



**MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA TOMADA DE  
DECISÃO: UM CASO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS  
INDUSTRIAIS**

**Alain Cognac Carelli**

**Milena da Silva Maciel**

**Projeto Final de Curso**

**Orientador:**

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa

**Co-orientador:**

Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo

**Outubro de 2006**

**MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA TOMADA DE DECISÃO: UM CASO DE  
BOMBAS CENTRÍFUGAS INDUSTRIAIS**

*Alain Cognac Carelli*

*Milena da Silva Maciel*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química  
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

---

Flávio Luiz Barros Diniz, M.Sc.

---

Marcos Melo Piquet de Alcântara, Eng.

---

Márcio Nele de Souza, D.Sc.

---

Ricardo de Andrade Medronho, Ph.D.

Orientado por:

---

Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, D.Sc.

---

Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Outubro de 2006

Carelli, Alain Cognac.

Maciel, Milena da Silva.

MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA TOMADA DE DECISÃO:  
UM CASO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INDUSTRIAIS/Alain Cognac  
Carelli. Milena da Silva Maciel. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2006.

xi, 62 p.; il

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química,  
2006.

Orientador: Fernando Luiz Pellegrini Pessoa; Paulo Fernando F. Frutuoso e  
Melo

1. Manutenção. 2. Bombas. 3. Falhas. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ).  
5. Fernando Luiz Pellegrini Pessoa. 6. Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo. I.  
Manutenção Preditiva para Tomada de Decisão: Um Caso de Bombas Centrífugas  
Industriais.

Dedicamos este trabalho ao professor Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo, às  
nossas famílias e amigos.

“Um dos espetáculos mais belos do mundo é ver um adulto que aproveita todos os ensejos de preencher as lacunas da sua educação intelectual e que prega todos os lazes e serões trabalhando para se tornar um homem de mais iniciativa, mais consciente, melhor preparado para o cumprimento de sua missão”

ORISON SWET MARDEN

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer ao nosso orientador Fernando Luiz Pellegrini Pessoa pelo acompanhamento do projeto e por sanar nossas dúvidas em momentos de indecisão.

Ao co-orientador Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo pelo enorme incentivo, dedicação e comprometimento, mesmo sem vínculo conosco, e com a Escola de Química.

Ao Cmte. Cheriff pela aula e disponibilidade em sanar nossas dúvidas.

Ao Engenheiro Flávio Diniz pelo conhecimento transmitido durante suas aulas de pós-graduação e por ter aceitado o convite em participar da banca.

Aos professores Márcio Nele e Ricardo Medronho; e ao Engenheiro Marcos Piquet por terem aceitado o convite para a banca avaliadora.

Ao Jorge Alan Warrack e Lício Franca pela disponibilização dos dados.

Aos amigos André Macieira e Marcos Benzecry por todo apoio nos momentos de necessidade.

Aos nossos amigos por estarem ao nosso lado.

E finalmente aos nossos pais, companheiros, torcedores e grandes incentivadores na busca pelo título de Engenheiro Químico.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

**MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA TOMADA DE DECISÃO: UM  
CASO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS INDUSTRIAIS**

Alain Cognac Carelli

Milena da Silva Maciel

Outubro, 2006

Orientadores: Prof. Fernando Pellegrini Pessoa, D.Sc.

Paulo Fernando F. Frutuoso e Melo, D.Sc.

Motivados pelo grande percentual que representa a manutenção nos custos de vários setores industriais, o objetivo deste trabalho é a construção de uma metodologia baseada nos conceitos de manutenção preditiva, que auxilie o operador e/ou responsável pela manutenção de máquinas de uma determinada empresa na tomada da melhor decisão em intervenções dos equipamentos. Sabemos que um dos grandes problemas na avaliação da manutenção é saber como utilizar, analisar e tomar ações a partir de dados históricos, além da necessidade de reter conhecimento dentro da empresa, de forma que o mesmo não esteja vinculado à experiência adquirida em anos de trabalho.

Neste trabalho, utilizaremos dados de intervenção em bombas centrífugas de uma refinaria brasileira. Conceitos de manutenção, falhas, sintomas, causas e ações serão estudados e relacionados de forma a estruturar o conhecimento adquirido nestas intervenções e auxiliar o operador não-experiente na tomada de decisão.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2. BOMBAS.....</b>	<b>- 3 -</b>
2.1. TIPOS DE BOMBAS .....	- 3 -
2.1.1. Bombas dinâmicas ou turbobombas.....	- 3 -
2.1.2. Bombas volumétricas ou de deslocamento positivo .....	- 6 -
2.2. FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA.....	- 7 -
2.3. CURVA DE OPERAÇÃO DA BOMBA .....	- 8 -
2.3.1. Equação de Bernoulli.....	- 9 -
2.3.2. Perdas de carga .....	- 10 -
2.3.3. Cavitação .....	- 11 -
2.3.4. NPSH (Net Positive Suction Head) .....	- 13 -
2.3.5. Ponto de trabalho.....	- 15 -
<b>3. MANUTENÇÃO.....</b>	<b>- 17 -</b>
3.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA .....	- 20 -
3.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	- 21 -
3.3. MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	- 23 -
3.4. MANUTENÇÃO DETECTIVA .....	- 29 -
<b>4. CONCEITOS IMPORTANTES.....</b>	<b>- 30 -</b>
4.1. FALHA .....	- 30 -
4.2. CAUSA .....	- 31 -
4.3. SINTOMA.....	- 32 -
4.4. VIBRAÇÃO .....	- 32 -
4.5. FMEA .....	- 37 -
4.6. MCC.....	- 37 -
4.7. MPT .....	- 38 -
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>- 39 -</b>
5.1. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	- 42 -



5.2.	ELABORAÇÃO DO SISTEMA .....	- 45 -
5.3.	ESTUDO DE CASO/RESULTADOS .....	- 51 -
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>- 57 -</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>- 60 -</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – BOMBA CENTRÍFUGA .....	- 4 -
FIGURA 2 – PÁS DE BOMBAS DE FLUXO AXIAL .....	- 4 -
FIGURA 3 – BOMBA ALTERNATIVA .....	- 6 -
FIGURA 4 – BOMBA ROTATIVA .....	- 7 -
FIGURA 5 – FUNCIONAMENTO DE BOMBA CENTRÍFUGA .....	- 8 -
FIGURA 6 – REGIMES E ZONAS IDENTIFICADAS .....	- 11 -
FIGURA 7 – PÁS DE ROTOR DE BOMBA DANIFICADO DEVIDO À CAVITAÇÃO .....	- 12 -
FIGURA 8 – CURVA CARACTERÍSTICA .....	- 15 -
FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DAS TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO .....	- 19 -
FIGURA 10 – DESEMPENHO CONTRA TEMPO PARA MANUTENÇÃO CORRETIVA .....	- 21 -
FIGURA 11 – DESEMPENHO CONTRA TEMPO PARA MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	- 23 -
FIGURA 12 – DESEMPENHO CONTRA TEMPO PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	- 25 -
FIGURA 13 – EQUIPAMENTO PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO .....	- 26 -
FIGURA 14 – TERMOVISORES .....	- 28 -
FIGURA 15 – RELAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	- 29 -
FIGURA 16 – CRITÉRIO DE T.C. RATHBONE .....	- 34 -
FIGURA 17 – CRITÉRIO DE MICHAEL BLAKE .....	- 35 -
FIGURA 18 – CRITÉRIO DE IRD .....	- 36 -
FIGURA 19 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA METODOLOGIA UTILIZADA .....	- 41 -
FIGURA 20 – EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO INADEQUADA PARA PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	- 44 -
-	
FIGURA 21 – RELAÇÃO ENTRE OS CONCEITOS UTILIZADOS NA METODOLOGIA .....	- 47 -
FIGURA 22 – ESTRUTURA DA METODOLOGIA .....	- 48 -
FIGURA 23 – ESCOLHA DO SINTOMA .....	- 50 -
FIGURA 24 – INFORMAÇÕES LEVANTADAS PELO SISTEMA .....	- 50 -
FIGURA 25 – INTERFACE DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO .....	- 51 -

FIGURA 26 – ETAPA 1: IDENTIFICAÇÃO DO SINTOMA.....	- 52 -
FIGURA 27 – DETERMINAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS .....	- 52 -
FIGURA 28 – SELEÇÃO DA CAUSA .....	- 53 -
FIGURA 29 – APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS .....	- 54 -
FIGURA 30 – INTERFACE PARA EDIÇÃO .....	- 54 -
FIGURA 31 – INTERFACE PARA INSERÇÃO DE NOVO DADO.....	- 55 -
FIGURA 32 – FLUXOGRAMA PARA METODOLOGIA PROPOSTA.....	- 56 -

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÃO ENTRE COMPONENTES PRESENTES NA ANÁLISE DO LUBRIFICANTE E PEÇAS COMPROMETIDAS.....	- 27 -
TABELA 2 – CRITÉRIO DE STEVEN MATEN .....	- 37 -
TABELA 3 – RELAÇÃO PERCENTUAL ENTRE CUSTO DE MANUTENÇÃO E FATURAMENTO DAS EMPRESAS NO BRASIL .....	- 39 -
TABELA 4 – EXEMPLO ILUSTRATIVO DOS DADOS DA REFINARIA .....	- 42 -
TABELA 5 – EXEMPLO DA NOVA ESTRUTURA DA BASE A SER UTILIZADA NO ESTUDO .....	- 45 -

# 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o setor de manutenção sempre foi percebido como uma área essencialmente operacional, enquanto que unidades de produção sempre foram vistas como estratégicas e objetos de vultosos investimentos. Não se enxergava atratividade nos investimentos em manutenção, e, portanto, poucos recursos eram direcionados para a sua modernização. Contudo, recentes mudanças no ambiente de *downstream* mundial reconfiguram o papel e a importância deste setor, que passa a ser estratégico para o aumento da confiabilidade e eficiência, garantindo a satisfação dos clientes e atendendo a requisitos de segurança, meio ambiente e saúde. Este novo cenário evidencia a necessidade de um mecanismo que auxilie a gerência da manutenção na tomada de decisão.

