

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

FELIPE HENRICO LEITE FERRAZ DE CAMPOS  
OTÁVIO RODRIGUES FILHO

**APLICAÇÃO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM SISTEMA DE  
DESCARREGAMENTO DE CAMINHÕES E VAGÕES TANQUE.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2013

FELIPE HENRICO LEITE FERRAZ DE CAMPOS  
OTÁVIO RODRIGUES FILHO

**APLICAÇÃO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM SISTEMA DE  
DESCARREGAMENTO DE CAMINHÕES E VAGÕES TANQUE.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica – DAELN - e Mecânica- DAMEC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. M.Sc. Márcio Lombardi

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

FELIPE HENRICO LEITE FERRAZ DE CAMPOS  
OTÁVIO RODRIGUES FILHO

### **APLICAÇÃO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM SISTEMA DE DESCARREGAMENTO DE CAMINHÕES E VAGÕES TANQUE.**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 03 de dezembro de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Milton Luiz Polli  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Mecânica

---

Prof. Esp. Sérgio Moribe  
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Ubiradir Mendes  
UTFPR

---

Prof. M.Sc. Osvaldo Verussa  
UTFPR

---

Prof. Gilmar Lunardon  
UTFPR

---

Prof. M.Sc. Marcio Lombardi  
Orientador - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

## RESUMO

CAMPOS, Felipe Henrico Leite Ferraz de; FILHO, Otávio Rodrigues. **Aplicação de Manutenção Preditiva em um sistema de descarregamento de caminhões e vagões tanque**. 2013. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a aplicação de Manutenção Preditiva em um Sistema de Descarregamento de Caminhões e Vagões Tanque, utilizando bombas de três fusos acionadas por motor elétrico. Foram utilizadas como referências para o estudo publicações sobre os métodos mais modernos de manutenção, técnicas de análise de comportamento dos equipamentos, detecção de falhas ou tendência à ocorrência de falhas através da análise dos parâmetros operacionais dos equipamentos, modelos de gestão da manutenção com foco na engenharia de manutenção para evitar ou minimizar a ocorrência de falhas e paradas do processo produtivo. O foco atual da manutenção é antecipar-se às falhas evitando suas consequências. O sistema objeto do estudo estava sendo foco de manutenção preventiva baseada no tempo e apresentava muitas paradas não programadas, acarretando perdas de produção e atrasos no recebimento e liberação dos vagões e caminhões tanque. A utilização da preditiva permitiu a detecção de diversos desvios nos parâmetros operacionais dos equipamentos, ocasionados tanto pela operação fora das condições ideais fornecidas pelo fabricante e das condições ideais requeridas pelos produtos bombeados, bem como falhas nas manutenções realizadas nos equipamentos.

Palavras-chave: Análise. Condição. Falha. Manutenção. Preditiva.

## ABSTRACT

CAMPOS, Felipe Henrico Leite Ferraz de; FILHO, Otávio Rodrigues. **Application of Predictive Maintenance in a system for unloading trucks and tank wagons.** 2013. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Its presents a study on the implementation of a Predictive Maintenance in a System for Unloading Trucks and Tank Wagons, using screw pumps driven by electric motor. Were used as references for studying publications about the most modern methods of maintenance, equipment behavior analysis, fault detection and fault occurrence trend by analyzing the operating parameters of the equipment, maintenance management models focusing on engineering maintenance to prevent or minimize the occurrence of failures and production stops. The current focus of the maintenance process is to anticipate failures avoiding its consequences. The system object of the study was the focus of preventive maintenance based on time and had many unplanned shutdowns, causing production losses and delay in the receipt and release of trucks and tank wagons. The use of predictive maintenance allowed the detection of deviations in operational parameters of the equipment, caused both by operating outside the optimal conditions supplied by the manufacturer and the optimum conditions required by the products pumped, as well as failures in the maintenance performed on equipment.

Keywords: Analysis. Condition. Failure. Maintenance. Predictive.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quadro da Evolução da manutenção.....	16
Figura 2 - Instrumento para ensaio de correntes parasitas. ....	23
Figura 3 - Inspeção visual. ....	23
Figura 4 - Inspeção por partículas magnéticas.....	24
Figura 5 - Sensores para ensaio de emissão acústica em cilindros.....	25
Figura 6 - Bancada de testes de estanqueidade em válvulas. ....	25
Figura 7 - Ensaio de ultrassom em um mancal de deslizamento. ....	26
Figura 8 - Imagem de radiografia industrial.....	27
Figura 9 - Ensaio de líquido penetrante em um flange.....	28
Figura 10 - Imagem térmica e foto de uma caldeira. ....	30
Figura 11 - Análise de vibrações em um motor elétrico. ....	31
Figura 12 – Fluxograma do sistema de descarregamento. ....	37
Figura 13 - Visão em corte de uma bomba de três fusos.....	38
Figura 14 - Bomba de três fusos em corte. ....	39
Figura 15 - Selo mecânico ultraseal.....	40
Figura 16 - Pontos de medição de vibração – mancais do motor e da bomba (esquerda).....	48
Figura 17 - Histórico de vibração – bomba ‘A’ – valores de março a dezembro de 2011. ....	50
Figura 18 – Gráfico de tendência horizontal destacado da Figura 17. ....	51
Figura 19 - Histórico de vibração – bomba ‘A’ – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012. ....	52
Figura 20 - Histórico de vibração – bomba ‘B’ – valores de março a dezembro de 2011. ....	55
Figura 21 - Histórico de vibração – bomba ‘B’ – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012. ....	56
Figura 22 - Histórico de vibração – bomba ‘C’ – valores de março a dezembro de 2011. ....	59
Figura 23 - Histórico de vibração – bomba ‘C’ – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012. ....	60
Figura 24 - Histórico de vibração – bomba ‘D’ – valores de março a dezembro de 2011. ....	63

Figura 25 - Histórico de vibração – bomba ‘D’ – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012. ....	64
Figura 26 - Histórico de vibração – bomba ‘E’ – valores de março a dezembro de 2011. ....	67
Figura 27 - Histórico de vibração – bomba ‘E’ – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012. ....	68
Figura 28 - Corpo da bomba com desgaste excessivo. ....	69
Figura 29 - Fusos principais com desgaste excessivo. ....	69
Figura 30 - Fusos movidos com desgaste excessivo. ....	70
Figura 31 - Fusos movidos com desgaste excessivo nas buchas e ponta do eixo. ..	70
Figura 32 - Corpo da bomba após recuperação. ....	70
Figura 33 - Fusos principais após recuperação da superfície do diâmetro externo. ....	71
Figura 34 - Fusos movidos após recuperação da superfície do diâmetro externo. ...	71
Figura 35 - Fusos principais e fusos movidos após recuperação. ....	71
Figura 36 - Estator do motor queimado, com excesso de graxa e com sinais de que o rotor trabalhou em contato direto com o estator. ....	76
Figura 37 - Assento do rolamento no eixo do motor, mostrando o desgaste excessivo existente. ....	77
Figura 38 - Alinhamento com relógio comparador (esquerda) e alinhamento a laser (direita). ....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'A' .....	47
Tabela 2 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'A' .....	47
Tabela 3 – Alguns dos diagnósticos obtidos com a análise de vibração.....	49
Tabela 4 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'B' .....	53
Tabela 5 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'B' .....	54
Tabela 6 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'C' .....	57
Tabela 7 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'C' .....	57
Tabela 8 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'D' .....	61
Tabela 9 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'D' .....	61
Tabela 10 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'E' .....	65
Tabela 11 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'E' .....	65

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	TEMA	11
1.2	PROBLEMA	12
1.3	HIPÓTESE	12
1.4	JUSTIFICATIVA	13
1.5	OBJETIVOS	13
1.5.1	Objetivo Geral	13
1.5.2	Objetivos Específicos	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1	HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO	15
2.1.1	Primeira Geração	15
2.1.2	Segunda Geração	16
2.1.3	Terceira Geração	17
2.1.4	Quarta Geração	18
2.2	CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO	18
2.2.1	Manutenção Corretiva	19
2.2.2	Manutenção Preventiva	19
2.2.3	Manutenção Preditiva	20
2.3	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	32
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>34</b>
3.1	FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS	34
3.2	PLANEJAMENTO DA PESQUISA	34
3.3	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	35
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>36</b>
4.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DESCARREGAMENTO DE CAMINHÕES E VAGÕES TANQUE	36
4.2	DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA BOMBA	38
4.2.1	Sistema de selagem da bomba	40
4.3	HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO E DADOS DE FALHAS	41
4.3.1	Plano de manutenção anterior	43
4.3.2	Plano de manutenção atual	45
4.3.3	Histórico de manutenção do motor e da bomba 'A'	46

4.3.4	Histórico de manutenção do motor e da bomba 'B' .....	52
4.3.5	Histórico de manutenção do motor e da bomba 'C' .....	56
4.3.6	Histórico de manutenção do motor e da bomba 'D' .....	60
4.3.7	Histórico de manutenção do motor e da bomba 'E' .....	64
4.3.8	Histórico de manutenção da bomba reserva. ....	68
4.4	ANÁLISE DO HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO E DAS DE FALHAS .....	72
4.4.1	Falhas do selo mecânico .....	72
4.4.2	Análise de vibração .....	74
4.4.3	Custos de manutenção.....	77
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>81</b>
5.1	RESULTADOS OBTIDOS .....	81
5.2	SUGESTÃO DE MELHORIAS .....	83
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	85
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>

## **ANEXO I - DESCRIÇÃO DA BOMBA DE TRÊS FUSOS**

## 1 INTRODUÇÃO

Até a década de 1950 as organizações não se preocupavam com concorrência e demanda. O ritmo de mudanças na sociedade era relativamente lento e uniforme (TAVARES, 2007, pg. 26). Após a Segunda Guerra Mundial inicia-se um novo cenário com o aumento da demanda por diversos tipos de produtos. Inicia-se uma forte mecanização da indústria e aumenta-se a complexidade das instalações.

A competitividade entre as organizações aumenta, o mercado local dá lugar para o mercado global. As organizações passam a buscar novos arranjos para permanecerem no mercado. Criam-se sistemas internos de apoio à estratégia e surgem novos métodos de planejamento. As organizações buscam cada vez mais um desempenho de excelência (TAVARES, 2007, p. 27).

O setor de manutenção que tinha uma imagem de gerador de custos para a empresa passa a ter papel importante na competitividade. A competitividade exige mudanças rápidas, adaptação às exigências do mercado, redução de custos, alto desempenho do processo produtivo.

As empresas que desejam permanecer no mercado precisam mudar sua mentalidade e postura em relação aos seus processos. No processo manutenção, não basta querer adotar técnicas modernas ou utilizar equipamentos de última geração, é necessário ter uma visão estratégica da função manutenção e sua integração com o processo produtivo.

“Na visão atual, a manutenção existe para que não haja manutenção” (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p. 3).

Cabe ressaltar que o objetivo do setor de manutenção não é deixar de fazer a manutenção, mas atuar de modo pró-ativo, visando evitar a ocorrência de falhas não previstas, e minimizando a possibilidade de ocorrência de falhas previstas. O foco não é mais a preservação dos equipamentos, mas a manutenção da função dos sistemas integrantes da planta (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 7). O processo passa a ser visualizado como um todo, e não por equipamentos isolados e distintos. Para que isto se torne possível, não basta ter uma equipe de manutenção que seja somente capaz de resolver os problemas dos equipamentos, mas uma equipe que atue de modo a evitar que eles aconteçam, tendo a visão de todo o

processo produtivo. Novos modelos de gestão da manutenção passam a ser parte integrante das organizações. Nesta nova visão da função manutenção, não basta executar certo as tarefas de manutenção, é preciso executar certo as tarefas certas (MOUBRAY, apud SQL BRASIL, 2013).

Além de garantir a qualidade dos seus produtos e serviços, as empresas têm a necessidade cada vez maior de atender os requisitos de Saúde, Meio Ambiente e Segurança (SMS). A manutenção tem como missão “garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados” (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 23). A legislação ambiental está mais rígida e exige que as empresas adotem políticas de preservação ambiental. Emissão de poluentes, geração de resíduos, vazamentos de produtos tóxicos ou contaminantes não são mais tolerados sem que haja controle destas ocorrências.

A ocorrência de falhas não previstas pode acarretar sérios danos ao processo produtivo, equipamentos e sistemas, provocando perdas de produção. Uma falha não prevista também pode causar danos a pessoas e ao meio ambiente. A criticidade do processo produtivo determina o tipo de manutenção mais adequada. Os sistemas devem ser avaliados em função dos parâmetros com os quais estes operam – altas pressões, altas velocidades, temperaturas extremas (muito baixas ou muito elevadas), vibrações, impactos – e os tipos de produtos - inflamáveis, tóxicos, radioativos, químicos, alimentos, manufaturados.

Outro fator importante na determinação do melhor método de manutenção é a idade dos equipamentos e sua adequação para a função que desempenha. Empresas modernas dividem espaço com empresas que estão no mercado há mais tempo, com máquinas e equipamentos antigos, alguns obsoletos, mas que ainda são mantidos em operação, pois o custo de uma modernização torna a atividade da empresa inviável.

## 1.1 TEMA

Este trabalho apresenta e avalia um caso real de aplicação de

Manutenção Preditiva em um sistema de descarregamento de caminhões e vagões tanque em uma empresa de logística de graneis líquidos.

## 1.2 PROBLEMA

A situação encontrada no sistema sob estudo era a ocorrência de diversas falhas e paradas não programadas, mesmo com a utilização de planos de manutenção preventiva, ocasionando perdas significantes na produtividade, indisponibilidade do sistema e riscos de contaminação do meio ambiente.

## 1.3 HIPÓTESE

A ocorrência de falhas e paradas não programadas, mesmo com a utilização de um plano de manutenção pode estar relacionada com alguns fatores que envolvem:

- A falta de qualificação e capacitação da mão de obra que realiza as atividades de manutenção;
- Utilização dos equipamentos fora da especificação do projeto e aplicação, não atendendo às orientações do fabricante;
- Realização de atividades de manutenção em periodicidades não adequadas, não atendendo aos requisitos do sistema;
- Utilização de materiais e peças de reposição de qualidade duvidosa;
- Plano e métodos de manutenção especificados sem a realização de estudos de falhas, análises de modos de falhas, estudos de confiabilidade, avaliação da criticidade do sistema, análise de riscos de acidentes e de impactos ambientais.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o aumento das paradas não planejadas, seus impactos no processo produtivo e os riscos envolvendo segurança e meio ambiente, a adoção de novas práticas de manutenção que visem evitar estas paradas é fundamental para minimizar estes impactos e buscar a eficácia deste processo.

Outro aspecto do problema é a manutenção de equipamentos muito antigos, cujo custo de manutenção é maior que o de equipamentos mais modernos, e a dificuldade de manutenção, decorrente da inexistência de peças sobressalentes, obrigando a empresa a buscar alternativas que permitam a continuidade operacional destes equipamentos, tais como substituição de peças por modelos mais novos requerendo a adaptação ao equipamento.

Dentro do campo de manutenção a utilização de inspeções preditivas aplicadas aos equipamentos apresenta uma oportunidade de mostrar de forma quase conclusiva as vantagens que esta técnica possui sobre os modelos tradicionais de manutenção (e.g. preventiva e corretiva) comumente aplicadas nas indústrias em geral.

Apresenta-se assim uma oportunidade única de aplicação de conhecimentos específicos adquiridos no campo de mecânica aplicados à área de manutenção em um sistema real com dificuldades reais.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo Geral

Demonstrar os resultados da utilização de técnicas de manutenção preditiva em um sistema de descarregamento de caminhões e vagões tanque, onde apenas métodos tradicionais de manutenção eram aplicados – manutenção corretiva e preventiva.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar um diagnóstico da situação atual da manutenção em relação ao sistema objeto deste estudo, descrevendo a situação na qual a manutenção encontrava-se, através dos planos de manutenção preventiva existentes, das ocorrências de manutenção corretiva não programada, das principais falhas registradas, da quantidade de paradas e do tempo total destas paradas, bem como dos custos envolvidos e demais impactos no processo produtivo;
- Descrever a etapa de transição entre os modelos de manutenção propostos pela empresa, os estudos realizados para a adoção das técnicas de preditiva, as justificativas da empresa para os ganhos com redução de tempo de paradas e dos custos da manutenção;
- Descrever os resultados obtidos com a utilização das técnicas preditivas, apresentando o novo plano de manutenção, os ganhos obtidos com redução de paradas, do tempo das paradas, das falhas que passaram a ser evitadas, verificando se a solução está adequada ao sistema;
- Identificar os problemas que ainda não foram solucionados e o impacto destes nos resultados da manutenção e da produção;
- Apresentar novas propostas para que os resultados alcançados possam ser melhorados, podendo indicar a inclusão de novas técnicas de manutenção, utilização de novos materiais, uma abordagem diferenciada da função manutenção, investimentos em novos equipamentos e em qualificação de pessoal de manutenção e de operação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO

A atividade de manutenção tem passado por diversas mudanças nos últimos 30 anos. Estas mudanças são consequência do aumento rápido do número e da diversidade de instalações, equipamentos e edificações que requerem manutenção, a maior complexidade dos projetos, surgimento de novas técnicas de manutenção, novos enfoques e responsabilidades e a importância da função manutenção nos resultados e na competitividade das organizações. (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 1).

A evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações distintas, conforme Figura 1.

#### 2.1.1 Primeira Geração

A primeira geração da manutenção pode ser descrita pelo início da mecanização da indústria, antes da Segunda Guerra Mundial, estendendo-se até 1950, onde não existia a preocupação com o desempenho das máquinas nem com a produtividade, e os projetos, sendo superdimensionados, evitavam ocorrência de muitas falhas (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 2).

Ações simples como limpeza e lubrificação eram suficientes para manter as máquinas operando sem maiores complicações, e quando ocorria alguma falha, esta era corrigida e reiniciava-se a produção. Nesta geração predominou a manutenção corretiva não programada (SIQUEIRA, 2009, p. 4).

A visão em relação às falhas era de que “todos os equipamentos se desgastam com o passar do tempo e vem a sofrer falhas ou quebras” (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 2). A competência que se buscava então era a habilidade do mantenedor em realizar o reparo necessário.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
ANO				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	- Conserto após a falha	- Disponibilidade crescente - Maior vida útil do equipamento	- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Melhor relação custo-benefício - Preservação do meio ambiente	- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Preservação do meio ambiente - Segurança - Influir nos resultados do negócio - Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	- Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	- Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	- Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray)	- Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F. (Nowlan & Heap e Moubray)
Mudança nas técnicas de Manutenção	- Habilidades voltadas para o reparo	- Planejamento manual da manutenção - Computadores grandes e lentos - Manutenção Preventiva (por tempo)	- Monitoramento da condição - Manutenção Preditiva - Análise de riscos - Computadores pequenos e rápidos - Softwares potentes - Grupos de trabalho multidisciplinares - Projetos voltados para a confiabilidade - Contratação por mão de obra e serviços	- Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição - Minimização das Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada - Análise de Falhas - Técnicas de Confiabilidade - Manutenibilidade - Engenharia de Manutenção - Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida - Contratação por resultados

Figura 1 - Quadro da Evolução da manutenção.

Fonte: Kardec; Nascif (2009).

### 2.1.2 Segunda Geração

Na segunda geração, após 1950 e estendendo-se até 1970, tem início a produção em grande escala, com linhas de produção contínuas, e um crescente mercado consumidor. Ao mesmo tempo, ocorre a falta de mão de obra qualificada para operar e manter essa indústria.

A necessidade de manter as máquinas funcionando por mais tempo, a qualidade dos produtos e a redução de custos motivou estudos sobre novas técnicas de manutenção, surgindo assim a manutenção preventiva, complementando a limpeza e lubrificação, e pouco mais tarde, as técnicas preditivas (SIQUEIRA, 2009, p. 5).

### 2.1.3 Terceira Geração

A partir de 1970 a indústria passa a aperfeiçoar seus processos, mais tecnologia é empregada na fabricação das máquinas que passam a operar no limite de sua capacidade, e em alguns casos, sofrem modificações para produzir além da capacidade projetada, requerendo maiores cuidados de manutenção e operação para sua continuidade operacional. Outros fatores surgem como concorrência, redução de custos, exigências do consumidor com relação à qualidade e desempenho dos produtos e serviços (SIQUEIRA, 2009, p. 5).

Para sobreviver a esta nova realidade, a manutenção deixa de ser um setor com a função de apenas consertar o que quebrou, ou substituir partes desgastadas antes de sua quebra. A manutenção começa a fazer parte do processo produtivo, desempenhando novas funções e sendo estratégica para as empresas (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p.17).

Nesse período surgem vários conceitos, não de manutenção, mas de gestão da manutenção. A gestão de manutenção busca manter o desempenho das funções do sistema produtivo, não apenas determinar algum método de manutenção para determinado equipamento. O resultado obtido com a manutenção passa a ser medido através da confiabilidade e disponibilidade dos sistemas que fazem parte do processo produtivo, dos custos de manutenção, dos impactos que as falhas causam tanto nos aspectos materiais, como envolvendo pessoas e o meio ambiente.

Nesta geração da manutenção surgem novos conceitos, como o conceito de função do equipamento ou sistema.

A função de um equipamento ou sistema é a finalidade para a qual estes foram projetados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p. 2). Desta maneira, a manutenção passa a ter o papel de manter a função de um equipamento ou de um sistema produtivo. Esse modelo de gestão de manutenção exige uma gama mais ampla de conhecimento do profissional de manutenção. Não basta somente ter conhecimento técnico, mas também de gestão administrativa e financeira.

#### 2.1.4 Quarta Geração

A quarta geração da manutenção mantém algumas das expectativas existentes na terceira geração – disponibilidade, confiabilidade, engenharia de manutenção. O desafio cada vez maior da manutenção é a minimização das falhas prematuras (ocorrem no início da operação da planta) e a intervenção cada vez menor na planta, de modo a aumentar cada vez mais a disponibilidade dos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 4).

A manutenção afeta diretamente o resultado da organização. Os custos envolvidos na manutenção são analisados desde a concepção do projeto da planta, de modo que sejam cada vez menores e causem menos impactos na produtividade. As áreas de manutenção, operação e engenharia estão mais integradas na busca pela excelência (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 4).

