acompanhamento sistemático de um parâmetro indicativo de sua condição. Há um contraste com a manutenção após a falha, que implica na falta do acompanhamento sistemático do estado do equipamento. O mesmo ocorre com relação à substituição a intervalos pré-fixados, que toma por base os dados estatísticos da falha. Assim, a manutenção com base no estado do equipamento será mais eficiente e mais flexível que qualquer das demais alternativas. Uma vez indicada a deterioração, pode-se programar a parada de uma unidade antes que ocorra uma falha e, ainda, se a política de produção assim o permitir, pode-se operar até que a falha ocorra. Alternativamente as substituições preventivas desnecessárias podem ser reduzidas e, é possível o acompanhamento do estado do equipamento para indicar falhas incipientes, muito antes do aumento da probabilidade de sua ocorrência com possíveis consequências catastróficas.

As vantagens obtidas por esta técnica é apresentada na figura 2.4.

VANTAGENS		OBJETIVOS	OBSERVAÇÕES
Segurança	Redução de acidentes causados pelo equipamento	Permitir uma parada segura quando não for possível a parada instantânea do equipamento.	A condição do equipamento pode ser indicada por um alarme, caso possível a parada instantânea.
	Maior tempo de operação	Permitir correlacionar a parada da máquina com a produção ou o serviço, evitando as perdas resultantes de paradas inesperadas.	O intervalo entre revisões periódicas pode ser aumentado, permitindo ainda, se necessário, que se efetuem pequenos serviços até a ocasião da próxima revisão.
	Maior disponibilidade da máquina	Menor tempo de manutenção	O tempo de inspeção após a parada é menor, acelerando-se ainda a ação corretiva adequada.
Produção		Permitir a parada de máquina antes que ocorram maiores danos que requeiram um tempo de reparo excessivo.	
		Permitir que a equipe de manutenção e os sobressalentes sejam programados para iniciar os trabalhos tão logo a máquina pare.	
	Maior produção líquida		Algumas máquinas podem ser operadas com mais carga e/ou maior velocidade. Permite detectar reduções da eficiência da máquina ou um maior consumo de energia.
	Melhor qualidade do produto ou serviço	Permitir um melhor planejamento para reduzir o efeito das paradas sobre os clientes do produto ou do serviço, promovendo o conceito da companhia.	É possível reduzir a incidência de produtos ou de serviços abaixo do nível de qualidade exigido.

figura 2.4 - vantagens da manutenção baseada no estado do equipamento [16]



A figura 2.5 apresenta a metodologia de implantação da técnica.

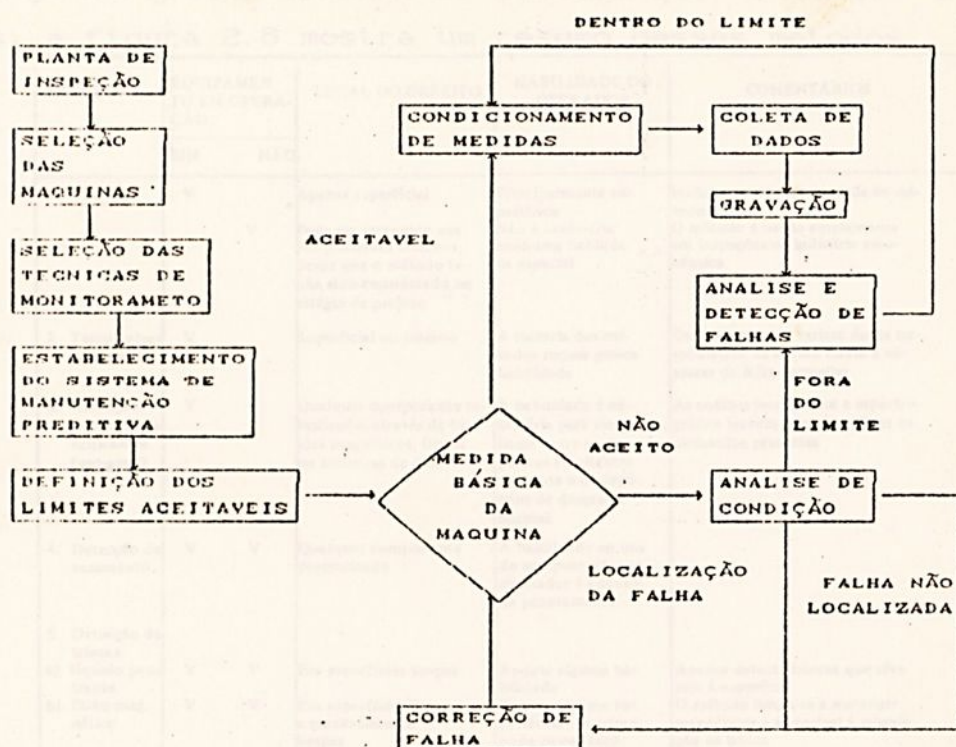


figura 2.5 - diagrama de blocos da metodologia da manutenção preditiva

Há duas razões principais para não se adotar a manutenção com base no estado do equipamento, em determinadas circunstâncias.

Inicialmente, nem todas as causas de falha de uma fábrica podem ser previamente detectadas. Se as causas mais prováveis de falha de uma unidade pertencem a esta categoria, de pouco irá valer a manutenção com base no estado do equipamento.

Em segundo lugar, tal acompanhamento encerra, por sua natureza, um custo elevado de mão-de-obra, de equipamento de monitorização ou ambos. A manutenção com base no estado do equipamento é recomendável apenas se o custo deste equipamento de monitorização for menor do que a redução esperada no custo de manutenção ou de falta de disponibilidade, ou ainda nos casos onde seja desejável por razões de segurança do pessoal. Vale ressaltar, no entanto, que na indústria de manufatura não é rara a ocorrência de um custo anual de manutenção superior ao valor de compra da fábrica, de modo que existe um grande incentivo à redução daqueles custos.

2.3.1 - Métodos de Acompanhamento

Existe hoje um grande número de métodos que atendem a diversas aplicações, a figura 2.6 mostra um resumo desses métodos.

MÉTODO	EQUIPAMEN- TO EM OPERA- ÇÃO		LOCAL DO DEFEITO	HABILIDADE DO OPERADOR	COMENTÁRIOS
	SIM	NÃO			
1. Visual	V	V	Apenas superficial Pode ser estendido aos componentes internos, desde que o método tenha sido considerado no estágio de projeto	Principalmente experiência Não é necessária nenhuma habilidade especial	Inclui uma ampla variedade de métodos O método é usado amplamente em inspeções na indústria aeronáutica
2. Temperatura (uso geral)	V		Superficial ou interno	A maioria dos métodos requer pouca habilidade	Os instrumentos variam desde termômetros de leitura direta a câmaras de infra-vermelho
3. Acompanhamento de lubrificantes (uso geral)	V		Qualquer componente lubrificado, através de bujões magnéticos, filtros ou amostras de óleo	A habilidade é necessária para distinguir entre os depósitos resultantes de avaria e os depósitos do desgaste normal.	As análises ferrográfica e espectrográfica servem para identificar os elementos presentes
4. Detecção de vazamento	V	V	Qualquer componente pressurizado	A habilidade no uso de equipamentos especializados é adquirida prontamente	
5. Detecção de trincas					
a) líquido penetrante	V	V	Em superfícies limpas	Requer alguma habilidade	Apenas detecta trincas que afloram à superfície
b) fluxo magnético	V	V	Em superfícies lisas e razoavelmente limpas	Requer alguma experiência. A trinca pode passar facilmente despercebida	O método limita-se a materiais magnéticos e é sensível à orientação da trinca
c) resistência elétrica	V	V	Em superfícies lisas e limpas	Alguma habilidade	O método é sensível à orientação da trinca e útil para a estimativa de sua profundidade
d) corrente de Foucault	V	V	Próximo à superfície. A proximidade da sonda à superfície afeta os resultados	A habilidade é essencial	O método detecta uma ampla variedade de descontinuidades de material, trincas, inclusões, dureza, etc
e) Ultra-som	V	V	Em qualquer lugar ou qualquer componente onde haja acesso a uma superfície limpa e lisa	A habilidade é essencial para evitar trincas despercebidas	O método é sensível à direção, tornando uma inspeção geral demorada. É usado como complemento ou suporte de outras técnicas de diagnóstico
f) Radiografia	V	V	Requer acesso a ambos os lados	Requer bastante habilidade para obter e interpretar as radiografias	O método abrange uma superfície ampla de uma só vez. Requer precauções de segurança dado o risco de radiação. Limita-se a seções de menos de 50mm (em aço)
6. Acompanhamento de vibrações (uso geral), análise de faixa de frequência ou nível de pico	V	V	Qualquer componente em movimento ou objeto que contenha partes móveis. O transdutor é colocado numa zona afetada pela vibração (ex: alojamento de mancal)	Requer alguma habilidade	Os métodos variam desde os mais simples aos mais sofisticados. As medições de rotina são rápidas e não afetam a operação da máquina
7.a) Acompanhamento de corrosão			Tubos e vasos		
b) Corrosímetro (elemento elétrico)	V			Requer alguma habilidade	Pode-se detectar uma perda por corrosão de 1mm
c) Resistência de polarização e potencial de corrosão	V			Requer alguma habilidade	Indica apenas se está havendo corrosão
d) Sonda de hidrogênio	V			Não requer	O hidrogênio se difunde nas paredes finas do tubo da sonda e provoca um aumento de pressão
e) Furos indicadores	V			Requer habilidade para executar o furo com precisão na profundidade necessária	Indica a ocorrência de um valor de corrosão previamente estabelecido
f) Cupões de perda de peso		V			O acompanhamento é feito com a fábrica parada
g) Ultra-som		V		A habilidade é essencial	Detecta perdas de espessura de 0,5 mm.

figura 2.6 - resumo dos métodos de acompanhamento [10]



A maioria destes métodos de acompanhamento do estado dos equipamentos consiste na aplicação sistemática dos métodos mais usuais de diagnóstico de defeitos.

Alguns destes métodos tendem a ser empregados em determinados tipos de fábricas ou em indústrias específicas.

2.3.2 - Técnicas de acompanhamento de aplicação geral

Apenas três das técnicas de acompanhamento descritas na seção anterior podem ser consideradas de aplicação geral: o acompanhamento de temperatura, do óleo lubrificante e das vibrações.

Em cada um dos três métodos o parâmetro que se acompanha contém indicações fornecidas pelo próprio equipamento. Assim, uma variação daquele parâmetro indica uma alteração em qualquer um dos diversos componentes. Este aspecto difere das demais técnicas, por exemplo, a detecção de trincas, que atuam sobre o próprio componente sob risco.

Os métodos mencionados consomem tempo e recursos em excesso, só sendo utilizados em componentes que estejam reconhecidamente sujeitos a uma falha.

A figura 2.7 apresenta uma comparação destes três métodos de aplicação geral.

	DA TEMPERATURA	DO LUBRIFICANTE	DA VIBRAÇÃO
Meio para a transmissão das informações pela máquina	Sólido-pela carcaça ou pelo eixo Fluido-pelo lubrificante, pela água de resfriamento e pelo ar Depende da condutividade térmica	Pelo óleo de lubrificação e/ou resfriamento	Qualquer parte sólida da máquina
Componentes observados	Qualquer dispositivo que dissipe calor (pela combustão em um cilindro ou gerado eletricamente no motor) Mancais Passagens de fluidos em permutadores de calor	Qualquer componente lubrificado: mancais, componentes de transmissão (engrenagens, acoplamentos, cames), bomba de lubrificação	Qualquer componente que se movimenta, superfícies entre componentes com movimento relativo, folgas
Defeitos detectados	Falha de acionadores, obstrução de dutos, aquecimento excessivo, depósitos em resfriadores e uso abusivo (ex. sobrecarga de motores)	Qualquer forma de desgaste que afete a superfície lubrificada Contaminação do lubrificante	Alterações em quaisquer componentes móveis, desgaste ou falha de mancais, desbalanceamento e alteração de folgas
Equipamentos	Termômetros fluidos ou bimetálicos termopares, termômetros de resistência, termistores e instrumentos associados, lápis e tintas sensíveis à temperatura, detectores de infra-vermelho, pirômetros ópticos e câmeras de varredura de infra-vermelho	Filtros removíveis em operação, bujões magnéticos para exame visual dos depósitos com o uso de microscópios, espectroscópios para a análise de material em suspensão, ferrocópios para a classificação dos depósitos e manômetros de óleo nos filtros	Acelerômetros e equipamentos de processamento eletrônico para a verificação visual dos valores médios observados Filtros de frequência e registradores para a análise das vibrações
Frequência	Contínua e periódica	Basicamente periódica	Periódica, mas também contínua

figura 2.7 - comparação entre os três métodos de aplicação geral [16]



2.3.3 - A aplicação sistemática do acompanhamento

Para se efetuar o acompanhamento do estado de um equipamento, deve-se estudar qual a melhor técnica a ser empregada dentre as inúmeras existentes, pois quando se estabelece um programa de acompanhamento do estado dos equipamentos, este deve representar a evolução de um defeito, num tempo mínimo para se tomar uma providência.

Mesmo no campo de acompanhamento de vibrações, como se verá, há uma profusão de métodos de medição, cada qual com seu mérito particular.

Cada técnica requer uma habilidade e uma compreensão sendo que algumas das técnicas mais úteis só foram desenvolvidas nesta última década.

2.3.4 - Registro de dados

A base do sucesso do acompanhamento do estado de um equipamento qualquer que seja a técnica adotada, consiste na acumulação de dados, os quais têm aparentemente pouco valor à época de sua coleta. Com efeito, só se pode deixar de acumular dados redundantes após a coleta de dados para definir a condição normal e seus possíveis desvios.

Assim, o registro de dados é essencial para qualquer programa de acompanhamento. O sistema de coleta de dados deve ser projetado de modo a envolver um mínimo de formulários, fornecendo com clareza as informações necessárias ao processo de tomada de decisões. Onde possível, os formulários devem ser projetados para fornecer as informações necessárias evitando a transcrição de dados.

Quando a tendência de um parâmetro monitorado for utilizada, por exemplo, para indicar o estado da máquina, convém apresentar os dados diretamente sob a forma de gráfico, uma vez que é possível observar com maior facilidade o que está ocorrendo.

Nos primeiros estágios de um programa de acompanhamento existe uma redundância considerável de medições. A redução da quantidade de medições efetuadas só será obtida após a acumulação de experiência suficiente das condições normais e dos defeitos apresentados.

É sempre oportuno ressaltar a importância do registro de todas as particularidades relevantes das máquinas, dos equipamentos monitorados e dos testes. A falta de dados quando uma técnica de acompanhamento indica uma tendência de falha é uma das dificuldades mais comuns no



processo de tomada de decisões. Quando a operação envolve muitos equipamentos deve-se considerar a vantagem do armazenamento e da apresentação de dados em computador.

2.3.5 - Análise de tendência de parâmetros

Quando se dispõe de dados suficientes relativos aos parâmetros monitorados de máquinas similares, é possível correlacionar diretamente o estado das máquinas com o parâmetro monitorado.

As tolerâncias aceitáveis de componentes, dimensões e acabamentos de superfície provocam variações significativas em muitos parâmetros monitorados.

Uma técnica bastante útil consiste em acompanhar a tendência dos valores assumidos pelos parâmetros.

Pode-se considerar que a vida de um equipamento é afetado por dois grupos distintos de defeitos. Os defeitos de infância, tais como folgas inadequadas, superfícies rugosas em contato e resíduos de montagem ou de usinagem tendem a se eliminar com o tempo, originando o que se conhece por período de amaciamento.

Durante este período, a variável que se acompanha irá progressivamente ter seu valor reduzido, a exemplo da temperatura ou do nível de vibração de um mancal.

Nesta fase de vida do equipamento convém acompanhá-lo cuidadosamente até que atinja uma fase adulta, uma vez que a probabilidade de falha é inicialmente muito alta, reduzindo-se à medida que defeitos de infância sejam eliminados durante o amaciamento.

Os defeitos de velhice do equipamento, tais como as folgas, o desgaste e a deterioração do material resultam em uma probabilidade de falha crescente com o tempo, bem como em acréscimo do valor do parâmetro que se acompanha.

O parâmetro monitorado geralmente varia de forma consistente, decaindo na infância do equipamento, permanecendo constante ou crescendo suavemente na idade adulta e aumentando na velhice conforme mostra a figura 2.8.



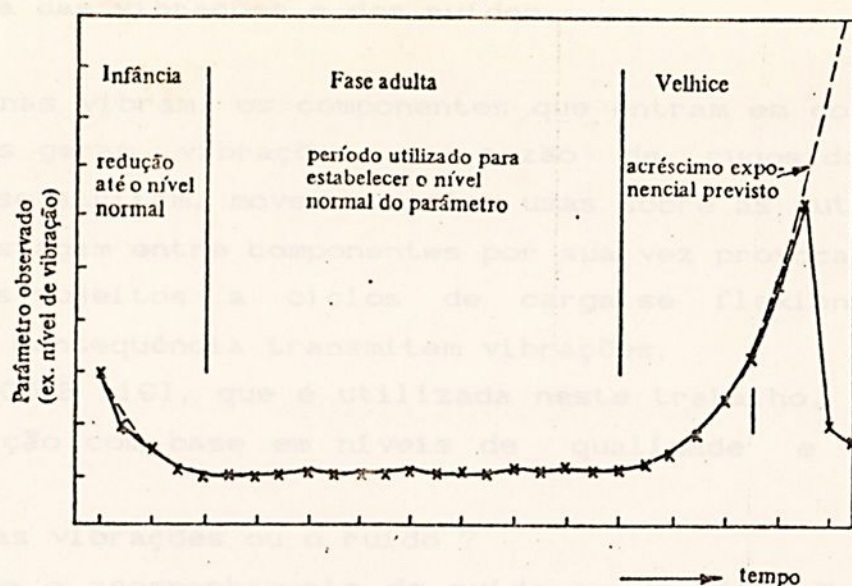


figura 2.8 - curva de tendência de uma máquina [16]

2.4 - Acompanhamento de vibrações e de ruídos

Esta é talvez a forma mais antiga de verificação do estado de um equipamento. Qualquer um já teve oportunidade de observar uma alteração de ruído no carro, quando se faz uma inspeção mais cuidadosa. O crescimento dos níveis de ruídos ou vibrações indicam a existência de defeitos, e a técnica de manutenção preditiva se baseia nesse princípio.

As seções seguintes descrevem os métodos mais recentes de acompanhamento de vibrações e de ruído, bem como os conceitos básicos sobre vibrações e sua análise, essenciais à compreensão das técnicas.

2.4.1 - A causa das vibrações e dos ruídos

Todas as máquinas vibram, os componentes que entram em contato com outros adjacentes geram vibrações em razão de rugosidade das superfícies que se atritam, movem ou rolam umas sobre as outras.

A folga de ajustagem entre componentes por sua vez provoca impactos.

Os componentes sujeitos a ciclos de carga se flexionam quando carregados e, em consequência transmitem vibrações.

A norma NBR 10082 [10], que é utilizada neste trabalho, estabelece padrões de vibração com base em níveis de qualidade e aceitação geral.

Deve-se medir as vibrações ou o ruído ?

A escolha entre o acompanhamento do ruído ou da vibração deve ser decidida para cada situação considerada. Os níveis de ruído são freqüentemente mais práticos de medir, uma vez que não se requer a adaptação de nenhum instrumento à máquina.

No entanto, outros ruídos podem mascarar os resultados. A medição de vibrações é mais seletiva e, pela sua natureza, mais facilmente reproduzível, sendo por esta razão, em geral, preferível ao acompanhamento do ruído. O transdutor é colocado sobre a parte da máquina a ser verificada ou em sua extremidade. O transdutor pode, por exemplo, ser colocado sobre o alojamento do mancal, para a verificação de seu estado, ou sobre a carcaça de uma bomba, caso seja interessante verificar sua cavitação. As vibrações estão associadas com o movimento de peças mecânicas. Assim o alojamento de um mancal é o local adequado para a maioria das medições.

2.4.2 - Os sinais de vibração

O sinal varia com o tempo em torno de um valor médio que, em geral é zero, embora nem sempre.

A pressão devido ao ruído se supõe à pressão atmosférica e também varia com o tempo em torno de um valor médio. Um transdutor montado na vertical está sujeito à aceleração de gravidade e a uma vibração variável. Nestes casos a componente constante, ou de frequência zero, é removida nas etapas de conversão ou de processamento de sinal.

Um sinal pode se apresentar sob uma das seguintes formas:



1 - Puramente senoidal, a exemplo do sinal gerado por um rotor desbalanceado. O sinal se apresenta em uma única frequência, conforme mostra a fig. 2.9 (a). Sua dimensão pode ser descrita quer pelo seu valor de pico quer pelo seu valor médio quadrático (rms), uma vez que para uma onda senoidal prevalece a relação constante $V_{\text{pico}} = \sqrt{2} V_{\text{rms}}$.

O sinal se repete em um período que é dado pelo inverso da frequência.

2 - Periódico, porém não senoidal, contendo componentes em muitas frequências discretas, conforme fig. 2.9 (b). A relação entre o valor de pico e o valor médio quadrático do sinal depende de sua forma, assim como o valor relativo das componentes de frequência diferentes.

Um sinal destes pode ser gerado pelo movimento de um pistão de um motor de combustão interna e pelas forças geradas pela combustão. O período com que este sinal se repete corresponde ao inverso da menor frequência fundamental (f_0).

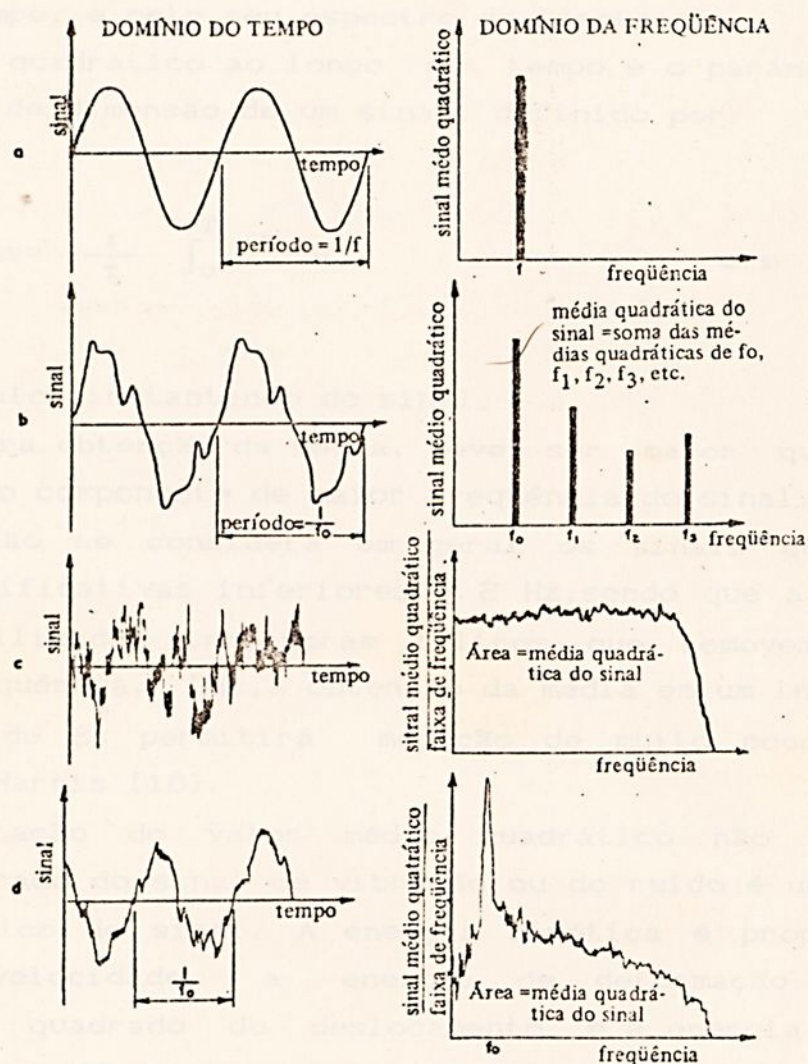


figura 2.9 - exemplos de formas de sinais [16]

3- Aleatório, sem se repetir com exatidão. Não é acompanhado normalmente no domínio do tempo, em geral deverá ser tratado no domínio da frequência. O fluxo de um fluido gera um destes sinais, bem como o contato entre as superfícies rígidas em movimento relativo.

Um sinal aleatório pode ser descrito pelo seu valor médio quadrático e pelo espectro de frequência, o qual é contínuo em uma faixa de frequência bem ampla, conforme figura 2.9(c).

4- Qualquer combinação de sinais senoidais, periódicos e aleatórios conforme figura 2.9(d), deverá também como o aleatório, ser tratado no domínio da frequência, possibilitando assim o estudo das faixas de frequência que se deseja maior atenção. Este sinal pode ser obtido no mancal de um motor elétrico de pequeno porte.

Assim, qualquer sinal pode ser descrito por uma medida de sua dimensão, por exemplo seu valor médio quadrático para um certo intervalo de tempo, e pelo seu espectro de frequência.

O valor médio quadrático ao longo do tempo é o parâmetro de maior aceitação geral de dimensão de um sinal, definido por:

$$V_{rms} = \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt, \quad (2.1)$$

onde $v(t)$ é o valor instantâneo do sinal.

O período T para obtenção da média, deve ser maior que o período correspondente ao componente de maior frequência do sinal.

No entanto, não se considera em geral os sinais que contenham frequências significativas inferiores a 2 Hz, sendo que a maioria dos equipamentos utilizados incorporam filtros que removem os sinais abaixo desta frequência. Daí, a obtenção da média em um intervalo de tempo de cerca de 2s permitirá medição de muito pouca variação, segundo Kelly e Harris [16].