O aumento da competitividade e a globalização impulsionam as indústrias a gerir mais eficientemente seu negócio, buscando atingir elevados níveis de desempenho e elevar a lucratividade. Neste novo cenário, que tende a tornar-se ainda mais acirrado no futuro, é fundamental manter um elevado nível de serviço.

Neste contexto, percebe-se a importância de uma operação confiável para atingir o alto nível de desempenho esperado. A manutenção deve melhorar seus processos e buscar soluções para minimizar a ocorrência de problemas históricos e aumentar a eficiência com que realiza suas atividades, promovendo menores custos, melhor aproveitamento dos recursos materiais e humanos, e maior lucratividade para a companhia.

O objetivo deste estudo é propor meios de se conseguir otimizar a manutenção de equipamentos através de uma metodologia de simples execução, com base nos conhecimentos adquiridos ao longo do tempo de vida dos equipamentos.

Utilizou-se como estudo de caso, dados de bombas industriais de uma refinaria brasileira e, por isso, fez-se, no capítulo 2, uma análise dos tipos de bombas utilizadas nas indústrias, seu funcionamento e algumas definições e conceitos relacionados à curva de operação. Já no capítulo 3, estudou-se o tema manutenção, discutindo-se os tipos existentes e as vantagens e desvantagens de cada um. No capítulo 4, são apresentados alguns conceitos importantes para a elaboração da metodologia proposta e no capítulo 5, apresenta-se a metodologia e um estudo de caso. O trabalho é concluído no capítulo 6, analisando-se as restrições e benefícios adquiridos com a adoção desta metodologia, bem como possíveis estudos posteriores a serem elaborados a partir deste projeto.

## **2. BOMBAS**

As bombas, de forma bem simplista, são máquinas exclusivamente utilizadas para o transporte de fluidos por linhas ou dutos, sendo caracterizadas como máquinas geratrizes ou operatrizes. Mas como é feito esse transporte? Quais as formas de fazê-lo? Como analisar o modo mais eficiente de se realizar este transporte? As respostas destas perguntas são o objetivo deste capítulo.

De acordo com Mattos (1989) – *Bombas Industriais*: “(...) são máquinas operatrizes hidráulicas que conferem energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro obedecendo às condições do processo.”.

### **2.1. Tipos de bombas**

A base do funcionamento da bomba é a transferência da energia motora gerada pela bomba ao fluido como energia de pressão e/ou cinética, ou seja, quando passa pela bomba, o líquido recebe um aumento de velocidade e/ou pressão, fato atribuído à passagem do fluido pelas pás do rotor da bomba que está sob a ação da força motora. Partindo deste princípio, pode-se classificar a bomba quanto à forma de energia que ela transmite:

- Bombas dinâmicas ou turbobombas – transmitem a energia motora através do fluido que escoar pelo rotor da bomba;
- Bombas volumétricas ou de deslocamento positivo – transmitem a energia motora já convertida em energia de pressão para o fluido.

#### *2.1.1. Bombas dinâmicas ou turbobombas*

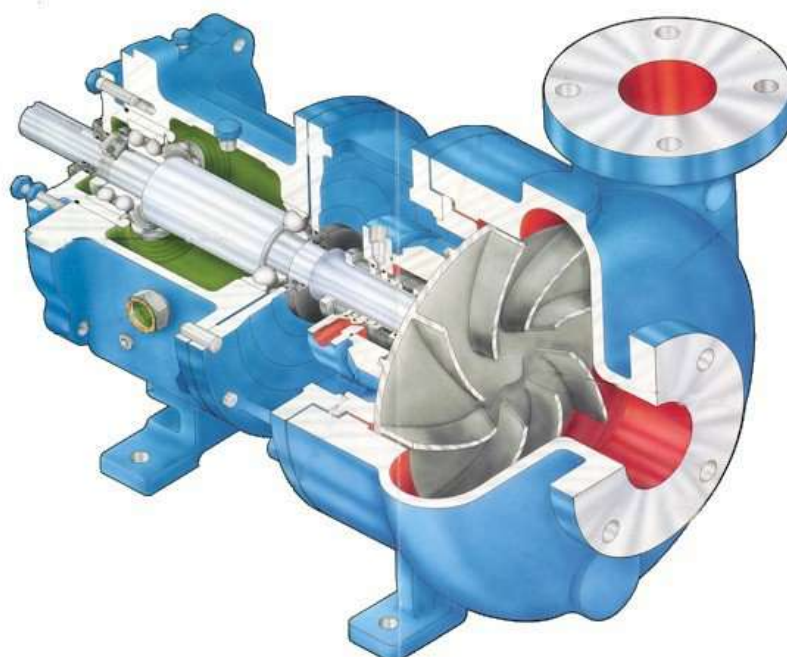
São caracterizadas pela existência de um rotor dotado de pás, também chamado de impelidor, o qual produz as forças cinéticas e de arraste que originarão energia

cinética e/ou pressão para o fluido quando este passar pelas pás em rotação. Portanto, esta classe de bomba pode ser categorizada conforme a força proporcionada ao fluido:

- Força centrífuga – bombas centrífugas;
- Força de arrasto – bombas de fluxo axial;
- Força mista – bombas de fluxo misto.

#### 2.1.1.1. Bombas centrífugas

Estas bombas apresentam as pás do rotor com curvatura simples, perpendicular ao fluxo de entrada e normal ao fluxo de saída. Estas pás são fixadas num disco aberto ou fechado, que transmite ao líquido, primordialmente, energia cinética através da força centrífuga, sendo posteriormente convertida em energia de pressão por intermédio de um conduto de área crescente. Na figura 1, pode-se visualizar uma bomba centrífuga e seu interior.



Fonte: Práticas de Engenharia Química I

**Figura 1** – Bomba centrífuga



Contudo, pela simplicidade de fabricação, este tipo de bomba é utilizado na grande maioria das instalações de água limpa, conforme Macintyre (1980) – *Bombas e Instalações de Bombeamento*. Cita também outros fluidos que se utilizam destas bombas em seus bombeamentos: água do mar, condensados, óleos, lixívias, para pressões de até 16 kgf/cm<sup>2</sup> e temperaturas de até 140°C.

#### 2.1.1.2. Bombas de fluxo axial

Nestas bombas o fluxo de entrada é paralelo ao eixo, logo o rotor transmite energia cinética ao fluido através da força de arrasto. Na figura 2, pode-se visualizar o formato das pás de bombas de fluxo axial.



Fonte: Práticas de Engenharia Química I

**Figura 2** – Pás de bombas de fluxo axial

Conforme Mattos (1989) – *Bombas Industriais*, estas bombas são empregadas quando se deseja vazão elevada e as cargas fornecidas ao fluido são pequenas, sendo geralmente aplicada em serviços de irrigação.

#### 2.1.1.3. Bombas de fluxo misto

Estas bombas apresentam o bordo das pás curvo e inclinado em relação ao eixo, o que possibilita o fornecimento de energia através das forças centrífugas e de arrasto, formando-se com isso um ângulo de saída de fluxo em comparação com o de entrada entre 90° (força centrífuga) e 180° (força de arrasto).

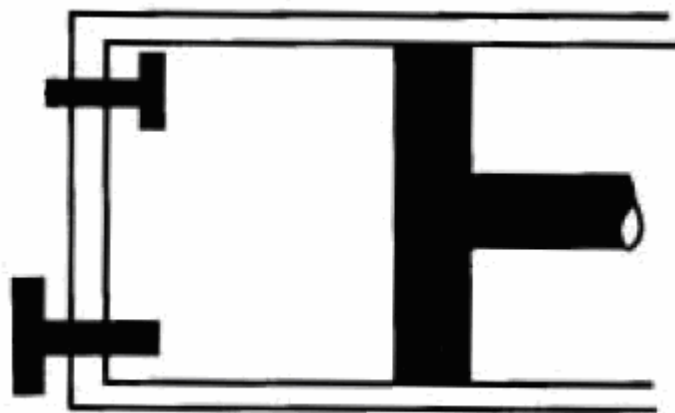
Conforme Macintyre (1980) – *Bombas e Instalações de Bombeamento*, estas bombas são utilizadas para grandes descargas e alturas de elevação pequenas e médias, seus projetos são complexos e sua fabricação apresenta certos problemas de fundição.

### 2.1.2. Bombas volumétricas ou de deslocamento positivo

São caracterizadas pela existência de um órgão mecânico, onde, conforme sua movimentação, o fluido é impelido ou expelido, seguindo o percurso do órgão. Portanto, a energia fornecida ao fluido está sob a forma de pressão, onde a vazão de escoamento média proporcionada por essas bombas é praticamente constante independentemente do sistema.