A preocupação com preservação do meio ambiente e segurança das pessoas ganha destaque, estando diretamente ligadas à imagem das corporações frente ao mercado. As empresas prestadoras de serviço passam a ser corresponsáveis pelos resultados, alterando-se os modelos de contratação de serviços.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção tradicional estava baseada apenas na realização de tarefas que tinham por objetivo restaurar a funcionalidade de um equipamento ou sistema, ou prevenir a ocorrência de uma falha antecipando ações como a substituição de componentes cuja vida útil era conhecida.

Os métodos tradicionais são a manutenção corretiva (programada ou não) e a manutenção preventiva baseada no tempo. A manutenção preditiva ou manutenção baseada na condição é um método mais novo onde se acompanha o desempenho do equipamento ou sistema produtivo através dos seus parâmetros operacionais.

### 2.2.1 Manutenção Corretiva

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1994, p. 7), manutenção corretiva é “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

Esta manutenção pode ser realizada de modo não programado, quando uma falha ocorre de modo a prejudicar o funcionamento do equipamento ou do processo produtivo, o que requer uma ação imediata da manutenção, ou pode ser programada, quando a falha ocorre, porém o processo é mantido em funcionamento, com limitações, mesmo fora de seus parâmetros nominais. Neste caso a manutenção corretiva será realizada durante uma parada operacional programada.

A adoção da manutenção corretiva deve levar em consideração os impactos que a falha traz para a segurança das pessoas, do meio ambiente e os impactos no processo produtivo.

### 2.2.2 Manutenção Preventiva

De acordo com a ABNT (1994, p. 7), manutenção preventiva é “manutenção realizada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

Os exemplos mais comuns de manutenção preventiva são as intervenções baseadas no tempo, onde componentes são substituídos periodicamente, seguindo orientações do fabricante, ou de acordo com o histórico de manutenção dos equipamentos, conhecendo-se a vida útil de cada componente, ou ainda através de práticas realizadas por empresas que possuem um processo similar.

### 2.2.3 Manutenção Preditiva

De acordo com a ABNT (1994, p. 7), a manutenção preditiva ou controlada, é a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, através da utilização de técnicas de análise de informações obtidas do processo ou equipamento, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e corretiva.

A manutenção preditiva consiste no acompanhamento de parâmetros operacionais das máquinas e do processo produtivo, e o desempenho particular do componente (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 44). A evolução destes parâmetros pode indicar a existência de desgastes, deterioração, perda de rendimento, de eficiência, permitindo prever a ocorrência de uma falha prejudicial ao processo produtivo, às pessoas ou ao meio ambiente. Através destas análises pode ser feita a substituição de um item antes que este venha a apresentar a falha. Este tipo de manutenção considera que um mesmo componente apresenta comportamento diferenciado em função do equipamento no qual está instalado e das condições operacionais. Por exemplo, um mesmo rolamento apresenta vida útil diferente quando instalado em um motor elétrico ou em uma correia transportadora.

Os parâmetros mais comumente avaliados são: vibração, temperatura, qualidade de lubrificantes e parâmetros elétricos. Os parâmetros do processo e informações de projeto devem ser considerados para que seja feita a correlação do desempenho do equipamento com utilização de sua capacidade e da adequação da utilização ao projeto do equipamento (FILHO, 2006, p. 78).

Além dos parâmetros operacionais e da monitoração do funcionamento, a integridade dos equipamentos pode ser verificada através de ensaios específicos que verificam existência de possíveis falhas estruturais, desgastes em interiores de tubulações, vasos, inspeção de partes do equipamento em locais de difícil acesso, entre outros.

### 2.2.3.1 Técnicas Preditivas

As técnicas preditivas permitem a realização de intervenções com base no estado do equipamento, através da avaliação dos resultados da medição, acompanhamento ou monitoração dos parâmetros de desempenho dos equipamentos e componentes (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 235).

Serão abordadas, de forma simplificada, diversas técnicas de manutenção preditiva. O princípio básico da manutenção moderna é a utilização de técnicas que permitam o monitoramento dos equipamentos sem que seja necessária uma parada e sem que estes equipamentos sofram danos ou alterações decorrentes da manutenção. O monitoramento geralmente é realizado com o equipamento em funcionamento normal.

Para atender a esta premissa, os ensaios não destrutivos ganham a cada dia mais espaço na manutenção e no controle de qualidade dos equipamentos e processos produtivos.

### 2.2.3.2 Ensaio Não Destrutivo

Os Ensaio Não Destrutivo (END) são técnicas que visam inspecionar os equipamentos e materiais sem que estes sejam danificados. Neste tópico será utilizada a descrição dos ensaios de acordo com a ABENDI – Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivo e Inspeção, bem como informações de outros autores.

A utilização de END permite inspecionar equipamentos e produtos, tanto na etapa de fabricação, quanto durante sua vida útil, permitindo obter um melhor controle de qualidade, redução de custos e confiabilidade da inspeção. Por ser uma técnica que não danifica a parte a ser inspecionada, está ganhando espaço na manutenção, mas ainda apresenta custos elevados para determinados usos em relação ao processo, o que requer das empresas estudos de viabilidade técnica e econômica da utilização de alguns destes ensaios.

De acordo com a ABENDI (2012), temos os seguintes ensaios não destrutivos:

- Correntes parasitas;
- Ensaio visual;
- Partículas magnéticas;
- Emissão acústica;
- Estanqueidade;
- Ultra-som;
- Radiografia, Radioscopia e Gamagrafia;
- Líquido penetrante;
- Termografia;
- Análise de vibrações.

Além destes ensaios temos, como técnicas preditivas para acompanhamento e monitoração dos equipamentos e sistemas, dentre outros:

- Análise de lubrificantes;
- Alinhamento de máquinas rotativas.

#### 2.2.3.2.1 Correntes Parasitas

Este ensaio é bastante simples e de custo relativamente baixo, tendo por finalidade verificar a existência de falhas superficiais ou um pouco abaixo da superfície do material, tais como trincas, inclusões, dobras, alterações nas características físico-químicas ou na estrutura do material.

O ensaio baseia-se na indução de um campo magnético no material, gerado por corrente alternada, que induz a circulação de correntes na peça sob ensaio, necessariamente de material condutor, que atua como o secundário de um transformador. O dispositivo que faz a indução destas correntes é capaz de identificar alterações no fluxo de corrente, que são causadas pela existência de alterações no material (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p. 65).

Apesar de ser um ensaio de baixo custo, requer pessoal treinado e qualificado para a interpretação dos resultados. A Figura 2 apresenta o instrumento para ensaio de correntes parasitas.



Figura 2 - Instrumento para ensaio de correntes parasitas.

Fonte: Induflux (2012).

#### 2.2.3.2.2 Ensaio Visual

A inspeção visual é uma das mais antigas técnicas de inspeção utilizadas pelo homem. Ela é utilizada para detectar alterações visíveis ao olho humano, nos materiais, peças, componentes e equipamentos. A utilização de tecnologia tem dado mais importância para este tipo de inspeção. É possível utilizar equipamentos com câmeras de alta resolução e softwares específicos para verificar a existência de alterações nas peças, tais como dimensão, qualidade do acabamento, alterações superficiais visíveis como trincas, corrosão, deformações, porosidades. Quando a inspeção é realizada por pessoas, conforme Figura 3, estes devem possuir treinamento adequado para identificar possíveis falhas nos materiais. Em locais de difícil acesso, ou no interior de máquinas, ao invés de desmontar o equipamento para a inspeção, utiliza-se o boroscópio (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p. 67).



Figura 3 - Inspeção visual.

Fonte: Eccend (2012).

### 2.2.3.2.3 Partículas Magnéticas

O ensaio de partículas magnéticas é realizado em materiais ferromagnéticos para detectar falhas superficiais ou um pouco abaixo da superfície do material, tais como trincas, junta fria, inclusões, gota fria, dupla laminação, falta de penetração, dobramentos, segregações.

O funcionamento baseia-se na geração de um campo magnético na superfície do material. As linhas de campo desviam sua trajetória ao encontrar alterações no material, intensificando-se nestes locais. Ao se magnetizar o material é feita a aplicação das partículas magnéticas que são atraídas para estes pontos permitindo a identificação dos locais com defeito (KARDEC, NASCIF, BARONI, 2007, p. 64). A Figura 4 apresenta a utilização deste ensaio.



Figura 4 - Inspeção por partículas magnéticas.  
Fonte: Portal MB-Inspeções (2012).

### 2.2.3.2.4 Emissão Acústica

Este ensaio é baseado na propriedade dos materiais emitirem ondas acústicas quando sujeitos a uma tensão ou deformação. Quando o material possui algum defeito (trinca, descontinuidade ou outro tipo de defeito), ao ser aplicada uma tensão ou deformação, a propagação da falha gera ondas acústicas no material que podem ser detectadas através de instrumentos específicos (KARDEC, NASCIF, BARONI, 2007, p. 62). Este método apenas identifica existência da falha e sua localização, e não o tamanho ou tipo da mesma. É útil para estudo de falhas e sua evolução em partes ou peças complexas que trabalham sujeitas a grandes esforços,

como, por exemplo, estruturas que trabalham sob pressão (cilindros de gás, tubulações, vasos de pressão), testes de fadiga, controle de processo de soldagem. A Figura 5 apresenta um exemplo de utilização deste método em cilindros.



Figura 5 - Sensores para ensaio de emissão acústica em cilindros.  
Fonte: Eccend (2012).

#### 2.2.3.2.5 Estanqueidade

O ensaio de estanqueidade aplica-se para a identificação de possíveis pontos de vazamentos em equipamentos ou sistemas que operam com produtos perigosos (produtos químicos, tóxicos, inflamáveis), com altas pressões, ou onde se requer que o equipamento ou sistema não permita a entrada de substâncias estranhas ao processo, quando opera sob pressão menor que a ambiente. A Figura 6 mostra uma válvula sendo testada em uma bancada.



Figura 6 - Bancada de testes de estanqueidade em válvulas.  
Fonte: Torr Service (2012).

A garantia de estanqueidade permite ao processo operar sem que haja contaminação do mesmo por substâncias estranhas, bem como evitar que vazamentos contaminem o exterior, podendo atingir outras partes do processo, pessoas e o meio ambiente.

#### 2.2.3.2.6 Ultra-som

Este ensaio baseia-se na utilização de pulsos de ultrassom emitidos sobre o material, que são refletidos quando encontram algum obstáculo. Este obstáculo pode ser alguma alteração no material ou a superfície oposta do mesmo (KARDEC, NASCIF, BARONI, 2007, p. 59).

O ensaio de ultrassom permite a medição de espessura de materiais onde a medição direta não é possível (paredes de tubulações, vasos de pressão, grandes estruturas), medição de corrosão, ou a existência de alterações com razoável precisão, permitindo a aceitação ou rejeição dos materiais.

Outra utilização do ultrassom é a detecção de vazamentos (KARDEC, NASCIF, BARONI, 2007, p. 68). Neste caso não é emitida nenhuma forma de ultrassom sobre o material, mas utiliza-se um receptor que detecta os sons emitidos e os compara com uma base de dados, permitindo que seja identificado, através do tipo de som emitido, o tipo de vazamento. Na Figura 7 temos a utilização de ultrassom para inspeção de um mancal de deslizamento.



Figura 7 - Ensaio de ultrassom em um mancal de deslizamento.

Fonte: BT Service (2012).

### 2.2.3.2.7 Radiografia, Radioscopia e Gamagrafia

Este método de ensaio está baseado na utilização de feixes de raios-X ou raios Gama para detecção de alterações nos materiais, pois a radiação sofre atenuação quando encontra tais alterações, deixando-as gravadas num filme, num sensor radiográfico ou um intensificador de imagem (KARDEC, NASCIF, BARONI, 2007, p. 58).

A radiografia foi o primeiro ensaio não destrutivo utilizado na indústria para identificar e quantificar defeitos internos nos materiais. É utilizada para inspeção de soldas, peças fundidas, principalmente para as peças de segurança na indústria automobilística como carcaças de direção, rodas de alumínio, airbags, assim como blocos de motores e de câmbio; produtos moldados, forjados, materiais compostos, plásticos, componentes para engenharia aeroespacial, entre outros.

A radiografia, conforme Figura 8, pode ser utilizada também para inspeções em processos dinâmicos, onde se deseja analisar o comportamento dos componentes durante a realização de algum movimento, como, por exemplo, o movimento de um projétil ainda dentro do canhão, fluxo metálico durante o vazamento na fundição, queima dos combustíveis dentro dos mísseis, operações de soldagem.

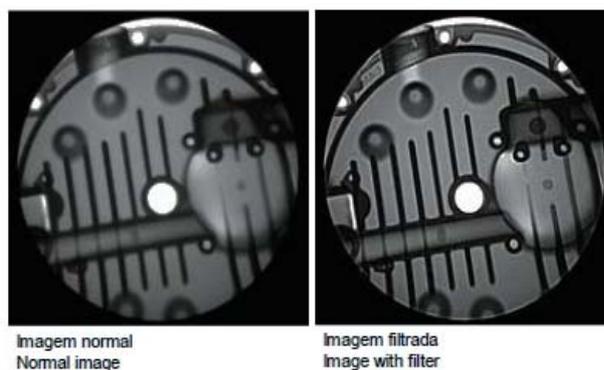


Figura 8 - Imagem de radiografia industrial.  
Fonte: NDB Vision (2012).

### 2.2.3.2.8 Líquido Penetrante

O ensaio por Líquido Penetrante é utilizado para a detecção de descontinuidades superficiais de materiais isentos de porosidade tais como metais ferrosos e não ferrosos, alumínio, ligas metálicas, cerâmicas, vidros, certos tipos de plásticos ou materiais organo-sintéticos.

Este método está baseado no fenômeno da capilaridade que é o poder de penetração de um líquido em áreas extremamente pequenas devido a sua baixa tensão superficial.

O líquido penetrante é aplicado com pincel, pistola, com lata de aerossol ou mesmo por imersão sobre a superfície a ser ensaiada, agindo por um tempo de penetração. Efetua-se a remoção deste penetrante da superfície por meio de lavagem com água ou com solventes. A aplicação de um revelador (talco) irá mostrar a localização das descontinuidades superficiais com precisão e grande simplicidade embora suas dimensões sejam ligeiramente ampliadas (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p. 65).

Descontinuidades em materiais fundidos tais como gota fria, trinca de tensão provocada por processos de têmpera ou revenimento, descontinuidades de fabricação ou de processo tais como trincas, costuras, dupla laminação, sobreposição de material ou ainda trincas provocadas pela usinagem, fadiga do material ou mesmo corrosão sob tensão, podem ser facilmente detectadas pelo método de Líquido Penetrante. A Figura 9 mostra um exemplo de aplicação deste ensaio.



Figura 9 - Ensaio de líquido penetrante em um flange.

Fonte: Merca & Rebocho (2012).

### 2.2.3.2.9 Termografia

“Temperatura é um dos parâmetros de mais fácil compreensão e o acompanhamento de sua variação permite constatar alteração na condição de equipamentos, componentes e do próprio processo” (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p. 105).

Conhecida como inspeção termográfica, a termografia é uma técnica não destrutiva que utiliza a radiação infravermelha emitida pelos corpos para medir sua temperatura ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, com o objetivo de fornecer informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo, baseado nas suas características nominais de operação, e nas condições ambientais. Em qualquer sistema de manutenção considerado, a termografia se apresenta como uma técnica de inspeção extremamente útil, uma vez que permite a realização de medições sem contato físico com a instalação (segurança), verificação de equipamentos em pleno funcionamento (sem interferência na produção) e inspeção de grandes superfícies em pouco tempo (alto rendimento). Para isso utiliza-se o termovisor, uma câmera com um detector que captura a radiação infravermelha e sua intensidade.

Os aplicativos desenvolvidos para a posterior análise das informações termográficas obtidas, como a classificação de componentes elétricos defeituosos, avaliação da espessura de revestimentos e o cálculo de trocas térmicas, permitem que esses dados sejam empregados em análises preditivas.

A termografia possui ampla utilização tanto na indústria como em outras áreas. Inspeção de sistemas elétricos de empresas geradoras, distribuidoras e transmissoras de energia elétrica, monitoramento de sistemas mecânicos como rolamentos e mancais, vazamentos de vapor em plantas industriais, análise de isolamentos térmicos e refratários, monitoramentos de processos produtivos do vidro e de papel, acompanhamento de desempenho de placas e circuitos eletrônicos, pesquisas científicas de trocas térmicas entre outras possibilidades. A Figura 10 apresenta a utilização da termografia em uma caldeira.

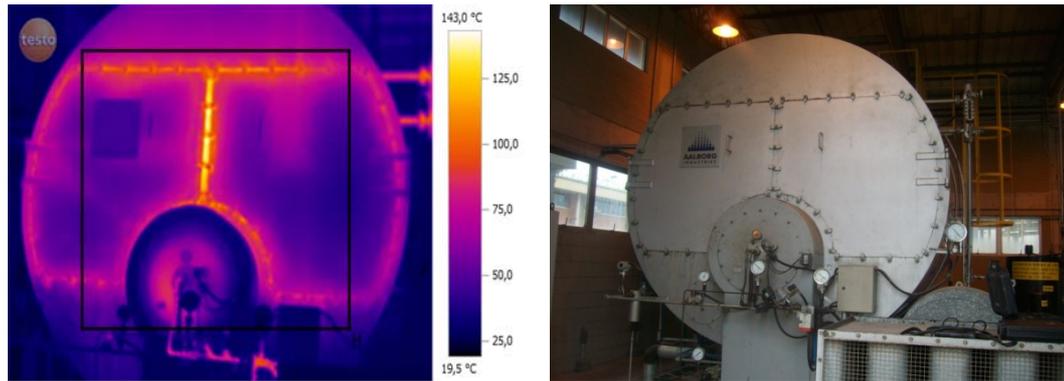


Figura 10 - Imagem térmica e foto de uma caldeira.  
Fonte: Histórico de manutenção da empresa.

### 2.2.3.2.10 Análise de Vibrações

A análise de vibração é uma das técnicas mais antigas de manutenção. Desde a construção da primeira máquina, observou-se que quando ela vibrava ou gerava muito ruído era sinal de falha no funcionamento (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p. 78).

O monitoramento de vibrações mecânicas, em muitas fábricas, é um método indispensável na detecção prematura de anomalias de operação em virtude de problemas tais como falta de balanceamento das partes rotativas, desalinhamento de juntas e rolamentos, excentricidade, interferência, erosão localizada, abrasão, ressonância, folgas ou outras anomalias.

Um sensor piezoelétrico é acoplado ao mancal ou chassis da máquina ou componente em questão, e através de um instrumento capaz de analisar o sinal emitido por este, indica a quantidade e direção da vibração detectada. Bom conhecimento teórico e prático do operador é essencial ao sucesso do ensaio.

O método tem se mostrado útil na monitoração do funcionamento de máquinas rotativas, na análise de deterioração de rolamentos, no estudo de mau funcionamento típicos em máquinas com regime cíclico de trabalho, laminadores, prensas, e na análise de vibrações dos processos de trincamento, notadamente em turbinas e outras máquinas rotativas ou vibratórias.

A análise de vibrações permite uma grande confiabilidade na operação de instalações e na interrupção de uma máquina em tempo hábil para substituição de peças desgastadas.

O ensaio de Análise de Vibrações é um método muito valioso, pois a identificação das falhas no monitoramento de máquinas e motores é feito por medições eletrônicas das vibrações, não percebidas por nossos sentidos, eliminando assim a subjetividade do técnico.

A análise de vibrações pode ser feita *off-line*, quando periodicamente é coletada a vibração nas condições mais comumente utilizadas no equipamento, ou monitoramento *on-line*, onde os sensores são instalados no equipamento, e através de componentes adequados, os resultados são disponibilizados ao operador do equipamento, e no caso de alguma falha, este é imediatamente informado, podendo tomar ações para reduzir as consequências da operação fora dos parâmetros normais de vibração. Na Figura 11 está apresentada a utilização de um equipamento para coleta de dados de vibração nos mancais de um motor elétrico.



Figura 11 - Análise de vibrações em um motor elétrico.

Fonte: Bezerra Oliveira (2012).

#### 2.2.3.2.11 Análise de Lubrificantes

A análise da condição dos lubrificantes vem sendo um dos métodos de monitoração mais utilizados (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 292).

Através de análises laboratoriais é possível verificar a existência de partículas metálicas no óleo, o que pode indicar se os desgastes nos componentes estão ou não de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos. A qualidade do óleo também pode indicar diversas alterações no desempenho do equipamento ou componente, como operação com temperaturas muito elevadas ou a presença de

contaminantes no sistema (como água ou outros produtos), entre outros casos mais específicos.

#### 2.2.3.2.12 Alinhamento de máquinas rotativas

O alinhamento de máquinas consiste em dispor os eixos rotativos de tal modo que à temperatura de operação estes sigam uma linha reta, tomando como referência suas linhas de centro (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 297).

O alinhamento não é realizado apenas para eixos que são montados em uma única linha de referência, também é utilizado para eixos paralelos em transmissões por correias, correntes, engrenagens.

Eixos desalinhados provocam esforços maiores nos componentes, conseqüentemente maior aquecimento, desgastes acentuados, maior consumo de energia, vibrações, entre outras possíveis conseqüências.

### 2.3 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A engenharia de manutenção consiste na realização de uma análise crítica e contínua dos resultados da manutenção, tanto na sua gestão como na realização das atividades de manutenção.

O objetivo da engenharia de manutenção é avaliar se o modelo de gestão e as atividades realizadas estão adequados às necessidades do processo produtivo, garantindo a sua disponibilidade (FILHO, 2006, p. 42).

A engenharia de manutenção pode trazer como resultado desta avaliação a busca por novos métodos de gestão, novas práticas de manutenção, modificação em planos e periodicidades de um determinado tipo de manutenção, a adoção de novas técnicas, ou mesmo a determinação de que para um determinado equipamento ou item, a melhor solução é deixar operar até a quebra, com posterior substituição ou reparo, se a falha do item não traz conseqüências significativas para o processo, para a segurança e o custo da falha é muito baixo frente à utilização de

alguma técnica de manutenção preventiva ou preditiva.

Praticar a engenharia de manutenção significa a substituição de cultura na função manutenção. A Manutenção passa a buscar conhecimentos sobre comportamento dos equipamentos, peças e componentes, melhores práticas de manutenção utilizadas em outras empresas, estudos detalhados sobre a própria planta.