A ampla aceitação do valor médio quadrático não é meramente fortuita. O quadrado do sinal de vibração ou do ruído é uma medida do conteúdo energético do sinal. A energia cinética é proporcional ao quadrado da velocidade, a energia de deformação mecânica é proporcional ao quadrado do deslocamento e a energia acústica é proporcional ao quadrado da pressão. Assim o valor médio quadrático



do sinal reflete seu valor médio de energia. Segue-se, portanto, que o valor médio quadrático de um sinal pode ser obtido somando-se os valores quadráticos das diversas componentes de frequências que compõem o sinal, isto é,

$$(V_{rms})_T^2 = \sum_n (V_{rms})_n^2 \quad (2.2)$$

onde n representa o número de componentes do sinal.

Para um sinal periódico do tipo mostrado na figura 2.9 (b), o valor médio quadrático total é dado simplesmente pela soma dos valores médios quadráticos dos componentes de cada frequência. No caso de um sinal aleatório do tipo mostrado na figura 2.9 (c), o movimento médio quadrático total é dado pela área abaixo da curva do espectro de frequência.

Este conceito de soma dos componentes médios quadráticos é importante quando a análise de frequência é usada na monitoração de um sinal.

A representação do valor do sinal é ainda mais complicada, dado o uso intenso de unidades logarítmicas em lugar das unidades lineares mais usadas, pois necessita de um maior conhecimento da pessoa encarregada de fazer a interpretação do resultado. Esta prática é vantajosa. O uso de escalas logarítmicas permite comprimir uma faixa bem ampla de valores em um intervalo numérico reduzido, fornecendo gráficos de precisão relativa constante ao longo da faixa.

A escala logarítmica de uso geral é a escala de decibéis, que pode ser definida em termos de energia ou de potência conforme segue :

$$L_1 - L_2 = 10 \log_{10} (E_1/E_2), \quad (2.3)$$

onde L_1 é o nível em dB correspondente a energia E_1 e L_2 é o nível correspondente a E_2 . Uma vez que a energia é proporcional ao quadrado de uma grandeza V (deslocamento, velocidade ou tensão), a equação acima pode ser descrita conforme segue :



$$L_1 - L_2 = 10 \log_{10} \left(\frac{V_1^2}{V_2^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad (2.4)$$

A fim de que esta escala em decibel possa ser usada para valores absolutos, convém definir valores de referência para as variáveis, isto é, definir o valor L_0 .

2.4.3 - Acompanhamento do sinal

O transdutor capta o sinal cujo valor é obtido ao longo do tempo e mostrado num medidor ou registrador para utilização futura.

As leituras obtidas devem ser anotadas nos registros históricos da máquina, dispostas com clareza quer sob a forma de tabela quer de gráfico. Uma variação do valor do sinal entre inspeções indica que deve ter ocorrido alguma alteração na máquina. É difícil decidir se uma dada alteração é significativa, a menos que se tenha acumulado uma grande experiência com a máquina.

As vibrações podem ser medidas em termos de deslocamento, velocidade e aceleração.

A medição da aceleração dá maior destaque às altas frequências do que às baixas, ao passo que a medição do deslocamento destaca as frequências menores. Em muitos medidores de vibração a saída de aceleração do transdutor é integrada uma ou duas vezes para fornecer, respectivamente, a velocidade e o deslocamento.

A velocidade rms é considerada a unidade de maior aplicação para medida e análise de vibração, pois com ela, é possível se obter as informações desejadas em uma faixa maior de frequência.

Porém, alguns defeitos são identificados mais rapidamente medindo-se pico - pico, como por exemplo; uma cavidade na pista de um rolamento de esferas, emite um impulso a cada vez que entra em contato com uma esfera, embora isto cause um aumento no nível médio quadrático da vibração, especialmente na frequência dos impactos, o efeito maior reside no valor de pico.

Com o uso dos instrumentos usuais de vibração, não é possível registrar picos que contenham sinais transitórios de duração inferior a 10 μ s.



2.4.4 - Análise de frequência

A análise de frequência é bastante útil para explicar a causa de um problema de manutenção, principalmente, quando se conhece com antecedência a relação existente entre um defeito e a frequência de vibração correspondente.

No processo de análise de frequência existem dois métodos que são largamente utilizados:

1) Filtragem de sinais

Emprega-se um filtro pelo qual só passam as partes de vibração que estão contidas em uma faixa de frequência estreita. A banda de passagem do filtro é movimentada sequencialmente sobre toda a faixa de frequência de interesse, de modo que se obtem uma leitura do nível de vibração independente para cada faixa. O filtro pode ser constituído por determinada quantidade de filtros individuais, contínuos e de sequência fixa, que são escolhidos sequencialmente pela frequência através da respectiva ligação.

Existem dois tipos básicos de filtros: o de amplitude de faixa de banda constante, onde o filtro é uma largura da faixa absoluta constante (ex. 3 Hz), e o filtro de amplitude de faixa de porcentagem constante, onde a largura da faixa do filtro é uma porcentagem constante da frequência central sintonizada. Não há uma resposta precisa sobre a questão do qual tipo de filtro oferece uma melhor análise, o de porcentagem constante possui uma tendência em alcançar a resposta natural dos sistemas mecânicos para vibrações forçadas e permite o traçado de uma ampla faixa de frequência em um gráfico compacto, conseqüentemente é o mais empregado. O de faixa constante fornece uma melhor resolução da frequência em frequências elevadas e, quando se utiliza uma escala de frequência linear é muito útil para a seleção de padrões harmônicos.

2) Transformada rápida de Fourier

É um algoritmo destinado a se obter a transformada discreta de Fourier, com o qual se agiliza o procedimento matemático para se identificar componentes de frequência de um sinal no domínio do tempo.

Uma das maiores vantagens da FFT sobre a análise por filtros, é que se tendo informações sobre a fase é possível facilmente efetuar uma transformação em qualquer direção desejada.



CAPITULO 3 - Levantamento do processo de produção de energia elétrica e descrição da Usina Piratininga

A Usina Termoelétrica Piratininga está situada no município de São Paulo, às margens do canal do Rio Pinheiros, bairro de Santo Amaro, junto à Usina Elevatória Pedreira e à barragem principal da Represa Billings (barragem do Rio Grande).

A Usina gera energia elétrica a partir da energia proveniente do ciclo termodinâmico - ciclo de Rankine. Seus principais equipamentos são caldeira, turbo-gerador, condensador, bombas e aquecedores de água de alimentação da caldeira.

O vapor gerado nas caldeiras, (cerca de 390 t/h, nas unidades números 1 e 2 e 450 t/h, nas unidades números 3 e 4) é superaquecido à temperatura de 496 °C nas unidades 1 e 2 e à 536 °C nas unidades 3 e 4.

O vapor chega à turbina com pressão de 60 kgf/cm² nas unidades 1 e 2 e 130 kgf/cm² nas unidades 3 e 4, é admitido através de válvulas de controle, atingindo sucessivamente diversos estágios e transferindo sua energia para o rotor da turbina.

O gerador que é acoplado à turbina transforma a energia mecânica em energia elétrica.

A capacidade total de geração é de 470 MW sendo 100 MW para cada uma das unidades 1 e 2 e 135 MW para cada uma das unidades 3 e 4.

Quando a usina atinge carga de operação, o óleo combustível é consumido à vazão de 2800 t/dia.

A usina dispõe dos seguintes equipamentos :

- 4 caldeiras;
- 4 turbinas a vapor;
- 180 bombas de 0,3 a 1200 HP;
- 76 tanques de 0,1 a 33000 m³;
- 35 ventiladores de 1 a 1000 HP;
- 4500 válvulas manuais;
- 240 válvulas de controle;
- 300t de estruturas de ETU de 88/230 KV.

Pela importância dentro do processo de geração de vapor, merecem



destaque os seguintes equipamentos :

a) Caldeira :

Designação genérica do " gerador de vapor" - trocador de calor que produz vapor, aproveitando energia de um combustível (óleo, carvão, gás, etc).

Compõe-se de diversos equipamentos que quando perfeitamente associados, resultam num aproveitamento térmico de bom rendimento.

- Fornalha :

Onde se dá combustão e conseqüentemente o aquecimento da água até sua vaporização.

- Tubulão de Vapor (tambor da caldeira) :

Onde é recolhido o vapor da água formado nos tubos da fornalha.

- Superaquecedor :

Onde o vapor é aquecido acima da temperatura de saturação.

- Queimadores :

Onde o combustível é atomizado e injetado na caldeira para combustão.

- Aquecedor de Ar :

Onde o ar de combustão é aquecido aproveitando-se o calor dos gases de combustão.

- Ventiladores forçados e induzidos :

Suprem o ar necessário à combustão e executam a tiragem dos gases da fornalha, respectivamente.

- Chaminé :

Direciona os gases para as camadas superiores da atmosfera.

Embora fisicamente, os dois últimos não façam parte da caldeira, propriamente dita, constituem o conjunto genericamente denominado "caldeira".

O condensado é injetado na caldeira pela bomba de alimentação



diretamente no tubulão de vapor, de onde se distribui para os tubos que formam as paredes de água da fornalha. Usualmente denomina-se como "água de alimentação", o condensado, a partir do "desaerador".

Com a queima do combustível, ocorre um aquecimento da água e o vapor saturado se dirige ao tubulão.

O vapor saturado seco é encaminhado ao superaquecedor e deste para a turbina sob condições controladas de temperatura e pressão.

Este ciclo de Rankine regenerativo sem reaquecimento é o utilizado pelas unidades 1 e 2 da Usina Termoelétrica Pirtatininga.

As unidades 3 e 4 operam segundo um ciclo também regenerativo porém com reaquecimento. Neste caso, o vapor superaquecido expande-se parcialmente na turbina, retorna ao "reaquecedor", sendo re-injetado na turbina para ser completada a expansão. Os demais equipamentos são similares aos apresentados para o ciclo sem reaquecimento.

Assim, a diferença fundamental entre as unidades 1 e 2 e as unidades 3 e 4, é que nestas últimas a caldeira dispõe de um "reaquecedor" e a turbina tem estágio de "alta pressão".

Outra diferença é que a caldeira possui um "economizador", onde a água de alimentação é aquecida às custas dos gases resultantes da combustão, melhorando ainda mais o rendimento da caldeira.

b) Turbina e Gerador :

O vapor superaquecido é admitido na turbina através de válvulas de controle e passa pelos diversos estágios. Cada estágio corresponde a uma roda fixa, solidária à carcaça e contendo pás diretrizes que direcionam o vapor em cada estágio, e uma roda de pás móveis, solidária ao rotor.

Desta forma, com a movimentação do rotor, o gerador que lhe está acoplado transformará a energia mecânica que lhe é transmitida pelo vapor, em energia elétrica.

O vapor, após sair do último estágio da turbina (baixa pressão e temperatura), é dirigido para o condensador.

Nas unidades com reaquecimento, após passar em estágios de alta pressão, o vapor é conduzido para a caldeira onde é reaquecido sendo em seguida re-injetado na turbina para completar seu trabalho.

O controle da potência gerada ou o "controle da carga" é realizado pela variação da vazão de vapor através da turbina, operando-se as válvulas de controle. Estas, quando completamente abertas, darão condição de potência máxima, que dependerá então somente das con -



dições de temperatura e pressão na entrada da turbina e da pressão absoluta do vapor em condensação no interior do condensador, na saída da turbina, o que em outras palavras equivale a dizer que depende da diferença de entalpia entre as condições de entrada e saída da turbina.

As condições de temperatura e pressão na entrada da turbina são definidas em projeto e podem ser mantidas constantes sempre que a máquina operar em condições normais.

A pressão absoluta do vapor em condensação irá sofrer influências externas, posto depender da temperatura da água de circulação, no caso da Piratininga, da temperatura da água do canal do rio Pinheiros

c) Condensador :

É um trocador de calor cuja finalidade é condensar o vapor proveniente da turbina.

Consiste num feixe de tubos dentro dos quais circula água para o resfriamento. Na superfície externa, o vapor em contato com o tubo resfriado condensa-se, sendo recolhido na parte inferior e novamente enviado ao ciclo.

d) Bombas :

O sistema de bombeamento tem por finalidade de aumentar a pressão do condensado, elevando-a até a pressão de vaporização na caldeira.

Estas bombas perfazem ainda o sistema destinado a vencer as perdas de carga ocorridas em todas as tubulações e no aquecedor de água.

Destacam-se as bombas de alimentação da caldeira para elevação de pressão do condensado, as bombas de extração do condensado que o succionam diretamente de condensadores, as bombas de recalque do condensado, dependendo do ciclo, localizadas entre as anteriores.

e) Aquecedores de Água :

Comumente denominados "pontos de aquecimento", estes aquecedores favorecem a operação devido ao aquecimento gradativo da água de alimentação, resultando num rendimento maior para o ciclo.

Podem ser de dois tipos :

- Superfície (carcaça e serpentina) :

Onde o vapor de extração e a água de alimentação não se misturam, podendo o condensado resultante ser enviado à linha de



água de alimentação ou drenado para um aquecedor de menor pressão, ou para o condensador

- Contato Direto (mistura) :

Onde ocorre a mistura entre água e vapor, favorecendo a transferência de calor. Ocorre no entanto a necessidade de uma bomba para transferência do condensado para outro aquecedor.

Existem ainda pontos de aquecimento que funcionam também como desaeradores, isto é, que fazem a eliminação do oxigênio dissolvido no condensado.

A figura 3.1 apresenta um esquema simplificado do funcionamento da usina :

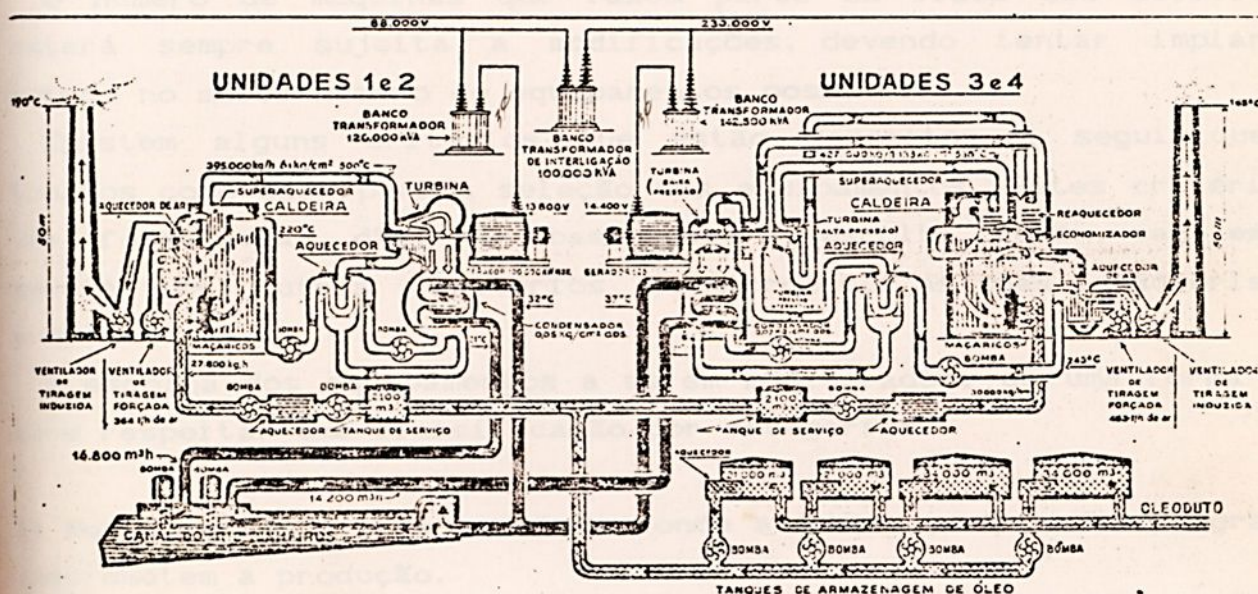


figura 3.1 - esquema simplificado de funcionamento da Usina Piratininga

CAPÍTULO 4 : Critérios para a definição dos equipamentos a serem monitorados

4.1 - Fatores que influenciam os critérios de seleção

A tarefa de selecionar os equipamentos que serão monitorados é, no mínimo melindrosa. Porque nem sempre os equipamentos que foram selecionados inicialmente são suficientes para se obter melhores resultados na manutenção.

Como a implantação do método de manutenção preditiva por análise de vibração tem um custo relativamente alto, nem todos os equipamentos de um processo de produção compensa o investimento que se deverá ter para que o mesmo faça parte da lista de equipamentos monitoráveis.

Dependendo do processo de produção, alguns equipamentos não são escolhidos para entrar na lista dos selecionados e pode acontecer que em uma certa época se decida monitorá-lo por um motivo qualquer.

O número de máquinas que fazem parte da lista dos selecionados estará sempre sujeita a modificações, devendo tentar implantar o método no maior número de equipamentos possível.

Existem alguns critérios que estão descritos a seguir, que são tomados como base para a seleção dos equipamentos. Estes critérios, de uma forma geral, dão uma base para a escolha. Porém, cada empresa poderá ter outros critérios de acordo com as suas características próprias

A escolha dos equipamentos a serem monitorados, de uma forma geral deve respeitar uma classificação por categorias :

- 1) Equipamentos vitais e únicos, onde a quebra ou paradas programadas comprometem a produção.
- 2) Equipamentos vitais mas com duplicata onde a pane ou parada em ambas unidades comprometem rigorosamente a produção.
- 3) Equipamentos não vitais com duplicatas, cuja perda não afetará a produção.
- 4) Equipamentos não vitais em operação intermitente.



Outros fatores também influenciam na classificação dos equipamentos, tais como :

1) Fator de Segurança :

Se o equipamento está trabalhando com materiais perigosos, tóxicos ou líquidos inflamáveis, suas condições devem ser sempre bem monitoradas.

Se uma pane vier a prejudicar o pessoal de operação, como perda de ventilação por exemplo, então seria preciso um cuidadoso monitoramento para tais máquinas.

2) Probabilidade de Pane :

Operação de equipamentos até o limite da vida útil e ou materiais rudimentares devem ser monitorados naturalmente com muito mais cuidado de que os equipamentos leves em serviços rotineiros.

Em alguns casos o operador será obrigado a operar os equipamentos mesmo conhecendo as deficiências e suscetibilidade de pane.

Estes devem ser rigorosamente monitorados.

3) Acompanhamento :

Os equipamentos que requerem um monitoramento contínuo para sua operação normal, se encaixam perfeitamente na manutenção preditiva, dos quais os dados do seu estado real de funcionamento, poderão ser facilmente colhidos.

4) Custo e Efeito de uma Parada Repentina ou Quebra :

Se o custo de parada é elevado, ou o efeito pode ser desastroso, a manutenção preditiva é perfeitamente justificada.

5) Disponibilidade de Peças de Reposição :

Caso o equipamento seja importado, ou as peças de reposição não sejam fáceis de encontrar no mercado, este item se torna muito importante, pois o estoque mínimo pode ser menor.

6) Custo do Equipamento :

O equipamento que tem um valor elevado deve ser tratado com atenção, pois caso ocorra um dano de grandes proporções, acarretará em um prejuízo muito grande para a empresa.



Como exemplo pode-se citar :

- Um equipamento único, seja ele um compressor, turbo gerador de potência, unidade de propulsão marítima ou aeronáutica são exemplos de equipamentos que devem ser classificados na categoria 1.
- Ventiladores, bombas, turbo-geradores marítimos, compressores, série de bombas de processos e trocadores de calor são equipamentos da categoria 2.
- Torres de refrigeração e ar condicionados, bombas de circulação de água, pequenas bombas de água e algumas bombas de processo e trocadores de calor são exemplos dos equipamentos da categoria 3.
- Os equipamentos da categoria 4 são aqueles remanescentes que devem ser monitorados, mas que não são de vital importância ou suficientemente caros para justificar muita atenção ou custo para a empresa.

4.2 - Escolha dos equipamentos nos quais serão implantados, inicialmente, a manutenção preditiva na Usina Piratininga :

A Usina Piratininga já possui uma classificação dos seus equipamentos, a 3 níveis de prioridade.

Os de primeira prioridade englobam todos aqueles considerados essenciais ao processo de geração de energia elétrica, nos quais o não funcionamento acarretaria a perda ou a redução da capacidade de geração.

Os de segunda prioridade compreende aqueles cujo não funcionamento causa uma redução no rendimento térmico do ciclo termodinâmico ou redução na confiabilidade operacional.

Os de terceira prioridade incluem os que não interferem no processo de geração de energia elétrica.

É interessante salientar, que o critério utilizado para esta classificação é o critério de produção.

Atualmente para os equipamentos do nível de primeira prioridade já existe um programa de manutenção preventiva já implantado, através do qual, a partir de parâmetros (tais como horas trabalhadas, número de partidas e níveis de vibração) é determinada a realização de serviços de manutenção.

Porém, de um modo geral e em função dos recursos até então disponíveis, os equipamentos de segunda e terceira prioridade vem sendo sujeitos apenas a manutenção corretiva.



Com o intuito de se implantar a manutenção preditiva nos seus equipamentos, já que toda a Usina está passando por uma modernização e deverá voltar a operar continuamente, foram reavaliadas as necessidades e as importâncias de cada equipamento dentro do sistema de geração de energia.

O primeiro passo foi levantar os equipamentos dentre as máquinas de fluxo motoras e geradoras existentes na Usina nas quais poderiam ser aplicadas a manutenção preditiva.

Dentre os equipamentos selecionados, as 4 turbinas a vapor da Usina foram excluídas de nosso processo de manutenção preditiva, pois durante o período de implantação, o sistema de monitoramento contínuo estava passando por um processo de modernização e ainda não fornecia dados de interesse.

Segundo os critérios relacionados no capítulo anterior foram selecionadas equipamentos pertencentes aos três antigos níveis de prioridade, bem como as bombas de óleo combustível, que alimentam as caldeiras, como segue :

- Das unidades 1 e 2 :

- Bombas de alimentação da caldeira;
- Bombas de extração de condensado;
- Bombas de recalque de condensado;
- Bombas de vácuo do condensador;
- Bombas de água de circulação;
- Bombas de óleo combustível de baixa pressão;
- Bombas de óleo combustível de alta pressão;
- Ventiladores forçados;
- Ventiladores induzidos.

- Das unidades 3 e 4

- Bombas de alimentação das caldeiras;
- Bombas de extração de condensado;
- Bombas de vácuo;
- Bombas de água de circulação;
- Bombas de óleo combustível;
- Ventiladores forçados;
- Ventiladores induzidos.

As fichas técnicas de cada equipamento relacionado anteriormente se encontram na referência [13].



5.1 - Diagnóse de defeitos por análise de vibrações

Todo equipamento apresenta um determinado nível de ruído e vibração devido a operação .

Algumas destas vibrações são causadas por pequenos defeitos mecânicos ou excitações secundárias perturbadoras, que afetam o desempenho da máquina.

Qualquer acréscimo do nível de vibração é um primeiro sinal do agravamento de um defeito que pode ser desbalanceamento, empenamento do eixo, trinca, rolamentos gastos, desgastes de componentes, etc.

Todo equipamento possui uma "assinatura" que é uma forma característica de vibração, a qual serve como base para a detecção de problemas.

Porém, equipamentos do mesmo tipo podem apresentar variações no comportamento dinâmico ; isto se deve as variações de ajustes, tolerâncias e principalmente defeitos, pois o comportamento dinâmico global de um equipamento é uma composição das perturbações de todos os componentes, defeitos e excitações oriundas dos elementos que compõem a máquina como : mancais, óleo lubrificante, engrenagens, etc.

Geralmente essas vibrações são transmitidas às estruturas do equipamento, as quais tornam-se fontes de ruído.

Portanto as vibrações se dão em várias direções, devido as várias excitações. O movimento em um ponto qualquer pode a superposição de várias harmônicas, conforme a figura 5.1

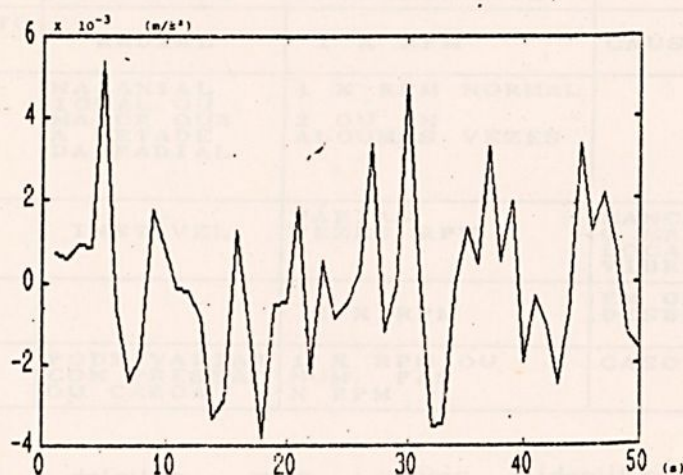


figura 5.1 - movimento de um ponto qualquer



No diagnóstico das possíveis causas destes movimentos é necessário separar as harmônicas e associá-las com algum elemento defeituoso ou irregular. As tabelas apresentadas a seguir, são das famílias existentes na Usina, e podem auxiliar na identificação de problemas.

Antes da apresentação das tabelas é válida uma pequena explicação de como interpretá-las:

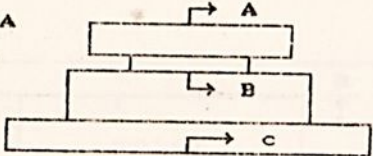
Para se identificar um defeito existem duas colunas na tabela que se deve levar em consideração: a de frequência predominate e do plano dominante.