Estas bombas são diferenciadas conforme o modo de impelir e expelir o fluido:

- Bombas alternativas – pistão, êmbolo e diafragma. Na figura 3, pode-se visualizar uma bomba alternativa.



Fonte: Práticas de Engenharia Química I

**Figura 3** – Bomba alternativa

- Bombas rotativas – engrenagem, lóbulos, parafusos e palhetas deslizantes. Na figura 4, pode-se visualizar a exemplificação de uma bomba rotativa.



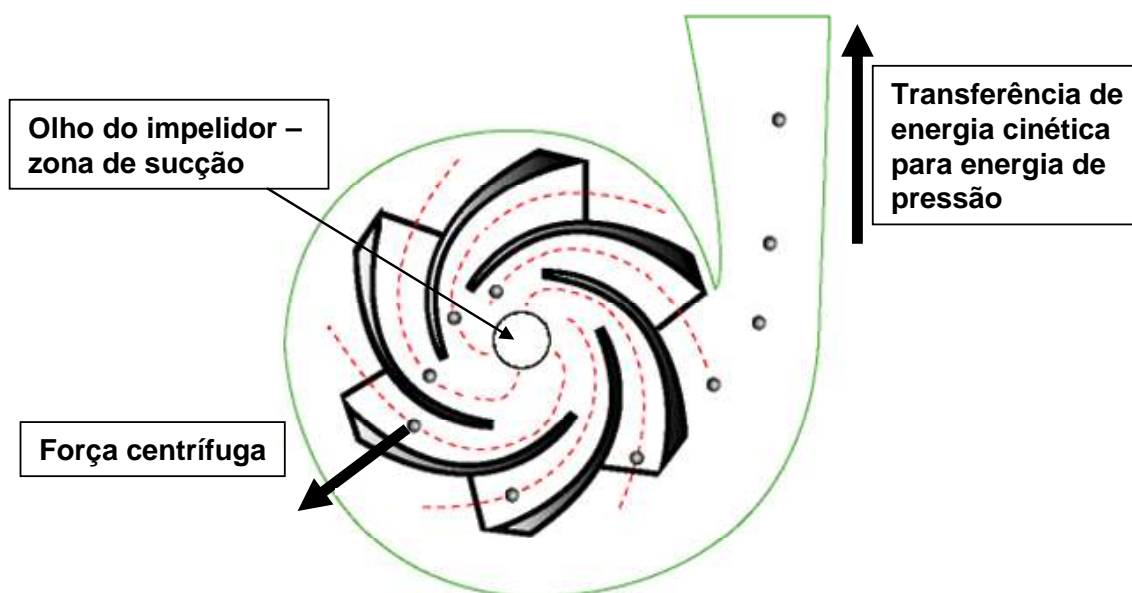
Fonte: Práticas de Engenharia Química I

**Figura 4** – Bomba rotativa

## **2.2. Funcionamento de uma Bomba Centrífuga**

De acordo com o propósito do projeto, inicia-se o estudo com a análise do funcionamento da bomba centrífuga. Este tipo de bomba é dividido em: impelidor – essencialmente composto pelas pás que impulsionam o líquido; e carcaça – envolve o impelidor. Necessita-se que a carcaça esteja cheia de líquido e conseqüentemente o impelidor mergulhado no mesmo.

A base do funcionamento da bomba centrífuga trata-se da criação de uma região de baixa pressão e outra de alta pressão, fato proporcionado pelas pás do impelidor que, ao estarem em rotação, lançam o fluido para a periferia devido à ação da força centrífuga (região de alta pressão), logo, no centro há um vazio que é preenchido por um volume de líquido igual ao deslocado para a periferia (região de baixa pressão), com isso, gerando o fluxo contínuo. Na figura 5, pode-se visualizar a atuação de cada força e a transferência de energia no interior da bomba centrífuga.



Fonte: Adaptado de Práticas de Engenharia Química I

**Figura 5** – Funcionamento de bomba centrífuga

Resumidamente, pode-se dizer que ocorre uma transferência de energia cinética do impelidor para o fluido, e com o aumento da área de saída da carcaça, esta energia se transforma em energia de pressão. Contudo, essa transferência de energia do rotor para o líquido não é total, devido às perdas de energia proporcionadas pelas paredes por onde o líquido flui.

### **2.3. Curva de operação da bomba**

Utiliza-se a curva de operação da bomba para determinar o ponto de trabalho ou janela de vazão, que é originada através da curva do sistema – energia que o sistema solicita *versus* a vazão de operação; da curva de operação da bomba (fornecida pelo fabricante) – energia que a bomba tem condição de fornecer ao fluido para uma determinada vazão; e, a eficiência da bomba.

Para entender a lógica da curva de operação de bombas deve-se ter bem claro alguns conceitos de fluidodinâmica.

### 2.3.1. Equação de Bernoulli

O teorema de Bernoulli pode ser considerado como um caso particular do princípio de conservação de energia.

#### Equação da Conservação de Energia

$$\frac{dE_c}{dt} = \sum Q - \sum W + \sum m_{in} (h + \theta_x)_{in} - \sum m_{out} (h + \theta_x)_{out} \quad (1)$$

O termo do lado esquerdo da equação simboliza a variação da energia do volume de controle na unidade de tempo, enquanto o somatório de Q é o calor trocado no sistema por unidade de tempo, de W é o trabalho trocado por unidade de tempo, e os outros dois termos são a multiplicação das vazões mássicas por unidade de tempo pelas energias correspondentes à entalpia específica e à extrínseca específica.

Considerando algumas simplificações:

- Regime permanente – a variação da energia do volume de controle é nula;
- Apenas uma entrada e uma saída – vazão mássica do que entra igual a do que sai;
- Sistema não troca trabalho;
- Sistema sem atrito;
- Fluido incompressível.

Denominando a entrada de ponto 1, a saída de ponto 2 e dividindo por m.g, tem-se:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2)$$

Onde,

$\gamma$  – peso específico do fluido ( $\text{N/m}^3$ )

$g$  – aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ )

$m$  – massa do fluido (kg)

Analisando a unidade de cada termo da equação e o cálculo da energia necessária para a elevação do fluido a certa altura, encontram-se denominações para os termos da equação, sendo: altura piezométrica a razão entre  $P$  e  $\gamma$ , altura cinética a razão entre o quadrado de  $V$  e  $2g$  e altura geométrica  $Z$ .

### 2.3.2. *Perdas de carga*

A Equação de Bernoulli considera a hipótese do líquido ser perfeito (viscosidade nula), contudo esta hipótese é inverossímil, pois na realidade este líquido não existe.

Para líquidos reais, acrescenta-se o termo referente à perda de carga, que representa a energia perdida pelo líquido por unidade de peso, para se deslocar do ponto 1 para o ponto 2. Esta perda é dividida em dois tipos: perda de carga normal (perda ao longo da linha reta de corrente) e perda localizada (se verifica em acessórios, por exemplo, válvulas, conexões, etc.).

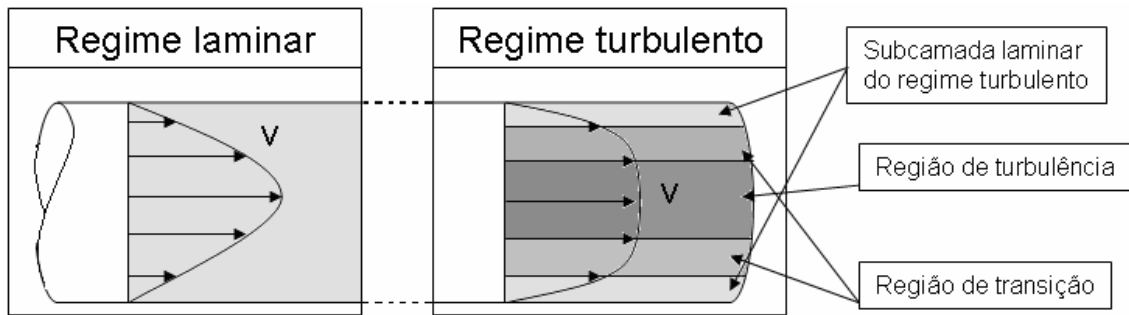
Portanto, modificando a equação de Bernoulli para líquidos reais e considerando uma bomba realizando trabalho, tem-se:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + W + h \quad (3)$$

A perda de carga é função da vazão de operação, do diâmetro da tubulação, do material do tubo entre outras variáveis, onde a perda de carga aumenta tanto com o aumento da vazão, quanto com a redução do diâmetro.

Outro ponto de análise para cálculos da perda de carga é o regime estabelecido: laminar ou turbulento. No regime laminar, o perfil de velocidade é parabólico, diferente

da perda do regime turbulento, o qual apresenta três zonas de regime: uma mais externa – subcamada laminar do regime turbulento; uma mais ao centro – região de turbulência; e uma entre as duas – região de transição. Portanto, o cálculo da perda de carga normal leva em consideração o tipo de regime no interior do tubo. Na figura 6, pode-se visualizar os dois regimes com suas zonas identificadas.



**Figura 6** – Regimes e zonas identificadas

### 2.3.3. Cavitação

Existem duas conceituações para o fenômeno de cavitação, a moderna e a tradicional.