A engenharia de manutenção exige da empresa a elaboração de históricos de manutenção e operação com informações detalhadas sobre os parâmetros operacionais, condições dos equipamentos, ajustes e manutenções realizadas, peças substituídas, relatórios de manutenção dos equipamentos, peças e componentes que sofreram algum tipo de manutenção ou reparo. Informações sobre a origem das peças e componentes também são relevantes.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1 FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS**

Como fundamentos teóricos foram consultados diversos artigos, livros e trabalhos envolvendo o tema manutenção, e informações disponíveis em sites de empresas prestadoras de serviços de manutenção e de fabricantes de peças e equipamentos.

As referências bibliográficas possuem conceitos modernos sobre a manutenção, desde a própria descrição do que é manutenção até conceito de Gestão Estratégica da Manutenção.

Com base nestes conceitos, entende-se que o foco atual da Manutenção é o Planejamento Estratégico (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2007, p. 6).

A Manutenção faz parte da estratégia de mercado da empresa, da sua visão e missão. Obter lucro, melhorar a qualidade, produzir mais em menos tempo, com menos desperdício, menor prazo de entrega, não agredir o meio ambiente, todas estas etapas tem forte impacto da função manutenção.

O profissional de manutenção não é mais a pessoa destinada somente a consertar o que quebrou. Ele passa a fazer parte do processo produtivo da empresa, requerendo conhecimento sobre a sua especialidade, e sobre os demais processos existentes na sua empresa.

#### **3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA**

O presente estudo teve como fonte de dados um caso real de utilização de manutenção preventiva, preditiva e corretiva.

A primeira etapa do estudo consistiu na delimitação do sistema, com a definição de quais equipamentos seriam avaliados para obtenção das informações necessárias para este trabalho, tomando como base a fundamentação teórica que permitiu delimitar a extensão deste estudo.

A segunda etapa foi a coleta, organização e análise dos dados históricos

da manutenção corretiva, preventiva e preditiva realizadas no sistema objeto do estudo. Como este se encontrava em funcionamento, os dados anteriores ao início do estudo foram coletados, e durante a realização deste estudo estes dados foram atualizados com as informações das novas manutenções realizadas.

A terceira etapa consolida o trabalho com a avaliação dos resultados da função manutenção antes e depois da utilização das técnicas preditivas, permitindo que fosse verificado se a metodologia adotada atendeu ou não às expectativas da empresa. Ao final foram elaboradas sugestões para melhorar estes resultados.

### 3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

As técnicas preditivas utilizadas nos equipamentos do sistema em estudo foram termografia e análise de vibrações.

Para a coleta de dados de vibração foi utilizado um coletor de dados CSI. Após a definição dos pontos a serem monitorados para a aplicação da técnica de análise de vibração, os dados de vibração foram coletados e realizou-se a análise para determinar a real condição dos equipamentos rotativos.

Para a análise termográfica foi utilizada uma câmera termográfica Flir. As imagens térmicas permitiram avaliar a condição dos equipamentos em relação a possíveis pontos de aquecimento anormal.

Os dados coletados foram descarregados no *software AMS Machinery Manager Client* onde após a análise emite-se um relatório através do *software RPTSuite Gestor* e o resultado é disposto ao cliente no *software RPTSuite Client*.

## 4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o estudo da implantação de manutenção preditiva em uma empresa de logística de grânéis líquidos e os primeiros resultados obtidos com essa nova metodologia de manutenção.

As informações da empresa e detalhes que possam indiretamente identificar esta empresa não foram mencionados.

A implantação da manutenção preditiva ocorreu por decisão da alta direção da empresa, com o objetivo de padronizar a manutenção realizada em suas diversas unidades. Algumas já realizavam este tipo de manutenção, e outras ainda não haviam implantado a preditiva.

O estudo trata de um dos sistemas existentes na empresa, denominado de Sistema de Descarregamento de Caminhões e Vagões Tanque.

### 4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE DESCARREGAMENTO DE CAMINHÕES E VAGÕES TANQUE

O sistema de descarregamento de grânéis líquidos transportados através de caminhões e vagões tanque pode ser visualizado através da Figura 12.

Cinco bombas de deslocamento positivo, acionadas por motores elétricos (MB-A até MB-E) estão interligadas a duas linhas, sendo uma proveniente da plataforma de vagões tanque e outra da plataforma de caminhões tanque.

As bombas estão instaladas em paralelo, e enviam o produto para tanques de armazenamento. Um conjunto de válvulas permite que cada uma das bombas possa ser utilizada tanto para descarregar vagões, quanto para descarregar caminhões, dando mais flexibilidade ao uso das mesmas. Indicadores de pressão (identificados na figura como PI) e de temperatura (indicados na figura como TI) permitem ao operador acompanhar o processo, através da temperatura do produto nas linhas, e da pressão na sucção e na descarga das bombas. O controle de vazão é realizado pela medição da variação de nível no tanque que estiver recebendo o produto.

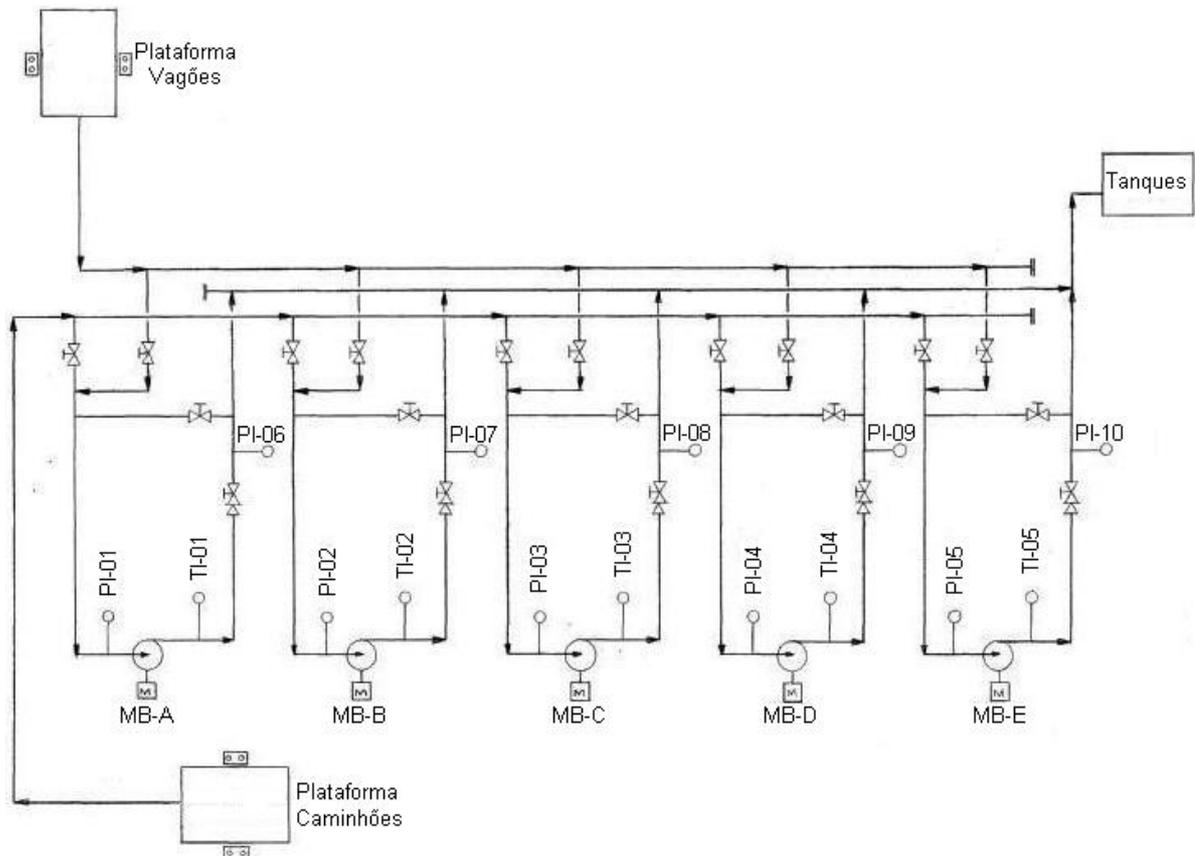


Figura 12 – Fluxograma do sistema de descarregamento.  
Fonte: Arquivo da empresa.

Algumas características em relação ao sistema são:

- As bombas produzem vácuo para sucção do produto dos caminhões e vagões tanque;
- O produto é viscoso, e essa viscosidade varia bastante com a temperatura. O ideal para a operação do sistema é produto com temperatura média de 60°C. Muito abaixo desta temperatura (40°C ou menos), há grande perda de rendimento do sistema, inclusive possibilidade de perda de escorva nas bombas, fazendo com que estas operem em vazio.
- Não há monitoração de presença de produto nas linhas de sucção das bombas, ocorrendo comumente operações em vazio.
- No início da operação as bombas podem vir a trabalhar em vazio, produzindo vácuo, até que a linha de sucção esteja cheia de produto.

Para este estudo, as bombas serão denominadas pelas letras 'A', 'B', 'C', 'D' e 'E'.

## 4.2 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA BOMBA

As bombas instaladas são bombas de três fusos, modelo TRIRO 125-3-5, com vazão de 120m<sup>3</sup>, rotação de 1170rpm, da fabricante HERO, conforme informações no Anexo I. As bombas foram fabricadas no ano de 1976. O motor elétrico é do tipo rotor de gaiola de esquilo, tensão 380V, potência de 50cv, trifásico, rotação de 1170rpm, fabricado pela BÚFALO.

A Figura 13 mostra uma bomba similar e seus componentes internos. O projeto da bomba de três fusos possui pequenas variações entre os fabricantes, porém o princípio de funcionamento é o mesmo.

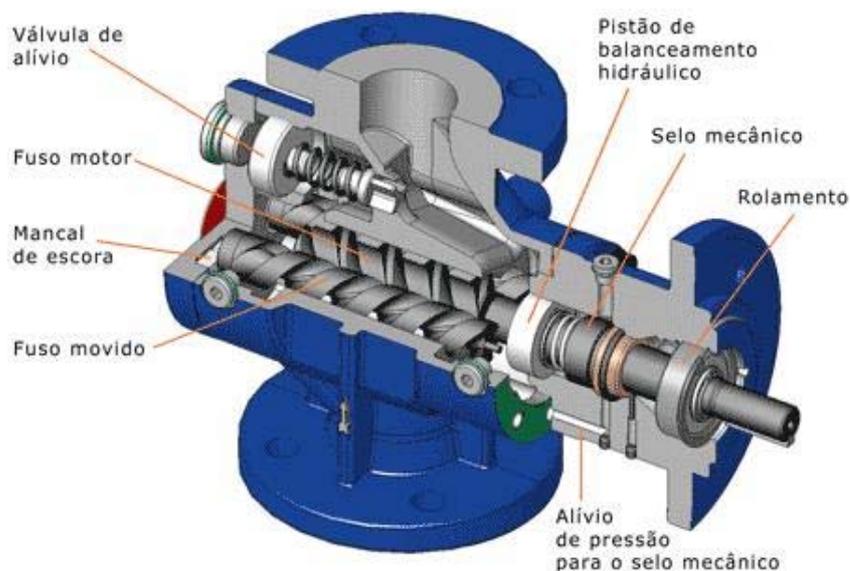


Figura 13 - Visão em corte de uma bomba de três fusos.  
Fonte: Tetralon (2012).

Este tipo de bomba possui como característica importante a sua robustez. É um equipamento que possui um único mancal de rolamento, no fuso principal (fuso motor), do lado acoplado ao acionador (geralmente um motor elétrico). O selo mecânico tem a finalidade de evitar o vazamento de fluido para o meio externo. Os fusos movidos não possuem rolamentos. Seu movimento é limitado pela própria carcaça da bomba, no sentido radial, e por mancais de escora no sentido axial. Esta forma construtiva reduz a necessidade de manutenção do conjunto, porém ocasiona maiores desgastes entre os fusos e a carcaça da bomba, desgaste acentuado no caso de bombeamento de fluidos que possuam partículas sólidas e sem

propriedades lubrificantes. Para um melhor funcionamento da bomba, fluídos limpos e com propriedades lubrificantes reduzem o desgaste interno.

Por se tratar de uma bomba de deslocamento positivo, esta é provida de uma válvula de alívio, que é acionada caso ocorra alguma obstrução na linha de descarga da bomba, evitando assim que altas pressões possam ser originadas na bomba, o que poderia causar danos ao equipamento, e possíveis acidentes envolvendo pessoas e contaminação do meio ambiente.

O fluxo neste tipo de bomba é realizado através do deslocamento do fluído confinado em cavidades que são formadas entre os fusos e a carcaça. A rotação do fuso faz com que estas cavidades se desloquem, produzindo um fluxo contínuo e sem pulsação. Na Figura 14 estão destacados os pontos que mostram como é a formação das cavidades e o sentido de fluxo do fluído.

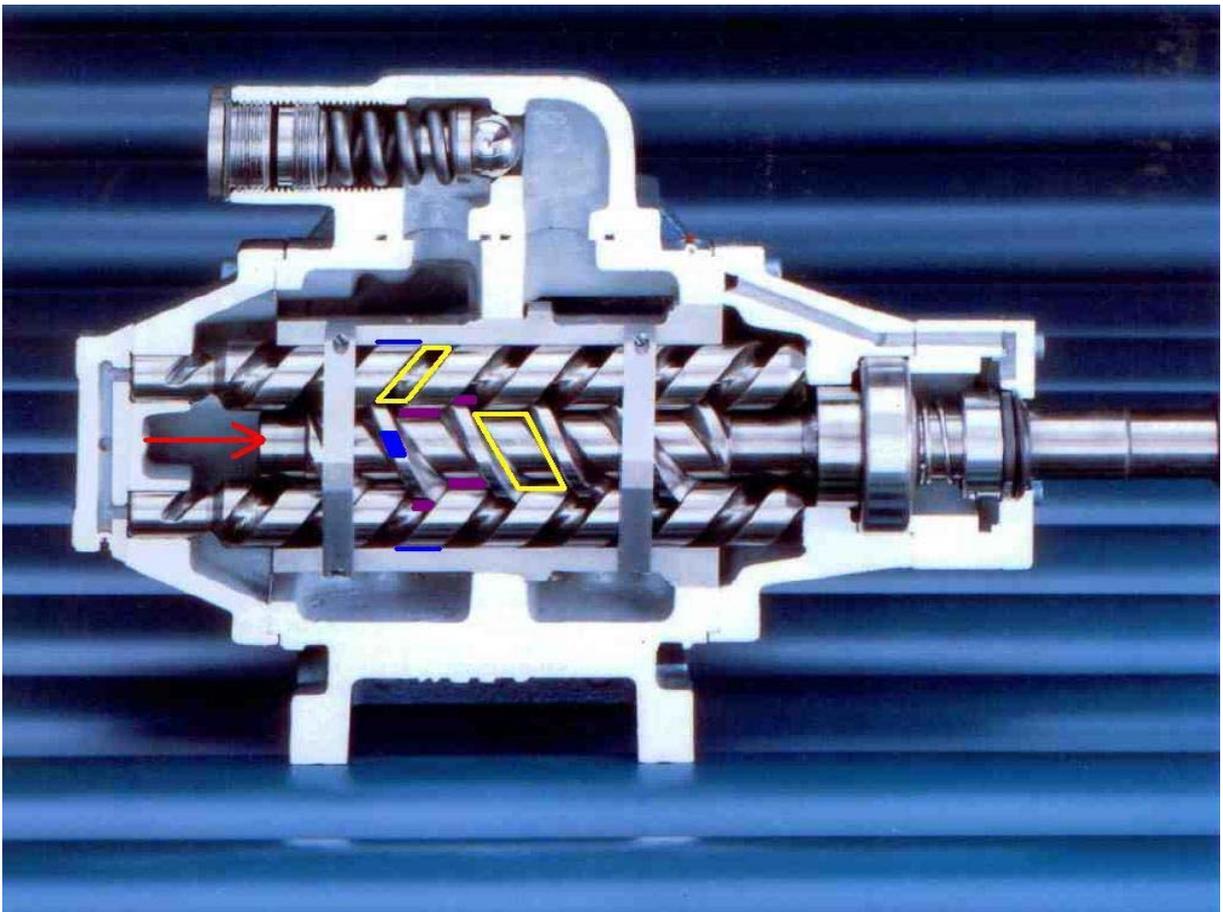


Figura 14 - Bomba de três fusos em corte.  
Fonte: KRAL (2012).

A seta em vermelho mostra o sentido do fluxo, o eixo gira no sentido horário, visto do lado acoplado ao acionador (lado direito da figura). Em amarelo estão destacadas as cavidades que são formadas tanto no fuso principal quanto nos

fusos movidos. As regiões de contato dos fusos com a carcaça, em azul, e entre os fusos, em roxo, fazem a selagem das cavidades, permitindo que o fluido permaneça confinado. Esta selagem não é perfeita, pois existem folgas entre as partes, para que seja possível o movimento dos fusos.

#### 4.2.1 Sistema de selagem da bomba

O sistema de selagem da bomba tem por finalidade evitar que o fluido bombeado escoe para o exterior, o que pode causar contaminação do ambiente no qual os equipamentos estão instalados. Será dedicado um espaço para falar deste sistema, pois a falha na selagem foi o maior motivo de paradas das bombas ocasionando maiores impactos pelo vazamento de produto para o ambiente. A Figura 15 mostra um exemplo de selo mecânico.

Conforme descrição do fabricante ULTRASEAL:

Selo mecânico é um dispositivo mecânico de forma cilíndrica, de alta tecnologia e alta performance, que elimina e previne vazamentos de fluidos, líquidos ou gases sob pressão na caixa de selagem ou câmara do selo, de bombas centrífugas, bombas hidráulicas e reatores, onde o eixo rotativo atravessa seu corpo. O selo mecânico evita a passagem, fuga de líquidos e gases, entre o eixo rotativo (móvel) e a carcaça fixa da bomba. Tem longa vida útil, não danifica o eixo ou luva protetora do eixo, e tem manutenção praticamente inexistente ou mínima, além de gerar grande economia de energia elétrica. O selo mecânico proporciona inúmeras vantagens e benefícios quando comparado a gaxetas. Só o selo mecânico garante vedação total, confiável e durável. O selo mecânico possui ajuste automático das faces de contato da parte fixa e conjunto Rotativo (Face Estacionária e Face Rotativa ou Giratória), compensa automaticamente pequenos e grandes desvios axiais e radiais (deflexões) do eixo rotativo, além de preservar o meio ambiente, atmosfera, lençol freático, rios, riachos, mananciais e aquíferos do nosso planeta (ULTRASEAL, 2012)



Figura 15 - Selo mecânico ultraseal.  
Fonte: Ultraseal (2012).

O projeto do selo mecânico deve contemplar as características do equipamento que requer selagem, bem como do processo (pressão, temperatura de operação, características do fluido bombeado).

Por se tratar de um componente de precisão, o selo mecânico requer algumas condições específicas para o seu bom funcionamento e para a manutenção da sua integridade.

Na montagem do selo mecânico, as faces devem estar perfeitamente limpas, livres de sujeiras, principalmente partículas sólidas. A face fixa deve estar perpendicular à linha de centro do eixo rotativo. As faces (fixa e rotativa) devem ser concêntricas, aceitando-se pequenas variações durante a operação da máquina, e as variações no sentido axial também devem ser mínimas (folgas radial e axial na casa de décimos de milímetro).

Durante a operação do equipamento, deve-se garantir que o selo esteja imerso no fluido, para que haja lubrificação entre as faces e resfriamento do selo, pois o atrito entre faces gera calor. Se o selo operar a seco, poderá se queimar, danificando permanentemente as faces.

A vida útil de um selo mecânico depende muito das condições operacionais e de instalação. Estima-se como normal um período de dois a três anos de operação contínua. O fabricante ULTRASEAL relata que em condições ideais de uso, os selos mecânicos têm servido períodos de quinze a vinte anos de operação.

#### 4.3 HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO E DADOS DE FALHAS

O histórico de manutenção das bombas tem início em 1979. Até o ano de 2005, os dados estavam arquivados somente em meio físico. Neste período não foram encontrados registros consistentes de manutenção. A partir do ano de 2005 iniciou-se um novo ciclo de registro das informações sobre a manutenção, com a utilização do SAP ERP (Sistema informatizado de planejamento de recursos empresariais – *Enterprise Resource Planning*). As informações registradas a partir de 2005, referentes ao plano de manutenção, ordens de manutenção geradas, as atividades realizadas e os recursos utilizados estão registrados no banco de dados

do SAP.

No período anterior, o histórico traz apenas informações sobre algumas atividades realizadas de modo preventivo, e algumas ações corretivas. Não existem registros de recursos utilizados nestas intervenções, nem o tempo gasto nas paradas, tanto programadas ou não programadas.

A partir de 2005 as informações sobre as manutenções que foram realizadas estão mais consistentes, porém faltam melhores detalhes sobre as intervenções realizadas.

Os dados de falhas existentes apenas descrevem a falha que ocorreu e as ações realizadas para o retorno operacional do equipamento. Não foram localizados registros com algum tipo de estudo referente à identificação da causa dessas falhas. A principal falha identificada nos históricos refere-se ao vazamento pelo selo mecânico.

A manutenção corretiva da bomba com a troca ou reparo do selo mecânico requer uma parada do equipamento de pelo menos dezesseis horas (dois dias úteis). Observando a construção da bomba identificamos que o selo é montado internamente na bomba, e para a sua substituição é necessário que a bomba seja desmontada. Para a remoção da bomba do local, também é necessário retirar o motor elétrico, o que torna a troca do selo uma atividade com grande impacto na operação do sistema.

Para reduzir o impacto dessa parada a empresa possui uma bomba reserva mantida revisada e em condições operacionais, reduzindo o tempo da parada para a remoção da bomba com falha e instalação da bomba reserva. Neste caso, a parada pode ter duração de oito horas (um dia útil).

Para efeito de estudo, será considerado como marco de mudança do modelo de manutenção o início da aplicação da manutenção preditiva que ocorreu em março de 2011, com a troca do plano de manutenção.

Para análise de falhas, será estudada principalmente a falha do selo mecânico e os resultados obtidos após a utilização da manutenção preditiva.

#### 4.3.1 Plano de manutenção anterior

O histórico de manutenção dos equipamentos mostra que existia um plano de manutenção para os motores e para as bombas, até o ano de 2005, porém não foi localizado nenhum registro detalhando este plano.

Observando as anotações do histórico de manutenção, percebe-se pelas datas registradas que existia uma rotina de manutenção mecânica realizada a cada três meses. Essa rotina pode ser confirmada considerando-se que o plano cadastrado no SAP possui esta mesma periodicidade.