A frequência predominante é aquela na qual ocorre o maior nível de vibração; por exemplo no caso de peças frouxas uma análise espectral mostraria no espectro um pico na frequência correspondente ao dobro da frequência de rotação da máquina.

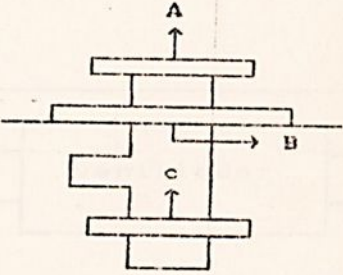
O plano dominante de vibração é o plano em que se apresenta o maior nível de vibração do ponto do mancal (A, B, C, D) que está sendo inspecionado.

PROBLEMAS EM BOMBAS VERTICAIS

COLUNA CURTA



COLUNA LONGA



DEFEITO	PLANO DOMINANTE	FREQUÊNCIA PREDOMINANTE	OBSERVAÇÃO
DESBALANCEAMENTO DAS PARTES ROTATIVAS	RADIAL	1 X RPM	CAUSA MAIS COMUM
DESALINHAMENTO-DE ACOPLAMENTO OU DE MANCAIS	NA AXIAL IGUAL OU MAIOR QUE A METADE DA RADIAL	1 X RPM NORMAL 2 OU 3X ALGUMAS VEZES	
EIXO EMPENADO			
MANCAL DE ROLAMENTO DEFEITUOSO	INSTÁVEL	VÁRIAS VEZES RPM	MANCAL DANIFICADO E O MAIS PROXIMO DO LOCAL DA MAIOR VIBRAÇÃO
PECAS FROUXAS		2 X RPM	EM GERAL ACOMPANHA DESBALANCEAMENTO
FORÇAS HIDRAULICAS CAVITAÇÃO	PODE VARIAR COM PRESSÃO OU CARGA	1 X RPM OU NUM. PAS X RPM	CASO RARO

tabela 5.2 (a)- defeitos mais usuais identificáveis pela vibração em bombas verticais



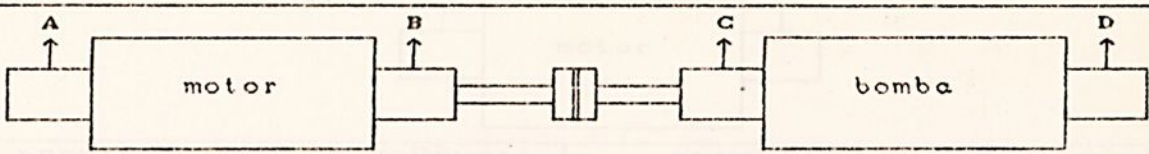
			
DEFEITO	PLANO DOMINANTE	FREQUÊNCIA PREDOMINANTE	OBSERVAÇÃO
DESBALANCEAMENTO DAS PARTES ROTATIVAS	RADIAL	1 X RPM	CAUSA MAIS COMUM
DESALINHAMENTO DE ACOPLAMENTO OU DE MANCAIS	NA AXIAL IGUAL OU MAIOR QUE A METADE DA RADIAL	1 X RPM NORMAL 2 OU 3X ALGUMAS VEZES	
EIXO EMPENADO			
MANCAL DE ROLAMENTO DEFEITUOSO	INSTÁVEL	VÁRIAS VEZES RPM	MANCAL DANIFICADO E O MAIS PROXIMO DO LOCAL DA MAIOR VIBRAÇÃO
PECAS FROUXAS		2 X RPM	EM GERAL ACOMPANHA DESBALANCEAMENTO
FORÇAS HIDRAULICAS CAVITAÇÃO		1 X RPM OU NUM. PAS X RPM	CASO RARO

tabela 5.2 (b)- defeitos mais usuais identificáveis pela vibração em em bombas horizontais

PROBLEMAS EM VENTILADORES

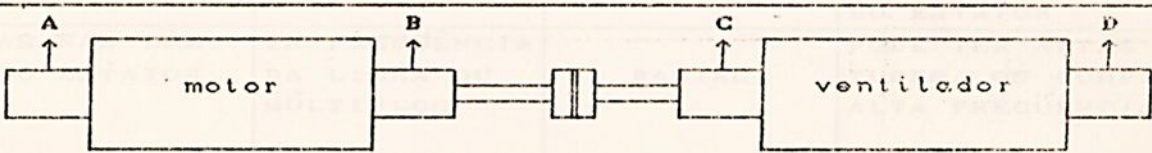
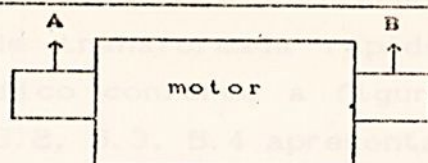
			
DEFEITO	PLANO DOMINANTE	FREQUÊNCIA PREDOMINANTE	OBSERVAÇÃO
DESBALANCEAMENTO DAS PARTES ROTATIVAS	RADIAL	1 X RPM	CAUSA MAIS COMUM
DESALINHAMENTO DE ACOPLAMENTO OU DE MANCAIS	NA AXIAL IGUAL OU MAIOR QUE A METADE DA RADIAL	1 X RPM NORMAL 2 OU 3X ALGUMAS VEZES	
EIXO EMPENADO			
MANCAL DE ROLAMENTO DEFEITUOSO	INSTÁVEL	VÁRIAS VEZES RPM	MANCAL DANIFICADO E O MAIS PROXIMO DO LOCAL DA MAIOR VIBRAÇÃO
PECAS FROUXAS		2 X RPM	EM GERAL ACOMPANHA DESBALANCEAMENTO
FORÇAS AERODINAMICAS		1 X RPM OU NUM. PAS X RPM	CASO RARO
CORREIAS DE TRANSMISSAO	AXIAL E RADIAL	1, 2, 3, 4 X RPM	

tabela 5.3 - defeitos mais usuais identificáveis pela vibração em ventiladores





DEFEITO	FREQUÊNCIA PREDOMINANTE	PLANO DOMINANTE	OBSERVAÇÃO
DESBALANCEAMENTO DO EIXO DO ROTOR	1 X RPM	RADIAL	
DESALINHAMENTO DO ACOPLAMENTO OU DE MANCAIS	1X, 2X RPM	RADIAL	
PERDAS MECÂNICAS	1X, 2X, 3X, 4X RPM, TAMBÉM 0,5X, 1,5X RPM	RADIAL	GRANDE NÚMERO DE HARMÔNICOS E POSSÍVEIS CARACTERÍSTICAS SUB E INTERHARMÔNICAS
MANCAIS DE ROLAMENTOS DEFEITUOSOS	RESSONANCIA NA FAIXA DE 1 ATE 20 KHZ	RADIAL	
OIL WHIRL E WHIP EM MANCAIS DE DESLISAMENTO	0,43 A 0,48 X RPM	RADIAL	
EXCENTRICIDADE ESTATICA	2X FREQ. DA LINHA	RADIAL	PODE SER DEVIDO A DESALINHAMENTO INTERNO DOS MANCAIS OU DO LOCAL DE AQUECIMENTO DO ESTATOR
PERDAS NAS LÂMINAS DO ESTATOR	2X FREQUÊNCIA DA LINHA OU MÚLTIPLOS	RADIAL	PODE TER ALTAS AMPLITUDES. OS COMP. DE ALTA FREQUÊNCIA
EXCENTRICIDADE DINÂMICA	1X RPM COM 2 RAMPAS NAS FREQUÊNCIAS DAS BANDAS LATERAIS	RADIAL	PODE RESULTAR DO ARQUEAMENTO DO ROTOR ROTOR DESGASTADO, OU DO AQUECIMENTO DO ROTOR
QUEBRA OU PERDAS NA BARRA DO ROTOR ROTOR EM CURTO	1X RPM COM 2 RAMPAS NAS FREQUÊNCIAS DAS BANDAS LATERAIS	RADIAL	
PERDAS NO SUPORTE DO ESTATOR DESBALANCEAMENTO DE FASE ROTOR EM CURTO	2X FREQ. DA LINHA	RADIAL	CHAMADO "PERDAS DO FERRO" DIFÍCIL DE CARACTERIZAR OS GRUPOS ATRAVÉS DE ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

tabela 5.4 - defeitos mais usuais identificaveis pela vibração em motores elétricos

Caso os sinais sejam somente de componentes harmônicas a detecção de falhas é facilitada, e através de uma filtragem efetuada por faixas de banda ou de método de transformada rápida de Fourier é possível identificar em um gráfico conforme a figura 5.5 a possível falha utilizando as tabelas 5.2, 5.3, 5.4 apresentadas.

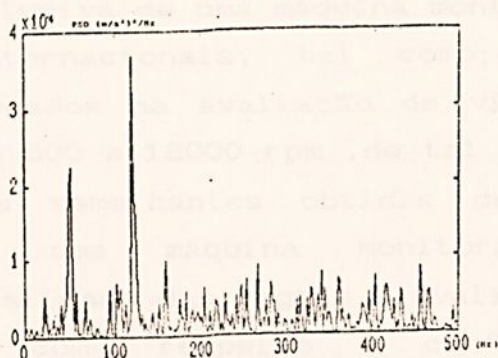


figura 5.5 - exemplo de um espectro de frequência

Um exemplo esquemático do diagrama do sistema de um analisador de vibrações, utilizado para se obter dados de vibração de uma máquina é apresentado a seguir na figura 5.6 :

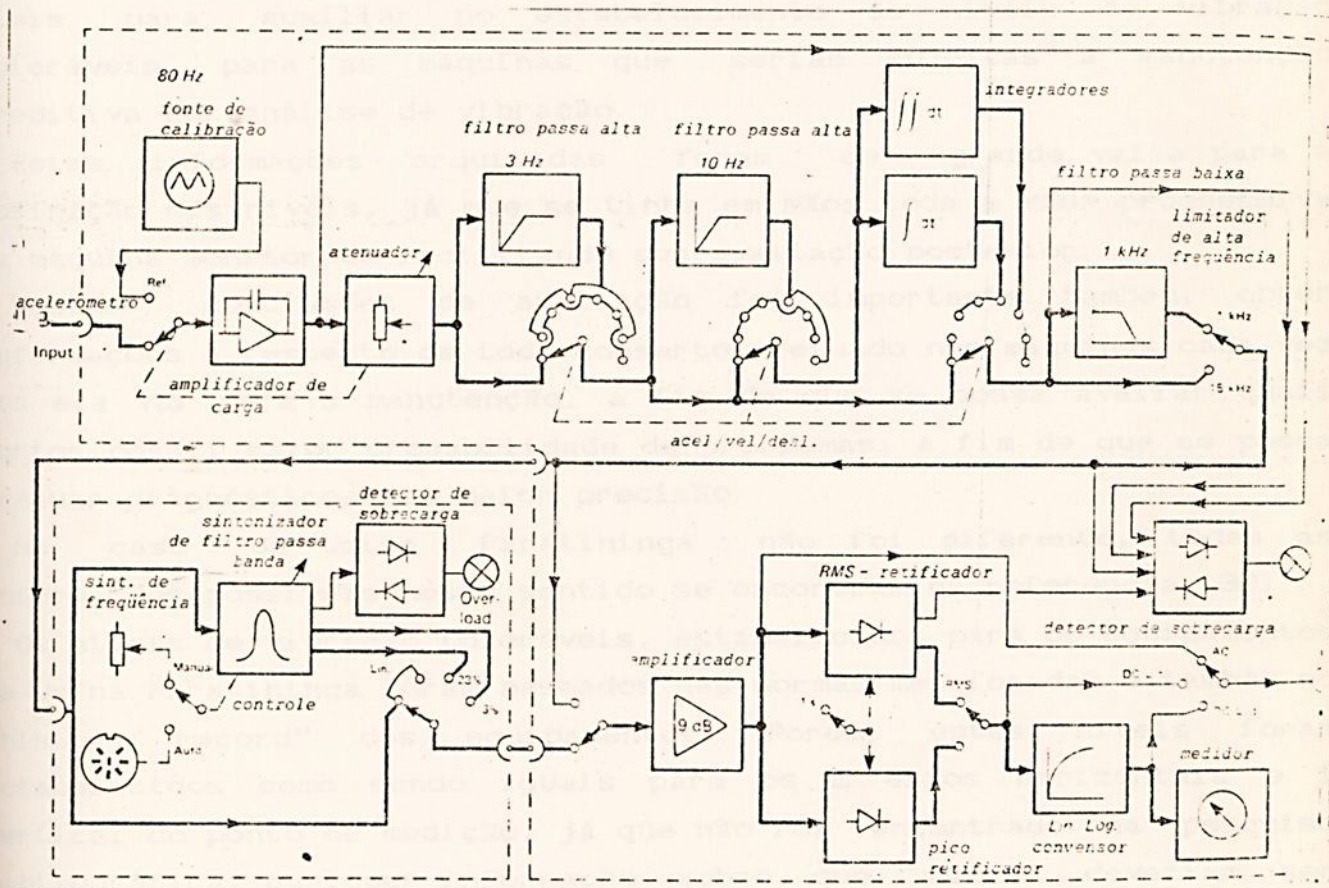


figura 5.6 - diagrama do sistema de um analisador de vibrações

5.2- Estabelecimento de níveis de vibração toleráveis

A manutenção preditiva é baseada, conforme descrito, nas condições reais de funcionamento de uma máquina. Para isso, é necessário se obter dados com os quais se tenha parâmetros de referência para se fazer uma análise conclusiva de uma máquina monitorada.

Várias normas internacionais, tal como; NBR 10082 [3] fixa limites a serem empregados na avaliação de vibrações mecânicas que operam no intervalo de 600 a 12000 rpm, de tal modo que seja possível comparar com medições semelhantes obtidas de outras máquinas, com valores obtidos de uma máquina monitorada com as mesmas características. A finalidade das regras é avaliar o nível de vibração de máquinas normais com respeito a confiabilidade, segurança e percepção humana.

Outras normas como : NEMA 20.52 [23], NEMA MG 12.05 [23], API STD 541 [23], são utilizadas também para a mesma finalidade.

No caso da Usina Piratininga as máquinas eram inspecionadas há muito tempo, e os dados foram armazenados conforme referência [36], e muito úteis para auxiliar no estabelecimento de níveis de vibração toleráveis, para as máquinas que seriam sujeitas a manutenção preditiva por análise de vibração.

Estas informações arquivadas foram de grande valia para a definição dos níveis, já que se tinha em mãos toda a vida progressiva da máquina monitorada facilitando sua avaliação posterior.

Nestas conclusões de avaliação foi importante também, obter informações a respeito de todo conserto efetuado nas máquinas, cada vez que ela vai para a manutenção, a fim de que se possa avaliar quais pontos possui maior probabilidade de problemas; a fim de que se possa efetuar diagnósticos com maior precisão.

No caso da Usina Piratininga não foi diferente, todas as informações possíveis neste sentido se encontram na referência [36].

Os níveis de vibração toleráveis, estabelecidos para os equipamentos da Usina Piratininga foram baseados nas normas mencionadas e também no "history record" dos equipamentos.. Porém, estes níveis foram estabelecidos como sendo iguais para os 2 eixos horizontais e 1 vertical do ponto de medição, já que não foi encontrado na pesquisa bibliográfica, qualquer informação sobre que valores deveriam ser aplicados para os diferentes eixos, nas categorias das máquinas selecionadas na Usina.



As tolerâncias estabelecidas foram :

UNIDADES 1 E 2

EQUIPAMENTO	DESLOCAMENTO (MIL)	VELOCIDADE (MM/S)
Bomba de óleo combustível de baixa pressão	2,5	1,8
Motor da bomba de óleo combustível de baixa pressão	2,5	1,8
Bomba de óleo combustível de alta pressão	1,5	1,8
Motor da bomba de óleo combustível de alta pressão	1,5	1,8
Bomba de recalque do condensado	2,0	1,8
Motor da bomba de recalque do condensado	1,5	1,8
Bomba de alimentação da caldeira	1,0	1,8
Motor da bomba de alimentação da caldeira	1,0	1,8
Bomba de água circulação	4,0	4,5
Motor da bomba de água de circulação	4,0	4,5
Bomba de extração de condensado	2,5	2,8
Motor da bomba de extração de condensado	2,5	2,8
Bomba de extração de ar do condensador	2,5	1,8
Motor da bomba de extração de ar do condensador	2,5	1,8
Ventilador forçado	3,0	2,8
Motor do ventilador forçado	3,0	2,8
Ventilador induzido	3,0	2,8
Motor do ventilador induzido	3,0	2,8



EQUIPAMENTO	DESLOCAMENTO (MIL)	VELOCIDADE (MM/S)
Bomba de óleo combustível	2,5	1,8
Motor da bombade óleo combustível	2,5	1,8
Bomba de extração de condensado	3,0	4,5
Motor da bomba de extração de codensado	3,0	4,5
Bomba de alimetacão da caldeira	1,0	1,8
Motor da bombade alimentação da caldeira	1,0	1,8
Bomba de água e circulação	3,0	4,5
Motor da bombade água de circulação	3,0	4,5
Bomba de extração de ar do condesador	3,0	2,8
Motor da bombade extração de ardo condensador	1,5	1,8
Ventilador forado	3,0	4,5
Motor do ventiador forçado	3,0	4,5
Ventilador indzido	3,0	4,5
Motor do ventiador induzido	3,0	4,5

O motivo do estabelecimento dos níveis de tolerância de vibração se apresentar da forma descrita acima deve-se ao equipamento de medição de vibração que foi usado na Usina permitir somente a obtenção do deslocamento, e também porque o equipamento que foi especificado permite obter valores de velccidade.

CAPÍTULO 6 - Especificação de instrumento de medida e análise de vibração

Existe uma variedade muito grande de equipamentos destinados a medida e análise de vibração, disponíveis no mercado nacional e internacional que necessitam ser avaliados.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) possui uma norma a NBR 10273 -VIBRAÇÕES EM MÁQUINAS ROTATIVAS E ALTERNATIVAS-REQUISITOS PARA INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE SEVERIDADE DE VIBRAÇÃO [2], a qual fixa os requisitos que um instrumento de medição deverá ter para medir a severidade das vibrações de máquinas, bem como as imprecisões de medidas que não devem exceder a precisão do aparelho num determinado valor.

Além desta norma da ABNT, as empresas normalmente estipulam seus próprios critérios de seleção para o equipamento de medição de acordo com as metas a serem cumpridas por ele.

No caso da Usina Piratininga, também foram estabelecidos alguns critérios, para atender as pretensões de nosso programa e dos planos futuros da empresa.

Os critérios estabelecidos foram :

- O equipamento deverá medir e analisar os níveis de vibração simultaneamente;
- A assistência técnica fornecida pelo vendedor ou fabricante deverá ser do Brasil;
- O conceito do fabricante do equipamento no mercado;
- O equipamento deverá gerar espectros através de FFT;
- O equipamento deverá ter a possibilidade de medidas de aceleração, velocidade e deslocamento em rms e pico-pico;.
- O fornecedor do equipamento deverá dar suporte para dúvidas futuras;
- A versatilidade do equipamento, peso e dimensões;
- A possibilidade de se acoplar o equipamento a um micro-computador;
- Disponibilidade de acessórios e peças de reposição;
- A condição do equipamento fornecer condições de se montar uma equipe de análise de vibrações.

Vários fabricantes e representantes foram contatados, a nível de equipamentos nacionais e importados. Entre todos que foram pesquisados, apenas 2 puderam atender aos requisitos anteriormente mencionados.



Foram eles :

- Modelo 2515 do fabricante Brüel & Kjaer de procedência dinamarquesa;
- Modelo 890 do fabricante IRD de procedência norte-americana.

Estes dois equipamentos selecionados foram considerados os melhores, para as finalidades que a Usina pretendia.

O modelo que foi especificado para a compra foi o 2515 do fabricante Brüel & Kjaer devido aos seguintes atributos :

- O modelo é um aparelho já consagrado e com vários usuários no Brasil, o que não acontecia com o modelo 890, que é um equipamento novo e pouco conhecido no Brasil.
- A Brüel & Kjaer possui uma representação no Brasil, com técnicos treinados na própria matriz da empresa.
- Os preços eram equivalentes.
- As vantagens técnicas do equipamento da Brüel & Kjaer são superiores ao modelo da IRD, como por exemplo; a análise por "cepstro" muito utilizada para detecção de problemas em engrenagens.

Outros equipamentos poderiam perfeitamente ser utilizados, porém são equipamentos considerados destinados, ou a manutenção preditiva ou a análise simples de vibração, e como a intenção da Usina é formar um grupo de análise de problemas de vibração a partir da implantação do sistema de manutenção preditiva por análise de vibrações, optou-se pelo modelo acima mencionado .

Outras características do modelo 2515 :

1) Características de Input :

Qualquer entrada de voltagem via conector ou entrada de bateria/line-drive via conector TNC

- Entrada de voltagem :

31,8mV ao máximo de 31,6 V no fundo de escala . Impedância de entrada $1M\Omega // 50\text{ pF}$.

- Entrada de carga :

1,0 pC a 1,0 nC no fundo de escala no modo de aceleração

- Entrada via line-drive :

3,16 μA a 3,16 mA no fundo de escala no modo de aceleração. Impedância de entrada $50\ \Omega$.



- Alternador de entrada :
60 dB em 10 divisões de dB
- Controle de ganho fino :
0 a 10 dB
- Calibração da sensibilidade :
Faixa de 0,1 a 3,16 $\mu\text{C}/\text{ms}^{-2}$, $\mu\text{A}/\text{ms}^{-2}$ ou unidade mV em divisões de 10 dB. Além disso um dispositivo de calibração de 200 mV/mil (7,87 V/mm) para usar com saídas próximas.
- Parâmetros :
Para armazenagem de dados de integração simples ou dupla do sinal de entrada para obter parâmetros de velocidade ou deslocamento. Para voltagem de entrada, somente a unidade do campo cursor é modificada.
- Limite de baixa frequência :
0,3 Hz ou 3 Hz selecionado
- Precisão :
Da entrada medida para valor do cursor (com uma média de 10 espectros); melhor que ± 1 dB ou ± 1 %, qualquer que seja maior, para 0,3 Hz a aceleração de 20 KHz; 10 Hz até 20 KHz para velocidade; 10 KHz até 1 KHz para deslocamento. Abaixo de 10 KHz, as medidas de velocidade e deslocamento podem reduzir a precisão na presença de um ruído de baixa frequência dependendo do filtro passa alto.
- 2) Características de análise :
 - Faixa de fundo de escala :
Escala de frequência de 100 Hz até 20 KHz linear. Escala de frequência de 1 KHz até 20 KHz logaritimica. Seleccionável em uma sequência de 1-2-5.
 - Zoom não destrutivo :
Zoom de 5 vezes num espectro com frequência axial logaritmica.
- 3) Trigger :
 - Modos de trigger :
Interno, externo, livre.
 - Inclinação do trigger :
Positiva para nível de trigger positivo, negativa para nível de trigger negativo.
 - Nível de trigger :
Ajustável em 255 divisões, através da extensão de entrada de voltagem com nível da trigger indicado na tela.



- Retardo :

Retardo entre o trigger e o início da gravação. Ajustável em dimensões de amostras de 0,25 K entre -4,75 K até +59 K de amostras. O atraso é indicado na unidade de tempo da tela.

3) Médias :

- Controle de médias :

Partida, procedimento, parada.

- Linear :

Número máximo de médias 2000

- Exponencial :

Só no modo de frequência. Média e 8 espectros

- Proteção de sobrecarga :

Dados que induzem a uma sobrecarga são excluídos da média.

4) Funções calculadas e expostas :

- Modo de tempo:

Função de tempo instantâneo, função de média de tempo expandida no tempo. Espectro da média em função do tempo e cepstro do espectro RMS.

- Modo de frequência do eixo de frequência linear :

Espectro RMS, média do espectro RMS, densidade de energia espectral, média da densidade de energia espectral, espectro do zoom, média do espectro do zoom, cepstro de qualquer destes espectros.

- Modo de frequência com eixo axial logarítmico de frequência :

(6 % ou 23 % da faixa constante de banda)

Espectro RMS, média do espectro RMS, densidade espectral, média da densidade espectral, RMS total ou conteúdo de energia da exposição de porcentagem constante do espectro da faixa de banda.

5) Cursores :

- Cursor principal :

Amplitude junto com a frequência, quifrequência ou tempo de leitura da linha selecionada. Amplitude do cursor calibrado é dada com referência fixada. A amplitude do cursor relativo é dada em referência a um valor de referência numa linha selecionada pelo usuário.

- Cursor harmônico :

Boa regulagem disponível com eixo linear de frequência na banda base e no modo zoom.

- Integração e diferenciação :

Integração simples ou dupla ou diferenciação da leitura do cursor



para se obter, aceleração, velocidade ou amplitude de deslocamento.

6) Memória :

- Capacidade :

100 espectros de faixa de banda de porcentagem constante, 50 espectros de faixa de banda constante. Cepstro ou função do tempo ou qualquer combinação equivalente destes.

- Saídas :

Pode ser acoplado a uma impressora ,ou vídeo .

7) Especificações ambientais :

- Água e pó :

Grau mínimo de proteção sem a caixa de couro de proteção.

- Temperatura :

Operação contínua -10°C a $+45^{\circ}\text{C}$ sem a caixa de couro, -10°C a 40°C com a caixa de couro. Para operação intermitente, temperaturas acima de 55°C podem ser toleradas. Estocagem -25°C a $+70^{\circ}\text{C}$.

- Humidade :

95 % de humidade relativa do ar

8) Dimensões :

Altura : 177 mm

Comprimento : 320 mm

Largura : 430 mm

Peso : 16,2 kg



7.1 - Definição de rotas e periodicidade

Muitos dos critérios e processos discutidos, anteriormente, são utilizados para selecionar os intervalos de medições.