A tradicional conceitua que quando a pressão absoluta em qualquer ponto do sistema atingir um valor igual ou menor que a pressão de vapor do líquido, parte deste vaporizará, e quando atingir novamente uma região com pressão maior que a de vapor, o colapso das bolhas gerará ondas de choque, devido ao vapor possuir maior volume específico, e com isso o líquido rapidamente preencherá o vácuo criado.

Conforme citado por Mattos (1989) – *Bombas Industriais*, Knaap e Pearsall comprovaram que líquidos puros e homogêneos podem resistir a valores bastante altos de pressão negativa ou tensão, sem cavitarem. Na realidade, isto não ocorre na maioria dos ambientes industriais e, portanto, a cavitação geralmente é gerada quando um ponto do sistema atinge valores de pressão próximos ao de pressão de vapor do líquido.

A ocorrência do fenômeno de cavitação pode ser atribuída ao fato dos líquidos bombeados normalmente apresentarem impurezas que potencializam a vaporização (contaminantes gasosos). Assim sendo, a cavitação seria melhor definida segundo Mattos (1989) – *Bombas Industriais*: “(...) como sendo o aparecimento de bolhas macroscópicas a partir de bolhas microscópicas ou núcleos existentes como impureza no seio do líquido quando a pressão atinge um valor crítico.”

No caso particular de bombas centrífugas, a região de mínima pressão, crítica para efeito de análise de cavitação, é na entrada do impelidor. Nesta hipótese, o colapso se dará provavelmente no canal do impelidor ou, posteriormente, na entrada da voluta ou canal das pás difusoras, dependendo do tipo de bomba. A figura 7 apresenta rotores danificados pela cavitação.



Fonte: Práticas de Engenharia Química I

**Figura 7** – Pás de rotor de bomba danificado devido à cavitação

Pode-se dizer também que o fenômeno de cavitação é mais danoso quando o colapso da bolha ocorre próximo à superfície metálica, pois o microjato incide diretamente na superfície, enquanto na corrente líquida o impacto é transmitido através das ondas de choque.



#### 2.3.4. NPSH (*Net Positive Suction Head*)

Para se evitar o fenômeno da cavitação, os fabricantes definem, em função da vazão, qual o valor da energia que deve existir no flange de sucção da bomba, para que na entrada do impelidor a pressão esteja ainda superior à da vaporização. A este valor deu-se o nome de NPSH requerido (*Net Positive Suction Head required*) ou simplesmente NPSHr, que é fornecido pelos fabricantes juntamente com as curvas de bombas. O NPSH pode ser definido como a quantidade mínima de energia absoluta por unidade de peso acima da pressão de vapor, o qual deve existir no flange de sucção para que não haja cavitação.

Para que a bomba não cavite, pode-se demonstrar que a altura geométrica de sucção é dada pela expressão:

$$h_{sg} \leq \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} - h_B - \nabla h_{perdas} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (4)$$

onde:

$h_{sg}$  – altura geométrica de sucção (m);

$P_{atm}$  – pressão atmosférica (Pa);

$P_v$  – pressão de vapor (Pa);

$\gamma$  – peso específico (N/m<sup>3</sup>);

$h_B$  – perda de carga interna da bomba (m);

$V_i$  – velocidade do fluido na posição  $i$ , onde  $i = 1,2$  (m/s)

$g$  – gravidade (m/s<sup>2</sup>)

$\nabla h_{perdas}$  - perda de carga (m)

O valor da pressão de vapor ( $P_v$ ) depende da temperatura, do composto e  $h_B$  é uma perda de carga que depende da geometria e do tipo de rotor da bomba, de acordo com a seguinte relação:

$$h_B = \sigma H_m \quad (5),$$

onde  $\sigma$  (fator de cavitação) mede a sensibilidade da bomba à cavitação, e é função da rotação específica da bomba e do fator  $\varphi$  (dependente do tipo de bomba).

$$\sigma = \varphi * n_q^{\frac{4}{3}} \quad (6) \text{ e } n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{\frac{4}{3}}} \quad (7). \text{ Logo, pode-se dizer que:}$$

$$\overbrace{\frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} \pm \nabla h_{perdas}}^{\text{NPSH}_{disp}} > \overbrace{\frac{V_2^2 - V_1^2}{\gamma} + h_B}_{\text{NPSH}_{req}} \quad (8)$$

$\text{NPSH}_{disp}$  – representa a energia disponível no flange de sucção da bomba acima da pressão de vapor do fluido bombeado;

$\text{NPSH}_{req}$  – representa a energia exigida pela bomba para poder succionar o fluido nas condições apresentadas sem cavitatar.

Afirma-se que em uma instalação de bombeamento, a bomba não cavitatará quando:

$$\text{NPSH}_{disp} > \text{NPSH}_{req} \quad (9)$$

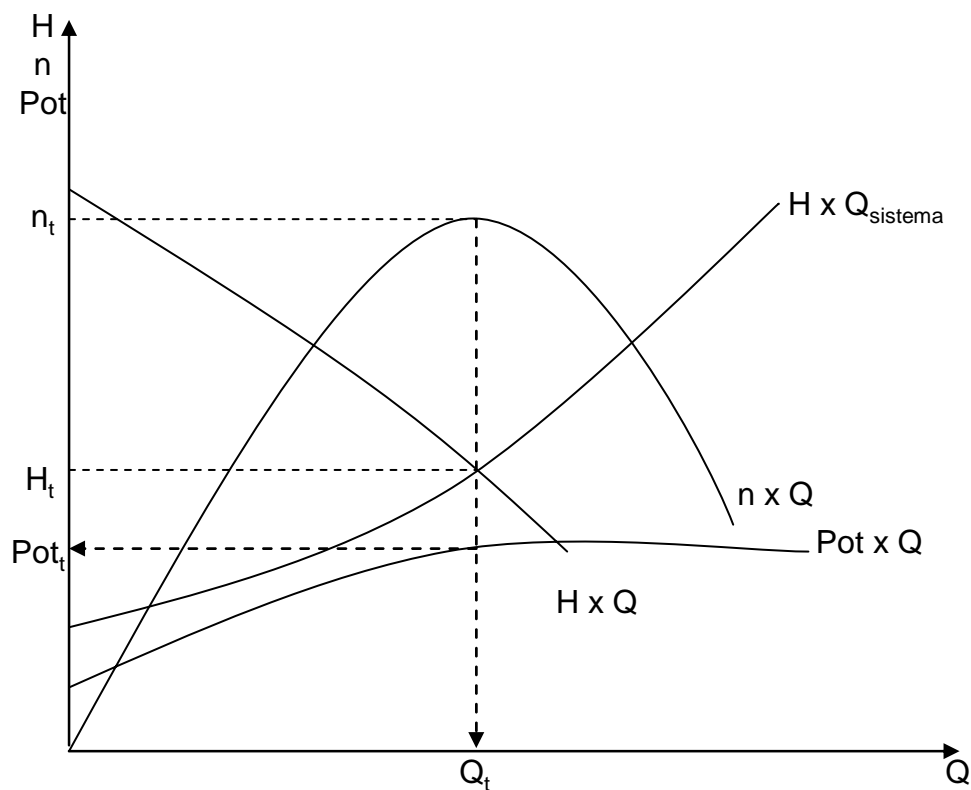
E na prática, tem-se que:

$$\text{NPSH}_{disp} > 1,10 \text{ a } 1,15 \text{ NPSH}_{req} \quad (10)$$

Vale lembrar que o  $NPSH_{disp}$  é uma preocupação do usuário ou projetista e o  $NPSH_{req}$  é dado pelo fabricante.

### 2.3.5. Ponto de trabalho

Através da inserção no mesmo gráfico das curvas do sistema e das curvas características da bomba pode-se determinar o ponto normal de trabalho da bomba na interseção da curva Q (vazão) x H (carga).



Fonte: Bombas Industriais

**Figura 8** – Curva característica

Então a bomba teria um ponto normal de trabalho:

- Vazão –  $Q_t$
- Carga –  $H_t$
- Potência absorvida –  $Pot_t$

- Rendimento da bomba no ponto de trabalho –  $\eta_t$

Deve-se considerar que existem diversos recursos para modificar o ponto de trabalho e deslocar o ponto de encontro das curvas Q x H da bomba e do sistema.

### **3. MANUTENÇÃO**

Sabe-se que tudo que criamos não é eterno, ocorrendo desgastes com o uso ou somente pela ação do tempo. Portanto, historicamente a preservação de instrumentos e ferramentas se constitui como uma prática desde os primeiros sinais da civilização, começando a se destacar no século XVI com a invenção das primeiras máquinas têxteis a vapor. Neste período, quem projetava as máquinas era responsável também por ensinar e treinar as pessoas encarregadas de operá-las e consertá-las, intervindo apenas em casos mais complexos. O operador era chamado de mantenedor mecânico, e com o surgimento dos motores elétricos, surge no século XIX a figura do mantenedor eletricitista.

Contudo, o termo manutenção tem sua origem provinda do vocabulário militar, cujo sentido é manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante. Já a palavra manter é indicada, em vários dicionários, como causar continuidade ou reter o estado atual, o que sugere que manutenção significa preservar algo.