O plano de manutenção consistia na realização de tarefas de manutenção preventiva no motor elétrico e na bomba.

Para as bombas, as tarefas realizadas e a periodicidade eram:

- Periodicidade trimestral (três horas de intervenção):
  - verificar base quanto a rigidez, trincas e apertar parafusos de fixação;
  - verificar e corrigir se necessário, alinhamento do conjunto.
- Periodicidade anual (cinco horas de intervenção):
  - revisar sistema de selagem da bomba;
  - revisar acoplamento do conjunto;
  - calibrar instrumentos de medição e controle;
  - substituir óleo do mancal (quanto lubrificado por óleo).
- Periodicidade bienal (doze horas de intervenção):
  - verificar desgaste, medir dimensional do rotor, eixo, luva do eixo e corpo espiral da bomba;
  - inspecionar, limpar e trocar se necessário rolamento dos mancais da bomba;
  - preencher folha de testes do equipamento com os valores encontrados.

Uma informação importante obtida junto aos técnicos de manutenção da empresa é que as atividades de manutenção de periodicidade bienal não estavam sendo realizadas.

Observando também os detalhes do plano de manutenção, as tarefas designadas para este tipo de bomba não estavam adequadas. Estas tarefas são

genéricas para todas as bombas instaladas na empresa, sendo que a maioria das bombas é do tipo centrífuga, e as bombas deste sistema são bombas de fusos.

Para os motores elétricos, as tarefas realizadas e a periodicidade eram:

- Periodicidade mensal (uma hora de intervenção):
  - inspecionar, limpar mancais e ventilador do motor;
  - verificar caixa de ligação quanto a vedação;
  - verificar integridade do cabo e conexões de aterramento;
  - inspecionar, medir temperatura da carcaça e amperagem com motor em funcionamento e com carga:
    - temperatura:
    - corrente nominal:
    - corrente medida:
  - verificar se os circuitos estão identificados corretamente, caso não estejam, informar ao planejamento e providenciar a identificação;
  - verificar se os dispositivos de bloqueio estão adequados, caso não estejam ou não seja possível aplicá-los, informar ao planejamento.
- Periodicidade semestral (duas horas de intervenção):
  - medir resistência de isolamento da carcaça, cabos elétricos e bobinas quando possível;
  - entre fases  $a = r$ ;
  - entre fases  $a = s$ ;
  - entre fases  $a = t$ ;
  - motor p/ carcaça  $a = r$ ;
  - motor p/ carcaça  $a = s$ ;
  - motor p/ carcaça  $a = t$ ;
  - medir resistência de isolamento dos cabos;
  - condutores elétricos  $a = r$ ;
  - condutores elétricos  $a = s$ ;
  - condutores elétricos  $a = t$ ;
  - medir aterramento ohms = \_\_\_\_\_ obs: > que 1,5 ohms corrigir.
- Periodicidade anual (oito horas de intervenção):
  - verificar alojamento e assento dos rolamentos quanto a possíveis desgastes;

- substituir rolamentos e vedações da caixa de ligação do motor, se necessário;
- medir e anotar solicitação da folha de testes.

Do mesmo modo que ocorreu nas bombas, nos motores elétricos não estavam sendo realizadas as atividades de periodicidade anual.

O estudo do histórico de manutenção mostra que até o início do ano de 2011 existia a mesma sistemática de manutenção. Temos então que desde 1979 até o início do ano de 2011, a empresa praticou o mesmo modelo de manutenção.

#### 4.3.2 Plano de manutenção atual

A alteração do plano de manutenção realizada na empresa ocorreu por decisão da alta direção, com o objetivo de padronizar as atividades realizadas nas diversas unidades da empresa.

As melhores práticas adotadas nas unidades foram unificadas e consolidadas como padrão de manutenção a ser implantado em todas as unidades da empresa, de modo a permitir a obtenção de melhores resultados com a divulgação e implantação destas melhores práticas.

A grande mudança que ocorreu na manutenção foi a substituição das intervenções preventivas programadas com a adoção da preditiva para os motores elétricos e bombas.

Para as bombas e para os motores, ocorreram duas etapas distintas na utilização da manutenção preditiva mecânica. No período de março de 2011 a dezembro de 2011 foi realizada a coleta de dados de vibração e a termografia dos equipamentos. A inspeção termográfica não apresentou resultados que permitissem realizar alguma ação de melhoria nas atividades de manutenção. A partir de janeiro de 2012 permaneceu apenas a coleta de dados de vibração, sendo retirada a termografia desse plano.

Para as bombas o plano de manutenção consiste na realização de coleta e análise de vibração mensalmente, e através dos resultados obtidos, são programadas intervenções corretivas ou preventivas. A intervenção será preventiva se o resultado da análise de vibração estiver dentro de valores admissíveis. Se

ultrapassar o limite de vibração admissível, será tratada como corretiva.

Para os motores elétricos, a partir de março de 2011, as intervenções passaram a ser realizadas anualmente.

- Periodicidade anual (duas horas de duração):
  - verificar condição geral do motor;
  - verificar se os dados do motor conferem com a ordem de serviço;
  - anotar informações requeridas no relatório;
  - inspecionar motor quanto à pintura, pontos de corrosão, limpeza, aterramento. Se houver necessidade de reparo, solicitar abertura de nota de manutenção corretiva;
  - abrir caixa de ligação do motor e verificar conexões;
  - medir a isolação do conjunto cabos e bobinas do motor;
  - refazer conexões e fechar caixa de ligação;
  - realizar teste do motor;
  - medir tensão de alimentação e corrente do motor em condições normais de operação, no painel de acionamento do motor;
  - liberar o motor para a operação;
  - preencher relatório de manutenção e ordem de serviço.

Será avaliado individualmente o histórico de manutenção de cada um dos conjuntos de motor e bomba que integram este sistema de descarregamento de caminhões e vagões tanque.

#### 4.3.3 Histórico de manutenção do motor e da bomba 'A'

No caso da bomba 'A' não foram localizados registros de manutenção anterior ao ano de 2006. O histórico inicia-se em 2006, com as manutenções preventivas realizadas a cada três meses. Fora do plano de manutenção, temos algumas atividades preventivas realizadas com base na monitoração preditiva, e as manutenções corretivas. Segue informações sobre as manutenções, com a data da realização, a descrição da falha e a atividade realizada. A Tabela 1 apresenta as informações referentes às manutenções corretivas realizadas no conjunto.

Tabela 1 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'A'.

Data	Falha	Atividade realizada
Bomba	-----	-----
01/09/2009	Vazamento pelo selo	Troca do selo, retentor, buchas
03/11/2009	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
02/08/2011	Folga nos mancais	Ajuste e lubrificação dos mancais
12/09/2011	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
24/04/2012	Vazamento pelo selo	Recuperação do eixo e troca do selo
11/06/2012	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
05/11/2012	Vazamento pelo eixo	Substituída pela bomba reserva
Motor	-----	-----
03/05/2006	Sobrecarga	Substituição do motor
02/06/2012	Base do motor quebrada	Reparo na base
27/07/2012	Falha de lubrificação	Lubrificação dos mancais

Fonte – Histórico do equipamento.

A Tabela 2 apresenta os dados referentes às manutenções preditivas realizadas no conjunto.

Tabela 2 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'A'

(continua)

Data	Diagnóstico
13/04/2011	Sintomas de folgas nos mancais da bomba e do motor
09/05/2011	Sintomas de folgas nos mancais da bomba e do motor
06/06/2011	Sem anormalidades
06/07/2011	Sintomas de folgas nos mancais da bomba e do motor, e início de desgaste nos componentes internos da bomba
08/08/2011	Sintomas de folgas nos mancais da bomba
13/09/2011	Sintomas de desalinhamento e falha no acoplamento
14/10/2011	Sintomas de desalinhamento e falha no acoplamento
27/12/2011	Sintomas de falha no acoplamento e falta de rigidez no motor
18/01/2012	Sintomas de falha no acoplamento e falta de rigidez no motor
07/02/2012	Sintomas de falha no acoplamento e falta de rigidez no motor
05/03/2012	Sintomas de falha no acoplamento e falta de rigidez no motor
04/04/2012	Sem anormalidades

Tabela 2 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba ‘A’

(conclusão)

Data	Diagnóstico
03/05/2012	Sintomas de folgas nos mancais do motor falta de rigidez
13/06/2012	Sintomas de falha de lubrificação e folgas no motor
06/07/2012	Sintomas de falha de lubrificação no motor
25/07/2012	Sintomas de falha de lubrificação no motor
06/08/2012	Sem anormalidades
03/09/2012	Sem anormalidades
11/10/2012	Equipamento parado para manutenção
06/11/2012	Equipamento parado para manutenção

Fonte – Histórico do equipamento.

A figura 16 mostra os pontos de coleta de vibração no conjunto. O ponto 1, lado oposto ao acoplamento (LOA) do motor, o ponto 2, lado acoplado (LA) do motor, o ponto 3, lado acoplado da bomba, e o ponto 4, lado oposto ao acoplamento da bomba. Estes pontos são os mesmos para todos os equipamentos que foram monitorados neste estudo.

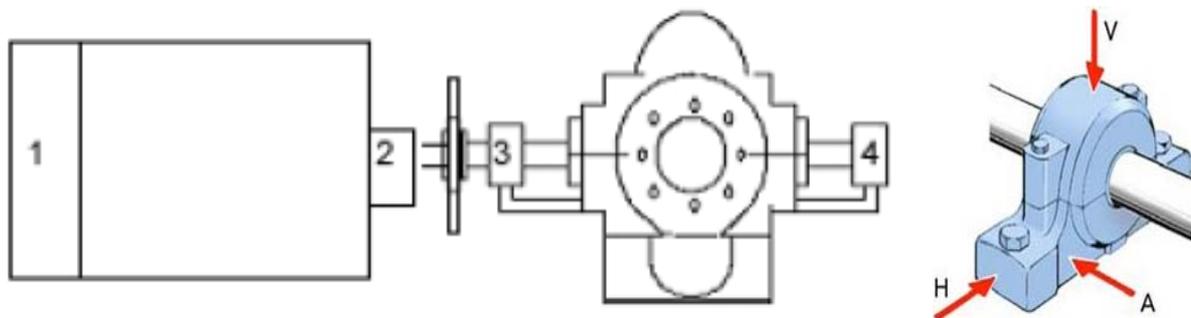


Figura 16 - Pontos de medição de vibração – mancais do motor e da bomba (esquerda).

Direções de medição – horizontal (H), vertical (V) e axial (A) (direita).

Fonte: Histórico do equipamento.

Nos pontos 1 e 4 são feitas as coletas de vibração no sentido horizontal e vertical, sendo medidos os valores de velocidade e de aceleração (medições transversais ao eixo do equipamento). Nos pontos 2 e 3 são feitas coletas de vibração no sentidos horizontal, vertical e axial. Como os eixos são peças inteiriças, a medição axial é feita em apenas um dos mancais (neste caso foram escolhidos os mancais do lado acoplado).

As Figuras 17 e 19 mostram os resultados das medições realizadas e os gráficos de tendências, baseado nos valores globais da medição. No topo da figura, as medições referem-se à última data de coleta indicada nos gráficos. São

apresentados sete resultados de medições, tanto para o motor quanto para a bomba. Os campos 1HV e 2HV são os resultados de velocidade nos mancais do motor, no sentido horizontal, os campos 1VV e 2VV são os resultados de velocidade no sentido vertical. Os campos 1HA e 2HA são resultados de aceleração, e o campo XV é o resultado de velocidade no sentido axial. Para a bomba os dados tem o mesmo significado, sendo tratados os pontos 3 e 4.

A Figura 18 mostra o gráfico de tendência de velocidade horizontal, destacado da Figura 17 e ampliado. Os gráficos apresentam os resultados de acordo com o tipo de dado analisado (velocidade vertical, horizontal, axial, e a aceleração). Pode ser verificado que existem três valores limites em cada gráfico – adequado, admissível e inadmissível, sendo que cada um delimita uma condição para os dados analisados. Através destes limites é possível verificar rapidamente onde cada resultado da medição se situa. Na Tabela 3 são apresentados alguns diagnósticos obtidos através da análise de vibração, e considerações sobre estes diagnósticos.

Tabela 3 – Alguns dos diagnósticos obtidos com a análise de vibração.

Diagnóstico	Amplitude	Considerações
Desbalanceamento	Maior na direção radial	Causa mais comum de vibração
Desalinhamento ou Eixo Empenado	Maior na direção axial	Melhor identificada pela grande amplitude axial
Elementos Mecânicos Soltos	Às vezes Errática (Imprevisível)	Normalmente acompanhado de desbalanceamento e/ou desalinhamento
Falta de Rigidez	Maior na direção Vertical	Melhor identificada pela grande amplitude na direção Vertical
Mancais Excêntricos	Não muito grande	Engrenagem - maior vibração linha de centro das engrenagens. Motor ou Gerador - desaparece quando a potência é desligada. Bomba e Ventilador - Balancear.

Fonte – Autoria própria.

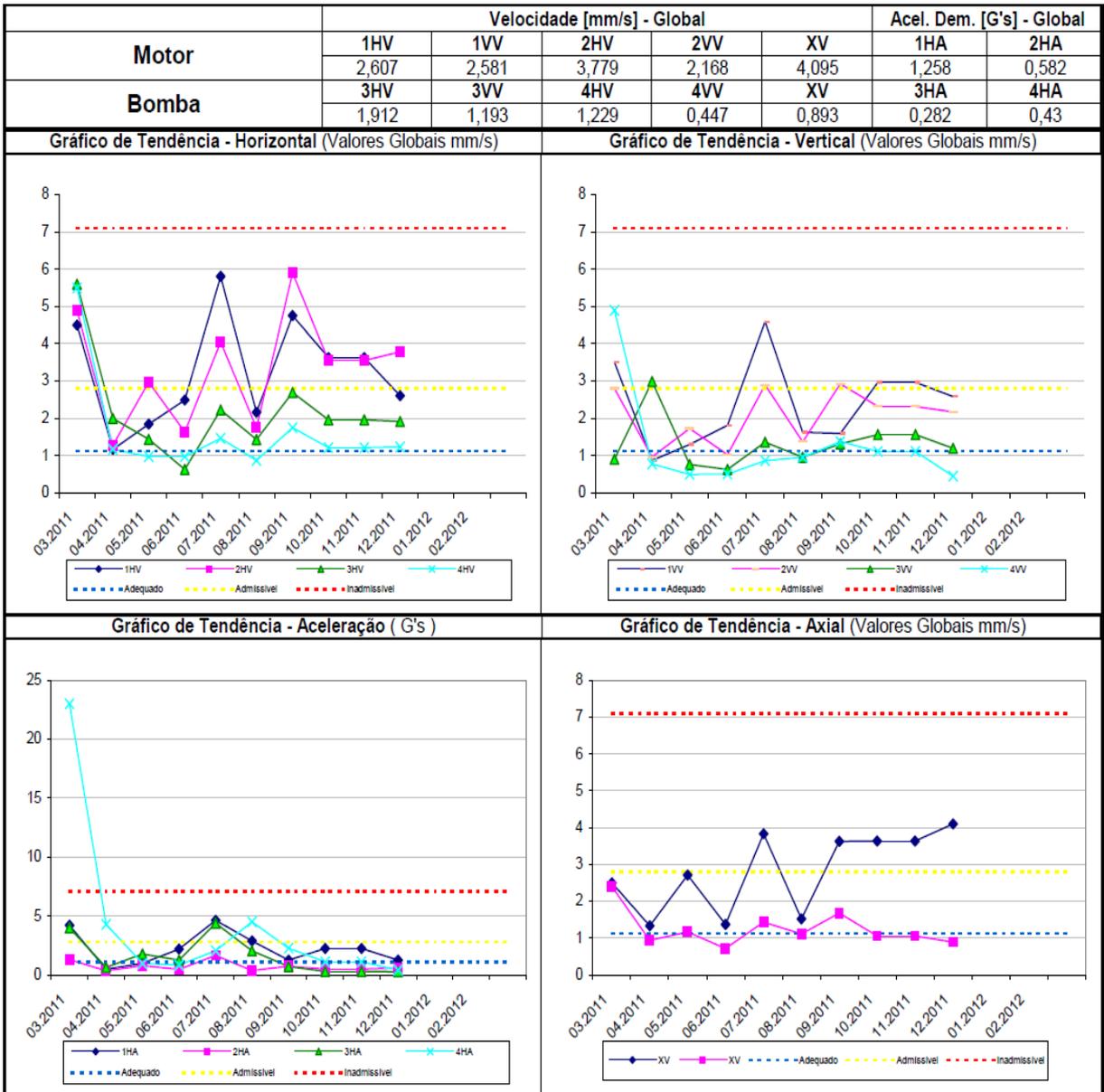


Figura 17 - Histórico de vibração – bomba ‘A’ – valores de março a dezembro de 2011.  
 Fonte – Histórico do equipamento.

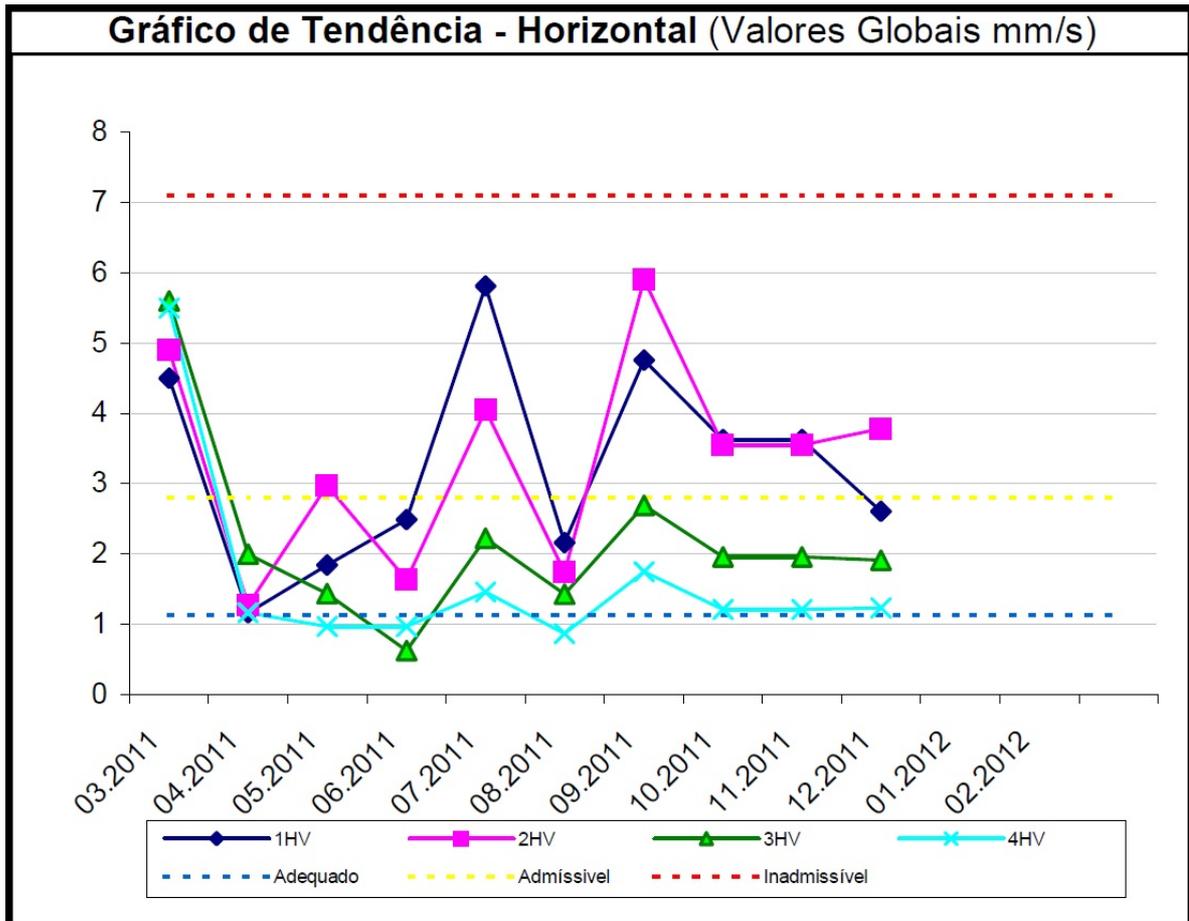


Figura 18 – Gráfico de tendência horizontal destacado da Figura 17.  
 Fonte – Histórico do equipamento.

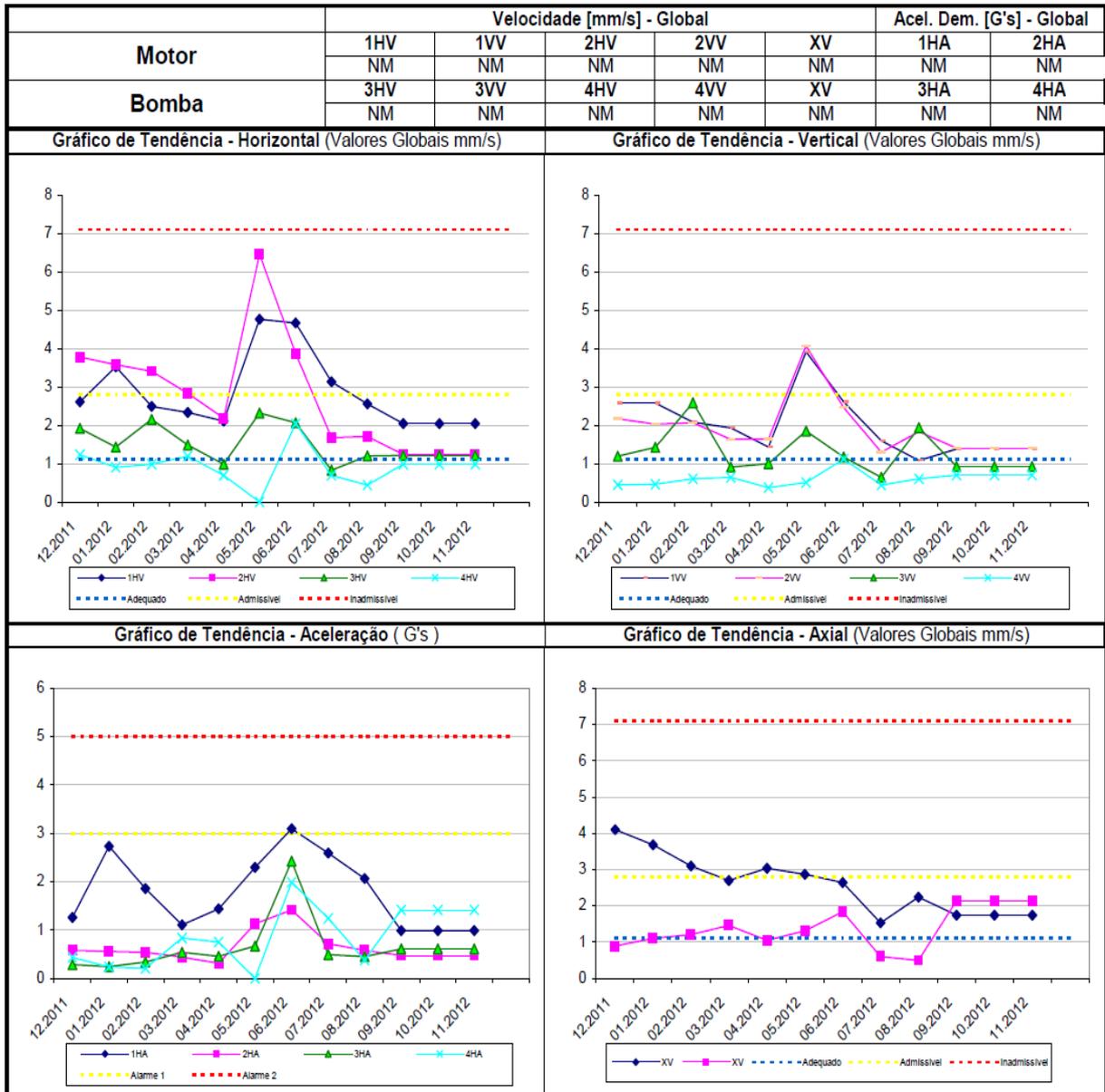


Figura 19 - Histórico de vibração – bomba ‘A’ – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012.  
Fonte – Histórico do equipamento.