Para citar um exemplo, uma quebra de um rolamento tem procedimento típico muito acentuado, ocasionando grandes perdas. Onde este tipo de quebra tem uma probabilidade maior, uma proteção contínua é certamente justificada.

A experiência adquirida anteriormente é um excelente guia para selecionar os intervalos de medições.

Quando se tem máquinas protegidas por sistema de monitoramento contínuo, é possível obter-se um bom histórico, e com isso levantar suas características típicas. Geralmente nestas máquinas, nas quais se tem conhecimento de problemas passados, os dados são colhidos de suas assinaturas mensalmente.

Intervalos relativos ao funcionamento adequado e às condições dos componentes específicos como balanceamento, pressão, condições de descarga (exaustão), fluxo, vazão, etc, são geralmente coletados no início do mês em equipamentos vitais, sem duplicatas.

Condições de monitoramento devem ser feitas pelo menos em intervalos mensais em equipamentos vitais que tenham duplicata sem a necessidade de um monitoramento contínuo.

Quando se tem duas máquinas, sendo uma de reserva, e a que está em operação é trocada, a obtenção das medidas são feitas mensalmente no equipamento em operação.

A obtenção de medidas em equipamentos não vitais e em duplicata, podem em alguns casos ter um intervalo de até seis meses.

De 4 a 6 meses são recomendações para o intervalo de medições de equipamentos não vitais operando intermitentemente.

É importante salientar que, tão logo o problema seja observado, o intervalo entre a coleta de informações deve ser diminuído.

Em alguns casos, as medições devem ser feitas semanalmente ou mesmo diariamente para fornecer segurança suficiente para um aviso antecipado de quebra.

A opinião do inspetor é relevante na definição dos prazos de inspeção, ele pode reconhecer se o equipamento ainda está em condições de operação ou se deve ir para manutenção.



É muito importante definir a rota que o inspetor de vibração deve cumprir quando se define a periodicidade de medições.

Vários fatores influenciam na definição das rotas, tais como :

- família de máquinas (ex: série de bombas de alimentação);
- distância entre as unidades;
- periodicidade de monitoramento;
- dificuldade de acesso e vitalidade do equipamento monitorado;
- número de inspetores disponíveis;
- número de equipamentos de medição disponíveis, etc.

Estes fatores devem ser levados em consideração para a definição das rotas dos inspetores, quando definido o plano de manutenção preditiva.

7.2 - Rota e periodicidade de monitoramento definido para a Usina Piratininga

Com respeito a periodicidade, inicialmente a inspeção deveria ser executada mensalmente em todos os equipamentos que estivessem em operação e fizessem parte dos que foram selecionados para se implantar a manutenção preditiva por análise de vibração.

Os motivos que levaram a esta definição foram :

- As características da Usina Piratininga;
- Apesar de já existir um monitoramento de vibrações em praticamente a totalidade das máquinas, onde deverá ser implantado o novo plano de manutenção, existiu a necessidade de se fixar, novos ou confirmar os níveis de alarme e também fixar níveis de vibração para as máquinas que somente agora deverão ser monitoradas, baseado em medidas efetuadas no campo para confirmar os níveis estabelecidos, baseados em normas internacionais.
- Alguns pontos de medição que eram utilizados para monitoramento das máquinas foram alterados, conforme está na seção 7.3 e portanto há necessidade de se levantar informações sobre eles .
- A necessidade de se obter informações para alimentar o banco de dados que deverá ser montado em um computador e será utilizado para se fazer uma projeção da possível pane da máquina.



A rota do inspetor de vibrações, definida para a Usina Piratininga é a seguinte :

Caso todas as quatro unidades estejam em operação o inspetor deverá fazer o seguinte trajeto :

- 1) bombas de vácuo das unidades 1 e 2;
- 2) bomba de recalque de condensado das unidades 1 e 2;
- 3) bombas de extração de condensado do condensador das unidades 1, 2, 3 e 4;
- 4) bomba de vácuo da unidade 4;
- 5) bomba de alimentação da caldeira da unidade 4;
- 6) bomba de vácuo da unidade 3
- 7) bombas de alimentação da caldeira das unidades 2 e 1;
- 8) ventilador forçado da unidade 1;
- 9) ventilador induzido da unidade 1;
- 10) bombas de óleo combustível de baixa pressão das unidades 1 e 2;
- 11) bombas de óleo combustível de alta pressão das unidades 1 e 2;
- 12) ventilador induzido da unidade 2;
- 13) ventilador forçado da unidade 2;
- 14) ventilador forçado da unidade 3;
- 15) ventilador induzido da unidade 3;
- 16) bombas de óleo combustível das unidades 3 e 4;
- 17) ventilador induzido da unidade 4;
- 18) ventilador forçado da unidade 4;
- 19) bombas de água de circulação das unidades 1 e 2;
- 20) bombas de água de circulação das unidades 3 e 4 .

Os motivos que levaram a este roteiro foram os seguintes :

- família de equipamentos;
- distância entre os equipamentos, baseado na planta da Usina ; Piratininga que se encontra no apêndice 1.
- A existência de apenas um equipamento de medida e análise de vibração .

O apêndice 1 mostra a disposição destas máquinas na Usina Piratininga.



7.3 - Criação de fichas de acompanhamento de medidas de vibração

Antes de se definir o modelo da ficha de acompanhamento é necessário se definir os pontos específicos para medições.

Todas as medições requisitadas para definir plenamente o maquinário devem ser listadas para cada parte do equipamento a ser monitorado.

Dependendo da característica da máquina, a aquisição de dados de medição de vibração segue uma linha.

Em máquinas horizontais a medição é feita em três planos ortogonais (horizontal, vertical e axial) em cada mancal.

Em equipamentos verticais, na Usina, é preciso de um pouco mais de cuidado para a obtenção da medida de vibração, que é efetuada em duas medições horizontais em ângulo de 90 graus para cada mancal.

No plano de manutenção que a Usina Piratininga possuía existiam algumas fichas de acompanhamento de medidas de vibração, específico para algumas famílias de equipamentos; porém com a implantação do plano de manutenção preditiva por análise de vibração ocorreu a necessidade de se efetuar modificações nas fichas até então existentes conforme está descrito a seguir :

Das 3 fichas que existiam anteriormente, passou-se a ter 2 fichas que são :

- Fichas para bombas horizontais e ventiladores :

Havia duas fichas distintas para ventiladores e bombas. Atualmente o modelo será o mesmo, pois os princípios são os mesmos para a obtenção de medidas.

Nas fichas antigas estavam previstos muitos pontos para se obter dados, porém conforme os dados históricos [13], já a algum tempo estas não eram efetuadas por vários motivos, como por exemplo no ponto "V", que é o ponto de medida de vibração no eixo; não havia condições de se obter dados.

Outros pontos foram abolidos também devido a não necessidade de serem obtidas informações sobre ele (pontos E1, E2, D1, D2).

Novos pontos foram acrescentados nas fichas como 1Z, 2Z, 3Z, 4Z os quais não eram monitorados anteriormente.

Uma nova nomenclatura para os pontos de medição e eixos de referência foram estipulados bem como um novo "lay-out", conforme é possível observar nas fichas que são apresentadas a seguir, com a



finalidade de se facilitar o trabalho do inspetor de medidas de vibração e a melhor identificação da máquina.

Além destes detalhes acima mencionados foram ainda modificados:

- acrescentado campo mais completo de identificação e especificação do equipamento monitorado.
 - acrescentado local para identificação do inspetor que efetuará as medições, a fim de facilitar a resolução de possíveis dúvidas futuras.
 - acrescentado campo para anotação das tolerâncias permissíveis para o equipamento inspecionado, a fim de que o inspetor possa checar os valores medidos com os tolerados.
 - acrescentado campo para observações.
- Ficha para bomba vertical :

Como citado anteriormente as bombas verticais são equipamentos que exigem um pouco mais de atenção e prática para a obtenção das vibrações, por serem equipamentos mais complexos.

Foi tomada inicialmente como base a ficha de acompanhamento, já existente e, efetuadas algumas alterações que foram julgadas necessárias como descritas abaixo :

- modificação geral no "lay-out" da ficha de acompanhamento de vibrações com a finalidade de auxiliar o inspetor de vibrações na sua função, e melhor identificação de equipamento a ser inspecionado.
- uma nova nomenclatura para os pontos de medição e, eixos de referência foram estipulados, com a finalidade de se obter melhores informações sobre o estado real da máquina inspecionada.
- acrescentou-se outros pontos para se obter dados, pois os pontos que anteriormente eram inspecionados não eram suficientes para se obter diagnóstico da máquina em questão.

Como ocorreu na ficha para bombas horizontais e ventiladores foram ainda modificados :

- acrescentado campo mais completo de identificação e especificação do equipamento;
- acrescentado campo para identificação do inspetor que efetuará as medições, a fim de facilitar a resolução de possíveis dúvidas futuras.
- acrescentado campo para anotação das tolerâncias permissíveis para o equipamento inspecionado, a fim de que o inspetor possa checar os valores medidos com os tolerados;



- acrescentado campo para observações.

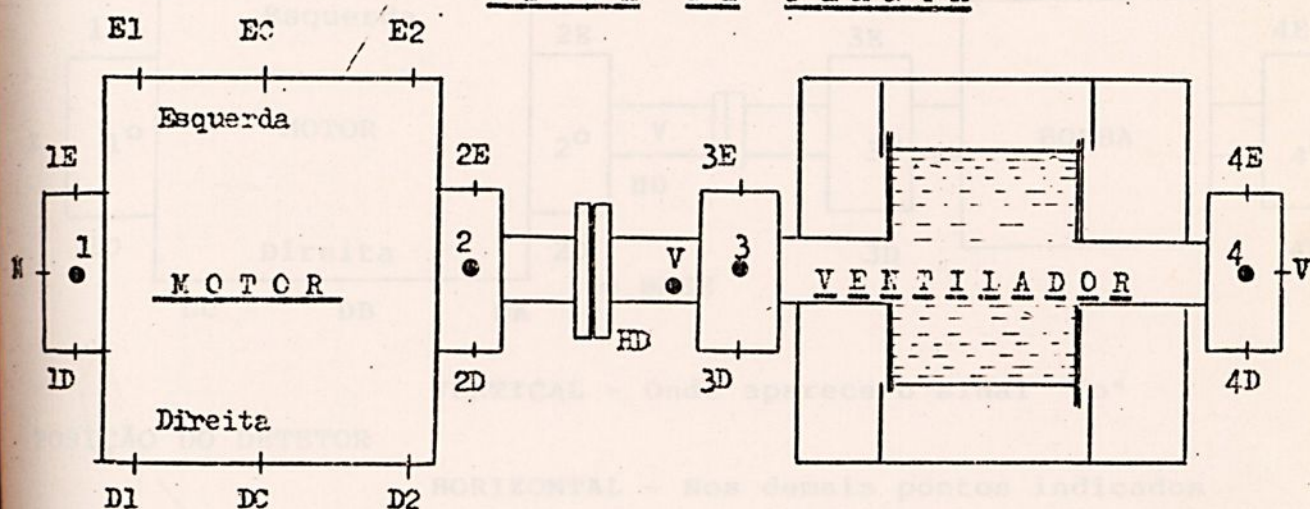
A seguir são apresentados os modelos que eram utilizados anteriormente e os modelos novos implantados.

V E N T I L A D O R.....

Data:.....

Sentido de rotação.....horário (olhando-se do motor para o ventilador).

V I S T A D E P L A N T A



POSIÇÃO DO DETETOR: VERTICAL - onde aparece o sinal "e"
HORIZONTAL - no sentido do eixo nos demais pontos

M O T O R						M A N C A I S											
Esquerda			Direita			Nº 1			Nº 2			Nº 3			Nº 4		
E1	EC	E2	D1	DC	D2	1E	1	1D	2E	2	2D	3E	3	3D	4E	4	4D

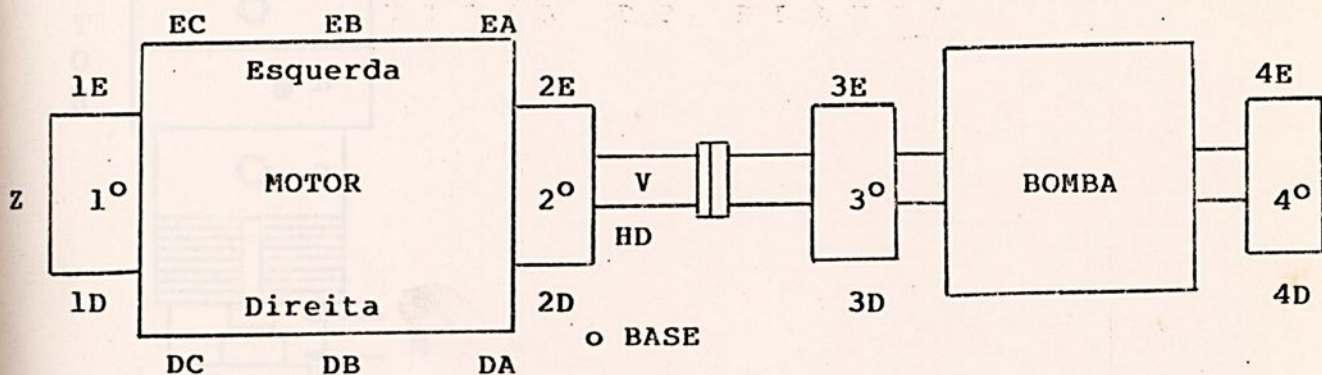
EIXO								A M P.	MANCAIS = 2 F		H O R A	Vent. Nº
M	V	V	ED						1	2		

BOMBA

Data Fluxo

Sentido de rotação horária (Olhando-se do motor para a bomba.)

V I S T A D E P L A N T A



VERTICAL - Onde aparece o sinal "o"

POSIÇÃO DO DETETOR

HORIZONTAL - Nos demais pontos indicados

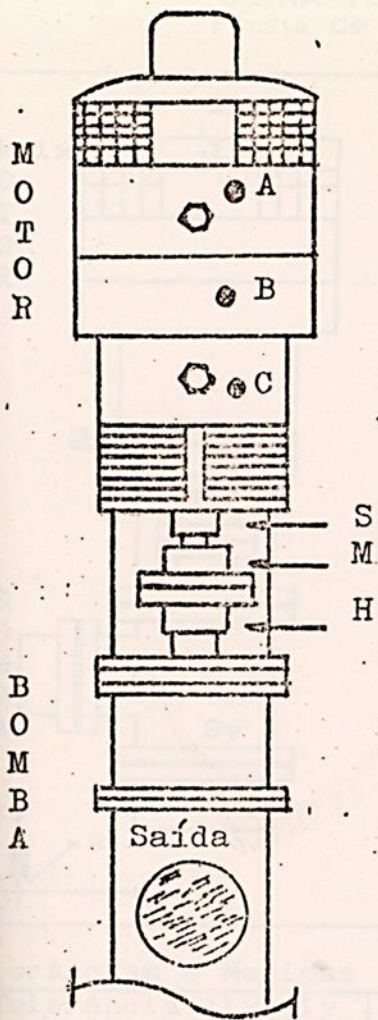
MOTOR						MANCAIS											
Esquerda			Direita			Nº 1			Nº 2			Nº 3			Nº 4		
EA	EB	EC	DA	DB	DC	1E	1	1D	2E	2	2D	3E	3	3D	4E	4	4D

Z	B A S E	EIXO						A M P	ÓLEO °C	MANCAL °C		H O R A	Bb. Nº	
		V	HD							1	2			

MEDIDAS DE VIBRAÇÃO

Bomba de água de circulação Nº _____

U.T.P. ____/____/____ Horas

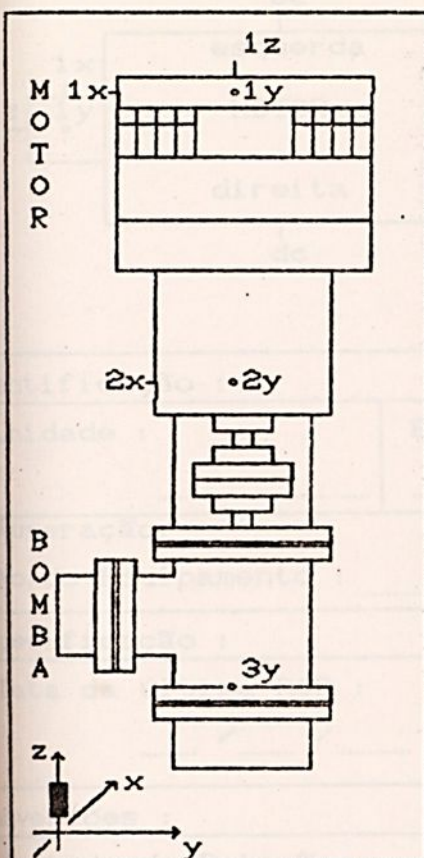


Nível do canal _____ metros

[illegible]

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA-ELETRIPAULO

Ficha de Acompanhamento de Medida de Vibração



Identificação :

Unidade :

Equipamento : Bomba de agua de circulacao

Numeração :

No. do Equipamento :

No. do Motor :

Especificação :

Data da Última RGD : / /

RPM : AMP (A) :

Fluxo :

Convenções :

Posição do Sensor : X - Radial Vertical
Y - Radial Horizontal
Z - Axial

Inspetor :

Nome :

Assinatura :

Tolerâncias e Medidas :

Tolerância	1x	1y	1z	2x	2y	3y	Nível do Canal ():		
Pico()							Psig():		
RMS ()							Amp (A) :		
DATA	MOTOR						Psig Saída ()	AMP (A)	Nível do Canal ()
	1x	1y	1z	2x	2y	3y			

Observações:

.....

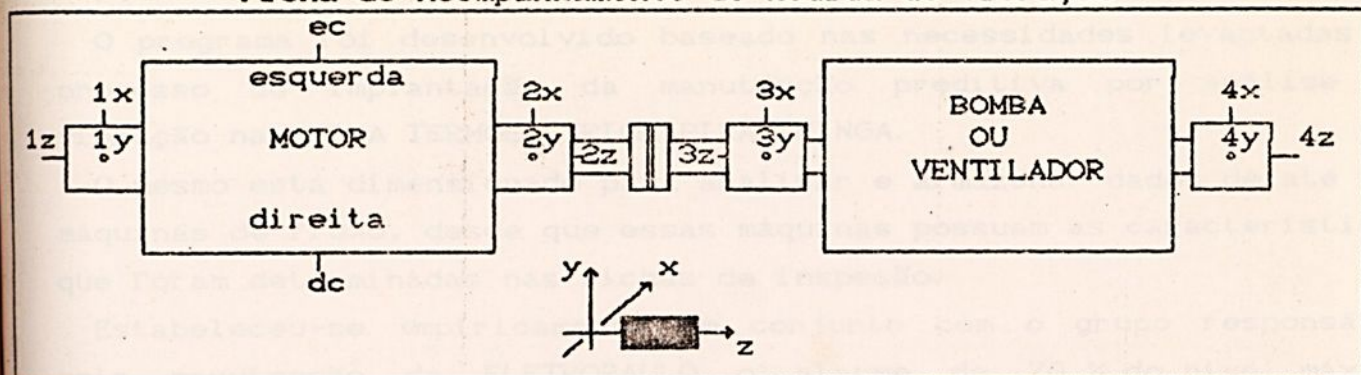
.....

.....

.....

USINA TERMOELETRICA PIRATININGA-ELETROPAULO

Ficha de Acompanhamento de Medida de Vibração



Identificação :

Unidade :

Equipamento :

Numeração:

No. do Equipamento :

No. do Motor :

Especificação :

Data da Última RGD :

RPM :

AMP (A) :

Fluxo :

Convenções :

Sentido de Rotação: horário (colhando-se do motor p/ o ventilador)

Posição do Sensor : X - Radial Horizontal
Y - Radial Vertical
Z - Axial

Inspetor :

Nome :

Assinatura :

Tolerâncias e Medidas :

	CARCAÇA		MANCAIS												
Tolerância	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AMP
Pico ()															
RMS ()															
DATA															

Observações:

O programa foi desenvolvido baseado nas necessidades levantadas no processo de implantação da manutenção preditiva por análise de vibração na USINA TERMOELÉTRICA PIRATININGA.

O mesmo está dimensionado para analisar e armazenar dados de até 100 máquinas de fluxo, desde que essas máquinas possuam as características que foram determinadas nas fichas de inspeção.

Estabeleceu-se empiricamente em conjunto com o grupo responsável pela manutenção da ELETROPAULO, o alarme de 70 % do nível máximo de tolerância de vibração, bem como o ângulo de 60° ou maior, formado pela reta que liga os dois últimos valores do gráfico, para se considerar um equipamento em estado crítico. Conseqüentemente estão sujeitos a modificação no decorrer da implantação destes programa.

Com esses valores estabelecidos em conjunto com a ELETROPAULO obtivemos bons resultados como pode-se verificar no capítulo 9 item 9.2.

Estabeleceu-se também, por sugestão da ELETROPAULO, um prazo máximo de previsão de datas de 6 meses, por motivos operacionais daquela usina. Todas as opções que o programa oferece, foram estudadas para facilitar o trabalho do grupo de manutenção da usina.

No gerenciamento dos dados é possível efetuar cadastro, manipulação de dados e geração de relatórios.

Na análise de dados, o programa foi elaborado para plotar gráficos de tendência linear e exponencial, baseado na teoria do método dos mínimos quadrados para o ajuste de curva, com a finalidade de se prever a vida "útil" da máquina em questão.

Com isso o programa emite mensagens como:

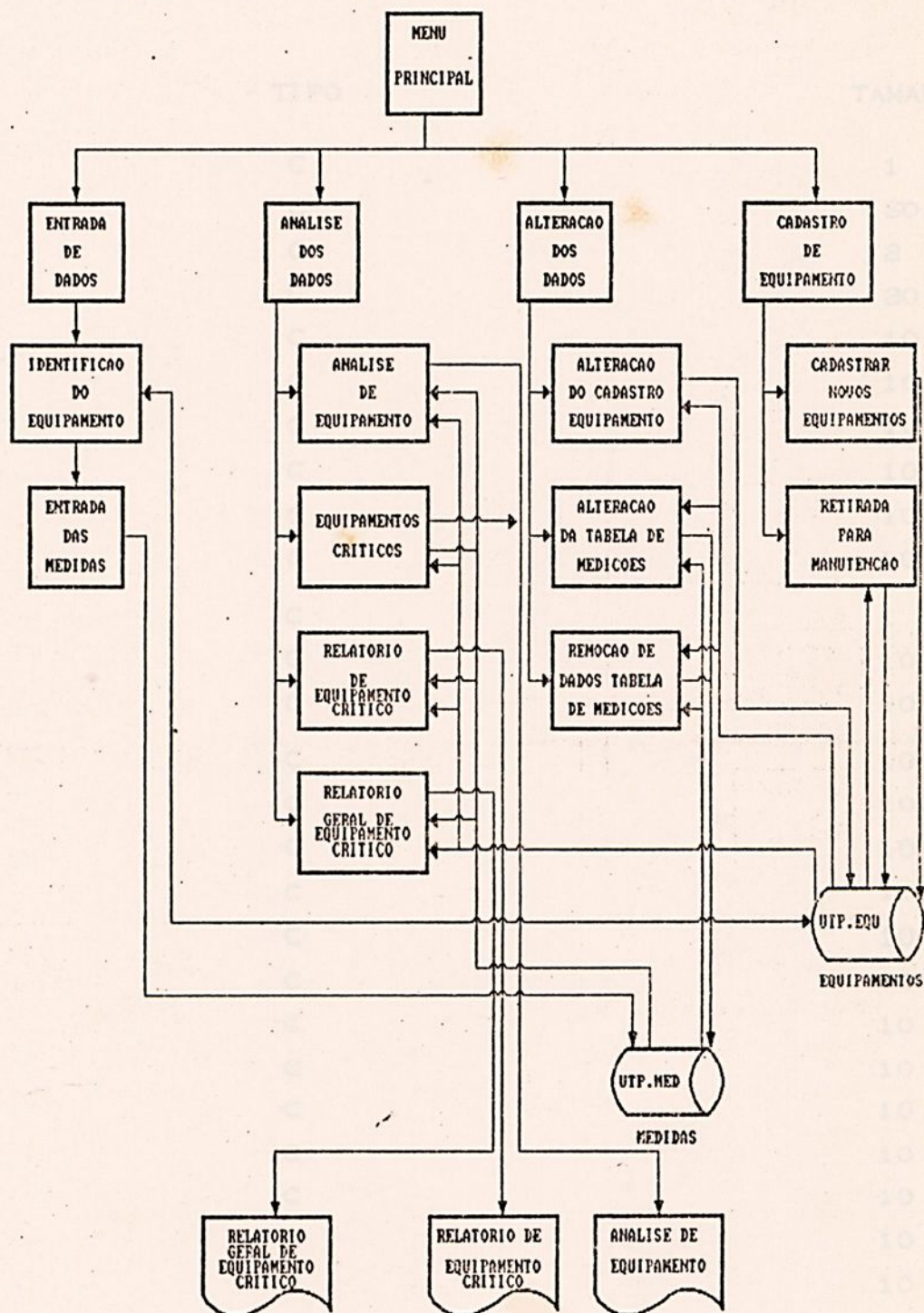
- "Não há previsão de quebra", quando o prazo para se atingir os níveis toleráveis de vibração é superior a seis meses, ou no caso de uma máquina estar trabalhando a algum tempo acima dos níveis toleráveis, significando que o nível deve ser estudado com cuidado para uma possível modificação..