Após a Revolução Industrial, já na era Moderna, Jules Henri Fayol, fundador da Teoria Clássica da Administração, propõe seis funções básicas nas empresas, destacando a função técnica relacionada com a produção de bens e serviços, na qual a manutenção é integrante. E o termo manutenção aparece na indústria norte-americana em meados de 1950, enquanto na França essa denominação se sobrepõe progressivamente à palavra conservação.

Como forma de contextualizar o estudo sobre manutenção, tem-se algumas definições de termos relacionados com esta área de acordo com a Norma Brasileira ABNT – NBR – 5462/ 1981:

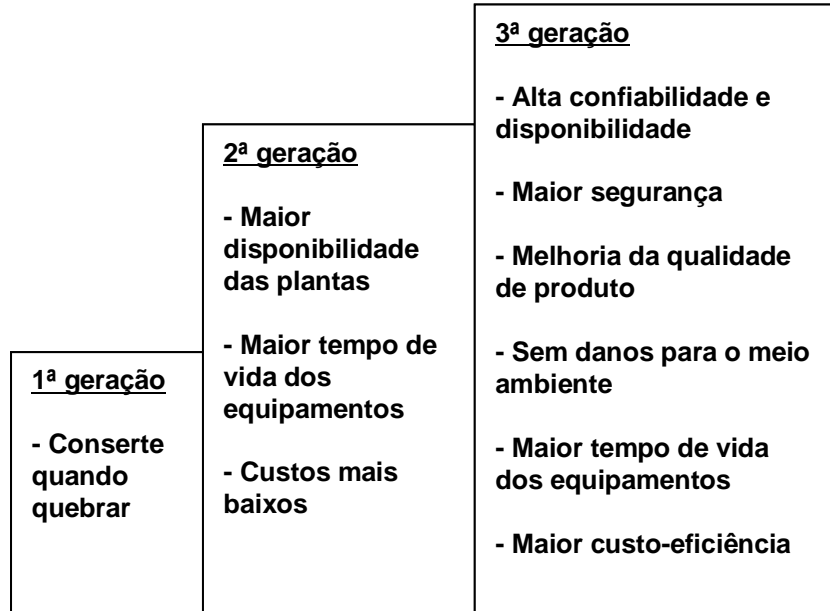
- **Mantenabilidade:** é a facilidade de um item em ser mantido ou realocado no estado no qual ele pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos;
- **Manutenção:** é o conjunto de ações destinadas a manter ou realocar um item em um estado no qual ele pode executar a função requerida;
- **Confiabilidade:** é a capacidade de um item desempenhar uma função específica, sob condições e intervalo de tempo pré-determinado;
- **Disponibilidade:** é a medida do grau em que um item estará em um estado operável e confiável no início da missão, quando a missão for exigida aleatoriamente no tempo.

A frequência de falhas e problemas de manutenção nas indústrias leva o administrador a tomar decisões, muitas vezes, na base do medo e da insegurança, onde esse gerenciamento baseado em crise pode contribuir para custos altíssimos, e baixa disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

Somente a partir da década de 80, com o avanço tecnológico cada vez mais complexo e com os custos cada vez mais altos, as empresas começaram a gerenciar melhor a manutenção, surgindo com isso os quatro tipos de manutenção: corretiva, preventiva, detectiva e preditiva.

Devido às transformações no setor tecnológico e industrial, por exemplo, em trabalhar com estoques reduzidos, a complexidade cada vez maior dos equipamentos e a aceleração da automação transformaram a confiabilidade e a disponibilidade em atores primordiais para o desempenho operacional, refletidos diretamente nas atividades de manutenção.

A evolução histórica da manutenção e dos processos industriais é abordada por Moubray (2000) com base em três gerações distintas, como se pode visualizar na figura 9.



Fonte: Avaliação e Gerenciamento de Risco

**Figura 9** – Evolução das Técnicas de Manutenção

A primeira geração baseou-se no lema de consertar quando quebrar; a segunda geração, por sua vez, esteve associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operativa e à vida útil dos equipamentos, a custos menores, já a terceira geração, referente aos tempos atuais, diz respeito aos requisitos característicos, como disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio ambiente e ações de manutenções eficazes aliadas aos custos envolvidos.

Em linhas gerais, pode-se afirmar que toda evolução tecnológica dos equipamentos, processos e técnicas de manutenção; a necessidade de controles cada vez mais eficientes e de ferramentas de apoio à decisão; o desenvolvimento de estudos relativos ao desgaste e controle das falhas e suas conseqüências; a dependência de equipes treinadas e motivadas para enfrentar estes desafios; o desenvolvimento de novas

técnicas e; conseqüentemente, os custos de manutenção em termos absolutos e proporcionalmente as despesas globais transformaram as áreas de manutenção em um segmento estratégico para o sucesso empresarial. Portanto, faz-se necessário conhecer os tipos de manutenção existentes.

### **3.1. Manutenção corretiva**

De forma simplória, a manutenção corretiva se resume na expressão: quando a máquina quebrar, conserte-a. A manutenção corretiva normalmente se configura como o método mais caro de manutenção, sendo ação de uma gerência reativa, a qual espera pela falha da máquina ou equipamento antes de qualquer ação.

Raramente uma indústria utiliza uma gerência exclusivamente voltada para manutenção corretiva, em quase todas as plantas realizam-se pelo menos tarefas preventivas básicas, pois este tipo de gerência acarreta elevados custos, destacando-se como principais: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, paralisação da planta, perda de produção e em muitas vezes aumento de insegurança.

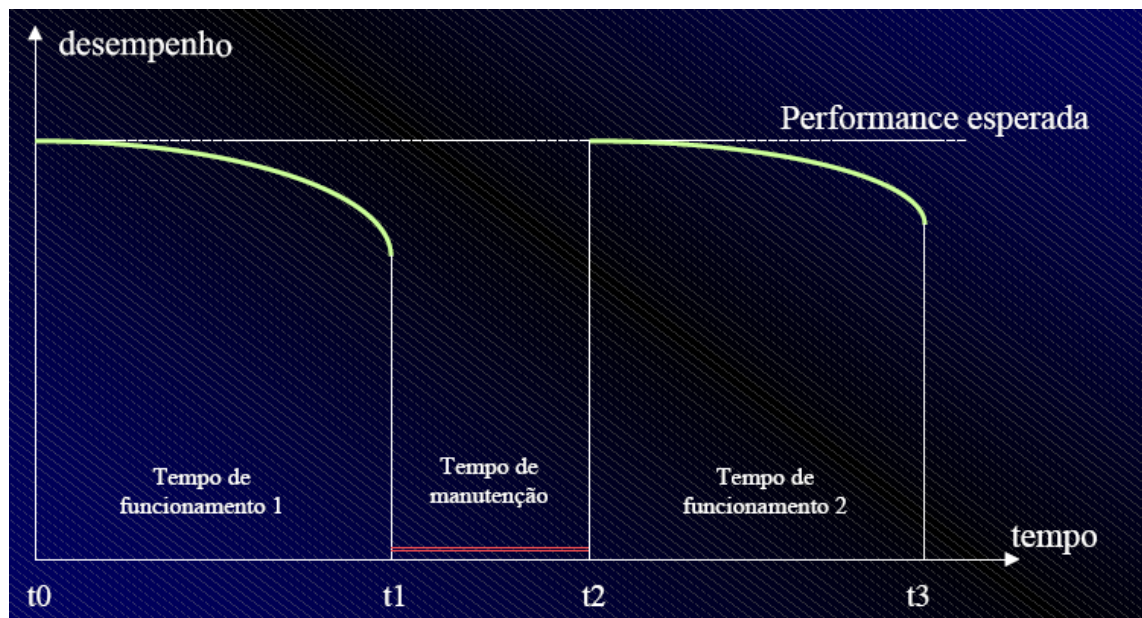
Como forma de tornar a gerência de manutenção absolutamente corretiva mais eficiente, este departamento deveria se antecipar aos requisitos de manutenção e ser capaz de reagir a todas as possíveis falhas dentro da fábrica. Para isso, necessitaria manter caros estoques de peças sobressalentes que incluem máquinas reservas ou, pelo menos, todos os principais componentes para todos os equipamentos críticos.

De acordo com Almeida (2006) – *Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade*, mesmo que esta última hipótese seja possível, as recompensas para entrega expedita aumentam substancialmente os custos de reparo de peças e de tempo paralisado necessário para corrigir as falhas das máquinas. Para minimizar o impacto sobre a produção criada por falhas inesperadas das máquinas, o pessoal da manutenção também deve estar apto a reagir imediatamente a todas as falhas da máquina. O



resultado líquido deste tipo reativo de gerência de manutenção é um maior custo de manutenção e menor disponibilidade de maquinaria de processo. A análise dos custos da manutenção indica que um reparo realizado no modo corretivo/reactivo terá em média um custo cerca de três vezes maior que quando o mesmo reparo for feito dentro de um modo programado e preventivo.

A avaliação do comportamento do desempenho de um equipamento adotando a política de manutenção corretiva contra o tempo pode ser feita de acordo com o gráfico apresentado na figura 10.



Fonte: PO na Manutenção de Máquinas Marítimas

**Figura 10** – Desempenho contra tempo para manutenção corretiva

Enfim, a manutenção corretiva atua na correção da falha, com restrições de altos custos e extensão dos danos para a correção não planejada.