#### 4.3.4 Histórico de manutenção do motor e da bomba ‘B’

O histórico inicia-se em 1979, com as manutenções preventivas realizadas a cada três meses. Fora do plano de manutenção, temos algumas atividades preventivas realizadas com base na monitoração preditiva, e as manutenções corretivas. Segue informações sobre as manutenções, com a data da realização, a descrição da falha e a atividade realizada. A Tabela 4 apresenta as informações referentes às manutenções corretivas realizadas no conjunto.

Tabela 4 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'B'.

Data	Falha	Atividade realizada
Bomba	-----	-----
25/01/1982	Sem descrição	Troca do selo e rolamento
26/10/1982	Sem descrição	Troca do selo, rolamento, anel trava e porca trava do rolamento
02/10/1985	Vazamento pelo selo	Revisão geral com substituição do rolamento e do tipo de selo (da John Crane por Durametalllic)
14/02/1986	Vazamento pelo selo	Troca do selo e revisão geral na bomba
22/01/1987	Sem descrição	Correção do alinhamento
01/07/1991	Vazamento pelo selo	Troca do selo e rolamento
19/02/1992	Vazamento pelo selo	Troca do selo
09/04/1996	Vazamento pelo selo	Sem descrição
04/07/1996	Vazamento pelo selo e baixo rendimento	Troca do selo, rolamento, fusos e buchas.
15/09/2000	Sem descrição	Substituído o tipo de selo (Durametalllic por Du-O-Lap)
07/06/2005	Sem descrição	Correção do alinhamento
30/08/2005	Vazamento na bomba	Sem descrição
01/08/2007	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
18/09/2007	Vazamento pelo selo	Verificação da bomba
15/09/2011	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
02/08/2012	Desalinhamento	Corrigido o alinhamento
Motor	-----	-----
17/01/1983	Excesso de graxa no motor	Troca dos rolamentos, ajuste nas tampas do motor e instalação de retentor
14/02/1986	Sem descrição	Secagem do motor, troca dos rolamentos
31/07/1992	Sem descrição	Reparo no eixo, troca de rolamentos e tampas de vedação do motor
15/03/2005	Sem descrição	Lubrificação dos mancais e acoplamento
04/06/2009	Motor desarmando	Ajuste no relé térmico
13/06/2011	Motor desarmando	Ajuste no relé térmico

Fonte – Histórico do equipamento.

A Tabela 5 apresenta informações sobre as manutenções preditivas.

Tabela 5 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'B'

Data	Diagnóstico
13/04/2011	Sem anormalidades
09/05/2011	Sem anormalidades
06/06/2011	Sem anormalidades
06/07/2011	Sintomas de folgas e desgastes nos componentes internos da bomba, falha de origem elétrica no motor
08/08/2011	Sintomas de folgas nos mancais da bomba
13/09/2011	Sintomas de folgas e desgastes nos componentes internos da bomba,
14/10/2011	Sem anormalidades
27/12/2011	Sem anormalidades
18/01/2012	Sem anormalidades
07/02/2012	Sem anormalidades
05/03/2012	Sem anormalidades
04/04/2012	Sem anormalidades
03/05/2012	Sem anormalidades
13/06/2012	Sintomas de folga, desalinhamento e desgaste nos mancais do motor
06/07/2012	Sintomas de folga, desalinhamento e desgaste nos mancais do motor
25/07/2012	Sintomas de folga, desalinhamento e desgaste nos mancais do motor
06/08/2012	Sem anormalidades
03/09/2012	Sem anormalidades
11/10/2012	Sem anormalidades
06/11/2012	Sem anormalidades

Fonte – Histórico do equipamento.

As Figuras 20 e 21 apresentam os resultados globais da análise de vibração do conjunto, no período de março de 2011 a novembro de 2012.

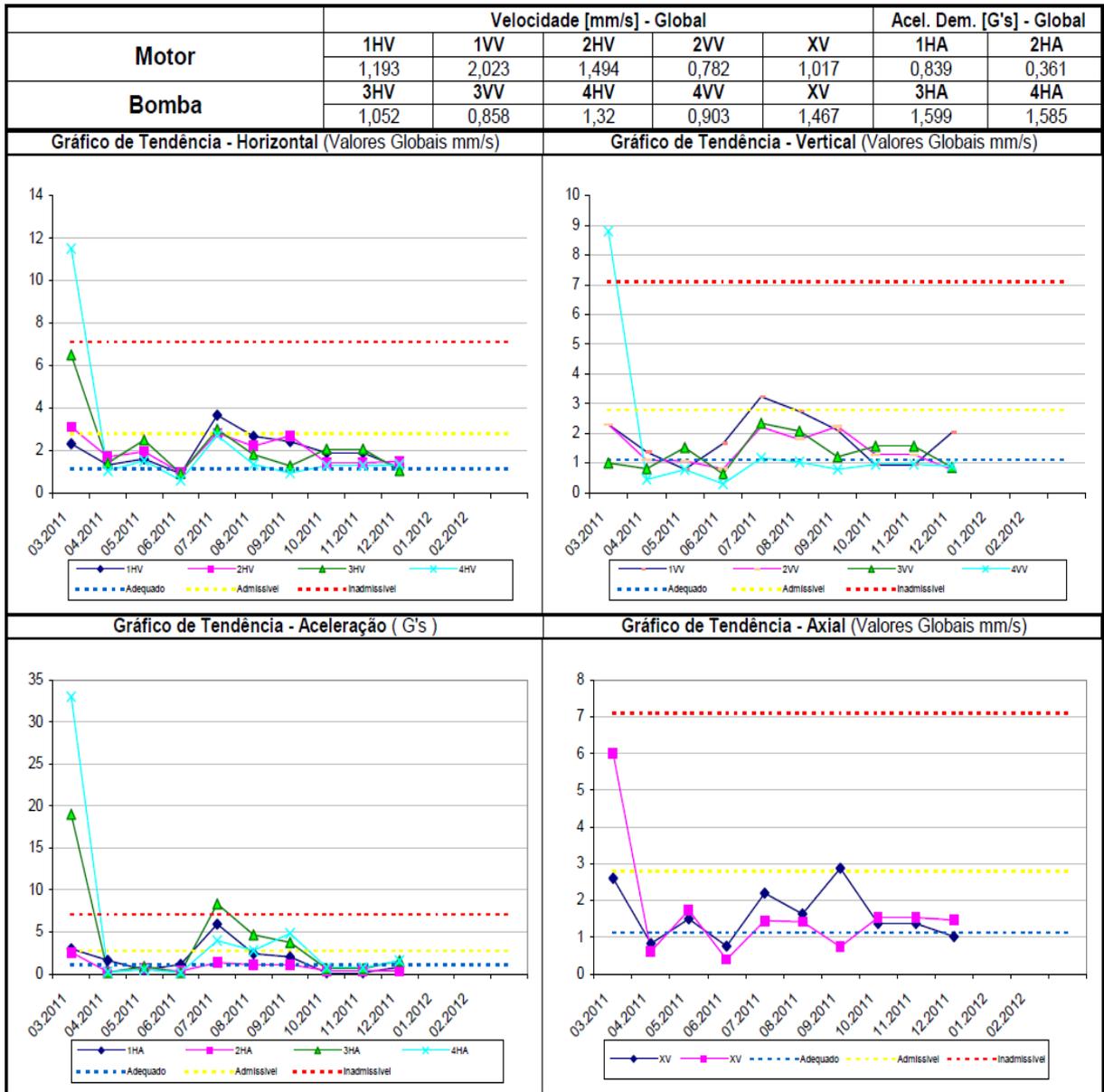


Figura 20 - Histórico de vibração – bomba 'B' – valores de março a dezembro de 2011.  
 Fonte – Histórico do equipamento.

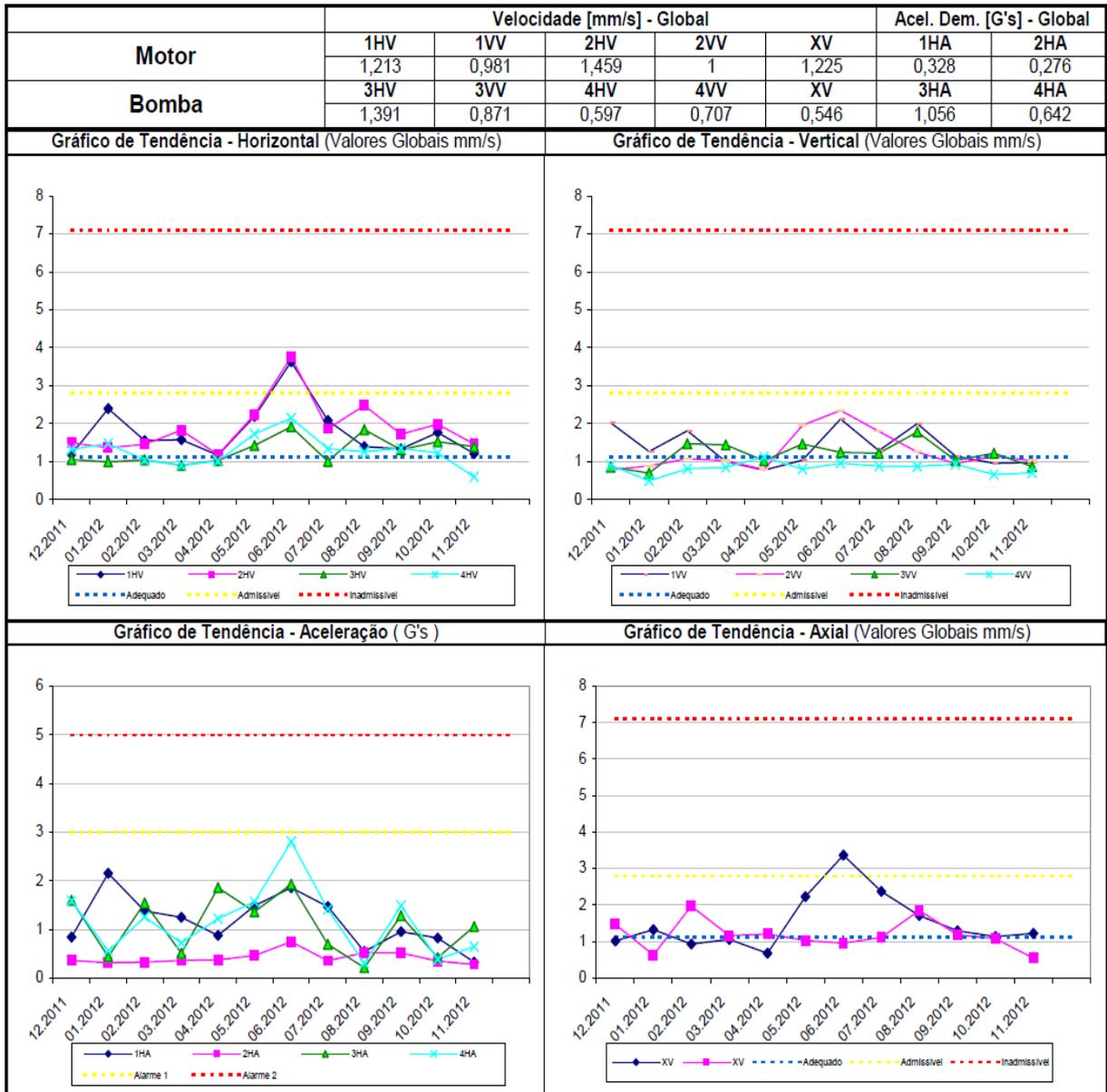


Figura 21 - Histórico de vibração – bomba 'B' – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012.  
Fonte – Histórico do equipamento.

#### 4.3.5 Histórico de manutenção do motor e da bomba 'C'

O histórico inicia-se em 1979, com as manutenções preventivas realizadas a cada três meses. Fora do plano de manutenção, temos algumas atividades preventivas realizadas com base na monitoração preditiva, e as manutenções corretivas. Segue informações sobre as manutenções, com a data da realização, a descrição da falha e a atividade realizada. A Tabela 6 apresenta as informações referentes às manutenções corretivas realizadas no conjunto.

Tabela 6 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'C'.

Data	Falha	Atividade realizada
Bomba	-----	-----
11/03/1981	Sem descrição	Retificado selo, troca do rolamento
21/02/1985	Sem descrição	Substituído o tipo de selo (John Crane por Durametallic)
26/07/1993	Sem descrição	Ajuste no selo e troca do rolamento
19/03/2002	Sem descrição	Substituído o tipo de selo (Durametallic por Du-O-Lap)
17/05/2005	Sem descrição	Troca do selo
07/06/2005	Sem descrição	Corrigido o alinhamento
18/07/2006	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
09/06/2011	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
02/08/2011	Folga nos mancais	Ajuste e lubrificação dos mancais
22/06/2012	Desalinhamento	Corrigido o alinhamento
12/11/2012	Vazamento pelo selo	Serviço pendente
Motor	-----	-----
23/02/1979	Sem descrição	Motor reenvernizado
13/03/1979	Sem descrição	Motor reenvernizado
03/07/1981	Motor queimado	Recuperação do motor
15/03/2005	Sem descrição	Lubrificação dos mancais e acoplamentos
04/06/2009	Motor desarmando	Ajuste no relé térmico
13/06/2011	Motor desarmando	Ajuste no relé térmico
27/06/2012	Motor queimado	Troca do motor

Fonte – Histórico do equipamento.

A Tabela 7 apresenta informações sobre as manutenções preditivas.

Tabela 7 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'C'

(continua)

Data	Diagnóstico
13/04/2011	Sem anormalidades
09/05/2011	Sem anormalidades
06/06/2011	Equipamento parado para manutenção

Tabela 7 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'C'

(conclusão)

Data	Diagnóstico
06/07/2011	Sintomas de folgas e falha de lubrificação na bomba, falha de origem elétrica no motor
08/08/2011	Sintomas de folga axial no motor
13/09/2011	Sintomas de falha de origem elétrica no motor
14/10/2011	Sintomas de falha de origem elétrica no motor
27/12/2011	Sintomas de falha de origem elétrica no motor
18/01/2012	Sintomas de falha de origem elétrica no motor
07/02/2012	Sintomas de falha de origem elétrica no motor
05/03/2012	Sintomas de falha de origem elétrica no motor
04/04/2012	Sintomas de falta de rigidez, desalinhamento e folga no motor
03/05/2012	Sem anormalidades
13/06/2012	Sintomas de falta de rigidez, desalinhamento e folga no motor
06/07/2012	Sem anormalidades
25/07/2012	Sem anormalidades
06/08/2012	Sem anormalidades
03/09/2012	Sem anormalidades
11/10/2012	Sem anormalidades
06/11/2012	Sem anormalidades

Fonte – Histórico do equipamento.

As Figuras 22 e 23 apresentam os resultados globais da análise de vibração do conjunto, no período de março de 2011 a novembro de 2012.

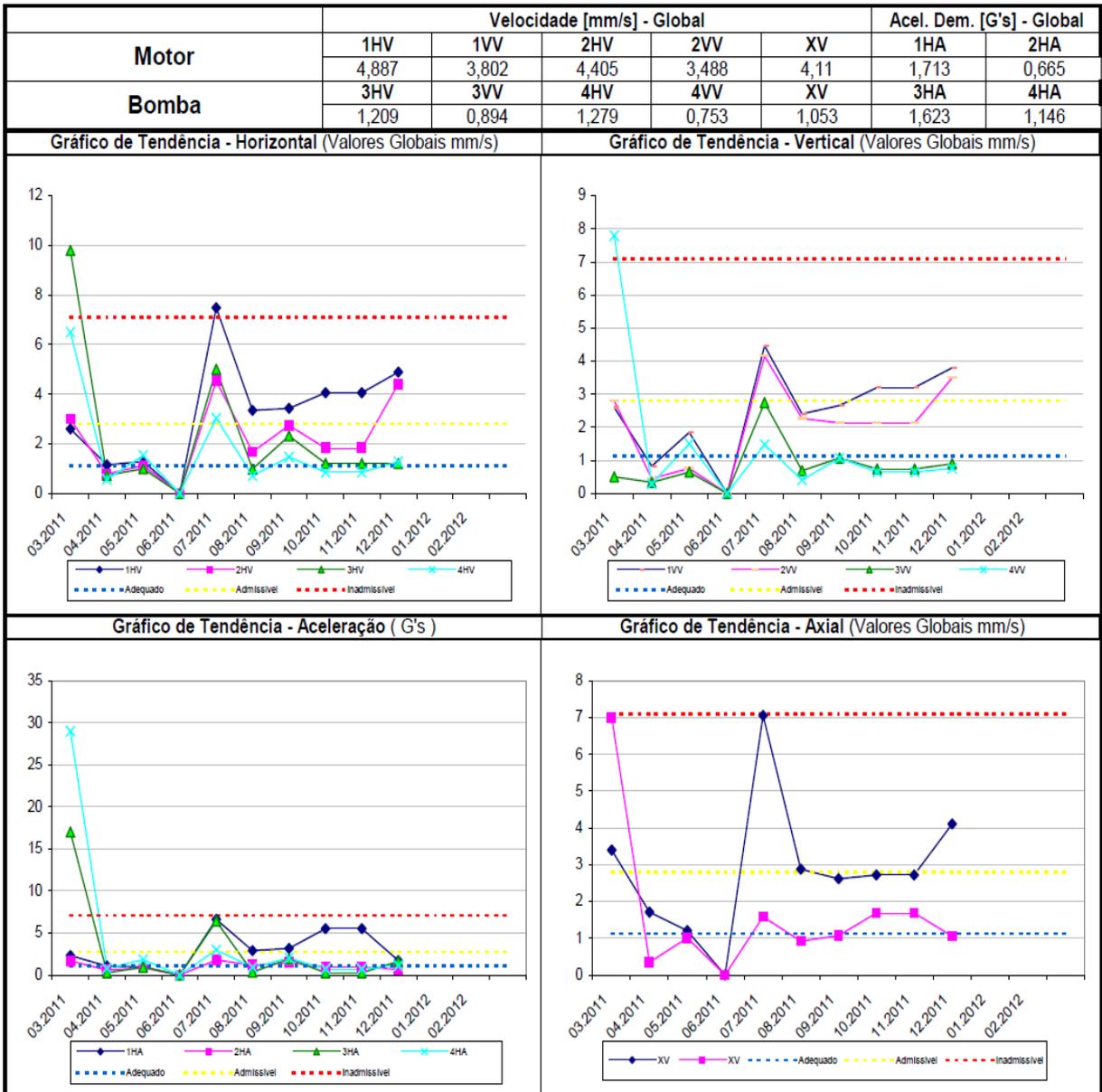


Figura 22 - Histórico de vibração – bomba ‘C’ – valores de março a dezembro de 2011.  
 Fonte – Histórico do equipamento.