- "Atenção, as medições devem ser efetuadas em intervalos menores", quando o último valor do nível de vibração se encontra acima de 70% do nível máximo de tolerância, ou quando o ângulo formado pela reta que liga os dois últimos valores do seja igual ou superior a 60°.

A seguir será apresentado o fluxograma principal do programa, a descrição dos arquivos de dados e o manual do usuário.



FLUXOGRAMA PRINCIPAL



2 . DESCRIÇÃO DOS ARQUIVOS

2.1. ARQUIVO UTP-EQU

- DESCRIÇÃO: ARQUIVAMENTO DA DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS
- TIPO: TEXTO, SEQUENCIAL
- ACESSO: SEQUENCIAL
- CAMPOS:

NOME	TIPO	TAMANHO
UNIDADE	C	1
NOME	C	50
NUMERO	C	2
MOTOR	C	20
INSPECTOR	C	10
OPERAÇÃO	C	10
RPM	C	10
AMP	C	10
FLUXO	C	10
POSICÃO	C	10
MEDIDA	C	1
EC	C	10
DC	C	10
X1	C	10
Y1	C	10
Z1	C	10
X2	C	10
Y2	C	10
Z2	C	10
X3	C	10
Y3	C	10
Z3	C	10
X4	C	10
Y4	C	10
Z4	C	10
RPMTOL	C	10
PSIG	C	10
AMPTOL	C	10
NIVEL	C	10



2.2. ARQUIVO UTP-MED

- DESCRIÇÃO: ARQUIVAMENTO DAS MEDIÇÕES
- TIPO: SEQUENCIAL
- ACESSO: RANDUMICO
- CAMPOS:

NOME	TIPO	TAMANHO
NOME	C	50
NUMERO	C	2
MEDIDA	C	1
INSPETOR	C	10
DATA	C	10
EC	REAL	
DC	REAL	
X1	REAL	
Y1	REAL	
Z1	REAL	
X2	REAL	
Y2	REAL	
Z2	REAL	
X3	REAL	
Y3	REAL	
Z3	REAL	
X4	REAL	
Y4	REAL	
Z4	REAL	
RPMTOL	REAL	
PSIG	REAL	
AMPTOL	REAL	
NIVEL	REAL	



1- Descrição do sistema:

O sistema de manutenção preditiva-SIMP tem por objetivo gerenciar e analisar os dados colhidos em campo, nas máquinas selecionadas para se efetuar a manutenção preditiva por análise de vibração na Usina Termoeletrica Piratininga - ELETROPAULO .

Os programas do sistema estão escritos em Turbo-Pascal. O sistema emite e demonstra planilhas para cadastramento e relatórios, podendo também analisar os dados de vibrações através de gráficos capazes de estimar a vida útil de um equipamento.

Escolha uma das opções:

Entrada de Dados

Análise de Dados

Alteração de Dados

Cadastro de Equipamentos

Finalização

Selecione através das setas e tecla ENTER para aceitar a opção desejada.

2- Instruções para a operação do sistema :

Chamar o programa utp.exe, o qual irá apresentar o menu principal conforme abaixo :

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0
Unesp - Campus de Guaratinguetá

Escolha uma das opções:

- Entrada de Dados
- Análise de Dados
- Alteração de Dados
- Cadastro de Equipamentos
- Finalização

Selecione através das setas e tecle ENTER para acessar a opção desejada.



- Opção Entrada de Dados :

Esta opção fornecerá uma tela na qual se deve preencher conforme os campos previamente estabelecidos exibido a seguir. A operação é auto-explicativa.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Entrada de Dados:

Identificação do Equipamento:

Unidade: 1

Equipamento: BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

N. do Equipamento: 1A

N. do Motor: NK6941141

Data da Última RGD: 29.09.81

RPM: 3600

AMP (A):

Fluxo: ÁGUA

<ESPAÇO> Seleciona, <SETAS> Movimenta, <F10> Confirma, <ESC> Cancela

Caso o equipamento selecionado seja horizontal aparecerá a seguinte tela:

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Entrada de dados:

Equipamento: BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA - 1A

EC: 0

Unidade de Medida: PICO - mil

DC: 0

1X: 0

2X: 0

3X: 0

4X: 0

1Y: 0

2Y: 0

3Y: 0

4Y: 0

1Z: 0

2Z: 0

3Z: 0

4Z: 0

Amp: 0

Inspetor:

Data:

<SETAS> Movimenta, <F10> Confirma, <ESC> Cancela



Caso o equipamento seja vertical aparecerá uma tela como :

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Entrada de dados:

Equipamento: BOMBA DE ÁGUA DE CIRCULAÇÃO - 1A

Unidade de Medida : PICO - mil

1X: 0

2X: 0

3Y: 0

1Y: 0

2Y: 0

1Z: 0

Psig Saída: 0

Amp (A) : 0

Nível do Canal: 0

Inspetor:

Data:

<SETAS> Movimenta, <F10> Confirma, <ESC> Cancela

Os pontos de medição que aparecem nestas tabelas são oriundos das fichas de acompanhamento que o inspetor utiliza (vide capítulo anterior).

- Opção Analise de Dados :

Fornecerá outro menu no qual será possível acessar a opção desejada através das setas e teclando ENTER .

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Escolha uma das opções:

Análise de Equipamento

Equipamentos Críticos

Relatório de Equipamento Crítico

Relatório Geral de Equipamento Crítico

Voltar ao Menu Principal



- Opção Análise de Equipamento :

Nesta opção através de uma tela auto explicativa, pode-se selecionar o equipamento que se deseja analisar.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Análise de Equipamento

Escolha o Equipamento:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

<SETAS> Selecciona, <ENTER> Confirma, <ESC> Cancela

Após a seleção do equipamento, ter-se-á acesso as medições efetuadas até então, no equipamento em questão.

Caso o equipamento seja considerado crítico deverá aparecer a mensagem : "Atenção as medições deverão ser feitas em intervalos menores de tempo".

Caso o equipamento não tenha estimativa ou o período para a "quebra" seja superior a 6 meses, deverá aparecer a mensagem : "Não há estimativa de quebra".

Posteriormente é apresentado um exemplo para algumas destas situações.

Equipamento: BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA

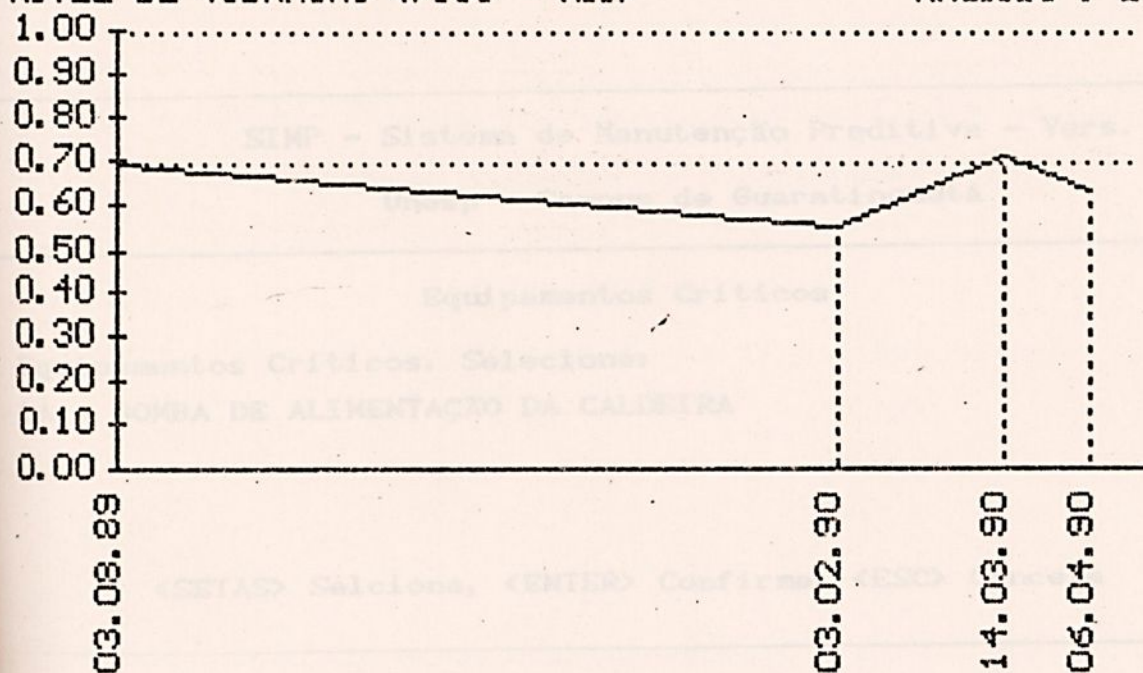
Numero: 1A

DATA	00	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AMP
03.08.89	0.70	0.60	0.70	0.30	0.40	0.90	0.80	0.00	0.50	0.40	0.00	0.50	0.60	0.00	0
03.02.90	0.55	0.55	0.47	0.24	0.28	0.63	0.79	0.47	0.39	0.47	0.00	0.39	0.20	0.26	146
14.03.90	0.71	0.79	0.68	0.28	0.68	0.87	0.71	0.55	0.39	0.39	0.87	0.59	0.77	0.39	128
06.04.90	0.63	0.63	0.47	0.47	0.71	0.94	0.94	0.31	0.47	0.39	0.79	0.47	0.31	0.39	130

Selecione com as setas e tecla <ENTER>

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - Mil)

Análise : EC



Nao ha' estimativa de quebra.

Teclando algo se terá acesso a outro menu que é auto-explicativo conforme a seguir :

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Análise de Equipamento

Tecle:

<T> para imprimir a Tabela de Medidas.

<G> para imprimir o Gráfico.

<A> para ambos.

<ESC> para voltar ao menu

< >

- Opção Equipamentos Críticos :

Esta opção fará com que o sistema selecione quais são os equipamentos cadastrados que estão em situação considerada crítica .

Após selecionado se poderá escolher dentre eles qual o equipamento que se deseja analisar, conforme a tela auto-explicativa:

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Equipamentos Críticos

Equipamentos Críticos. Selecione:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

<SETAS> Selciona, **<ENTER>** Confirma, **<ESC>** Cancela



Após a seleção o sistema fornecerá na tela quais os pontos de medição que estão críticos, e posteriormente se poderá selecionar qual ponto se deseja analisar conforme a tela auto-explicativa.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Equipamentos Críticos

Equipamentos Críticos. Selecione:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

Ponto(s) crítico(s): 1Z 2X 2Y 3Z

<SETAS> Selciona, <ENTER> Confirma, <ESC> Cancela

Após a análise teclando qualquer tecla se poderá optar por um relatório que conterà a tabela de medições daquela máquina em questão e o gráfico do ponto inspecionado.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Análise de Equipamento

Deseja imprimir relatório da análise (S/N)?



- Opção Relatório de Equipamento Crítico :

Esta opção possui as mesmas características da opção anterior, porém não se tem acesso a dados na tela . O sistema imprimirá um relatório do equipamento selecionado contendo a tabela de medições e os gráficos dos pontos críticos do mesmo.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Relatório de Equipamento Crítico

Equipamentos Críticos. Selecione:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

<SETAS> Selciona, <ENTER> Confirma, <ESC> Cancela

- Opção Relatório Geral de Equipamento Crítico :

Esta opção fará com que o sistema selecione os equipamentos críticos e forneça relatório contendo somente as tabelas de medidas dos mesmos.



- Opção Alteração de Dados :

Esta opção fará com que se tenha acesso a outro menu como a seguir :

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Escolha uma das opções:

Alteração do Cadastro de Equipamentos

Alteração da Tabela de Medições

Remoção de Dados da Tabela de Medições

Voltar ao Menu Principal

- Opção Alteração de Equipamento :

Dá acesso a um tela auto-explicativa com a qual se poderá selecionar o equipamento que se deseja efetuar uma alteração :

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Alteração de Equipamento

Escolha o Equipamento:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

<SETAS> Selciona, <ENTER> Confirma, <ESC> Cancela.

Quando selecionado, ter-se-á acesso aos dados cadastrais conforme tela a seguir, na qual se poderá efetuar modificações, em todos os campos com exceção da unidade geradora, da posição e da unidade de medida.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Alteração de Equipamento

Identificação do Equipamento:

Unidade: 1

Equipamento: BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

N. do Equipamento: 1A

N. do Motor: NK6941141

Data da Última RGD: 29.09.81

RPM: 3600

AMP (A):

Fluxo: ÁGUA

Posição: HORIZONTAL

<SETAS> Movimenta, <F10> Grava, <ESC> Cancela

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Cadastro de Equipamentos - Tolerâncias

EC: 1

Unidade de Medida : PICO - mil

DC: 1

1X: 1

2X: 1

3X: 1

4X: 1

1Y: 1

2Y: 1

3Y: 1

4Y: 1

1Z: 1

2Z: 1

3Z: 1

4Z: 1

Amp: 400

<SETAS> Movimenta, <F10> Confirma, <ESC> Cancela



- Opção Alteração na Tabela de Medição :

Esta opção dará acesso a uma tela auto-explicativa na qual se poderá efetuar a seleção do equipamento.

Após esta operação ter-se-á acesso aos dados do equipamento, no qual se poderá selecionar o dia em que se deseja efetuar as correções:

Posteriormente ter-se-á acesso a uma tela na qual se poderá efetuar tais correções.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Alteração da Tabela de Dados

Escolha o Equipamento:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

<SETAS> Selciona, <ENTER> Confirma, <ESC> Cancela

- Opção Remoção de Dados :

Nesta opção ter-se-á acesso a uma tela auto-explicativa na qual se selecionará o equipamento desejado.

Após esta operação ter-se-á acesso aos dados do equipamento em uma segunda tela onde se poderá efetuar o cancelamento desejado.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Remoção de Dados

Escolha o Equipamento:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

<SETAS> Selciona, <ENTER> Confirma, <ESC> Cancela

- Opção Cadastro de Equipamentos :

Esta opção dará acesso a outro menu no qual se poderá selecionar a opção desejada.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Escolha uma das opções:

Cadastrar Novos equipamentos

Retirada para Manutenção

Voltar ao Menu Principal

-- Opção Cadastrar Novos Equipamentos :

Esta opção fornecerá uma tela na qual se deva preencher conforme os campos previamente definidos, exibidos nas telas:

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Cadastro de Equipamentos

Identificação do Equipamento:

Unidade:

Equipamento:

N. do Equipamento:

Data da Última RGD:

AMP (A):

Fluxo:

N. do Motor:

RPM:

Posição: VERTICAL

<SETAS> Movimenta, <F10> Grava, <ESC> Cancela

Quando se for selecionar a posição do equipamento, surgirá uma nova opção, como apresentado a seguir:

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Cadastro de Equipamentos

Identificação do Equipamento:

Unidade:

Equipamento:

N. do Equipamento:

N. do Motor:

Data da Última RGD:

RPM:

AMP (A):

Fluxo:

Posição: HORIZONTAL

**Tecle <ESPAÇO> para alterar valor do campo
<SETAS> Movimenta, <F10> Grava, <ESC> Cancela**

Posteriormente, dependendo da posição selecionada surgirá a tela para o preenchimento devido das tolerâncias (níveis máximos aceitáveis de vibração) estabelecidas.

SIMP - Sistema de Manutenção Preditiva - Vers. 1.0

Unesp - Campus de Guaratinguetá

Cadastro de Equipamentos - Tolerâncias

Unidade de Medida: PICO - mil

EC:

DC:

1X:

2X:

3X:

4X:

1Y:

2Y:

3Y:

4Y:

1Z:

2Z:

3Z:

4Z:

Amp:

**Tecle <ESPAÇO> para alterar unidade de medida.
<SETAS> Movimenta, <F10> Confirma, <ESC> Cancela**



Cadastro de Equipamentos - Tolerâncias

Unidade de Medida: RMS - mm/s

1X: 0 2X: 0 3Y: 0
1Y: 0 2Y: 0
1Z: 0

Psig Saída: 0
Amp (A) : 0
Nível do Canal: 0

Tecla <ESPAÇO> para alterar unidade de medida.
<SETAS> Movimenta, <F10> Confirma, <ESC> Cancela

- Opção Retirada para Manutenção :

Esta opção dará acesso a uma tela auto-explicativa na qual é possível selecionar o equipamento que deverá sair de operação para ir à manutenção e, portanto, não fará mais parte do grupo dos equipamentos monitorados, até seu recadastramento.

Retirada para Manutenção

Escolha o Equipamento:

1A - BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA

<SETAS> Selciona, <ENTER> Confirma, <ESC> Cancela

- Opção Finalização :

Esta opção faz com que se saia do sistema e volte ao sistema operacional.



CAPÍTULO 9 - Resultados

9.1 - Resultados Obtidos

Embora o plano de manutenção preditiva tenha sido desenvolvido para a aplicação em todas as máquinas selecionadas (conforme item 4.2), o processo foi aplicado somente nas máquinas pertencentes a unidade 1, pois foi a única que operou durante o período em que foi estabelecido para se implantar o plano.

O período de coleta de dados foi de fevereiro a abril de 1990 embora estivesse previsto até junho; no entanto, neste curto intervalo, já foi possível detectar algumas máquinas que pelo critério adotado, se encontravam em situação crítica.

Foram monitoradas um total de 21 máquinas com 278 pontos de inspeção.

As máquinas onde se detectou níveis de vibração acima dos toleráveis foram :

- 1 - Bomba de alimentação da caldeira 1A;
- 2 - Bomba de alimentação da caldeira 1B;
- 3 - Bomba de alimentação da caldeira 1C;
- 4 - Ventilador forçado 1A;
- 5 - Ventilador forçado 1B;
- 6 - Bomba de água de circulação 1A;
- 7 - Bomba de água de circulação 1B.

Os demais equipamentos não apresentaram problemas, em geral não havia previsão de quebra nos gráficos de tendências dos pontos monitorados.

A seguir apresenta-se os dados colhidos nas máquinas consideradas críticas com o gráfico de tendência dos pontos que acusaram problemas, bem como gráficos de tendência dos pontos de inspeção de máquinas em que foram possíveis a plotagem dos mesmos.



USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE EQUIPAMENTO CRITICO

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1A
Motor : NK6941141
Data da ultima RGD : 29.09.81
Fluxo : AGUA
Unidade de Medida : PICO - Mil

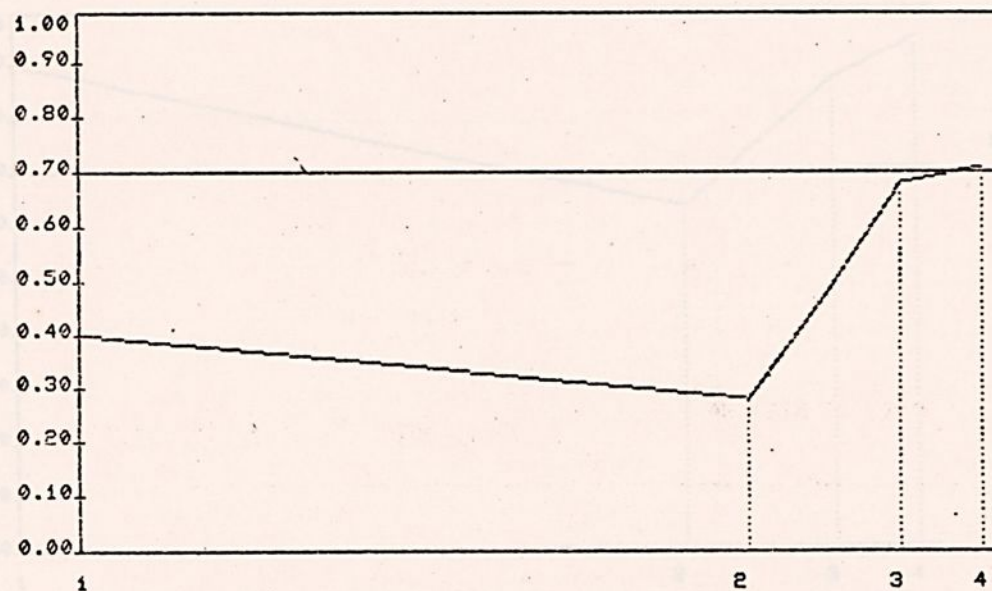
DATA	INSPETOR	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AMP
03.08.89	AGM	0.70	0.60	0.70	0.30	0.40	0.90	0.80	0.00	0.50	0.40	0.00	0.50	0.60	0.00	6
03.02.90	RMA AGM	0.55	0.55	0.47	0.24	0.28	0.63	0.79	0.47	0.39	0.47	0.00	0.39	0.20	0.26	146
14.03.90	ETI AGM	0.71	0.79	0.68	0.28	0.68	0.87	0.71	0.55	0.39	0.39	0.87	0.59	0.77	0.39	128
05.04.90	ETI AGM	0.63	0.63	0.47	0.47	0.71	0.94	0.94	0.31	0.47	0.39	0.79	0.47	0.31	0.39	130
Tolerancias :		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	400

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1A
Motor : NK6941141
Data da ultima RGD : 29.09.81
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 1Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.08.89 = 0.40
2) 03.02.90 = 0.28
3) 14.03.90 = 0.68
4) 06.04.90 = 0.71

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

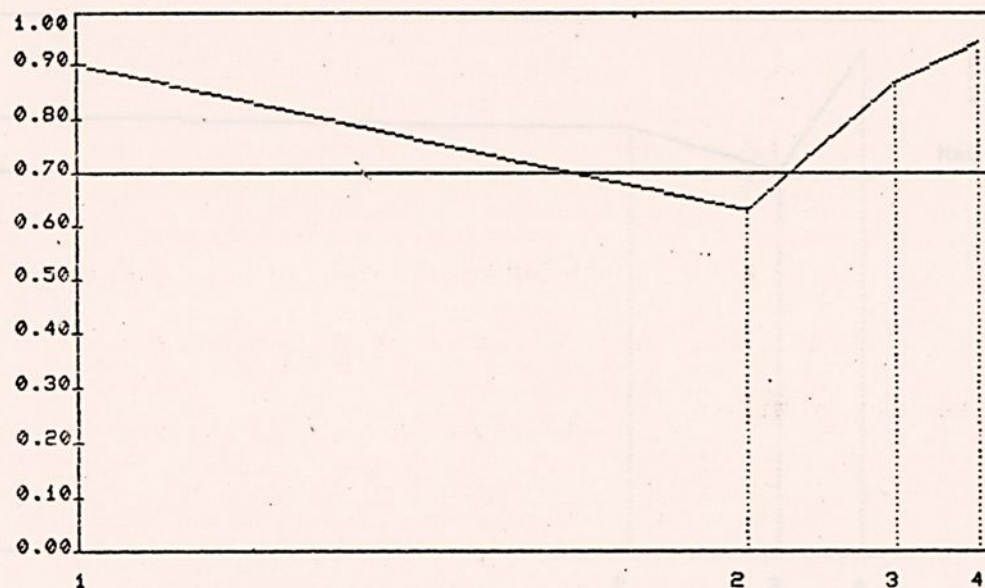
Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1A
Motor : NK6941141
Data da ultima RGD : 29.09.81
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 2X

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES

08



1) 03.08.89 = 0.90
2) 03.02.90 = 0.63
3) 14.03.90 = 0.87
4) 06.04.90 = 0.94

Nao ha' estimativa de quebra.