### **3.2. Manutenção preventiva**

Todos os programas de gerência de manutenção preventiva são acionados por tempo, baseando-se em tempo gasto ou horas operacionais da máquina. A Curva de

Tempo Médio de Falha (CTMF) indica que uma máquina nova tem uma alta probabilidade de falha, devido a problemas de instalação durante as primeiras horas de operação. Na manutenção preventiva, os reparos ou recondiçõamentos da máquina são programados baseados na estatística TMF.

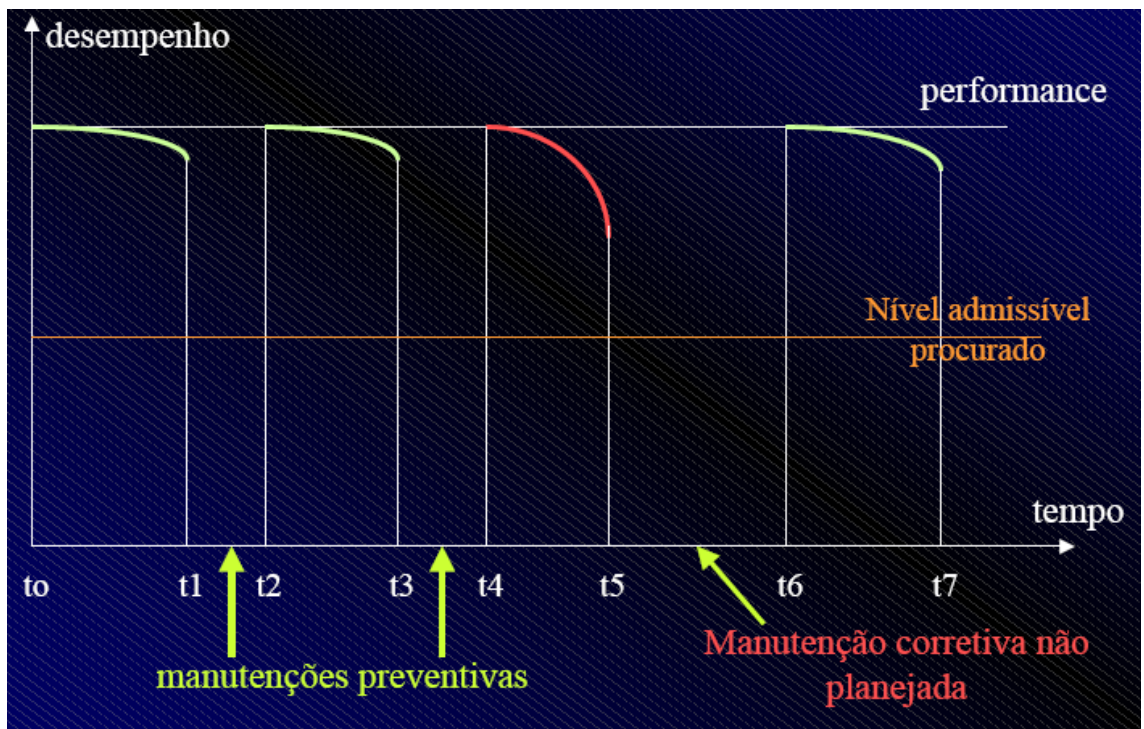
A gerência de manutenção preventiva varia bastante, desde programas extremamente limitados que consistem na lubrificação e nos ajustes menores, até programas mais abrangentes que englobam reparos, lubrificação, ajustes e recondiçõamentos de máquinas para toda maquinaria crítica na planta industrial. O comum entre as técnicas citadas é o planejamento manutenção *versus* tempo.

Todos os programas de gerência de manutenção preventiva assumem que as máquinas degradarão com um quadro de tempo típico de sua classificação em particular. Por exemplo, uma bomba centrífuga, horizontal, de estágio simples, normalmente levará dezoito meses antes da necessidade da primeira revisão. Usando técnicas de gerência preventiva, a bomba seria removida de serviço e revisada após dezessete meses de operação.

O problema com esta abordagem é que o modo de operação e as variáveis específicas da planta industrial ou do sistema afetam diretamente a vida operacional normal da maquinaria. O Tempo Médio entre as Falhas (TMF) na realidade não será o mesmo para bombas que movimentam produtos com viscosidades e purezas muito divergentes. Portanto, o uso da estatística TMF para este caso pode acarretar uma programação de manutenção, que gere um reparo desnecessário ou uma falha catastrófica. No primeiro, caso as perdas financeiras estão relacionadas a desperdício de material, mão-de-obra e parada industrial. Já no segundo caso, mais agravante e dispendioso, seriam necessárias técnicas de manutenção corretiva. Essas falhas

catastróficas podem ser originadas a partir da introdução de defeitos não-existentes no equipamento, através de falha humana, contaminação e outros.

As ações para a realização da manutenção preventiva obedecem a um plano baseado em intervalos definidos de tempo. O comportamento do desempenho da máquina pode ser traçado com adoção da manutenção preventiva contra o tempo, conforme mostrado na figura 11.



Fonte: PO na Manutenção de Máquinas Marítimas

**Figura 11** – Desempenho contra tempo para manutenção preventiva

Contudo, a fim de minimizar ou até mesmo evitar estes problemas da manutenção preventiva, a monitoração de indicadores para predizerem falhas está no foco de estudo no setor de manutenção.

### 3.3. Manutenção preditiva

Com o desenvolvimento tecnológico dos equipamentos, máquinas, acessórios e sistemas industriais, o setor de manutenção adquiriu maiores competências, não sendo

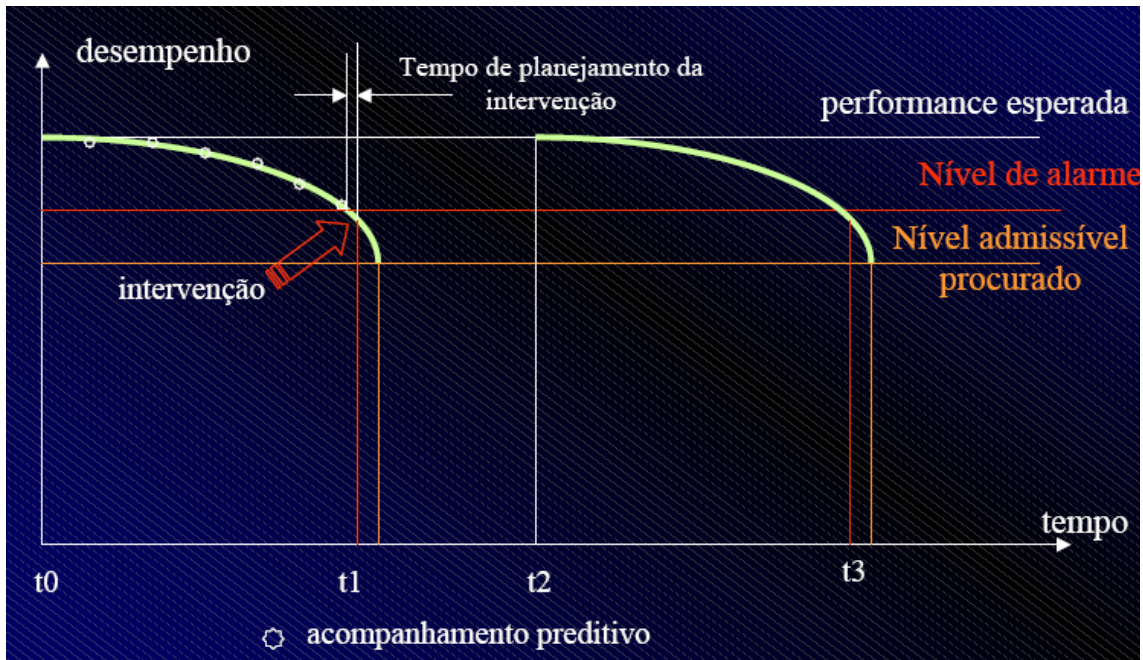
mais visto apenas como um setor operacional, mas também com oportunidades de melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro e a efetividade global. Estas oportunidades são auferidas ao passo do desenvolvimento de programas de gerência de manutenção preditiva, os quais utilizam combinações de ferramentas mais efetivas em relação ao custo para obter a condição operativa real de sistemas críticos da planta industrial, que possibilitariam que todas as atividades de manutenção fossem programadas com o menor custo.

O objetivo da manutenção preditiva é realizar o monitoramento regular da condição mecânica real, do rendimento operacional, e de outros indicadores da condição operativa das máquinas, enquanto sistemas de processo fornecem os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos.

Atuando com base no desvio de parâmetros da condição ou do desempenho da máquina e assumindo que esse comportamento é sistemático, a manutenção preditiva minimizaria o número e os custos de paradas não-programadas criadas por falhas em máquina, e o número de quebras de equipamentos.

Uma outra definição para manutenção preditiva seria um programa de manutenção preventiva acionado por condições. Em vez de utilizar médias estatísticas para programar atividades de manutenção, a manutenção usaria o monitoramento direto de parâmetros chaves do processo e do equipamento para determinar o tempo médio para a falha real ou perda de rendimento da máquina ou do sistema.

O comportamento do equipamento adotando a política de manutenção preditiva contra o tempo pode ser visto na figura 12.