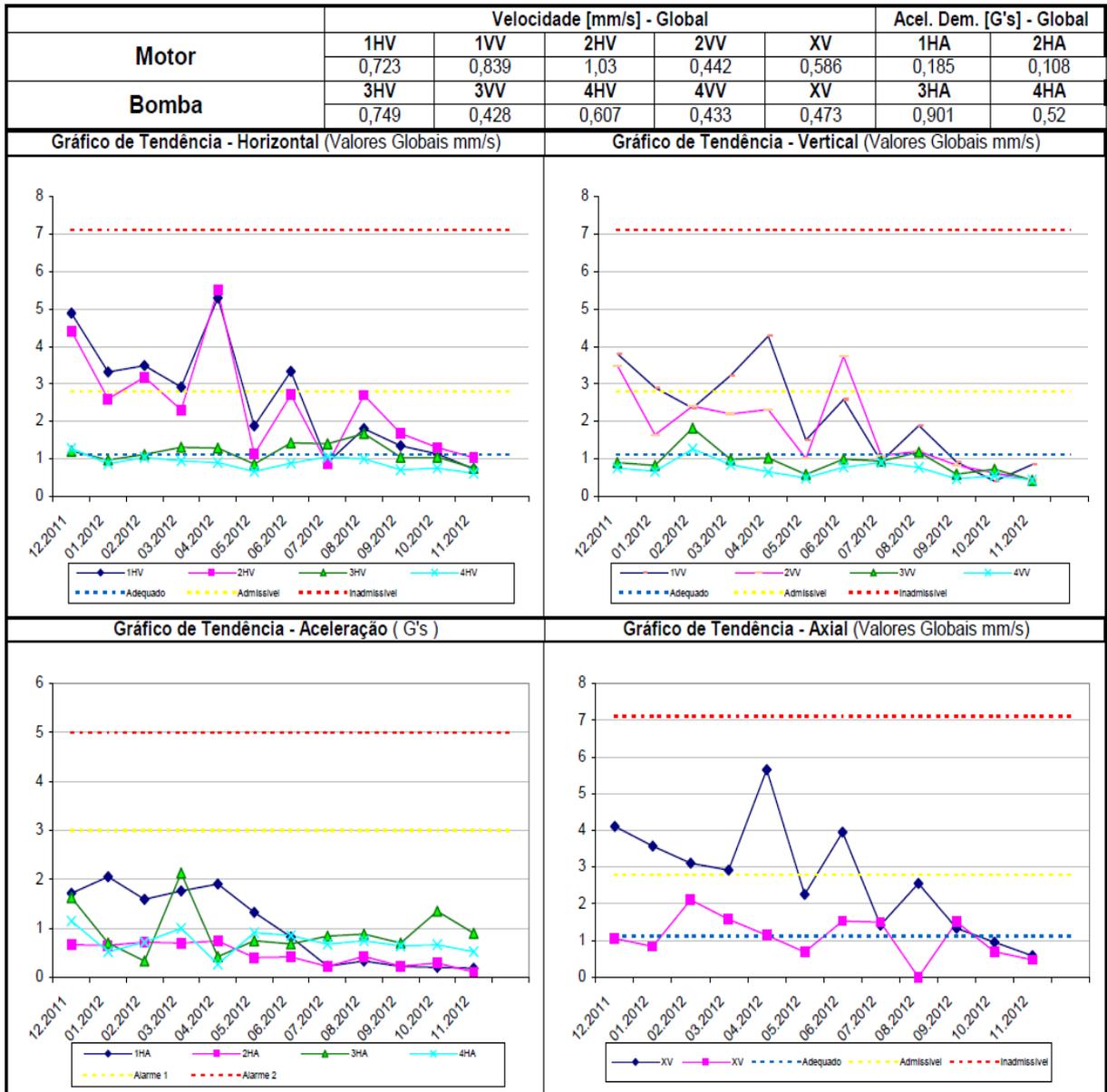


Figura 23 - Histórico de vibração – bomba 'C' – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012. Fonte – Histórico do equipamento.

#### 4.3.6 Histórico de manutenção do motor e da bomba 'D'

O histórico inicia-se em 1981, com as manutenções preventivas realizadas a cada três meses. Fora do plano de manutenção, temos algumas atividades preventivas realizadas com base na monitoração preditiva, e as manutenções corretivas. Segue informações sobre as manutenções, com a data da realização, a descrição da falha e a atividade realizada. A Tabela 8 apresenta as informações referentes às manutenções corretivas realizadas no conjunto.

Tabela 8 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'D'.

Data	Falha	Atividade realizada
Bomba	-----	-----
13/08/1981	Sem descrição	Troca do selo, rolamento, fuso principal, carcaça foi retificada
11/12/1986	Vazamento pelo selo	Substituído o tipo de selo (John Crane por Durametallic)
20/05/1997	Vazamento pelo selo	Ajustes nos fusos e buchas
02/08/2005	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
17/07/2008	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
24/09/2009	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
02/08/2011	Folgas	Ajuste dos mancais e lubrificação
31/10/2011	Vibração excessiva	Corrigido o alinhamento
11/04/2012	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
22/06/2012	Desalinhamento	Corrigido o alinhamento
Motor	-----	-----
13/01/1983	Excesso de graxa no motor	Troca dos rolamentos, ajuste nas tampas do motor e instalação de retentor
22/10/1984	Excesso de umidade	Limpeza no motor
15/03/2005	Sem descrição	Lubrificados mancais e acoplamento
26/08/2008	Vibração excessiva	Verificada origem de vibração na bomba

Fonte – Histórico do equipamento.

A Tabela 9 apresenta informações sobre as manutenções preditivas.

Tabela 9 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'D'

(continua)

Data	Diagnóstico
13/04/2011	Sintomas de falha de origem elétrica no motor
09/05/2011	Sem anormalidades
06/06/2011	Sem anormalidades
06/07/2011	Sintomas de folgas e falha de lubrificação na bomba, falha de origem elétrica no motor
08/08/2011	Sem anormalidades
13/09/2011	Sintomas de folgas e falha no acoplamento

Tabela 9 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'D'

(conclusão)

Data	Diagnóstico
14/10/2011	Sem anormalidades
27/12/2011	Sem anormalidades
18/01/2012	Sem anormalidades
07/02/2012	Sem anormalidades
05/03/2012	Sintomas de desalinhamento
04/04/2012	Sintomas de desalinhamento
03/05/2012	Sem anormalidades
13/06/2012	Sem anormalidades
06/07/2012	Sintomas de folgas e desgaste nos rolamentos do motor
25/07/2012	Sintomas de folgas e desgaste nos rolamentos do motor
06/08/2012	Sintomas de folgas e desgaste nos rolamentos do motor
03/09/2012	Sem anormalidades
11/10/2012	Sem anormalidades
07/11/2012	Sem anormalidades

Fonte – Histórico do equipamento.

As Figuras 24 e 25 apresentam os resultados globais da análise de vibração do conjunto, no período de março de 2011 a novembro de 2012.

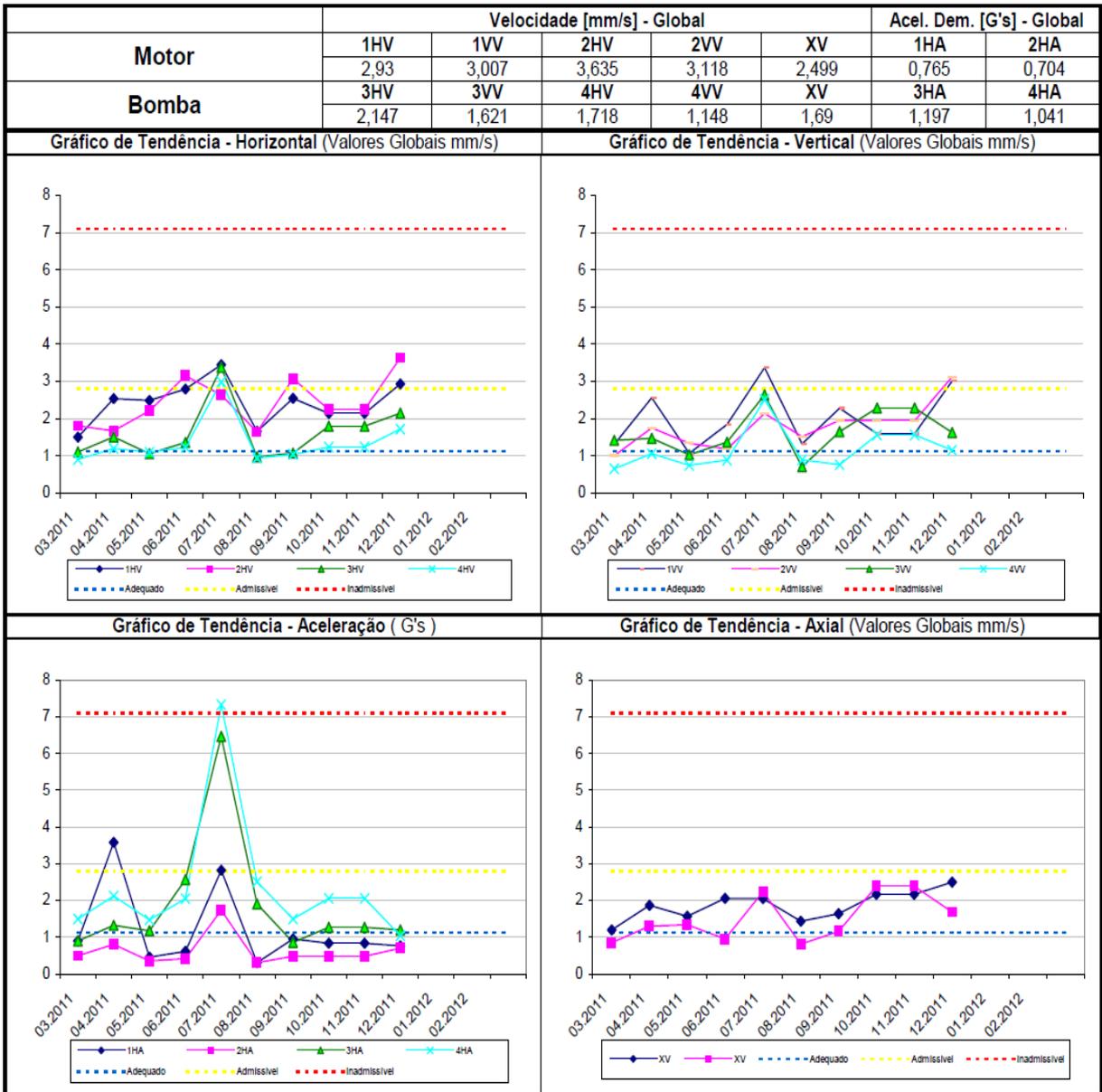


Figura 24 - Histórico de vibração – bomba 'D' – valores de março a dezembro de 2011.  
 Fonte – Histórico do equipamento.

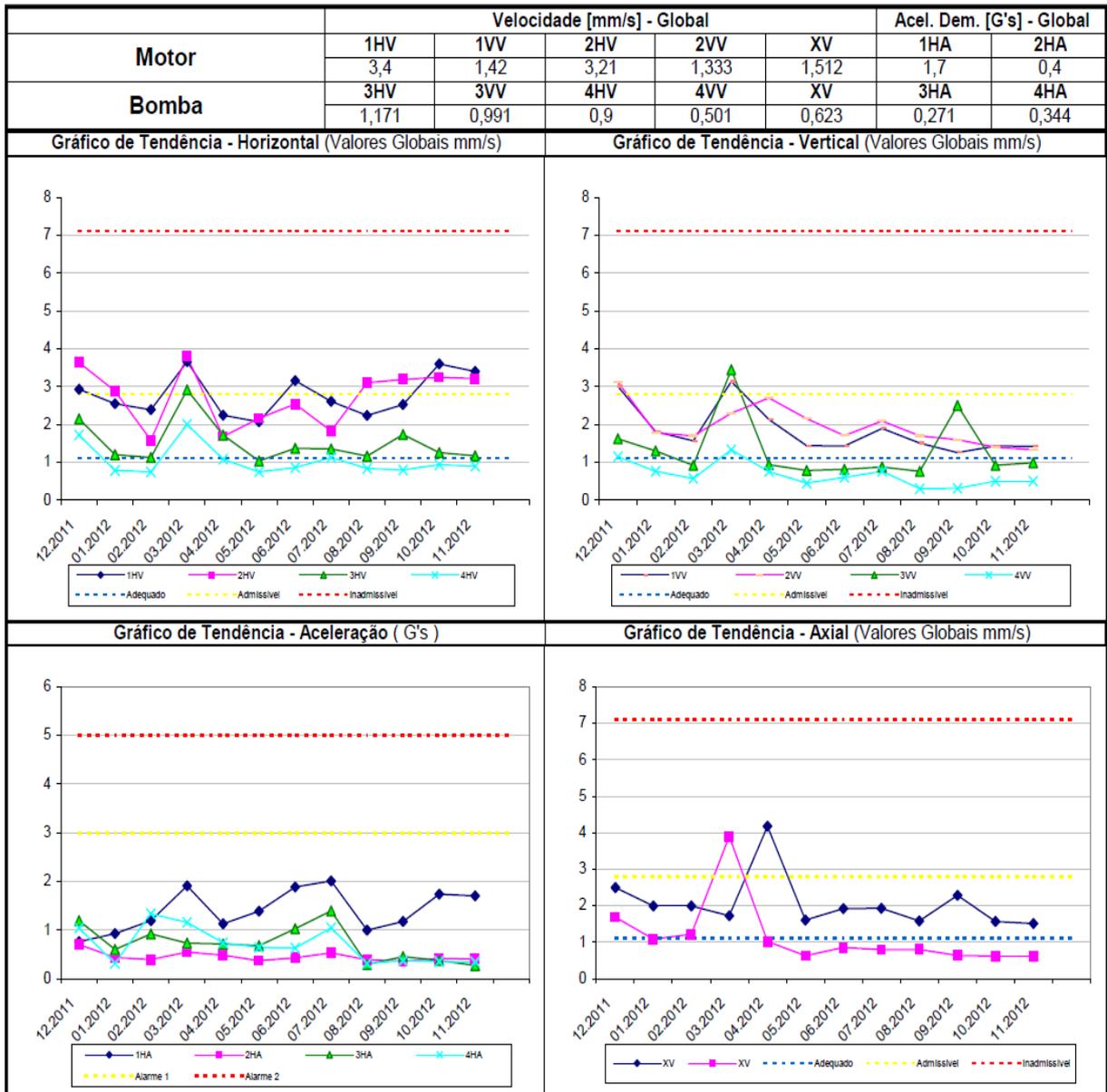


Figura 25 - Histórico de vibração – bomba 'D' – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012. Fonte – Histórico do equipamento.

#### 4.3.7 Histórico de manutenção do motor e da bomba 'E'

O histórico inicia-se em 1979, com as manutenções preventivas realizadas a cada três meses. Fora do plano de manutenção, temos algumas atividades preventivas realizadas com base na monitoração preditiva, e as manutenções corretivas. Segue informações sobre as manutenções, com a data da realização, a descrição da falha e a atividade realizada. A Tabela 10 apresenta as informações referentes às manutenções corretivas realizadas no conjunto.

Tabela 10 – Manutenções corretivas no conjunto motor e bomba 'E'.

Data	Falha	Atividade realizada
Bomba		
10/01/1979	Sem descrição	Troca do selo
12/03/1981	Sem descrição	Troca do selo
03/02/1984	Sem descrição	Troca do selo
10/03/1999	Vazamento pelo selo	Substituído o tipo de selo (John Crane por Durametallic)
09/06/2005	Desalinhamento	Corrigido o alinhamento
28/05/2006	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
15/03/2007	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
02/08/2011	Folga nos mancais	Realizado ajuste e lubrificação
05/06/2012	Desalinhamento	Corrigido o alinhamento
28/09/2012	Vazamento pelo selo	Substituída pela bomba reserva
Motor		
23/02/1979	Sem descrição	Motor reenvernizado
13/03/1979	Sem descrição	Motor reenvernizado
22/08/1986	Excesso de umidade	Limpeza e secagem do motor
27/01/1988	Ruído anormal	Limpeza e troca dos rolamentos
15/03/2005	Sem descrição	Lubrificação dos mancais e acoplamento
19/04/2006	Sem descrição	Manutenção geral no motor

Fonte – Histórico do equipamento.

A Tabela 11 apresenta informações sobre as manutenções preditivas.

Tabela 11 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'E'

(continua)

Data	Diagnóstico
13/04/2011	Sem anormalidades
09/05/2011	Sem anormalidades
06/06/2011	Sem anormalidades
06/07/2011	Sintomas de folgas no motor e na bomba, desgaste nos componentes internos da bomba
08/08/2011	Sintomas de desgaste no acoplamento
13/09/2011	Sem anormalidades

Tabela 11 – Manutenções preditivas no conjunto motor e bomba 'E'

(conclusão)

Data	Diagnóstico
14/10/2011	Sintomas de falha no acoplamento
27/12/2011	Sintomas de falha no acoplamento
18/01/2012	Sintomas de falha no acoplamento
07/02/2012	Sintomas de falha no acoplamento
05/03/2012	Sintomas de falha no acoplamento
04/04/2012	Sem anormalidades
03/05/2012	Sem anormalidades
11/06/2012	Sem anormalidades
05/07/2012	Sintomas de falha de lubrificação e do rolamento no lado acoplado da bomba
25/07/2012	Sintomas de falha de lubrificação e do rolamento no lado acoplado da bomba
06/08/2012	Sintomas de folgas e desgaste nos rolamentos do motor
03/09/2012	Sem anormalidades
11/10/2012	Sem anormalidades
07/11/2012	Sintomas de folga e falta de rigidez no motor, falha na lubrificação e desalinhamento na bomba

Fonte – Histórico do equipamento.

As Figuras 26 e 27 apresentam os resultados globais da análise de vibração do conjunto, no período de março de 2011 a novembro de 2012.

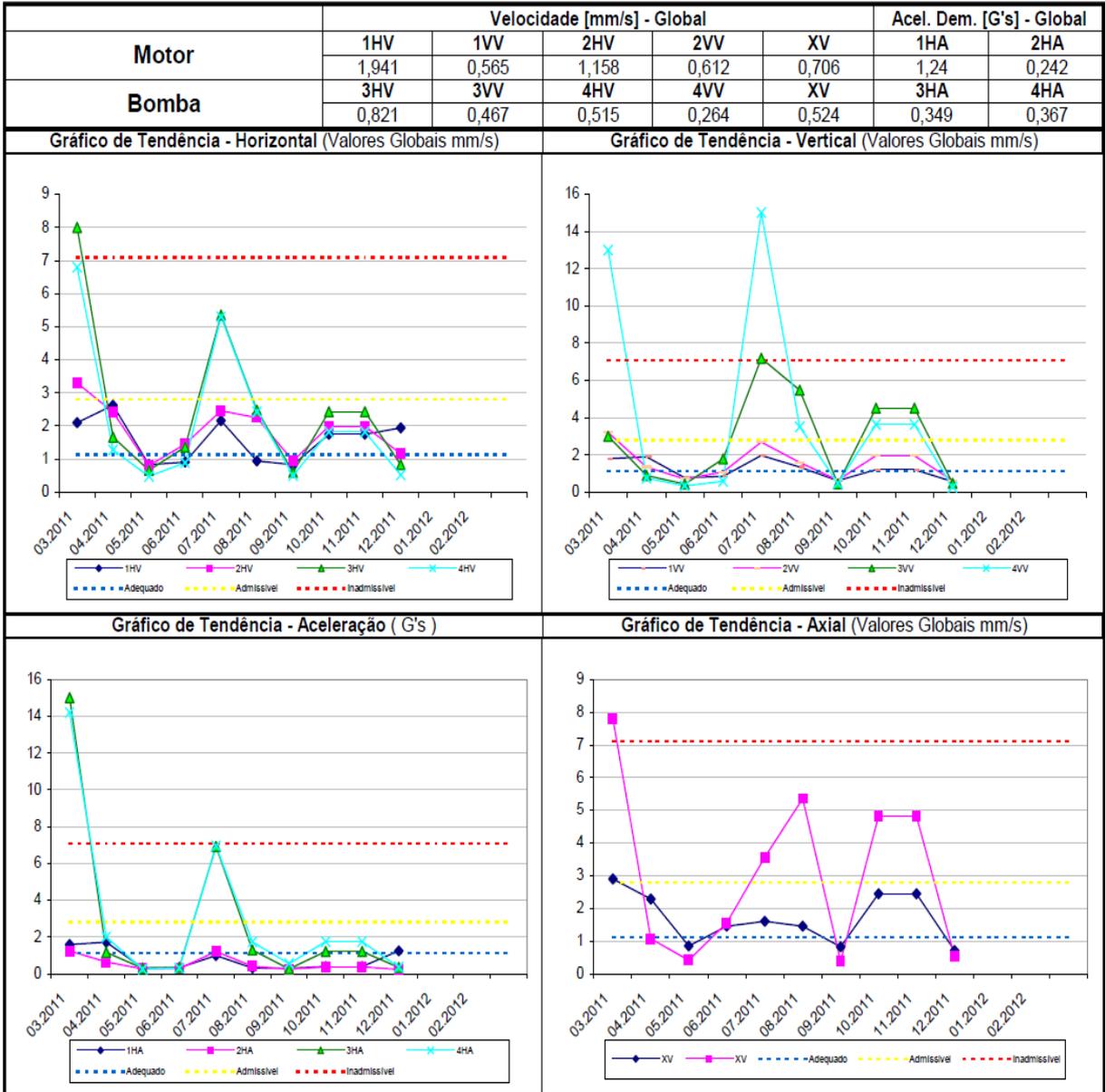


Figura 26 - Histórico de vibração – bomba 'E' – valores de março a dezembro de 2011.  
 Fonte – Histórico do equipamento.

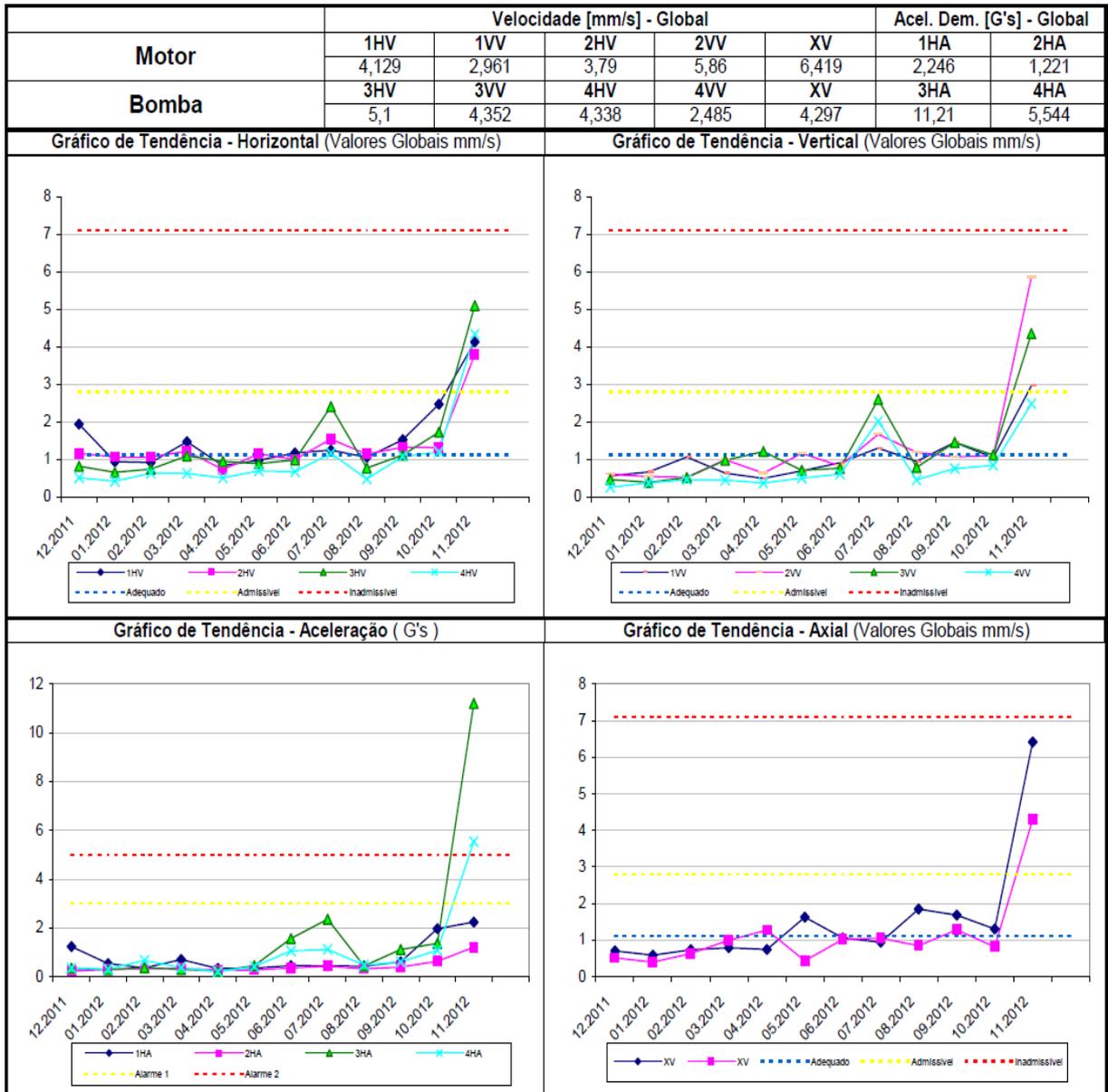


Figura 27 - Histórico de vibração – bomba 'E' – valores de dezembro de 2011 a novembro de 2012.  
Fonte – Histórico do equipamento.