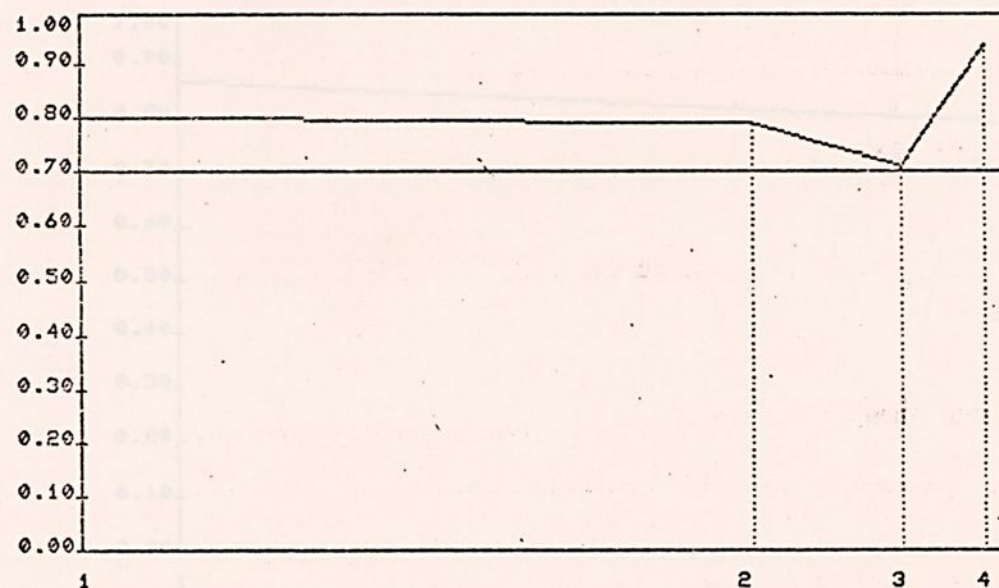
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1A
Motor : NK6941141
Data da ultima RSD : 29.09.81
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 2Y

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.08.89 = 0.80
2) 03.02.90 = 0.79
3) 14.03.90 = 0.71
4) 06.04.90 = 0.94

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

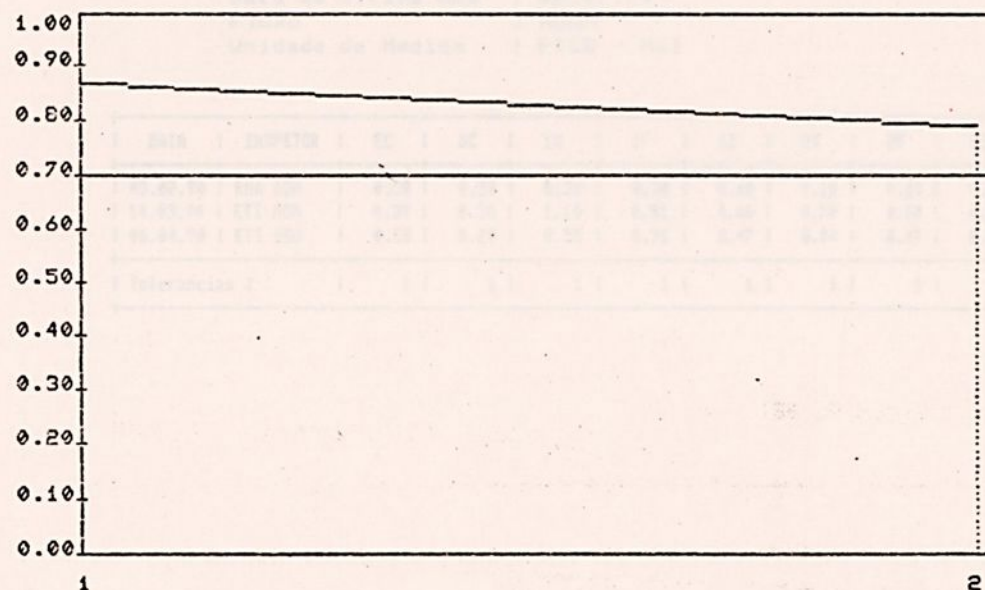
Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1A
Motor : NK6941141
Data da ultima RGD : 29.09.81
Fluxo : AGUA

USINA TERMoeLETRICA PARANAIWA
Sistema de Manutencao Preventiva
RELATORIO DE EQUIPAMENTO EM TIPO

ANALISE DO PONTO 3Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 14.03.90 = 0.87
2) 06.04.90 = 0.79

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE EQUIPAMENTO CRITICO

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1B
Motor : NK6941144
Data da ultima RGD : 02.07.79
Fluxo : AGUA
Unidade de Medida : PICO - Mil

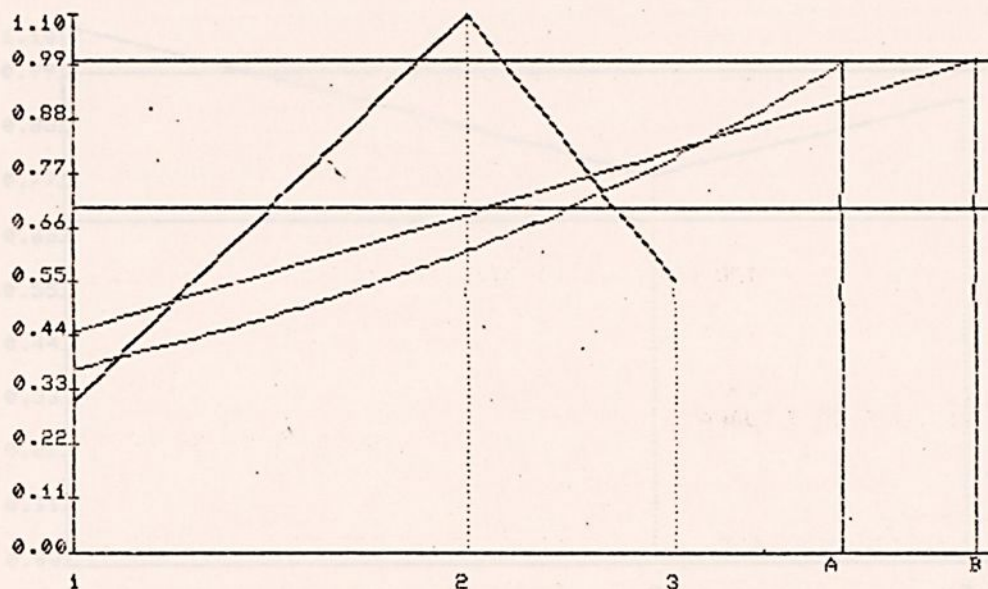
DATA	INSPETOR	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AMP
03.02.90	RMA AGM	0.50	0.50	0.30	0.30	0.60	1.10	0.60	0.60	0.70	0.70	0.00	0.80	0.20	0.40	140
14.03.90	ETI AGM	0.39	0.30	1.10	0.31	0.66	0.79	0.60	0.87	0.79	0.79	1.42	0.79	0.54	0.43	123
06.04.90	ETI AGM	0.28	0.20	0.55	0.31	0.47	0.94	0.47	0.47	0.71	0.79	1.26	0.63	0.31	0.47	125
Tolerancias :		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	400

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
 Numero : 1B
 Motor : NK6941144
 Data da ultima RGD : 02.07.79
 Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 1X

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



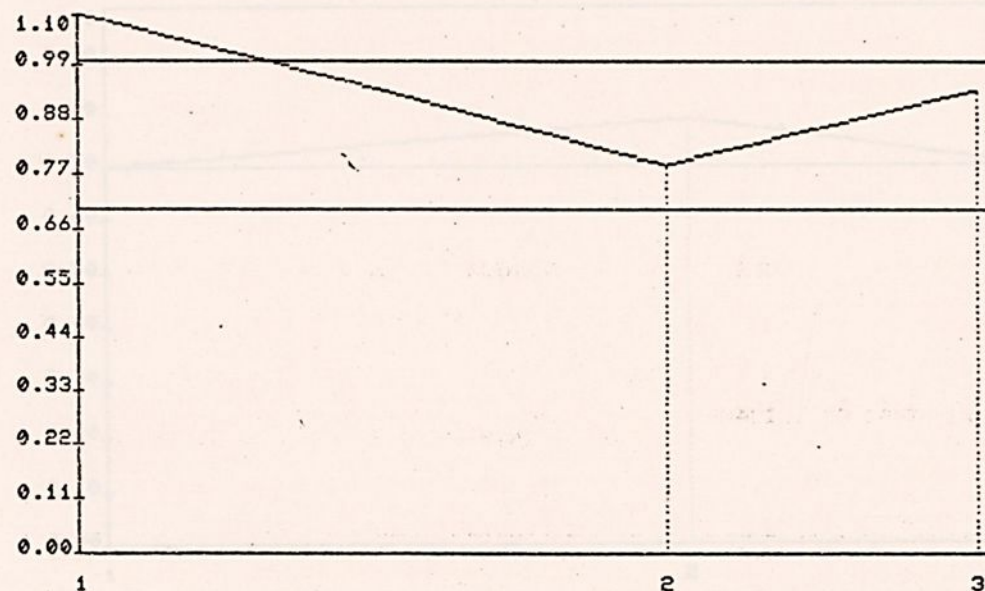
1) 03.02.90 = 0.30
 2) 14.03.90 = 1.10
 3) 06.04.90 = 0.55
 A) 23.04.90 = 1.00 Est. exponencial de quebra.
 B) 07.05.90 = 1.00 Est. linear de quebra.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1B
Motor : NK6941144
Data da ultima RGD : 02.07.79
Fluxo : AGUA

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

ANALISE DO PONTO 2X

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 1.10
2) 14.03.90 = 0.79
3) 06.04.90 = 0.94

Nao ha' estimativa de quebra.

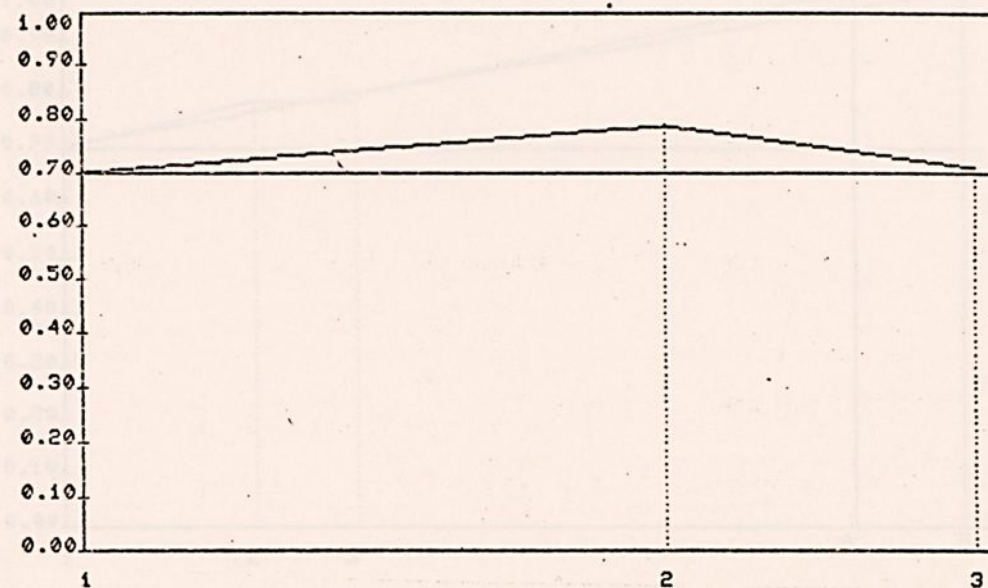
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1B
Motor : NK6741144
Data da ultima RGD : 02.07.79
Fluxo : AGUA

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

ANALISE DO PONTO 3X

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 0.70
2) 14.03.90 = 0.79
3) 06.04.90 = 0.71

Nao ha' estimativa de quebra.

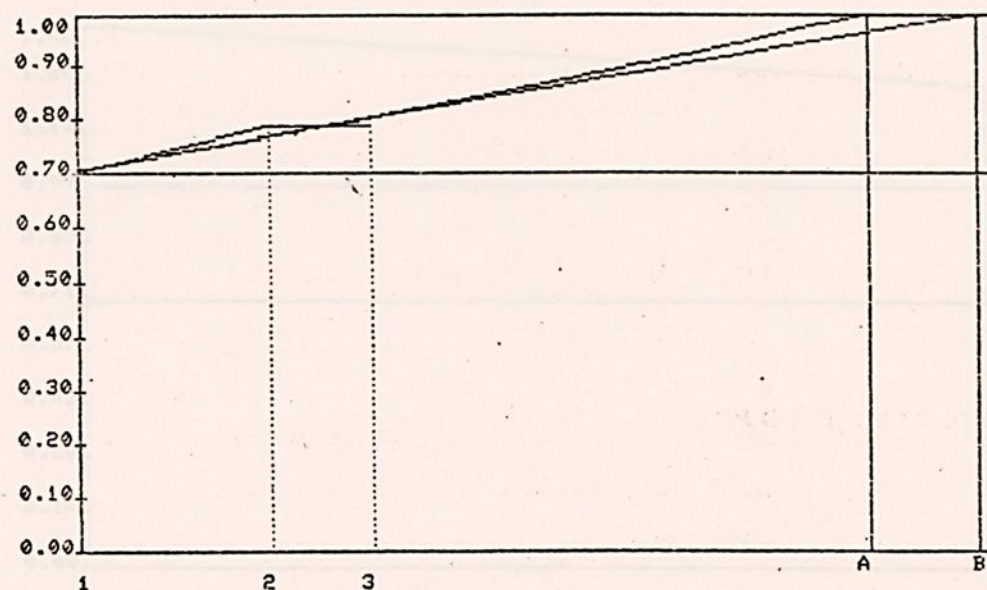
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
 Numero : 1B
 Motor : NK6941144
 Data da ultima RGD : 02.07.79
 Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 3Y

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 0.70
 2) 14.03.90 = 0.79
 3) 06.04.90 = 0.79
 A) 22.07.90 = 1.00 Est. exponencial de quebra.
 B) 15.08.90 = 1.00 Est. linear de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

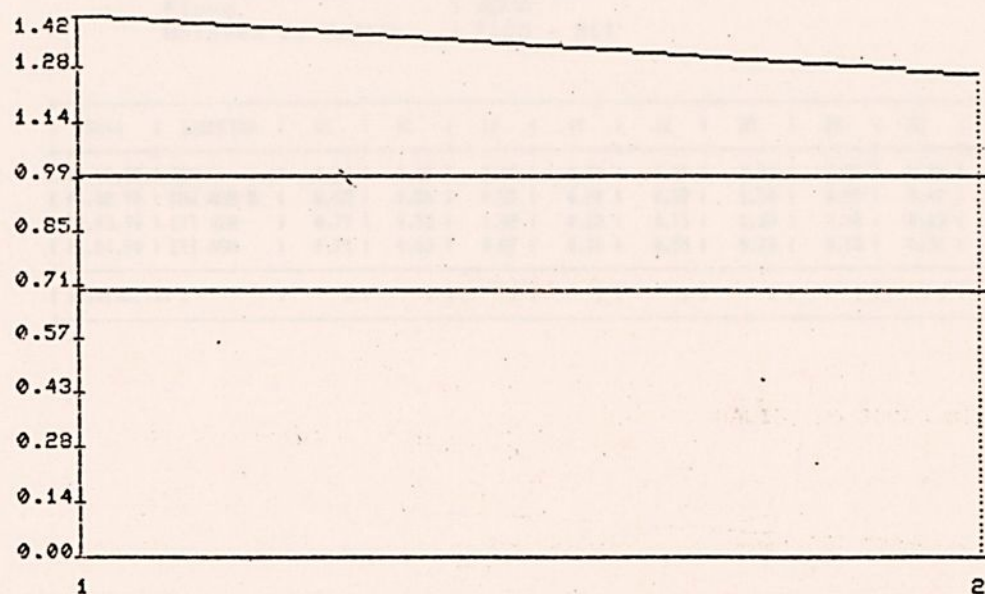
Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1B
Motor : NK6941144
Data da ultima RGD : 02.07.79
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 3Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES

88



1) 14.03.90 = 1.42
2) 06.04.90 = 1.26

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE EQUIPAMENTO CRITICO

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1C
Motor : NK 6941143
Data da ultima RGD : 08.01.68
Fluxo : AGUA
Unidade de Medida : PICO - Mil'

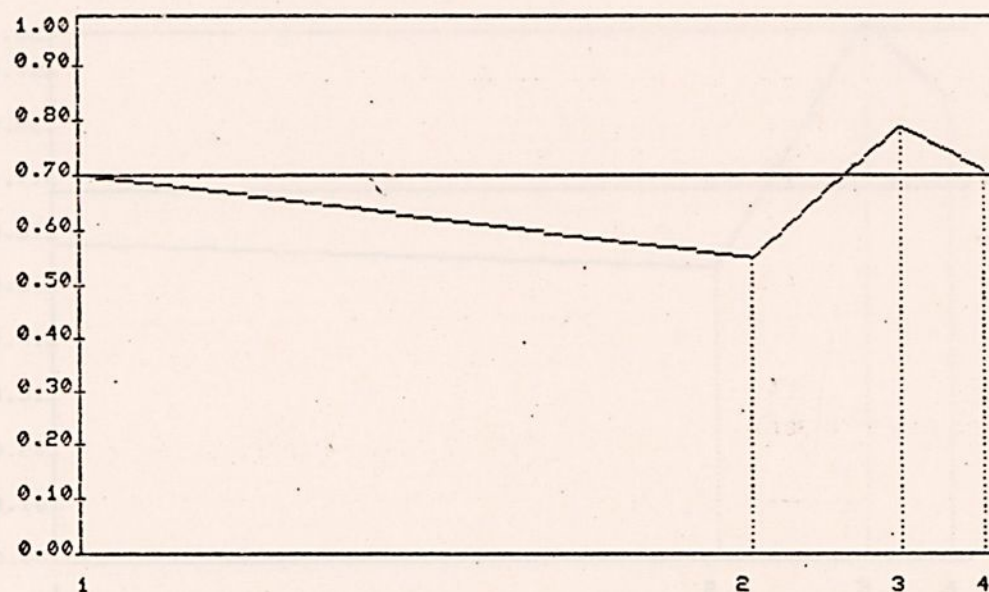
DATA	INSPETOR	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AHP
03.08.97	ACH	0.70	0.60	0.60	0.20	0.50	1.10	0.50	0.00	1.00	1.10	0.00	1.40	0.50	0.00	0
03.02.90	RMA AGM D	0.55	0.55	0.55	0.20	0.39	1.50	0.55	0.47	1.18	0.79	0.00	1.42	0.20	0.31	158
14.03.90	ETI AGM	0.79	0.55	1.02	0.22	0.71	1.18	0.60	0.63	0.94	0.94	1.65	1.42	1.04	0.35	143
06.04.90	ETI AGM	0.71	0.63	0.87	0.31	0.55	0.79	0.55	0.31	1.10	0.87	1.65	1.50	0.39	0.47	142
Tolerancias :		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1C
Motor : NK 6941143
Data da ultima RGD : 08.01.68
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO EC

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



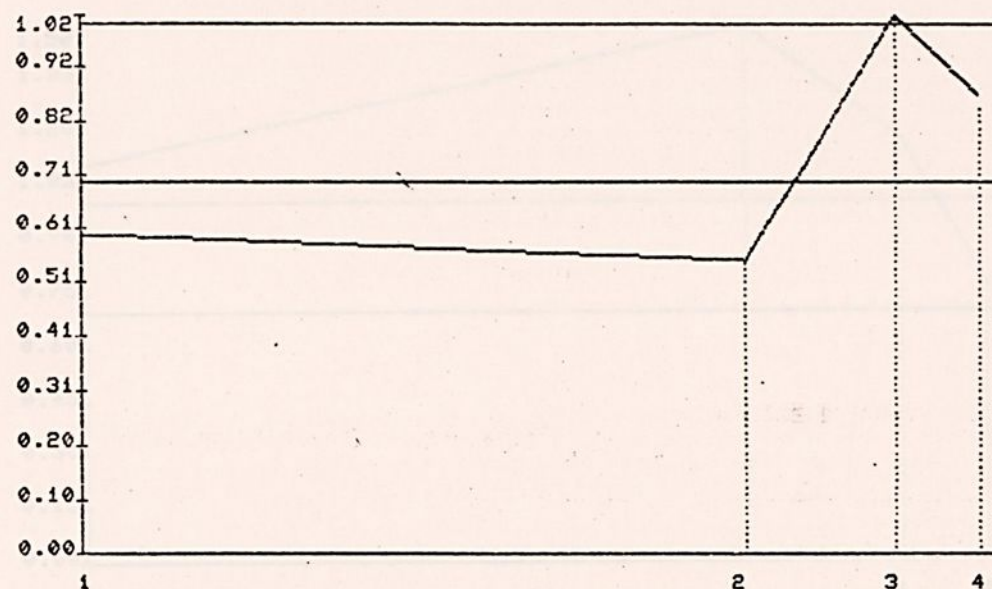
1) 03.08.89 = 0.70
2) 03.02.90 = 0.55
3) 14.03.90 = 0.79
4) 06.04.90 = 0.71

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1C
Motor : NK 6941143
Data da ultima RGD : 08.01.68
Fluxo : AGUA

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil) ANALISE DO PONTO 1X



DATAS E VALORES DAS MEDICOES

1) 03.08.89 = 0.60
2) 03.02.90 = 0.55
3) 14.03.90 = 1.02
4) 06.04.90 = 0.87

Nao ha' estimativa de quebra.

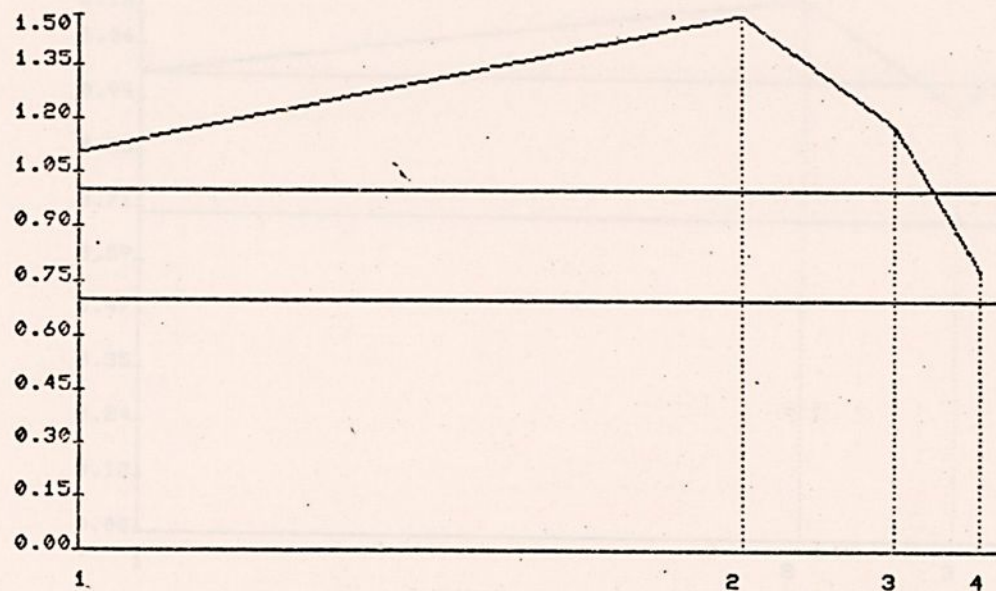
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1C
Motor : NK 6941143
Data da ultima RGD : 08.01.68
Fluxo : AGUA

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

ANALISE DO PONTO 2X

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.08.89 = 1.10
2) 03.02.90 = 1.50
3) 14.03.90 = 1.18
4) 06.04.90 = 0.79

Nao ha' estimativa de quebra.

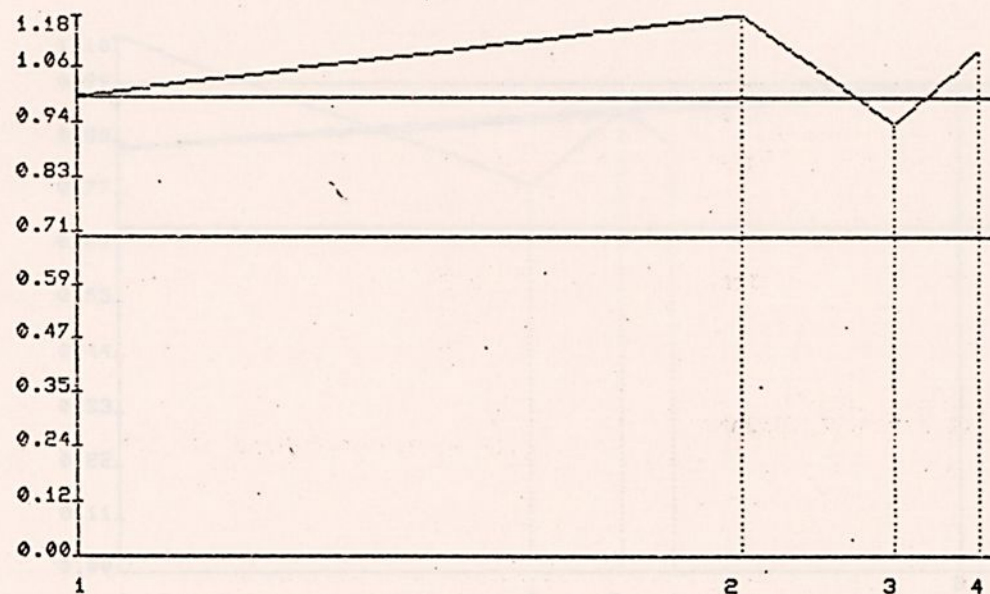
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1C
Motor : NK 6941143
Data da ultima RGD : 08.01.68
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 3X

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.08.89 = 1.00
2) 03.02.90 = 1.18
3) 14.03.90 = 0.94
4) 06.04.90 = 1.10

Nao ha' estimativa de quebra.

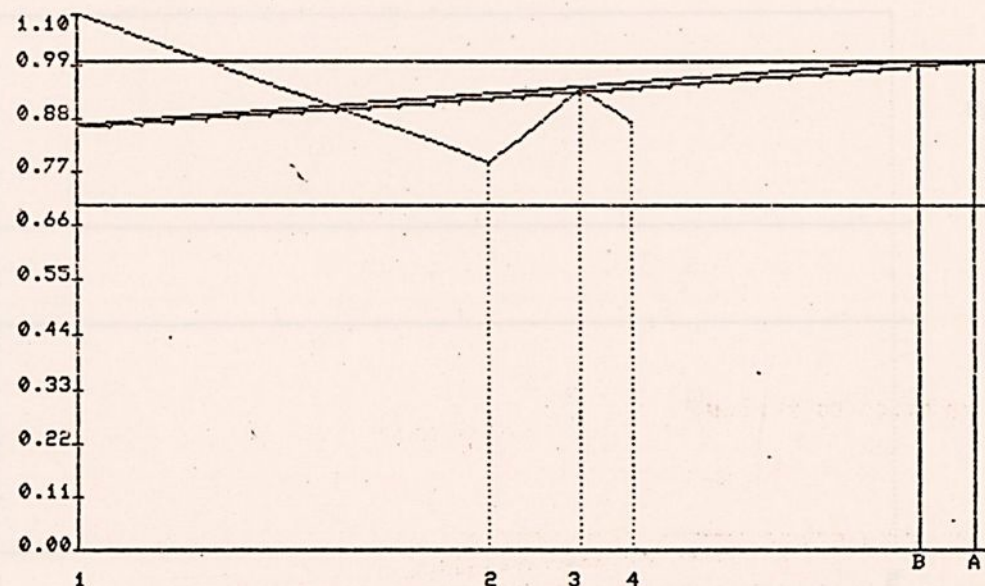
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
 Numero : 1C
 Motor : NK 6941143
 Data da ultima RGD : 08.01.68
 Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 3Y

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



- 1) 03.08.89 = 1.10
 2) 03.02.90 = 0.77
 3) 14.03.90 = 0.88
 4) 06.04.90 = 0.87
 A) 30.08.90 = 1.00 Est. exponencial de quebra.
 B) 05.08.90 = 1.00 Est. linear de quebra.