Fonte: PO na Manutenção de Máquinas Marítimas

**Figura 12** – Desempenho contra tempo para manutenção preditiva

Para os mecânicos, a manutenção preditiva monitora a vibração da maquinaria rotativa numa tentativa de detectar problemas incipientes e evitar falha catastrófica. Para os eletricitas, é o monitoramento das imagens infravermelhas de circuitos, de chaves elétricas, de motores, e de outros equipamentos elétricos que detecta problemas em desenvolvimento. Portanto, um programa de manutenção preditiva total da planta industrial deve incluir várias técnicas, cada uma projetada para oferecer informações específicas sobre equipamentos da planta industrial, para obter os benefícios que este tipo de gerência de manutenção pode oferecer.

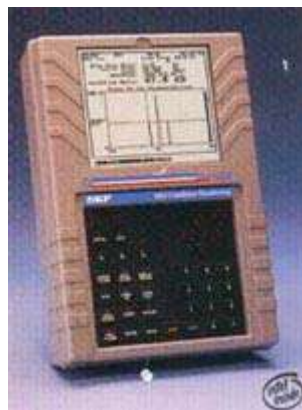
Existem diversas técnicas de manutenção preditiva, entre as quais, pode-se citar: monitoramento de vibração, tribologia, termografia, inspeção visual. Cada técnica tem um conjunto único de dados que capacita o gerente de manutenção determinar o momento da necessidade real de manutenção.



Como a maioria dos equipamentos normais da planta industrial são mecânicos (acionados por motores elétricos), o monitoramento de vibração é a técnica mais utilizada para a coleta de rotina e identificação de problemas incipientes. A manutenção preditiva por análise da assinatura de vibração é baseada em dois fatores básicos:

- Todos os modos de falha comuns possuem componentes distintos de frequência de vibração que podem ser isolados e identificados;
- A amplitude de cada componente distinto de vibração permanecerá constante a menos que haja uma mudança na dinâmica operacional da máquina.

A figura 13 mostra o coletor CVMA composto pelo *software* PRISM da SKF para análise de vibração (desalinhamento, desbalanceamento, desgaste dos rolamentos, desgaste das engrenagens e defeitos em mancais).



Fonte: [www.tecmag.com.br](http://www.tecmag.com.br)

**Figura 13** – Equipamento para análise de vibração

No caso de equipamentos que utilizam óleo lubrificante, uma outra técnica de manutenção preditiva poderia ser usada de forma complementar ou substitutiva, dependendo do equipamento, que é o monitoramento do óleo lubrificante. Esta manutenção baseia-se em ensaios de laboratório para determinar a presença de contaminantes e, através deles, o estado de conservação do equipamento.

Uma mudança gradual das características do lubrificante em serviço é normal. Mudanças súbitas apontam para a necessidade de troca de óleo, onde na maioria dos casos, são indícios de falha no equipamento, pois a vida do lubrificante está diretamente ligada às condições de trabalho e manutenção de cada máquina. As técnicas usadas incluem ferrografia (utilizado em grandes prensas), espectrometria (utilizado em veículos) e cromatografia gasosa.

A tabela 1 é uma tabela que apresenta a origem do desgaste metálico.

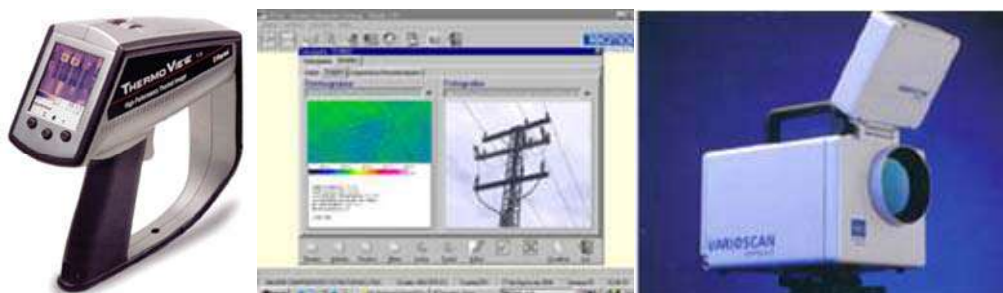
<b>METAIS</b>	<b>ORIGEM DO DESGASTE</b>
Ferro	Cilindro, engrenagens, anéis, eixo, virabrequim, rolamentos, bomba de óleo, compressor de ar, eixo de comando de válvulas, guias e sedes, águas, impurezas.
Cromo	Anéis, rolamentos, cubos de freio, cilindros e partes de sistemas hidráulicos.
Cobre	Buchas, rolamentos, discos de transmissão, aditivos, arruelas de encosto, mancais, casquilhos.
Alumínio	Pistões, rolamentos, bombos, rotores, tuchos de bombas injetoras.

Fonte: Engeoil Engenharia de Processos e Análises de Óleos Ltda.

**Tabela 1** – Relação entre componentes presentes na análise do lubrificante e peças comprometidas

A termografia é um outro tipo de manutenção preditiva utilizada para identificar com segurança e precisão as temperaturas de cada peça, indicando os procedimentos preventivos e/ou corretivos. Os termovisores são as ferramentas geralmente utilizadas para manutenção de equipamentos elétricos, partindo do princípio que é possível se detectar pontos de fuga de energia que provocam aquecimento de regiões afetadas

através de raios infravermelhos. Na figura 14, pode-se visualizar dois tipos de termovisores e um *software* utilizado.



Fonte: [www.tecmag.com.br](http://www.tecmag.com.br)

**Figura 14** – Termovisores

As técnicas específicas dependerão do tipo de equipamento da planta, do seu impacto sobre a produção e outros parâmetros chaves da operação da planta industrial, e dos objetivos que se deseja que o programa de manutenção preditiva atinja.

Como meio de se analisar a eficiência e os ganhos da manutenção preditiva, pode-se estudar o caso da TRANSPETRO, descrito na reportagem de capa da revista Manutenção Edição 105 – Julho/Agosto 2005. Mauricio Penido da TRANSPETRO relata que “em termos quantitativos, o uso de novas tecnologias como a de mapeamento de dutos, com PIGs inerciais, tem reduzido o tempo de localização de defeitos em dutos a serem reparados (os defeitos são localizados em GPS) e o custo de escavações para reparos é reduzido em pelo menos 25%. A redução de vazamentos em dutos caiu de 6000m<sup>3</sup> em 2000 para 147m<sup>3</sup> em 2004. Com a entrada em operação do sistema de monitoração remota de retificadores e drenagens elétricas de proteção catódica, avalia-se uma redução de custos de Manutenção de pelo menos 25%, face à diminuição de vistorias nos equipamentos envolvendo técnicos e veículos que rodam em média 36500 km por mês só na região SPCO (São Paulo – Centro-Oeste), sem contar o incremento de confiabilidade obtido com as informações disponíveis quase que em tempo real”.

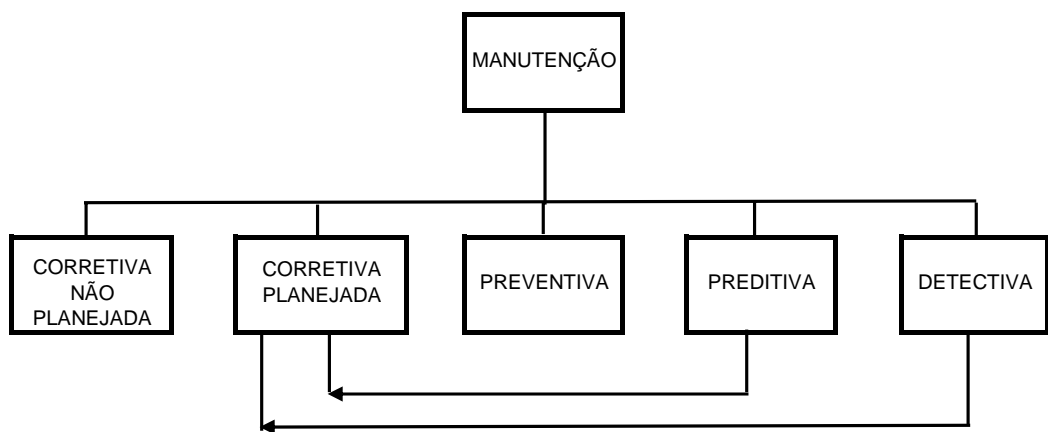


### 3.4. Manutenção Detectiva

Este tipo de manutenção relaciona as chamadas falhas ocultas, aquelas que só poderão ser identificadas no momento do uso, comprometendo de maneira significativa a função do equipamento. Testes são usados para se verificar se o equipamento já falhou. Em caso positivo, uma ação corretiva é tomada antes que a demanda ocorra. Exemplos desse tipo de equipamento são tipicamente os sistemas de segurança, como sistemas de alarme, combate a incêndios e iluminação de emergência.

Com o advento dos computadores e crescente automação dos processos de fabricação, uma infinidade de arquiteturas de controle pode ser empregada para a implementação dos dispositivos de detecção (CAMARA, 2001, p.3.5), fortalecendo assim a política detectiva de manutenção.

De uma forma geral, pode-se relacionar os diferentes tipos de manutenção como mostrado na figura 15.