#### 4.3.8 Histórico de manutenção da bomba reserva.

A empresa não possui histórico no SAP para as manutenções realizadas no conjunto de bomba reserva.

Esta bomba tem por objetivo permitir uma manutenção rápida e o reinício da operação, evitando maiores perdas com o tempo de parada. Este conjunto é mantido em condições de operação para ser instalado no local da bomba que venha a apresentar falha.

Com o início das atividades de preditiva, foram identificadas várias indicações de desgaste excessivo nas bombas, e a partir destas informações iniciou-se um processo de recuperação das bombas para ajustar as folgas e reduzir as vibrações originadas por estas folgas.

O trabalho realizado consiste no processo de aspensão térmica (EUTECTIC, 2013), com posterior usinagem e ajuste das medidas dos fusos.

A aspensão térmica consiste na deposição de um material metálico, cerâmico ou polimérico, fundido ou semi-fundido sobre a superfície a ser tratada, e que posteriormente pode ser usinado.

As Figuras 28 à 31 mostram a situação de desgaste acentuado encontrado nos componentes internos das bombas. As folgas encontradas chegavam a 2 mm.



Figura 28 - Corpo da bomba com desgaste excessivo.  
Fonte: Relatório de manutenção da bomba.



Figura 29 - Fuso principal com desgaste excessivo.  
Fonte: Relatório de manutenção da bomba.

O processo de metalização foi realizado nos fusos para melhorar o ajuste entre o diâmetro do fuso e o corpo da bomba. No corpo da bomba não foi possível realizar o mesmo trabalho, por se tratar de utilização do processo em uma área

interna da bomba. Este processo é facilmente realizado em superfícies externas.



Figura 30 - Fusos movidos com desgaste excessivo.  
Fonte: Relatório de manutenção da bomba.



Figura 31 - Fusos movidos com desgaste excessivo nas buchas e ponta do eixo.  
Fonte: Relatório de manutenção da bomba.

O resultado do processo pode ser visualizado através das Figuras 32 à 35. Após a recuperação, as folgas foram deixadas em torno de 0,1 a 0,5mm, dependendo das condições da carcaça que não pode ser usinada.



Figura 32 - Corpo da bomba após recuperação.  
Fonte: Relatório de manutenção da bomba.



Figura 33 - Fuso principal após recuperação da superfície do diâmetro externo.

Fonte: Relatório de manutenção da bomba.



Figura 34 - Fusos movidos após recuperação da superfície do diâmetro externo.

Fonte: Relatório de manutenção da bomba.



Figura 35 - Fuso principal e fusos movidos após recuperação.

Fonte: Relatório de manutenção da bomba.

A recuperação da bomba também contemplou os diâmetros das partes do eixo onde são instalados o selo mecânico, o rolamento e o acoplamento.

#### 4.4 ANÁLISE DO HISTÓRICO DE MANUTENÇÃO E DAS DE FALHAS

A análise do histórico das manutenções realizadas e das falhas que ocorreram permite que seja possível verificar as causas destas falhas, os melhores métodos de identificação antecipada das falhas, sua prevenção e as melhores práticas para solução das falhas que ainda venham a ocorrer.

O conhecimento das falhas e de suas causas permite ao mantenedor tomar decisões rápidas sobre as ações a serem realizadas quando uma falha ocorre, bem como durante o acompanhamento dos parâmetros do equipamento utilizar soluções para garantir a continuidade operacional do mesmo, com o objetivo de manter a disponibilidade do processo.

##### 4.4.1 Falhas do selo mecânico

O histórico de manutenção mostra que a principal falha registrada foi vazamento pelo selo mecânico.

De acordo com os registros ocorreram:

- Na bomba 'A': seis intervenções envolvendo selo mecânico (nesta bomba temos histórico apenas a partir de 2006);
- Na bomba 'B': treze intervenções envolvendo selo mecânico;
- Na bomba 'C': oito intervenções envolvendo selo mecânico;
- Na bomba 'D': sete intervenções envolvendo selo mecânico;
- Na bomba 'E': sete intervenções envolvendo selo mecânico.

A empresa não possui um estudo para identificar os motivos das falhas no selo mecânico.

Considerando a informação do fabricante de selos (Ultraseal), para uma vida útil de três anos do selo mecânico, no período de trinta e dois anos de funcionamento das bombas, pelo menos dez intervenções envolvendo selos deveriam estar registradas. Por outro lado, se considerar a informação de que em condições ideais, um selo serviria quinze anos, então a quantidade de intervenções registradas é excessiva.

Deve-se considerar também que o histórico de manutenção dos equipamentos não está confiável. Muitas intervenções nestes equipamentos foram realizadas sem que as informações referentes a estas atividades fossem devidamente registradas.

Não foi possível obter informações sobre a utilização do sistema, para realizar um comparativo entre tempo de uso e tempo entre falhas. Por exemplo, no mesmo período de manutenção das bombas (desde 1979), não se têm o histórico de operações destas bombas. Informações tais como tempo de operação da bomba, quantidade de partidas, condições operacionais do sistema (pressão, vazão, temperatura, densidade do fluido) não foram registradas.

Para permitir obter dados melhores sobre as falhas de selos, foi feita uma restrição no intervalo analisado. Considerando os dados existentes após a utilização do SAP, ou seja, a partir de 2005, o período de análise será entre os anos de 2005 e 2012, permitindo o estudo de informações mais confiáveis sobre as falhas ocorridas.

Outra informação relevante que deve ser considerada é a existência de uma bomba reserva, sendo esta utilizada para substituir qualquer uma das outras cinco bombas que apresentasse falha. Desta maneira, a avaliação das falhas deve ser realizada sobre o conjunto das cinco bombas, e não individualmente para cada uma, pois não temos a permanência da mesma bomba no mesmo local.

Para exemplificar, tendo as cinco bombas e a reserva, ao apresentar falha na bomba 'A', esta foi substituída pela reserva. Automaticamente a bomba reserva passou a ser a bomba 'A', que ficou como bomba reserva. A bomba reserva (que era a bomba 'A') foi revisada. Ao apresentar uma falha na bomba 'C', esta foi substituída pela reserva, que passou a ser a bomba 'C', e a bomba 'C' ficou como reserva. Temos então que a bomba 'A' passou para a posição da bomba 'C', esta passou a ser reserva, e assim sucessivamente conforme as bombas vieram a falhar, suas posições foram sendo alternadas sem o devido registro no histórico.

O histórico existente apresenta as intervenções realizadas por local de instalação do equipamento, ou seja, a posição física na qual ele está instalado (conjunto motor e bomba 'A', 'B', 'C', 'D' e 'E'), e não pelo equipamento em si.

No SAP, o banco de dados é estruturado por equipamento (cada equipamento possui sua ficha de cadastro, independente de onde esteja instalado), porém as informações estavam sendo registradas por local de instalação do equipamento (ao trocar o equipamento de local, essa informação não estava sendo

adequadamente atualizada no SAP).

Esta divergência de informação fez com que o estudo fosse estruturado sobre o conjunto de motores e bombas deste sistema. Levando em consideração que estas bombas servem ao mesmo propósito, o resultado do estudo deve representar adequadamente a situação real.

Os dados de falhas referentes ao período de 2005 à novembro de 2012 são:

- Na bomba 'A': seis intervenções envolvendo selo mecânico;
- Na bomba 'B': quatro intervenções envolvendo selo mecânico;
- Na bomba 'C': quatro intervenções envolvendo selo mecânico;
- Na bomba 'D': quatro intervenções envolvendo selo mecânico;
- Na bomba 'E': quatro intervenções envolvendo selo mecânico.

Através destas informações verifica-se que somente neste período de sete anos, em comparação aos trinta e dois anos de histórico, temos metade das falhas relacionadas a selo mecânico (vinte e duas falhas em comparação a quarenta e uma registradas no total). Estes números demonstram que o histórico existente não está confiável para o período anterior a utilização do SAP.

A média de falhas do selo mecânico nas cinco bombas é de uma falha a cada 1,6 anos, tempo inferior à vida útil esperada para o selo. Considerando que o fabricante (Ultraseal) estima uma vida útil de dois a três anos, tomando como base um valor médio de dois anos e meio, e comparando com o resultado do tempo médio entre falhas dos selos, estes dados indicam uma falha prematura nos selos.

#### 4.4.2 Análise de vibração

O histórico de análise de vibração com início em março de 2011 mostra algumas tendências em relação à evolução da vibração nos conjuntos e os resultados obtidos com algumas das intervenções realizadas, porém, também demonstra que falta mais conhecimento sobre as condições ideais de vibração dos conjuntos que permitam tomar decisões mais conclusivas sobre quais ações devem ser realizadas e como agir de modo a prevenir falhas nos equipamentos.

Foi observado no período que as condições operacionais possuem grande

influência sobre os resultados da monitoração de vibração. Como mencionado no item 4.1, onde está descrito o sistema, algumas condições operacionais são inadequadas para o sistema, porém acontecem com frequência.

A temperatura do fluido bombeado é de grande relevância para o processo, e determinante para o bom funcionamento do sistema. O fluido possui a característica de alteração significativa da viscosidade com uma pequena variação de temperatura. A temperatura ideal é de 60°C, podendo trabalhar satisfatoriamente a partir de 40°C.

Com relação à temperatura, as informações obtidas junto ao corpo técnico da empresa é que não se mantém as condições ideais de temperatura do produto para que seja iniciado o descarregamento. A maior dificuldade acontece com os vagões tanque. Estes são carregados na temperatura adequada (60°C ou mais), porém o tempo de deslocamento da origem até o destino pode passar de setenta e duas horas, e os vagões não possuem isolamento térmico para impedir a perda de temperatura. Ao chegar à empresa, eles frequentemente estão à temperatura ambiente, necessitando passar por um processo de aquecimento com vapor. Os vagões são providos de serpentinas para a utilização de vapor, mas perde-se tempo para que seja atingida a temperatura adequada para início do descarregamento. O relato dos operadores do sistema é de que este processo de aquecimento tem em média duração de quatro horas, ocasionando grandes esperas para iniciar o descarregamento.

Quando o fluido é transportado em caminhões, as condições permanecem próximas da ideal. O tempo entre o carregamento e o descarregamento fica próximo de quatro horas, o que impede que haja perdas significativas de temperatura. Outro aspecto importante é que alguns caminhões possuem isolamento térmico, favorecendo ainda mais a manutenção da temperatura no interior do tanque.

Quando a temperatura está ideal, ao se iniciar o descarregamento o fluido escoar facilmente pelas tubulações, até chegar às bombas, evitando que estas operem em vazio, e evitando assim excesso de vibração e aquecimento excessivo no selo mecânico. Se a temperatura está baixa, este escoamento é dificultado, então os operadores ligam as bombas de modo a forçar o escoamento através da formação de vácuo, porém neste caso, a bomba opera muito tempo em vazio, aquecendo excessivamente o selo, provocando grandes vibrações e comprometendo a integridade do conjunto.

A análise de vibração mostrou outras indicações de falhas relacionadas a folgas internas tanto nas bombas quanto nos motores.

Estas folgas são originadas pelo desgaste entre os fusos e o corpo da bomba, através do atrito, e com a existência de partículas sólidas estes desgastes se acentuam, aumentando ainda mais as folgas.

No item 4.3.8 está descrita a atividade realizada para a recuperação dos fusos para redução das folgas internas entre os fusos e a carcaça, nos pontos de instalação do selo, mancais e acoplamento da bomba. De acordo com as informações do fabricante da bomba (Anexo I), esta bomba foi projetada para utilização com fluídos limpos, porém com a situação observada em relação ao desgaste, pode-se concluir que ocorre circulação de fluído com partículas sólidas de dimensões consideravelmente grandes, ocasionando este desgaste. Nos motores também foram realizadas atividades semelhantes para ajustar as folgas nos mancais e no acoplamento.

A análise de vibração não se mostrou totalmente eficaz em relação à falha que ocorreu no motor da bomba 'C', que veio a queimar no dia 27/06/2012, sendo substituído por um motor novo. Os gráficos de vibração, apresentados nas Figuras 22 e 23, e as informações da Tabela 7 mostram que existia a tendência de aumento da vibração no conjunto, sintomas de folgas, desalinhamento e falta de rigidez, mas os valores de vibração ainda estavam dentro dos parâmetros estabelecidos como admissíveis.

As Figuras 36 e 37 mostram o que ocorreu no motor.



Figura 36 - Estator do motor queimado, com excesso de graxa e com sinais de que o rotor trabalhou em contato direto com o estator.

Fonte: Relatório de manutenção do motor.



Figura 37 - Assento do rolamento no eixo do motor, mostrando o desgaste excessivo existente.

Fonte: Relatório de manutenção do motor.

As condições de operação do motor eram críticas, e a análise de vibração apresentava indicações de possível falha, mas não evidenciou a necessidade de uma intervenção imediata, impedindo que alguma ação preventiva fosse realizada de modo a evitar a perda do motor.

A única ação registrada de manutenção neste conjunto foi um alinhamento realizado no dia 22/06/2012. O desvio radial era de 1,32mm, justificado pelo desgaste do eixo do motor observado na Figura 37. Uma das conclusões para que o motor estivesse operando nestas condições sem apresentar vibração excessiva é que o acoplamento entre o motor e a bomba estava servindo de apoio para o eixo, evitando contato do rotor com o estator. Quando foi realizado o alinhamento, ao soltar o acoplamento, o eixo sofreu este desvio, vindo a ocorrer o contato entre o rotor e o estator, que passou a ser o ponto de apoio do rotor. Ao operar novamente a bomba e motor, o rotor girou apoiado diretamente sobre o estator, provocando aquecimento excessivo, com posterior curto-circuito nos enrolamentos do motor e queima.

#### 4.4.3 Custos de manutenção

O histórico de manutenção das bombas não possui dados referentes aos custos relacionados à mão de obra e materiais empregados nas intervenções realizadas. Para que um comparativo seja viável, é necessário verificar as previsões de tempos de manutenção envolvidos em cada atividade, considerando-se um valor fixo de mão de obra atualizado e de materiais comumente utilizados nas

intervenções.

O tempo e a mão de obra necessária para a substituição da bomba não sofreu alteração significativas, pois a instalação permanece a mesma desde o início de operação.

O serviço de alinhamento do conjunto sofreu alteração. A figura 38 mostra uma comparação entre os métodos de alinhamento. Com relação a tempo gasto, estima-se uma redução do tempo para metade com a utilização do alinhamento a laser, em comparação ao método tradicional que utiliza relógio comparador, porém o custo da utilização do alinhamento a laser é maior. Um equipamento para alinhamento a laser custa aproximadamente cinco vezes mais que um conjunto para alinhamento com relógio comparador. Apesar do custo do equipamento ser maior, a precisão, a menor probabilidade de erros e o tempo reduzido para a atividade justificam a utilização do alinhamento a laser. No método tradicional, todo o trabalho é manual e muito vulnerável a erros de cálculos e de medição (erro de paralaxe na leitura dos relógios, por exemplo). Com o alinhamento a laser, o próprio instrumento realiza os cálculos, exigindo apenas a entrada de alguns valores de medidas do posicionamento dos leitores em relação ao acoplamento e aos pés do motor ou da bomba.

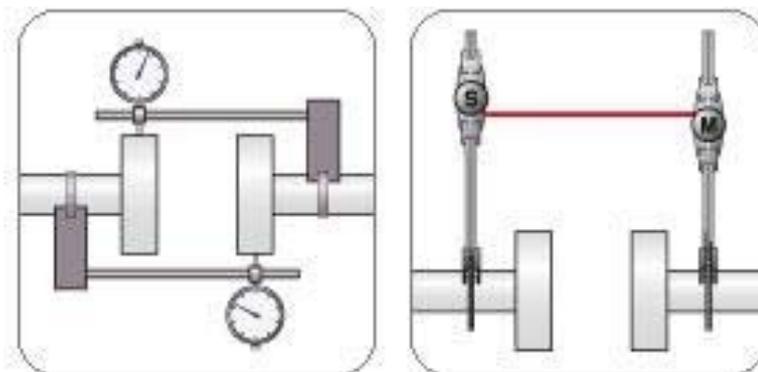


Figura 38 - Alinhamento com relógio comparador (esquerda) e alinhamento a laser (direita).

Fonte: SKF (2013)

O serviço de reparo da bomba reserva apresenta o mesmo custo quando comparada apenas a substituição do selo mecânico, do rolamento e das vedações.

Com a necessidade de serviços extras, como por exemplo, a recuperação de eixos, fusos e mancais de escora, cada intervenção apresenta um valor específico determinado pelo tipo de serviços necessários para que a bomba esteja em boas condições de funcionamento.

No caso da manutenção corretiva, não é possível mensurar se ocorreu redução de custos. Como os equipamentos não estavam passando pela preventiva bienal, onde seria feita a inspeção interna, o desgaste interno tem ocasionado danos no selo por excesso de vibração ou pela bomba operar sem fluido.

A manutenção preventiva mecânica de periodicidade bienal descrita no item 4.3.1, que determinava a abertura da bomba com inspeção dimensional não estava sendo realizada. O custo de manutenção estava restrito as atividades trimestrais (três horas de duração) e anuais (cinco horas de duração), totalizando dezessete horas anuais de manutenção mecânica. A manutenção elétrica consistia em atividades mensais (uma hora de duração), semestrais (duas horas de duração) e anuais (oito horas de duração), totalizando vinte e quatro horas anuais de manutenção elétrica.

A manutenção preditiva mecânica consiste na medição da vibração, mensalmente, com duração de 0,4 horas por conjunto, totalizando 4,8 horas anuais. A manutenção preditiva elétrica possui atividades anuais com duração de duas horas. O tempo de manutenção atual é de 16% do tempo anterior estimado com preventivas, anualmente.

O custo de hora-homem de manutenção preventiva atual é de R\$ 42,00 para mecânica e de R\$ 56,00 para elétrica. O custo da preditiva atual é em média R\$ 200,00 por conjunto motor e bomba. Com relação aos valores, a manutenção elétrica atualmente realizada significa em tempo e custo aproximadamente 10% em relação à prática anterior. A manutenção mecânica tem tempo menor de intervenção, porém com custo 3,36 vezes maior.

O custo total de manutenção anual, por conjunto, era de R\$ 2058,00, com 41 horas-homem. Atualmente o custo passou para R\$ 2512,00, com 6,8 horas-homem. Uma avaliação somente de custo de manutenção pode mostrar que a empresa está gastando mais, porém, é necessário considerar os impactos destas alterações no processo produtivo. A manutenção anterior requeria no mínimo 12 paradas anuais dos equipamentos. Atualmente apenas uma parada anual é requerida pela preventiva. Essa redução na quantidade de paradas e do tempo parado representa ganhos de produtividade, porém não mensurados. Estima-se que a cada hora de operação do sistema podem ser descarregados quatro caminhões tanque ou quatro vagões tanque. Essa redução dos tempos de parada, de 41 para 6,8 horas anuais significa que a operação ganhou 34,2 horas anuais, podendo

descarregar 137 vagões ou caminhões tanque a mais por ano. Não se tem registro dos ganhos financeiros com esse aumento da produtividade.

Deve-se levar em consideração que o custo mais elevado da manutenção atualmente também se deve ao fato de que a empresa ainda está na fase de transição da mudança de métodos de manutenção utilizados. A expectativa é de que, com a existência de um histórico mais consistente das condições das bombas e com os reparos realizados para redução das folgas internas a periodicidade da monitoração de vibração possa ser ampliada, e as intervenções corretivas sejam menos frequentes, prevalecendo apenas a monitoração preditiva.

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 RESULTADOS OBTIDOS

A análise do processo em andamento demonstra algumas falhas em relação à metodologia que deveria ter sido adotada para a implantação de novos modelos de manutenção.

A primeira ação da empresa deveria ser visualizar como está em relação ao mercado. O fato de que os equipamentos passam por manutenção corretiva não significa que é obrigatória a mudança de métodos de manutenção para obtenção de resultados melhores. Alguns fatores são importantes quando da avaliação da situação da manutenção:

- Custo da manutenção em relação ao faturamento da empresa.
- Quantidade de paradas, tempo das paradas e os impactos destas paradas no processo produtivo.
- Relação entre manutenção corretiva e preventiva.
- Riscos envolvidos nas falhas que ocorrem (por exemplo, a contaminação do meio ambiente com produtos poluentes ou tóxicos, os riscos para a saúde e segurança das pessoas, riscos para a instalação).
- Qualidade e qualificação da mão de obra envolvida – técnicos de manutenção, operadores do sistema.
- Situação atual da planta em relação à manutenção, disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

De posse destas informações, a próxima etapa seria definir um objetivo em relação ao desempenho da manutenção, com relação aos mesmos fatores avaliados para a situação atual.

Sabendo o ponto de origem e o objetivo do processo de mudança, a empresa iniciaria os estudos para viabilizar as mudanças e alcançar o objetivo estabelecido.