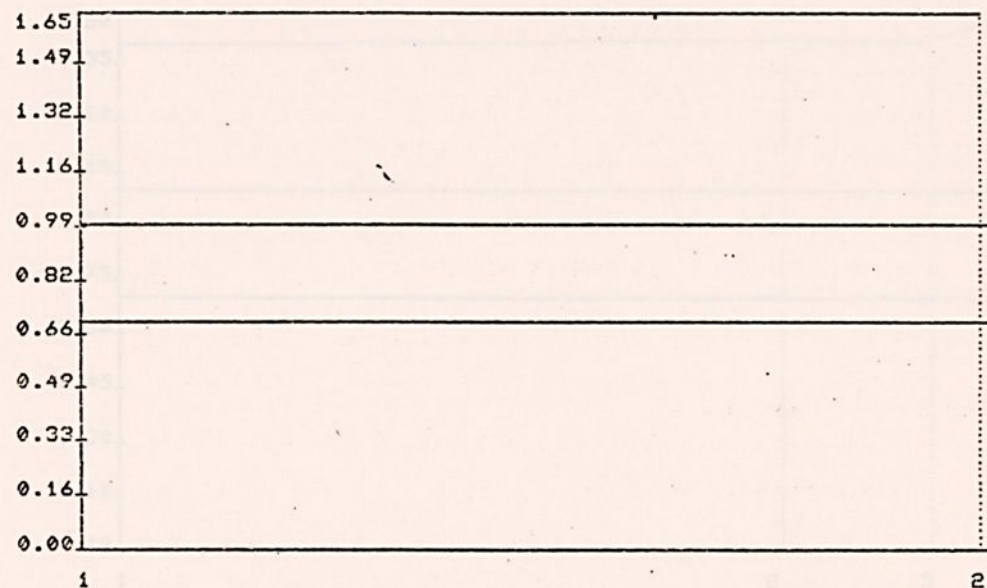
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1C
Motor : NK 6941143
Data da ultima RGD : 08.01.68
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 3Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 14.03.90 = 1.65
2) 06.04.90 = 1.65

Nao ha' estimativa de quebra.

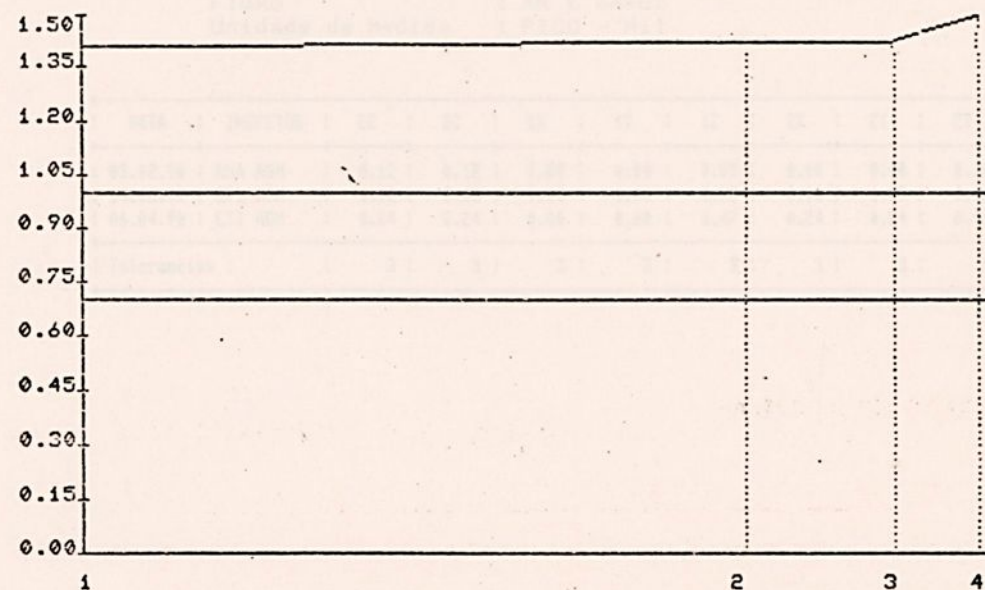
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE ALIMENTACAO DA CALDEIRA
Numero : 1C
Motor : NK 6941143
Data da ultima RGD : 08.01.68
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 4X

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



- 1) 03.08.89 = 1.40
- 2) 03.02.90 = 1.42
- 3) 14.03.90 = 1.42
- 4) 06.04.90 = 1.50

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE ANALISE DE EQUIPAMENTO

Equipamento : VENTILADOR INDUZIDO
Numero : 1B
Motor : 6942760
Data da ultima RGD : 16.05.88
Fluxo : AR E GASES
Unidade de Medida : PICO - *Mil

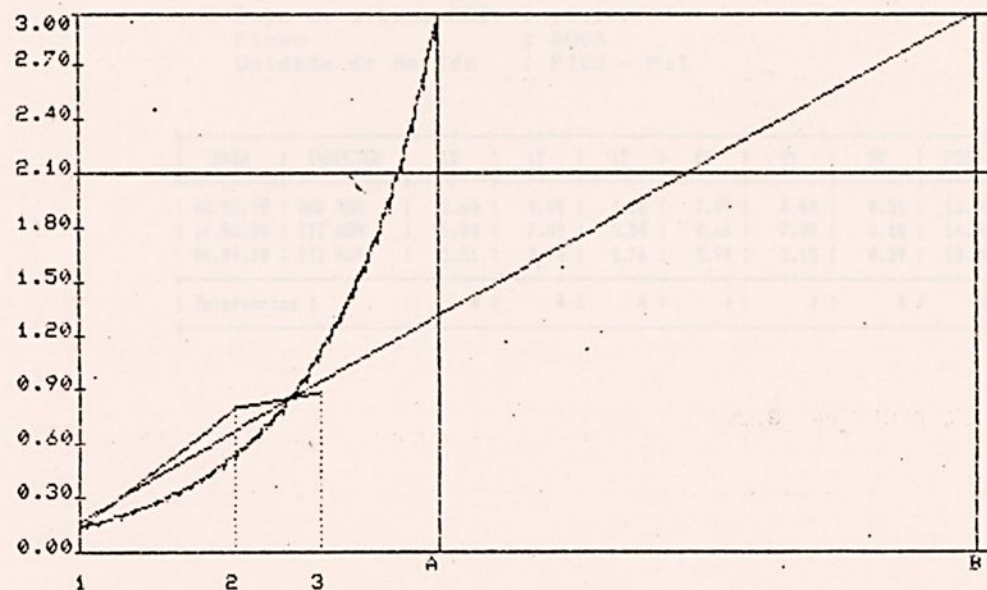
DATA	INSPETOR	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AMP
03.02.90	RMA AGH	0.12	0.12	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.94	0.47	0.12	0.79	0.12	0.63	0
14.03.90	ETI AGH	0.12	0.12	0.00	0.00	0.55	0.16	0.08	0.13	1.26	0.35	0.79	0.79	0.20	1.18	50
06.04.90	ETI AGH	0.24	0.24	0.00	0.00	0.47	0.24	0.24	0.16	1.02	0.31	0.87	0.94	0.16	0.63	50
Tolerancias :		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Equipamento : VENTILADOR INDUZIDO
 Numero : 1B
 Motor : 6942760
 Data da ultima RGD : 16.05.88
 Fluxo : AR E GASES

ANALISE DO PONTO 3Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



- 1) 03.02.90 = 0.12
- 2) 14.03.90 = 0.79
- 3) 06.04.90 = 0.87
- A) 06.05.90 = 3.00 Est. exponencial de quebra.
- B) 21.09.90 = 3.00 Est. linear de quebra.

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE EQUIPAMENTO CRITICO

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
Numero : 1A
Motor : 6942763
Data da ultima RGD : 19.10.79
Fluxo : AGUA
Unidade de Medida : PICO - Mil

DATA	INSPETOR	1X	1Y	1Z	2X	2Y	3Y	PSIG	AMP.	NIV.
03.02.90	RMA AGM	8.66	0.00	1.18	7.09	0.00	0.31	13.00	132	719.50
14.03.90	ETI AGM	11.00	7.09	3.54	8.66	7.09	0.18	14.00	123	719.50
06.04.90	ETI AGM	5.51	3.94	2.76	3.94	3.15	0.39	13.00	133	719.50
Tolerancias :		4	4	4	4	4	4	0	0	

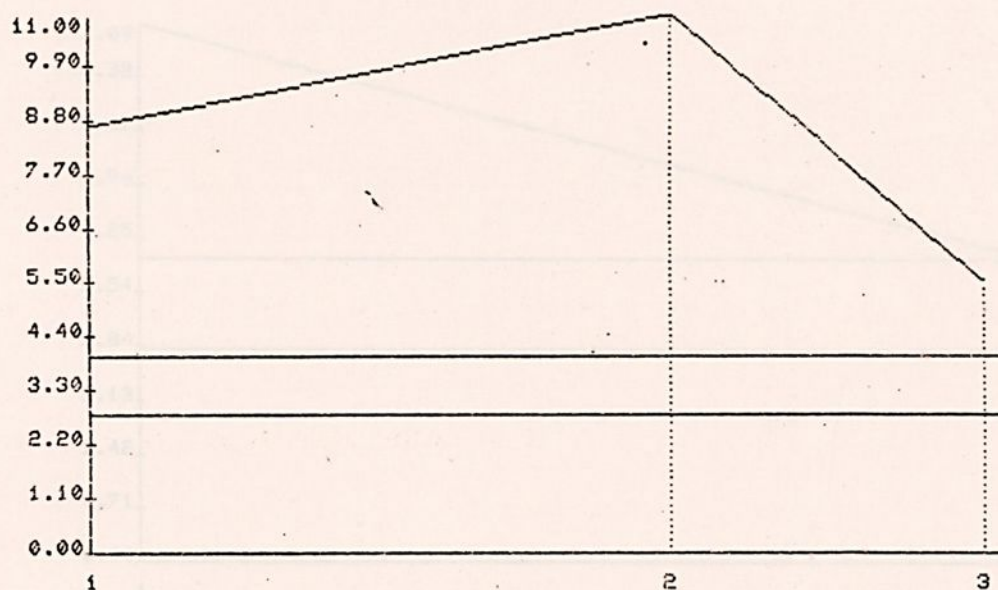
00196

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
Numero : 1A
Motor : 6942763
Data da ultima RGD : 19.10.79
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 1X

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 8.66
2) 14.03.90 = 11.00
3) 06.04.90 = 5.51

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ
BIBLIOTECA

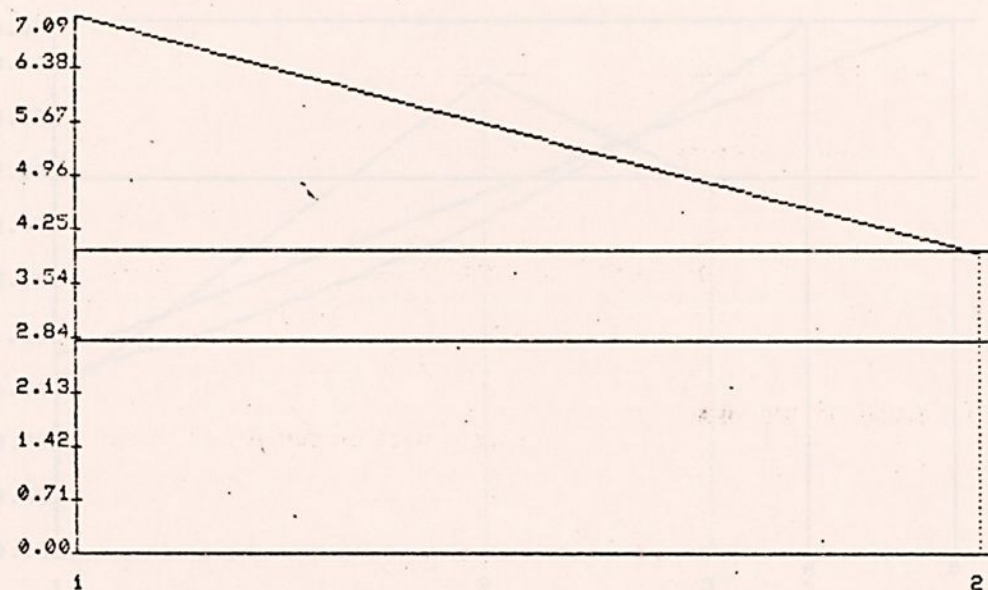
100

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
Numero : 1A
Motor : 6942763
Data da ultima RGD : 19.10.79
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 1Y

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 14.03.90 = 7.09
2) 06.04.90 = 3.94

Nao ha' estimativa de quebra.

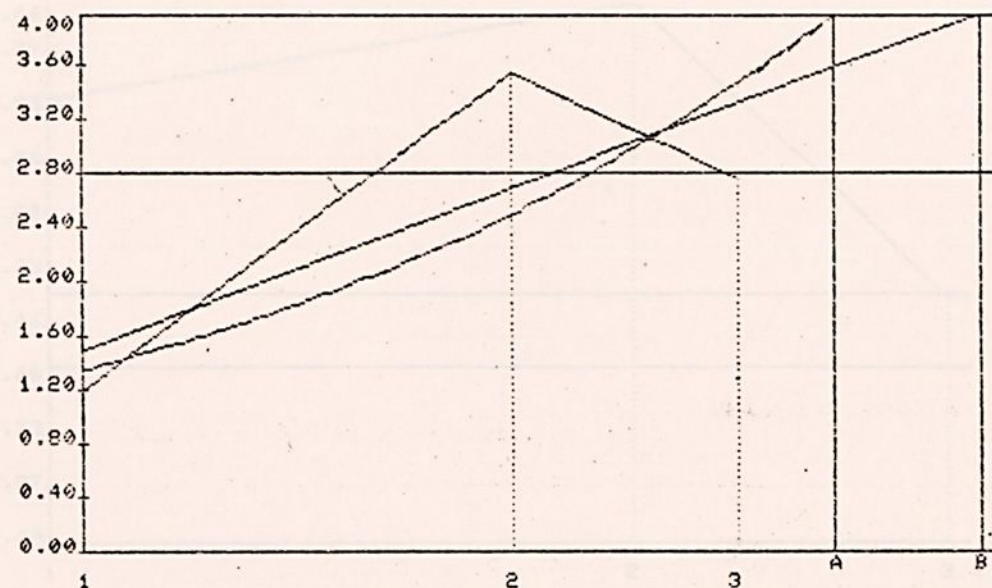
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
 Numero : 1A
 Motor : 6942763
 Data da ultima RGD : 19.10.79
 Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 1Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 1.18
 2) 14.03.90 = 3.54
 3) 06.04.90 = 2.76

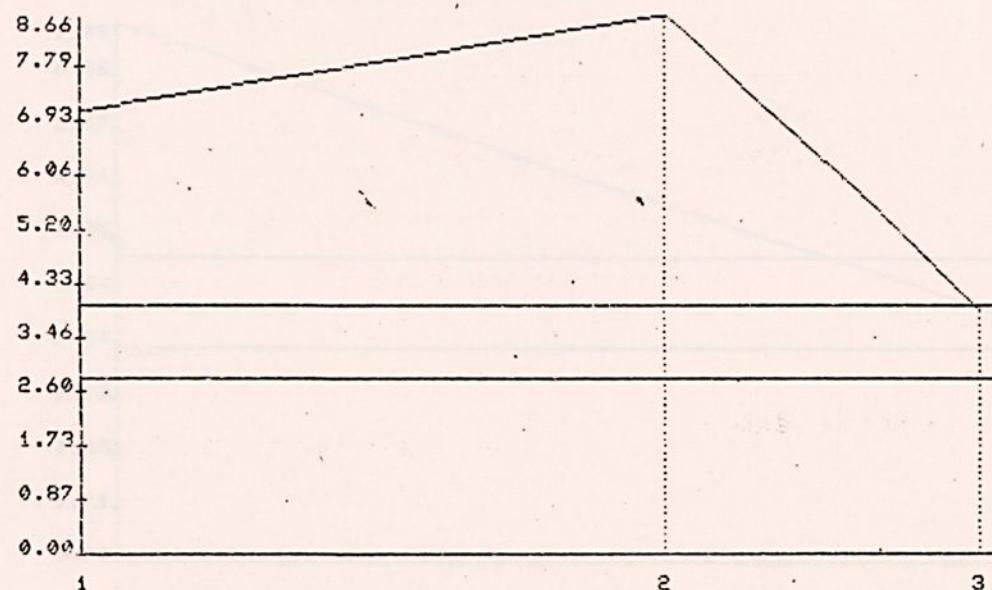
A) 15.04.90 = 4.00 Est. exponencial de quebra.
 B) 20.04.90 = 4.00 Est. linear de quebra.

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
Numero : 1A
Motor : 6942763
Data da ultima RGD : 19.10.79
Fluxo : AGUA

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

ANALISE DO PONTO 2X

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 7.09
2) 14.03.90 = 8.66
3) 06.04.90 = 3.94

Nao ha' estimativa de quebra.

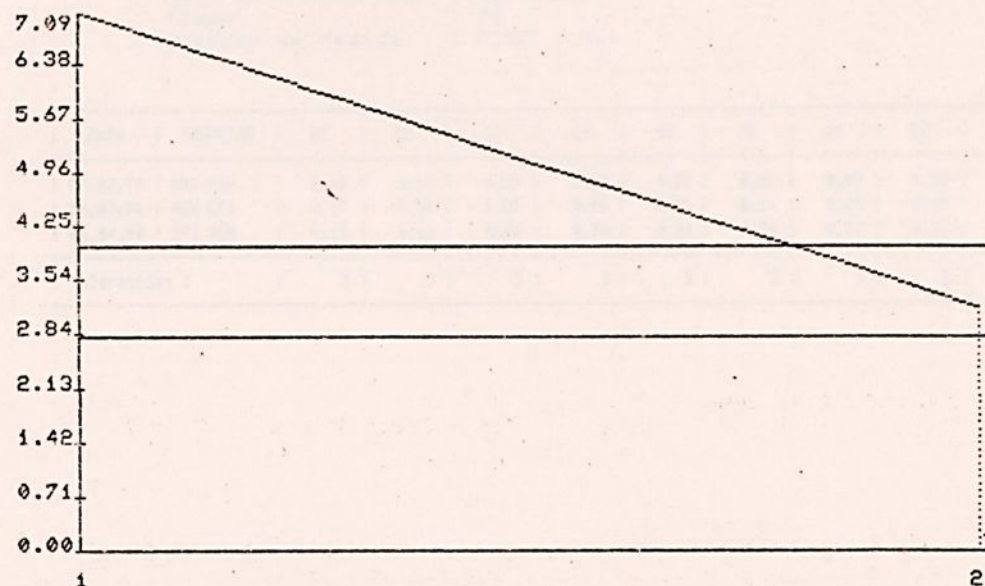
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
Numero : 1A
Motor : 6942763
Data da ultima RGD : 19.10.79
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 2Y

DATAS E VALORES DAS MEDICOES

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)



1) 14.03.90 = 7.09
2) 06.04.90 = 3.15

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE EQUIPAMENTO CRITICO

Equipamento : VENTILADOR FORCADO
Numero : 18
Motor : PK 6941150
Data da ultima RGD : 16.05.88
Fluxo : AR
Unidade de Medida : PICO - Mil

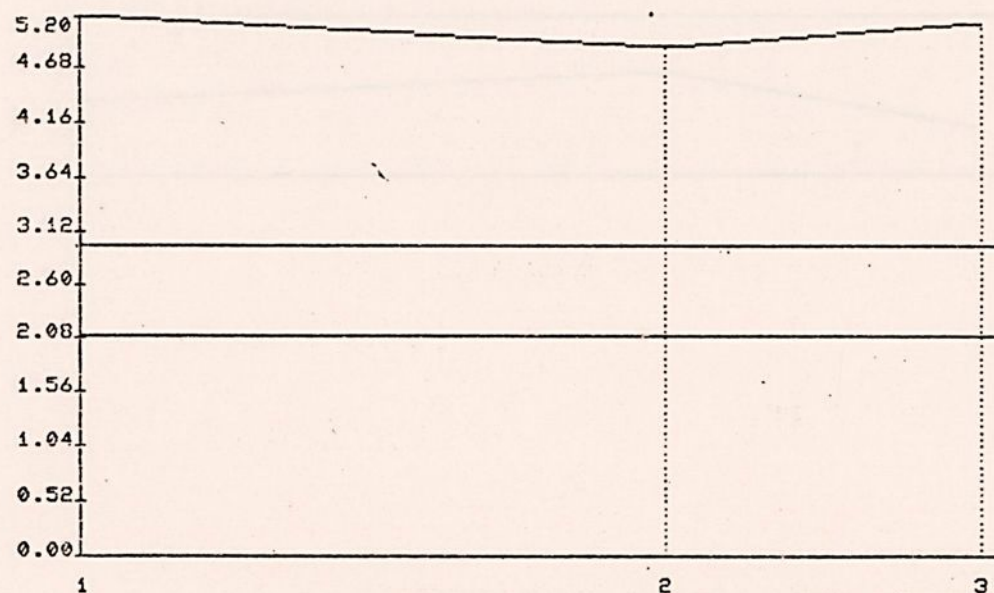
DATA	INSPECTOR	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AMP
03.02.90	RMA AGM	0.12	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.56	1.10	2.29	2.52	1.18	1.81	0
14.03.90	AGH ETI	0.17	0.16	0.00	0.00	0.55	0.16	0.08	0.12	0.16	0.71	1.97	2.69	0.63	2.68	0
06.04.90	ETI AGM	0.16	0.16	0.00	0.00	0.24	0.24	0.08	0.16	2.05	0.71	1.98	2.36	0.79	1.65	40
Tolerancias :		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Equipamento : VENTILADOR FORCADO
Numero : 1A
Motor : PK 6941148
Data da ultima RGD : 16.05.88
Fluxo : AR

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

ANALISE DO PONTO 3X

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 5.20
2) 14.03.90 = 4.88
3) 06.04.90 = 5.12

Nao ha' estimativa de quebra.

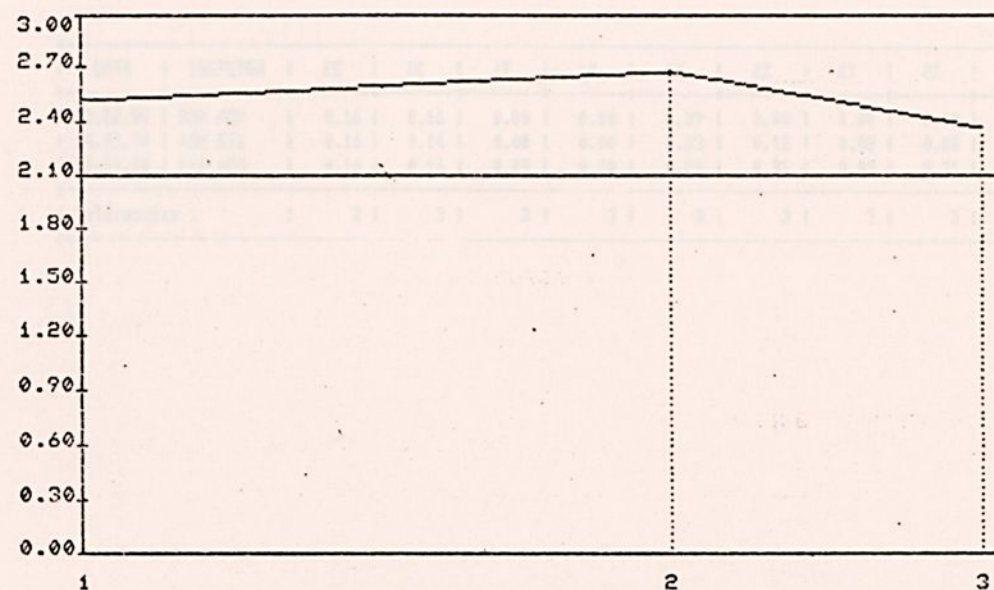
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : VENTILADOR FORCADO
Numero : 1B
Motor : PK 6941150
Data da ultima RGD : 16.05.88
Fluxo : AR

ANALISE DO PONTO 4X

DATAS E VALORES DAS MEDICOES

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)



1) 03.02.90 = 2.52
2) 14.03.90 = 2.68
3) 06.04.90 = 2.36

Nao ha' estimativa de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE ANALISE DE EQUIPAMENTO

Equipamento : VENTILADOR FORCADO
Numero : 1A
Motor : PK 6941148
Inicio de Operacao : 16.05.88
Fluxo : AR
Unidade de Medida : PICO - Mil

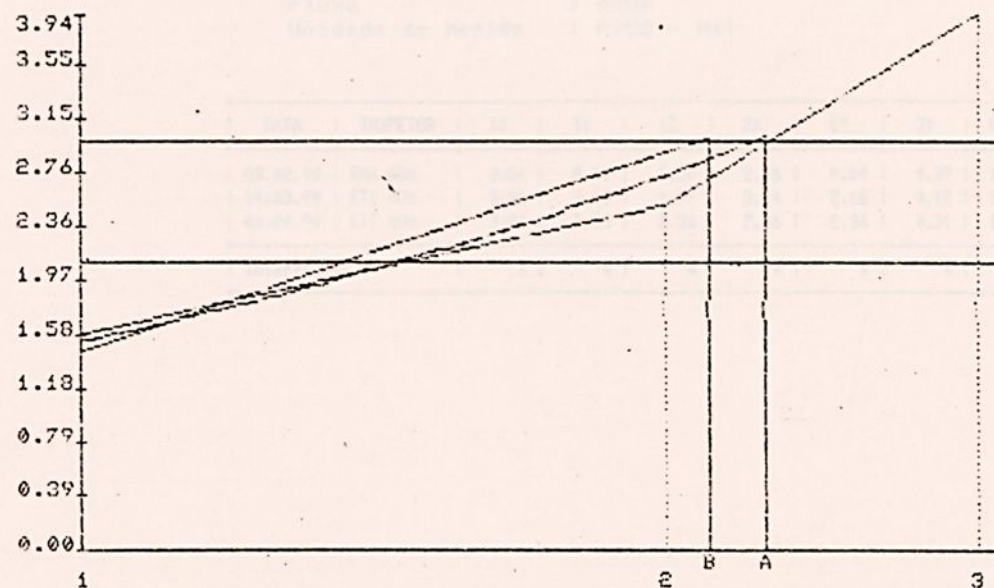
DATA	INSPETOR	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	A4P
03.02.99	RMA AGH	0.16	0.16	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	5.20	1.57	1.57	2.36	0.63	1.42	0
14.03.90	AGH ETI	0.16	0.14	0.00	0.00	0.33	0.12	0.08	0.08	4.88	2.36	2.52	2.36	0.55	1.73	44
06.04.90	ETI AGH	0.16	0.16	0.00	0.00	0.24	0.31	0.08	0.31	5.12	1.42	3.94	1.89	0.55	1.10	40
Tolerancias :		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Equipamento : VENTILADOR FORÇADO
 Numero : 1A
 Motor : PK 6941148
 Data da ultima RGD : 16.05.88
 Fluxo : AR

ANALISE DO PONTO 3Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



- 1) 03.02.90 = 1.57
- 2) 14.03.90 = 2.52
- 3) 06.04.90 = 3.74
- a) 21.03.90 = 3.00 Est. exponencial de quebra.
- b) 17.03.90 = 3.00 Est. linear de quebra.

Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

USINA TERMoeLETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva
RELATORIO DE ANALISE DE EQUIPAMENTO

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
Numero : 1E
Motor : 6942762
Data da ultima RGD : 19.08.88
Fluxo : AGUA
Unidade de Medida : PICO - Mil

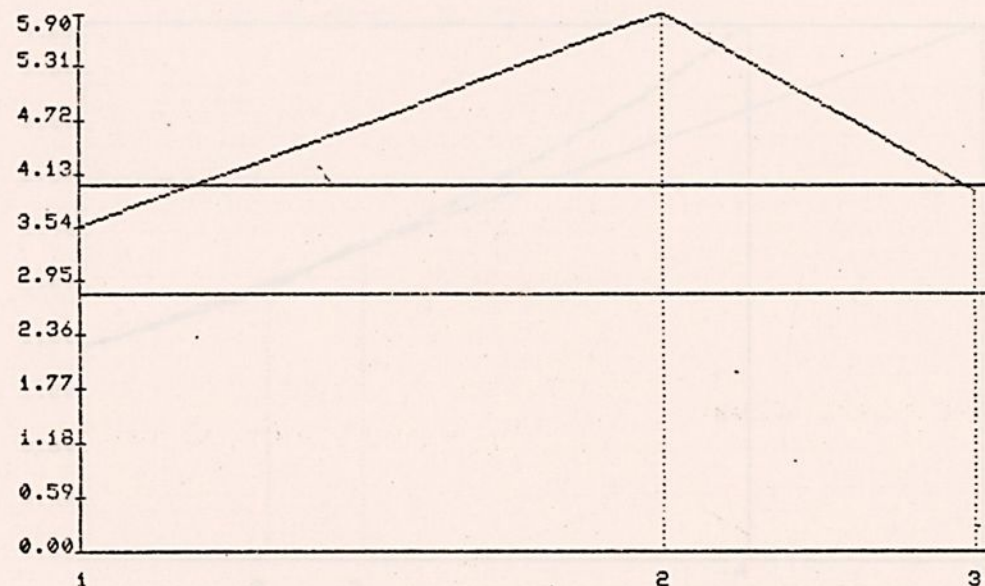
DATA	INSPETOR	1X	1Y	1Z	2X	2Y	3Y	PSIG	AMP.	NIV.
03.02.90	RMA AGM	3.54	0.00	1.57	2.36	0.00	0.39	11.00	135	719.70
14.03.90	ETI AGM	5.90	3.00	1.97	3.54	2.68	0.12	15.00	132	719.50
06.04.90	ETI AGM	3.94	2.36	2.36	2.36	2.36	0.31	15.00	134	719.70
Tolerancias :		4	4	4	4	4	4			

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
Numero : 18
Motor : 6942762
Data da ultima RGD : 19.08.88
Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 1X

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 3.54
2) 14.03.90 = 5.90
3) 06.04.90 = 3.94

Nao ha' estimativa de quebra.

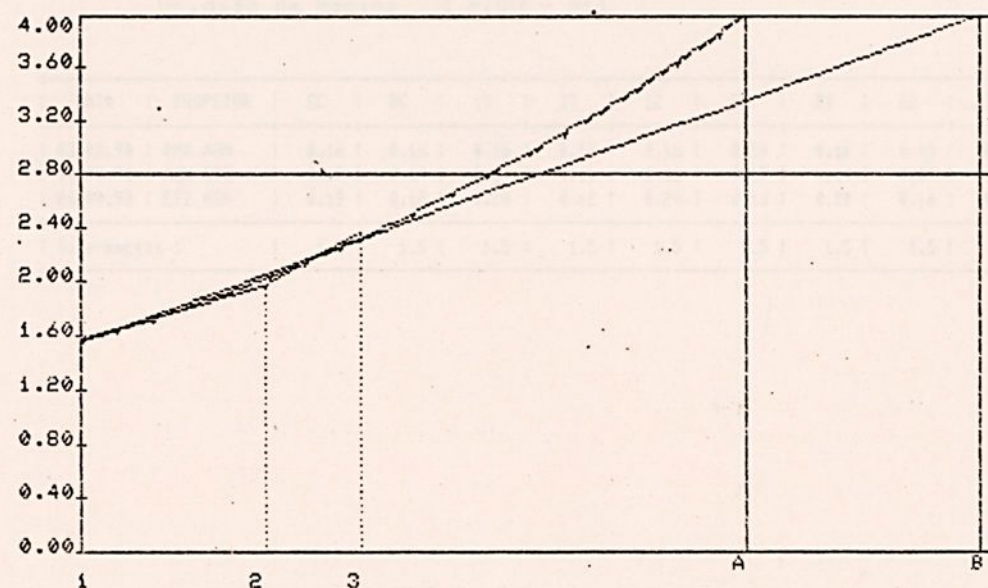
Obs.: As medicoes devem ser feitas em intervalos menores de tempo.

Equipamento : BOMBA DE AGUA DE CIRCULACAO
 Numero : 18
 Motor : 6942762
 Data da ultima RGD : 19.08.88
 Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 1Z

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 1.57
 2) 14.03.90 = 1.97
 3) 06.04.90 = 2.36
 A) 02.07.90 = 4.00 Est. exponencial de quebra.
 B) 25.08.90 = 4.00 Est. linear de quebra.

USINA TERMOELETRICA PIRATININGA
Sistema de Manutencao Preditiva

RELATORIO DE ANALISE DE EQUIPAMENTO

Equipamento : BOMBA DE RECALQUE "BOOSTER"
Numero : 1A
Motor : YJ 6985497
Data da ultima RGD : 26.06.71
Fluxo : AGUA
Unidade de Medida : PICO - Mil

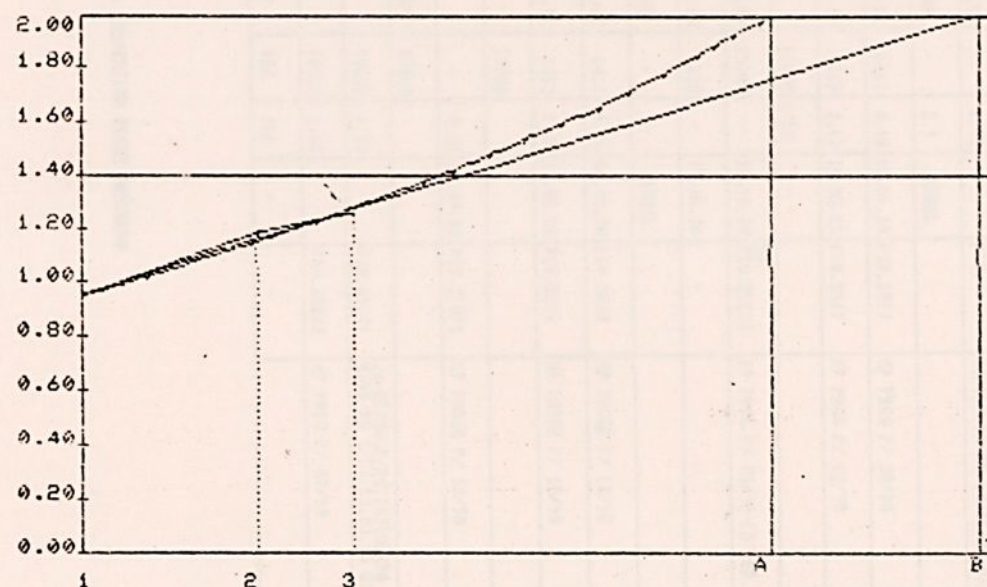
DATA	INSPETOR	EC	DC	1X	1Y	1Z	2X	2Y	2Z	3X	3Y	3Z	4X	4Y	4Z	AMP
03.02.90	RMA AGM	0.16	0.16	0.16	0.12	0.16	0.16	0.16	0.08	0.24	0.25	0.94	0.39	0.79	1.18	0
14.03.90	AGM ETI	0.17	0.14	0.24	0.11	0.16	0.17	0.14	0.09	0.27	0.33	1.16	0.43	1.02	1.97	32
06.04.90	ETI AGM	0.12	0.12	0.20	0.12	0.24	0.16	0.20	0.16	0.31	0.31	1.26	0.39	0.55	1.10	33
Tolerancias :		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	

Equipamento : BOMBA DE RECALQUE "BOOSTER"
 Numero : 1A
 Motor : YJ 6985497
 Data da ultima RGD : 26.06.71
 Fluxo : AGUA

ANALISE DO PONTO 32

NIVEL DE VIBRACAO (PICO - mil)

DATAS E VALORES DAS MEDICOES



1) 03.02.90 = 0.94
 2) 14.03.90 = 1.18
 3) 06.04.90 = 1.26

A) 10.07.90 = 2.00 Est. exponencial de quebra.
 B) 26.08.90 = 2.00 Est. linear de quebra.

9.2 - Avaliação da Eletropaulo

A Eletropaulo avaliou os resultados fazendo uma comparação, para cada máquina monitorada, dos prazos dados pela manutenção preditiva e a preventiva.

A preditiva teve 19 acertos em 21 máquinas em relação a preventiva, correspondendo a 90,5 % ,isto pode ser verificado na tabela 9.1, fornecida pela ELETROPAULO.

TABELA DE DADOS DA MANUTENCAO PREVENTIVA (X PREDITIVA)													
EQUIPAMENTO	Nº	PART	HM	VIER.	MURG.	HB	VIER.	MURG.	PSV	SITUACAO ATUAL	M PREV.	M PRED.	ACERTO
LIMITES ->		500	6500	1,2	-	100000	1,2	-					
BB.ALIN.CALD	1A	40	137	0,87	02.06.89	137	0,87	07.06.89	-		0	X	N
BB.ALIN.CALD	1B	155	4509	1,10	04.01.86	8369	1,42	02.07.79	-		X	X	S
BB.ALIN.CALD	1C	134	5676	1,18	11.07.86	-	1,65	-	PSV.	M CONCLUIDA RG.29/11/89-0h	X	X	S
LIMITES ->		750	25000	3,7	5 ANOS	-	3,7	ANUAL					
VENTILADOR FORC.	1A	142	10754	0,33	12.04.86	1412	4,88	16.05.88	PSV.5017	MP PROG P/ 08/90	X	X	S
VENTILADOR FORC.	1B	140	9936	0,55	12.04.86	1415	2,68	16.05.88	PSV.5017	MP PROG P/ 08/90	X	X	S
LIMITES ->		1000	17030	48,0/10,0	-	17000	4/10	-					
BB AGUA CIRC	1A	42	1899	11,00	26.06.88	15643	-	19.10.79	BB PSV.25240	MP PROG P/ 06/90-EN AND.	X	X	S
	1B	117	13824	5,90	17.12.80	1275	-	19.08.88	-		0	X	N
LIMITES ->		750	25000	5,6	5 ANOS	-	-	ANUAL					
VENTILADOR INDUZ.	1A	142	10754	0,43	12.04.86	1412	1,26	16.05.88	PSV.5018	MP PROGR P/ 10/90	X	0	N
	1B	140	9936	0,55	12.04.86	1413	1,26	16.05.88	PSV.5018	MP PROGR P/ 10/90	X	0	N
LIMITES ->		500	17000	-	-	17000							
BB OC AP	3	51	7603	0,27	-	-	0,39	26.09.88	PSV.25075	MP PROGR P/ 12/90	X	0	N
LIMITES ->		500	25000	-	3 ANOS	17000							
BB OC BP	1	71	21606	1,97		18637	1,97		PSV.25241	JÁ REMOV.P/RC INSTALADA NOVA BB C/RG.13.03.85 0h	X	0	N
	3	106	33037	1,26		18912	2,68		PSV.25182	MP PROG P/ 07/90	X	0	N
TODOS OUTROS	9	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	VAR	-	-		90	90	95

X = NECESSITA MANUTENCAO

0 = NAO NECESSITA

= CONSIDERADO ACERTO DEVIDO AO PRAZO DA PREVENTIVA ESTAR SUPERADO

tabela 9.1-comparação dos prazos
manutenção preditiva x manutenção preventiva



O objetivo do trabalho foi plenamente atingido, pois foi possível implantar o sistema de manutenção preditiva por análise de vibrações na Usina Piratininga.

Neste trabalho discutiu-se as diversas técnicas de manutenção e suas aplicações, houve uma familiarização com o processo de geração de energia que a Usina Piratininga utiliza, foi apresentado também os critérios de escolha de máquina a se monitorar, como se diagnosticar e estabelecer níveis de tolerância de vibração, como se escolher um equipamento de medição e análise de vibração, como se definir rotas e periodicidade de monitoramento, bem como toda estas fases o que se fez na Usina Piratininga em cada uma destas situações.

Desenvolveu-se um software capaz de gerenciar e analisar os níveis de vibração, sendo possível com ele saber a qualquer instante todas as máquinas que estão críticas e nelas quais os pontos que estão acima do limite desejado, bem como suas curvas de tendência.

O que prejudicou um pouco a conclusão final sobre os níveis de vibração toleráveis para as máquinas monitoradas foi a pequena quantidade de inspeções que foram feitas durante a implantação do método, devido a problemas operacionais da própria Usina Piratininga.

Como foi possível notar, mesmo se acertando a avaliação de algumas máquinas como críticas, certos pontos de inspeção possuíam níveis de tolerância muito abaixo dos níveis medidos em campo, tais como:

- ponto 3Z da bomba de alimentação da caldeira 1B (pag. 88);
- ponto 3Z e 4X da bomba de alimentação da caldeira (pags. 95 e 96);
- ponto 1X e 2X da bomba de água de circulação 1A (pags. 100 e 103);
- ponto 3X do ventilador forçado 1A (pag. 106).

Os quais junto com os pontos das bombas de água de circulação 1B e das bombas de alimentação da caldeira 1A, deverão ser melhor avaliados futuramente, para possíveis mudanças.

No geral, obteve-se bons resultados com o critério de 70% do nível máximo para se considerar uma máquina crítica, infelizmente não obtivemos exemplos de campo para se avaliar o critério do ângulo de 60° formado entre os últimos níveis medidos.

Mesmo assim o departamento responsável pela programação de manutenção da Usina ficou muito satisfeito com o resultado que foi obtido.



A área em que se encontra este trabalho é muito ampla e permite que se efetue um número muito grande de trabalhos, pois foi possível concluir que os critérios empregados podem variar de empresa para empresa, de acordo com suas características e suas pretensões no que diz respeito a manutenção preditiva.

Entretanto algumas considerações devem ser feitas.

Em primeiro lugar, o trabalho deve ser encarado como uma primeira tentativa de estabelecer critérios objetivos; não se preocupou em aprofundar nem esclarecer a teoria básica de manutenção preditiva, análise e processamento de sinais bem como dar um cunho de confiabilidade nos resultados obtidos.

Para o futuro ficam as bases de trabalhos que necessariamente terão uma ênfase mais acadêmica, já que critérios principalmente de análise estatística de dados deverão ser testados de forma intensiva para validar as propostas aqui apresentadas e tornar o método mais eficiente e global.



- [1]- Arruda, J. R. F. . Manutenção preditiva de máquinas pela análise das vibrações mecânicas. Mundo Mecânico, 25-32, julho, 1982.
- [2]- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 a 12000 RPM bases para especificação e padrões de avaliação . Norma NBR-10082.
- [3]- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Vibração de máquinas rotativas e alternativas, requisitos para instrumentos de medição de severidade de vibração . Norma NBR-10273.
- [4]- Bendat, J. S. & Piersol, G.. Engineering applications of correlation and spectral analysis. London, Wiley - Interscience, New York, John Wiley and Sons Inc, 1980.
- [5]- Bendat, J. S. & Piersol, G.. Randon Data - Analysis and meassurement procedures . London, Wiley - Interscience, Ven Vor, John Wiley and Sons Inc, 1986.
- [6]- Borhang, J. E. & Mitchell, S. J. . Aplications of spectrum analysis to onstream condition monitoring and malfunction diagnosis of process machinery. San Diego. Reprinted by Spectral Dynamics.
- [7]- Braun, S. . Mechanical signature analysis theory and applications. New York, Academics Press, 1986.
- [8]- Brüel & Kjaer, Dept. Técnico. Balanceamento por meio de equipamento de medição portátil I. Mundo Mecânico, 16 - 21, abril, 1980.
- [9]- Brüel & Kjaer, Dept. Técnico. Balanceamento por meio de equipamento de medição portátil II. Mundo Mecânico, 22 - 25, maio, 1980.



- [10]- Brüel & Kjaer, Depto Técnico. Balanceamento por meio de equipamento de medição portátil (conclusão). Mundo Mecânico, 28-32, junho, 1980.
- [11]- Brüel & Kjaer, The application of vibration measurement and analysis in machine maintenance. Application Note, 1978.
- [12]- Den Hartog, J.P.. Vibrações nos sistemas mecânicos. São Paulo, Edgard Blücher, 1972.
- [13]- ELETROPAULO. Usina Termoelétrica Piratininga. Livro de Informações, Dados e Características. São Paulo.
- [14]- Finley, R.L. Incipient failure detection in rotating machinery. Chemical Engineering, 104-112, julho, 1980.
- [15]- Harris, C. M. & Crede, C. E. . Shock and vibration handbook. New York Mc graw-hill, 1976.
- [16]- Kelly, A. & Harris, M. J. . Administração da manutenção industrial. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Petróleo, 1980.
- [17]- Macintyre, A.J.. Bombas e instalações de bombeamento. 2 ed, Rio de Janeiro, Guanabara, 1987.
- [18]- Matos, W. S. Redução de custos em manutenção de equipamentos mecânicos. Mundo Mecânico, 24-27, julho, 1980.
- [19]- Mitchell, J.S. . An introduction to machinery analysis and monitoring. Penwell Publishing Co. Tulsa Oklahoma, 1981.
- [20]- Mitchell, J. S. . Monitoring the complex vibration characteristics of bladed machinery, Instrumentation and control turbines and diesels power, 38-42, julho, 1977.
- [21]- Military Standard. Maintainability prediction. Norma Hill - HBRM - 472.



- [22]- Military Standard. Maintainability program for systems and equipments. Norma Hill - Sto - 470A.
- [23]- Nascimento, N. . Manutenção Preditiva por Análise de Vibração. Itajubá, Núcleo Tecnologia Ltda, 1989. (Apostila do Curso de Manutenção Preditiva por Análise de Vibração).
- [24]- Nepomuceno, N. X. . Manutenção preditiva em instalações industriais. São Paulo, Edgard Blücher, 1985.
- [25]- Nepomuceno, L. X. . Técnicas de manutenção preditiva industrial e diagnósticos de falhas. Mundo mecânico, 31-37, novembro, 1984.
- [26]- Nepomuceno, L. X. . Técnicas de manutenção preditiva industrial e diagnósticos de falhas. Mundo Mecânico, 14-23, dezembro, 1984.
- [27]- Newlan, D. E. . Randon vibration and spctral analysis. London Longman, 1984.
- [28]- Rohr, J. . Princípios de manutenção preditiva. Brasil Mineral, 46-49, setembro, 1987.
- [29]- Sankar, T. S. & Xistris, G. D.. Failure prediction through theory of stochastic excursions of extreme vibration amplitudes, ASME Paper, 71-Vibr-60, 1971.
- [30]- Stewart, R. M.. Ampplication of signal processing techniques health monitoring. Southhampton University, 1980.
- [31]- The application of vibration measurement and analysis in machine maintenance. Brüel & Kjaer. Publicação BA-7007-12 outubro 1982.
- [32]- Thomson, W. T. Teoria da vibração, Trad. Cássio Sigaud. Rio de Janeiro, Guanabara, 1978.
- [33]- Torbes, S. . Instrumentação para manutenção e balanceamento. Revista C & I, 10-15, agosto, 1982.



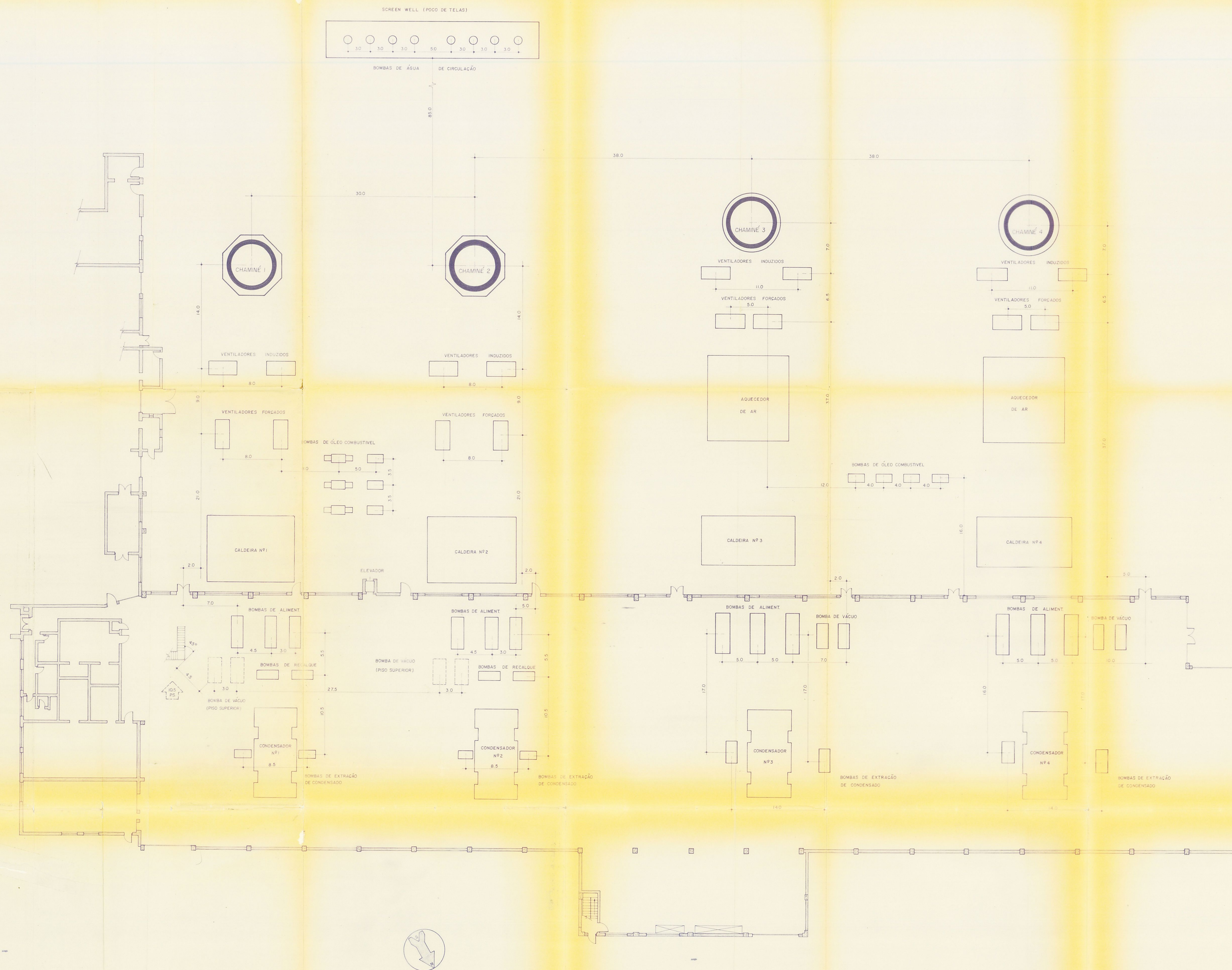
- [34]- Vianna, L. P. . Manutenção Preditiva - O futuro já começou
Revista If, 65-69, novembro/dezembro, 1985.
- [35]- Vianna, L. P. . Preditiva : A Manutenção entra na era da
tecnologia . Guia de manutenção (Alcool & Açúcar), 12-14,
dezembro, 1986.
- [36]- Vladislavlev, L. A., Vibration of hidro units in hydroelectric
power plants. Amerind Publishing PUT LTD, 1979.



APÊNDICE 1

122





	DATA	NOME	
DES.			
PROJ.			
APROV.			
VISTO			
ESC.			
1:200			

FI

De