O custo de manutenção durante a transição de métodos de manutenção é mais elevado, pois ocorre a existência de dois métodos simultaneamente. Após este tempo de transição, com o ajuste dos planos ambos podem continuar sendo

utilizados, mas adequados à realidade e com custos menores.

A quantidade de paradas, tempo gasto nestas paradas e os reflexos na produção tendem a diminuir com a melhoria da manutenção.

Tendo como base os custos demonstrados no item 4.4.3, pode-se estimar uma redução significativa nestes custos. Por exemplo, considerando-se uma melhor adequação da manutenção ao sistema, que permita ampliar a periodicidade das coletas de dados de vibração, de mensal para bimestral, o custo com manutenção preditiva seria reduzido pela metade. O custo total anual por conjunto motor e bomba passaria de R\$ 2512,00 para R\$ 1312,00.

A relação entre intervenções corretivas e preventivas deve ser reduzida, porém não será eliminada totalmente a ocorrência das intervenções corretivas.

Os riscos relacionados às principais falhas são fundamentais para definir os investimentos na melhoria da manutenção. Como a empresa trabalha com fluídos perigosos para o meio ambiente, deve ser minimizada a possibilidade de vazamentos.

Com a utilização de novos métodos de manutenção, também é necessário investir na aquisição de ferramentas que permitam a realização destas manutenções e o treinamento da mão de obra para a utilização correta destas ferramentas.

Em relação à situação atual da planta, não pode ser deixado de lado o fato de que as bombas estão sendo utilizadas fora da especificação do fabricante. Este descreve a utilização da bomba para fluídos limpos com propriedades lubrificantes, porém estas operam com fluídos com partículas sólidas. Neste caso seria importante avaliar opções para que a bomba e o fluído passem por um processo de melhoria para compatibilização de ambos.

O abandono de algumas atividades da manutenção contribuiu para uma degradação maior dos equipamentos. A não realização das intervenções bienais onde era prevista a inspeção interna das bombas impediu que fosse acompanhado o desgaste interno destas e tomadas ações para ajustar as folgas aos parâmetros originais destas bombas. Também ocorreram falhas nos motores devido a não realização de verificações de desgastes nos mancais.

Quando a empresa optou pela utilização da manutenção preditiva, com a monitoração e análise de vibração, no momento da transição o ideal seria manter a manutenção preventiva, iniciar a preditiva e ajustar os intervalos de preventiva conforme as indicações dos resultados das análises de vibração. A manutenção

preventiva que era baseada no tempo passaria a ser preditiva, que é baseada na condição dos equipamentos. O fato de que as bombas já apresentavam alto grau de desgastes e deterioração impediu a obtenção de bons resultados iniciais com a manutenção preditiva.

Algumas falhas ocorreram sem ter sido objeto de alerta da monitoração e análise da vibração. Como os parâmetros utilizados não refletiam a situação ideal dos equipamentos, e sim valores padrão utilizados para equipamentos rotativos em geral, apesar da análise não apresentar resultados fora da faixa do aceitável, para estas bombas os valores atualmente utilizados não garantem a eficácia do resultado das técnicas preditivas. Não existia uma correlação das condições operacionais das bombas com os parâmetros de vibração.

## 5.2 SUGESTÃO DE MELHORIAS

Com base nas falhas detectadas durante a transição dos modelos de manutenção, e as informações obtidas na revisão bibliográfica, serão feitas sugestões de melhorias para que a implantação da manutenção preditiva alcance melhores resultados.

O histórico dos equipamentos não está adequado às necessidades de um estudo para a utilização de um novo método. Neste caso, a recomendação seria manter a metodologia anterior de manutenção (preventiva baseada no tempo) com o acompanhamento paralelo de um novo método de manutenção (a aplicação de técnicas preditivas). Os resultados obtidos seriam comparados entre os dois métodos e a empresa tomaria decisões pautadas nos resultados reais da sua instalação.

O alto grau de desgaste dos equipamentos é um fator muito importante para a determinação dos parâmetros de referência para a análise de vibração. Neste caso, a manutenção corretiva de todas as bombas e motores, com a recuperação dos valores nominais ou mais próximos possível dos nominais em relação às folgas internas destes equipamentos, permitiria a definição destes parâmetros.

O tipo de acoplamento utilizado afeta negativamente a medição da vibração. No caso da falha do motor da bomba 'C' ficou evidente a contribuição do

acoplamento nas medições, impedindo a detecção da folga existente no eixo. A substituição do acoplamento rígido por um modelo mais flexível que minimize a transmissão de vibração entre motor e bomba e que reduza também a transmissão de esforços radiais contribuirá para melhores resultados da análise de vibração.

As condições operacionais do sistema estão inadequadas para o tipo de bomba utilizada. Se não for possível alterar a condição operacional, será necessário adequar os equipamentos para esta condição. A temperatura do fluido deve estar próxima ao valor ideal de 60°C, e este deve estar limpo, ou com o mínimo possível de impurezas.

Caso a operação da bomba em vazio seja inevitável, uma adaptação na bomba será útil para promover a lubrificação e refrigeração do selo através de um sistema independente, também promovendo a lubrificação das partes internas da bomba. Tal sistema funcionaria em paralelo com a bomba, injetando uma pequena quantidade de fluido no interior da bomba, calculado de modo a atender a necessidade de lubrificação dos componentes internos e de refrigeração do selo mecânico.

As ações propostas estão resumidas a seguir, e podem melhorar os resultados desejados para manutenção deste sistema:

- Iniciar a utilização de um novo método de manutenção (preditiva) com redução de custos e paradas não programadas, sem abandonar a metodologia anterior (preventiva);
- Elaborar um histórico dos equipamentos com informações mais detalhadas sobre a manutenção e operação;
- Realizar estudos para determinação dos parâmetros ideais de acompanhamento de vibração com o ajuste das folgas internas;
- Promover a redução das falhas nos selos mecânicos, tanto provenientes de excesso de vibração ou de aquecimento excessivo do selo com um sistema independente de lubrificação e refrigeração.
- Substituir o tipo de acoplamento de modo a reduzir as interferências entre motor e bomba.

O estudo da situação futura da empresa em relação à utilização deste sistema pode mostrar a viabilidade ou não de substituição destas bombas e motores por modelos mais novos e adequados para a função requerida.

A redução de custos com manutenção de equipamentos novos, redução

de consumo de energia elétrica com motores de melhor rendimento, um sistema de selagem que tenha durabilidade maior, um tipo de bomba que permita a troca de selo sem a necessidade de desmontagem completa da bomba e remoção do motor elétrico podem ter retorno financeiro em médio prazo, tornando viável esta substituição.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo foi realizado sobre um processo de implantação de novos métodos de manutenção em uma instalação antiga. Os equipamentos que constituem o sistema estão em operação a mais de trinta anos.

Os objetivos do estudo vieram a proporcionar uma visão comparativa da situação em que os equipamentos eram mantidos com métodos tradicionais de manutenção, e atualmente com métodos mais modernos, representando menos impactos no processo produtivo, com mais qualidade e melhores informações sobre o desempenho do sistema.

Foi apresentado um resumo sobre os equipamentos e sobre o sistema objeto deste estudo, com informações do funcionamento, características de operação reais e ideais, e o histórico de manutenção existente.

A quantidade e a qualidade das informações existentes sobre a vida destes equipamentos mostrou-se de grande importância para que os métodos de manutenção escolhidos possam se adequar à realidade e à necessidade da empresa. Por outro lado, não basta apenas estudar os históricos de manutenção dos equipamentos, mas também o histórico de operação.

A vida útil de um equipamento depende de alguns fatores:

- Adequação do processo ao equipamento escolhido para realizar a função desejada;
- Operação do equipamento de acordo com os parâmetros definidos pelo fabricante;
- Manutenção do equipamento de acordo com o plano fornecido pelo fabricante;

- Capacitação dos técnicos que realizam as intervenções nos equipamentos, garantindo qualidade na execução dos serviços, evitando retrabalhos e redução da vida útil de peças e componentes por uma eventual falha na montagem e na manutenção.
- Utilização de peças de reposição e materiais de qualidade comprovada, conforme indicação do fabricante.

Durante a vida do equipamento, com a elaboração de históricos de manutenção e operação confiáveis, com o estudo das falhas e das atividades realizadas para solução destas falhas, estudo de novos materiais e componentes que possam proporcionar melhores resultados no funcionamento do equipamento, a Engenharia de Manutenção pode definir novos parâmetros de operação e manutenção destes equipamentos, permitindo otimizar as atividades de manutenção.

Deve-se lembrar que um mesmo equipamento instalado nas mesmas condições não apresentará o mesmo desempenho que os demais, pois existe uma variável envolvida no processo que não é constante: o fator humano. Tanto o operador do equipamento quanto o técnico de manutenção não realizam suas atividades do mesmo modo o tempo todo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO - ABENDI. **Ensaio Não Destrutivo – END**. Disponível em <[http://www.abendi.org.br/info\\_end\\_oquesao.php?w=1280&h=1024](http://www.abendi.org.br/info_end_oquesao.php?w=1280&h=1024)> Acesso em: 28 nov. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro. 1994.

BEZERRA OLIVEIRA. **Análise de Vibração**. Disponível em: <<http://www.gbonet.com.br/bosi/servicos.php>> Acesso em: 28 nov. 2012.

BT SERVICE. **Inspeção de Ensaio não Destrutivo**. Disponível em <<http://www.bt-service.com.br/inspecao.htm>> Acesso em: 28 nov. 2012.

ECCEND INSPEÇÕES E CONTROLE DE QUALIDADE. **Ensaio Não Destrutivo**. Disponível em <<http://eccend.com/ensaios.html>> Acesso em: 28 nov. 2012.

EUTECTIC CASTOLIN. **Sistemas Modernos de Aspersão Térmica**. Disponível em: < <http://www.eutectic.com.br/aspersao.html>> Acesso em: 09 jan. 2013.

FILHO, Gil B. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Disponibilidade**. 4. ed. Rio de Janeiro. Ed. Ciência Moderna Ltda, 2006.

INDUFLUX MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS LTDA. **Ensaio não destrutivo**. Disponível em: <<http://www.induflux.ind.br/pt/7/produtos.html>> Acesso em: 28 nov. 2012.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2009.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2007.

KRAL. **Prospect Baureihe M**. Disponível em: <<http://www.kral.at/pumpen/baureihe-m/>> Acesso em: 17 nov. 2012.

MERCA E REBOCHO. **Ensaaios Não Destrutivos**. Disponível em:  
<<http://www.mercarebocho.com/ensaios.php>> Acesso em: 28 nov. 2012.

NDB VISION. **Radioscopia**. Disponível em:  
<<http://www.ndbvision.com/radioscopia.asp>> Acesso em: 28 nov. 2012.

PORTAL MB-INSPEÇÕES. **Normas técnicas**. Disponível em:  
<<http://portalmbinspecoes.wordpress.com/normas-tecnicas/>> Acesso em: 28 nov. 2012.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de implementação**. Rio de Janeiro. Qualitymark , 2009.

SKF. **Desalinhamentos custam tempo e dinheiro**. Disponível em:  
<[http://www.mapro.skf.com/products\\_p/AL\\_intro.htm](http://www.mapro.skf.com/products_p/AL_intro.htm)> Acesso em: 16 jan. 2013.

SQL BRASIL. **A Quarta Geração do Gerenciamento de Ativos Operacionais**. Disponível em <<http://www.sqlbrasil.com.br>> Acesso em: 07 dez. 2013.

TAVARES, Mauro C. **Gestão Estratégica**. 2ª ed. São Paulo. Ed. Atlas S.A, 2007.

TETRALON. **Como funcionam as bombas de três fusos**. Disponível em:  
<[http://www.tetralon.com.br/kral\\_funciona.htm](http://www.tetralon.com.br/kral_funciona.htm)> Acesso em: 17 nov. 2012.

TORR SERVICE CENTER. **Bancadas de testes**. Disponível em:  
<[http://www.torrservice.com.br/mecanica\\_manutencao.php](http://www.torrservice.com.br/mecanica_manutencao.php)> Acesso em: 28 nov. 2012.

ULTRASEAL SELOS MECÂNICOS. **Dicas e Instruções de Montagem e Instalação de Selos Mecânicos** . Disponível em:  
<<http://www.ultraseal.com.br/noticias/>> Acesso em: 20 nov. 2012.

## **ANEXO I : DESCRIÇÃO DA BOMBA DE TRÊS FUSOS**

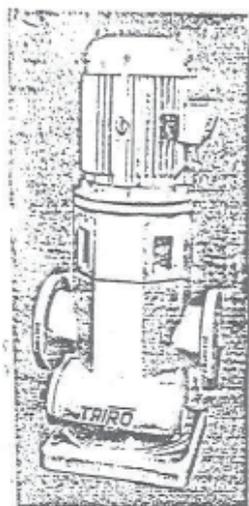
# TRIPO



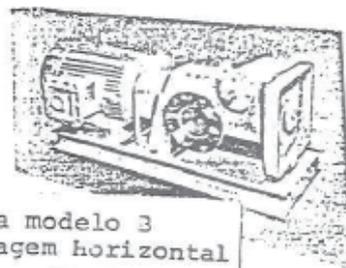
**BOMBAS DE FUS**  
**PARA LIQUIDOS LIMPO**  
**E COM PROPRIEDADES**  
**LUBRIFICANTES**



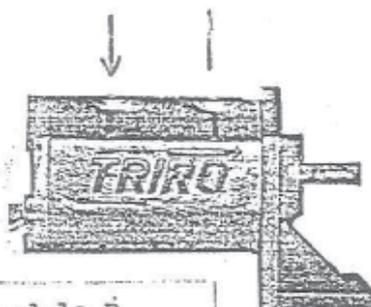
**HEROSA**  
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS



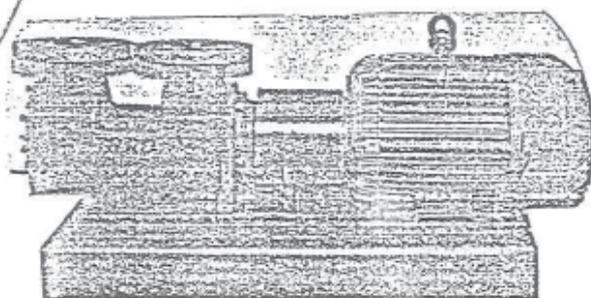
Bomba modelo B  
Montagem Vertical



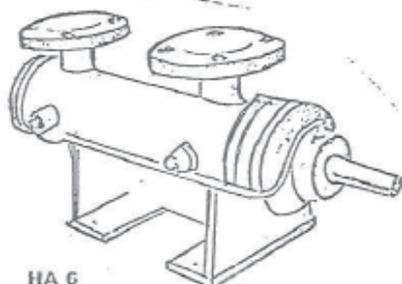
Bomba modelo B  
Montagem Horizontal



Bomba modelo B  
Boca rosqueada



Bomba modelo B  
Boca flangeada



HA 6  
Bomba modelo HA6  
Para alta pressão



Bomba modelo B 77  
Tipo topo de tanque

## INFORMAÇÕES GERAIS:-

### Aplicação-

A gama TRIRO de bombas foi projetada principalmente para manusear óleos lubrificantes e óleos combustíveis, mas podem elas ser e são usadas para bombear outros líquidos tendo suficientes propriedades de lubrificação.



Capaz de operar a pressões até 2000 psi, a bomba TRIRO é caracterizada por sua operação silenciosa, sem vibração e pulsação. A capacidade de sucção é excelente.

As principais aplicações incluem:

- Sistema de lubrificação para mancais de máquinas;
- Sistema de lubrificação para engrenagens;
- Vedação de empanque de compressor;
- Alimentação de óleo combustível para caldeiras;
- Carga e descarga de vagões ferroviários;
- Carregamento em navios;
- Serviços de transferência de óleo em geral, incluindo serviço em tubulação de óleo pesado;
- Bombas das salas de máquinas de navios (óleo lubrificante e combustíveis);
- Bombas hidráulicas, por exemplo, elevadores, unidades de força, direção de navios.

### Especificação-

#### Tipo B:

Corpo em ferro fundido;  
Rotor principal em aço;  
Rotor secundário em ferro fundido;  
Vedação com selo mecânico;  
Válvula de alívio integrada no corpo da bomba.

Em Alguns modelos as montagens podem ser horizontais ou verticais.

B-25-3	-	B-60-3	-	Pressão máxima 19 Kg/cm <sup>2</sup> Capacidade 1 m <sup>3</sup> /h a 38 m <sup>3</sup> /h
B-70-3	-	B-90-3	-	Pressão máxima 14 Kg/cm <sup>2</sup> Capacidade 16 m <sup>3</sup> /h a 68 m <sup>3</sup> /h
B-125-3	-	B-160-3	-	Pressão máxima 10 Kg/cm <sup>2</sup> Capacidade 70 m <sup>3</sup> /h a 240 m <sup>3</sup> /h

#### Tipo HA-

A linha HA é uma série de bombas fabricadas para altas pressões, onde a pressão máxima é de 140 Kg/cm<sup>2</sup>.

Corpo em aço;  
Rotor principal em aço;  
Rotor secundário em ferro fundido;  
Vedação com selo mecânico;  
Sem válvula de alívio integrada no corpo da bomba (se necessário, deverá ser montada externamente).

#### Tipo Topo de Tanque:

Tamanho TT-25 à TT-60

Este projeto incorpora uma placa de montagem para receber o motor elétrico com flange, montado verticalmente na face do topo e a bomba na face de fundo com espaço deixado para que caiba o acoplamento flexível.

\*SILENCIOSA

\*SEM PULSAÇÃO

\*COMPACTA

\*SEM VIBRAÇÃO

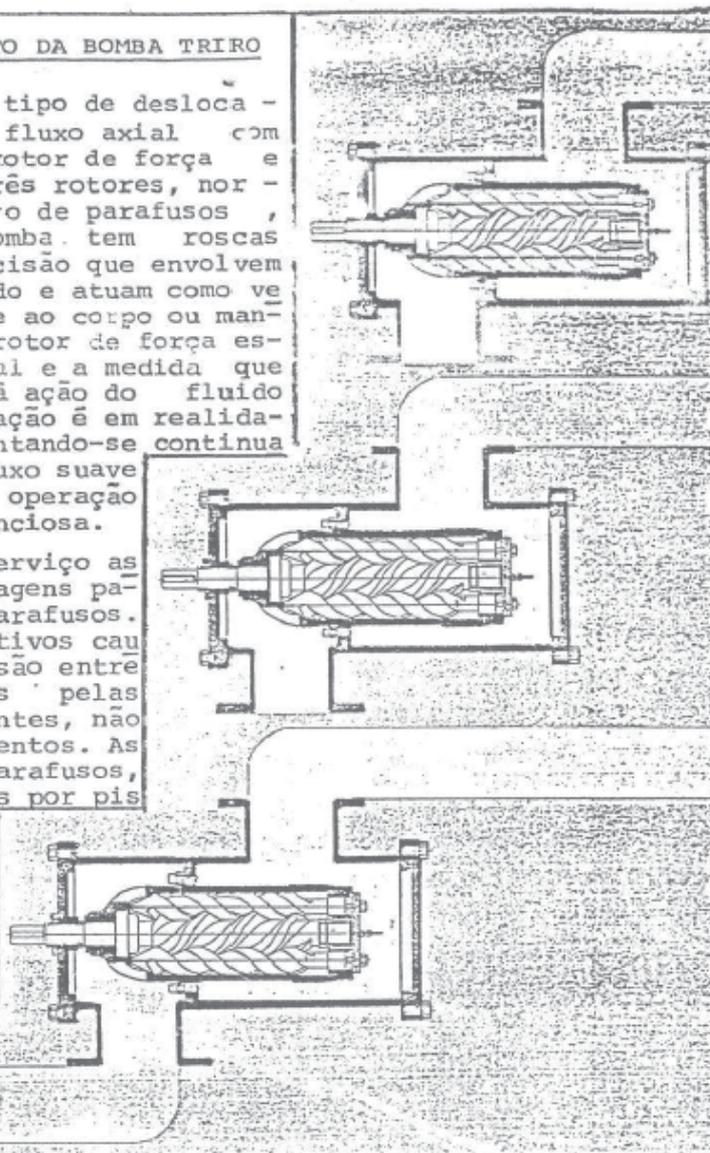
\*DE CONFIANÇA

### O PRINCÍPIO DO FUNCIONAMENTO DA BOMBA TRIRO

A Bomba TRIRO da Mirrlees é do tipo de deslocamento positivo, de parafuso de fluxo axial com somente três partes móveis um rotor de força e dois rotores inativos. Estes três rotores, normalmente chamados de um conjunto de parafusos, que constituem o elemento da bomba, tem roscas intercalantes usinadas com precisão que envolvem o fluido que está sendo bombeado e atuam como vedações um em relação ao outro e ao corpo ou manga da bomba, no qual giram. O rotor de força está ligado ao acionador principal e a medida que gira os inativos giram devido à ação do fluido que está sendo bombeado. Esta ação é em realidade, aquela de um pistão movimentando-se continuamente em uma direção, dando fluxo suave uniforme sem pulsação, e uma operação da bomba excepcionalmente silenciosa.

Os inativos não desempenham serviço assim não são necessárias engrenagens para transmitir força entre os parafusos. Como as forças radiais nos inativos causadas pela diferença de pressão entre entrada e saída, são absorvidas pelas superfícies cilíndricas adjacentes, não há necessidade de outros rolamentos. As forças axiais no conjunto de parafusos, são hidraulicamente balanceadas por pistões nas extremidades.

A Simplicidade do projeto TRIRO, e sua característica auto-lubrificante, garantem um alto grau de confiabilidade.



**HERO S.A.**  
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

SÃO PAULO - Rua João Ventura Batista, 622 - CEP. 02054 - Vila Guilherme (PABX) - 291-6022 - TELEX 01121812 - HERO BR - BRASIL

RIO DE JANEIRO - Avenida Rio Branco, 156 - 12.º andar - salas 1226 e 1227 Tels. : 224-2935 - 224-9038 - 224-4588 - TELEX 02122953 - HERO BR - BRASIL

BELO HORIZONTE - Avenida Brasil, 1831 - conjunto 612 - Edifício Mont Serrat Telefone: 224-7101 - Minas Gerais - CEP 30000 - BRASIL

REPRESENTANTES - SALVADOR, PORTO ALEGRE, CURITIBA, RECIFE.

CATÁLOGO  
Nº 1001  
MARÇO - 77