Fonte: PO na Manutenção de Máquinas Marítimas

**Figura 15** – Relação entre os tipos de manutenção

## 4. CONCEITOS IMPORTANTES

O aumento da confiabilidade, a crescente disponibilidade das instalações e a minimização dos custos de operação geralmente são metas de empresas. Este estudo propõe uma maneira simples e eficaz de rastrear causas e propor ações diretas na resolução de uma determinada ocorrência auxiliando na melhora do desempenho do equipamento, conseqüentemente atingindo as metas supracitadas.

Para se estruturar uma metodologia clara e concisa, faz-se necessário levantar e contextualizar alguns termos importantes.

### 4.1. Falha

Segundo Aurélio Buarque, falhar significa “não suceder como se esperava”. No caso de manutenção, deve-se conhecer profundamente a função a qual o equipamento se presta e, segundo Afonso (2002) – *Análise de Falhas de Máquinas Rotativas – Alguns Pontos Importantes*, pode-se definir falha como “a ocasião em que o componente ou equipamento não é mais capaz de executar sua função com segurança”. E ainda diz que “analisar uma falha é interpretar as características de um sistema ou componente deteriorado para analisar por que ele não mais executa sua função com segurança. Uma análise de falhas que não serve de subsídio para um conjunto de ações corretivas tem utilidade nula. Por outro lado, se não for possível determinar as causas físicas da falha, não será possível introduzir melhorias no sistema”.

Conforme o Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade (Branco Filho, 1996, p.43), “uma falha é o término da capacidade de um equipamento desempenhar a função requerida e um defeito não torna o equipamento indisponível”.

Dados os diversos conceitos, tratou-se falha neste trabalho como qualquer ocorrência que gere uma anormalidade ao equipamento. A falha pode ocorrer a despeito

dos esforços no sentido de prevenir sua ocorrência, ou seja, em tese, se não existissem falhas não haveria manutenção. Sendo assim, a tecnologia de manutenção deve ser desenvolvida para identificar as possíveis falhas, além de gerenciar suas conseqüências, com técnicas economicamente adequadas a serem aplicadas em cada situação específica.

Segundo Kletz (1993) – *O que houve de errado? Casos de desastres em Indústrias Químicas, Petroquímicas e Refinarias*, “os maiores riscos em bombas são falhas nas gaxetas, algumas vezes resultantes de defeitos nos rolamentos, provocando perdas maciças de produtos inflamáveis, tóxicos ou corrosivos.” O autor também diz que outra causa comum de acidente é a válvula operar contra a válvula de descarga fechada, o que aumenta a temperatura e danifica os selos, com vazamentos conseqüentes. Isso tem sido causa de explosões quando o material se decompõe com a elevação da temperatura.

As bombas de deslocamento positivo são sempre equipadas com válvulas de segurança, que não são usadas em bombas centrífugas, a menos que o material bombeado seja suscetível de explodir com a elevação da temperatura. Bombas com partida automática podem rodar contra descargas fechadas quando equivocadamente acionadas, o que causa superaquecimento.

## **4.2. Causa**

Analisar-se-á causa como sendo o motivo pelo qual um equipamento apresentou a falha, ou seja, o evento que disparou um sintoma que possibilita o diagnóstico de uma ocorrência de falha.

Existem diversas causas de falhas, que podem ser agrupadas em três grandes famílias:

- Falta de resistência – causas relacionadas à deficiência de projeto, especificações inadequadas, erros de montagem, fabricação e instalação, etc.
- Operação inadequada – causas relacionadas a erros operacionais, como não cumprimento de procedimentos.
- Manutenção deficiente – causas relacionadas à ausência ou inadequação de ações de manutenção para evitar a deterioração.

Exemplificando, as falhas acontecem geralmente por fatores, tais como: erros de fabricação, de montagem, de operação ou de manutenção, lubrificação ou refrigeração inadequada, sujeira, objetos estranhos, folgas, deformações, trincas, condições ambientais desfavoráveis, oscilação de pressão, de temperatura e de tensão, torque incorreto, oxidação, corrosão, obstrução de dutos, colisões, entre outros.

### **4.3. Sintoma**

Segundo Aurélio Buarque de Holanda, sintoma é “qualquer fenômeno ou mudança provocada no organismo por uma doença, e que permite estabelecer um diagnóstico”.

Neste estudo, considerou-se o sistema como os equipamentos a serem monitorados, onde a doença será a causa gerando o não funcionamento ideal do sistema, e o diagnóstico, as ações recomendadas para sanar esse mau funcionamento e fazer com que o equipamento trabalhe de maneira eficaz.

### **4.4. Vibração**

De acordo com Mattos (1989) – *Bombas Industriais*: “(...) vibração pode ser definida como um movimento periódico, ou seja, que se repete em todas as suas particularidades, após um certo intervalo de tempo denominado período”. As vibrações

podem ser simples ou compostas: simples, quando acontece a partir de uma forma de perturbação; e composta, decorrente de várias formas perturbadoras.

As vibrações geram ruídos desagradáveis e podem ser causadas por funcionamento com rotação diferente do projetado, cortes excessivos no rotor, descarga reduzida, entrada falsa de ar na bomba, defeitos mecânicos e muito mais. No caso das descargas reduzidas, pode-se notar o fenômeno *reentry*: uma corrente de retorno ocasionada pela forte turbulência à entrada do rotor.

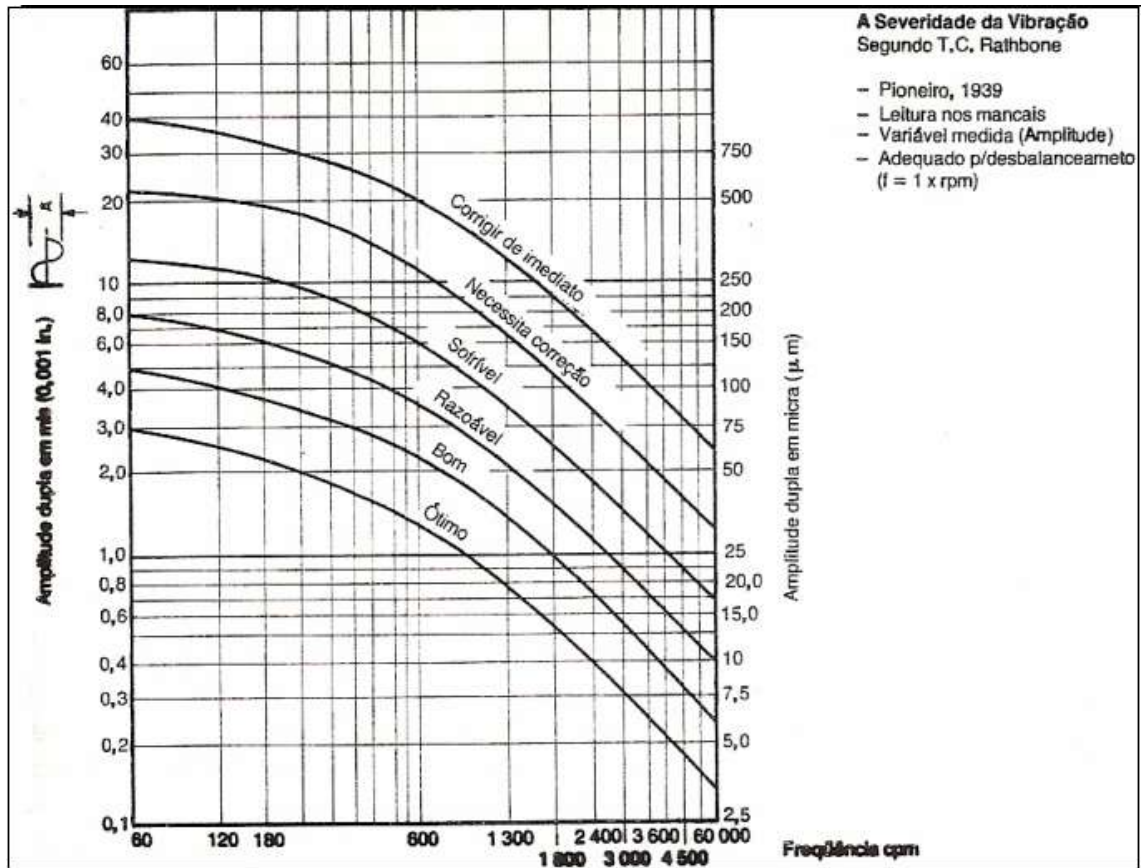
Existem vários equipamentos capazes de medir vibração, cuja sua complexidade varia de acordo com o porte da máquina. Alguns exemplos desses instrumentos são:

- Sensor sísmico de velocidade: usado como instrumento portátil. Seu princípio de funcionamento consiste em gerar tensão elétrica proporcional à velocidade de vibração.
- Sensor sísmico de aceleração: possui alta impedância, o que obriga a conversões eletrônicas mais complexas e custosas. Pode captar baixas frequências, o que poderá deturpar a amplitude calculada.
- Sensor sem contato: adequado para o monitoramento, consiste num sensor, num cabo de acoplamento elétrico e num oscilador demodulador.

Além dos sensores, pode-se encontrar medidores de frequência, de ângulo de fase, bem como analisadores de tempo real.

Como forma de avaliar a severidade da vibração, existem alguns critérios. Cabe esclarecer que estes devem ser usados como guias, pois diferenças em projeto de máquinas, instalações, métodos de medição e condições de serviços influem nestes valores. A seguir, os critérios mais utilizados em ordem cronológica:

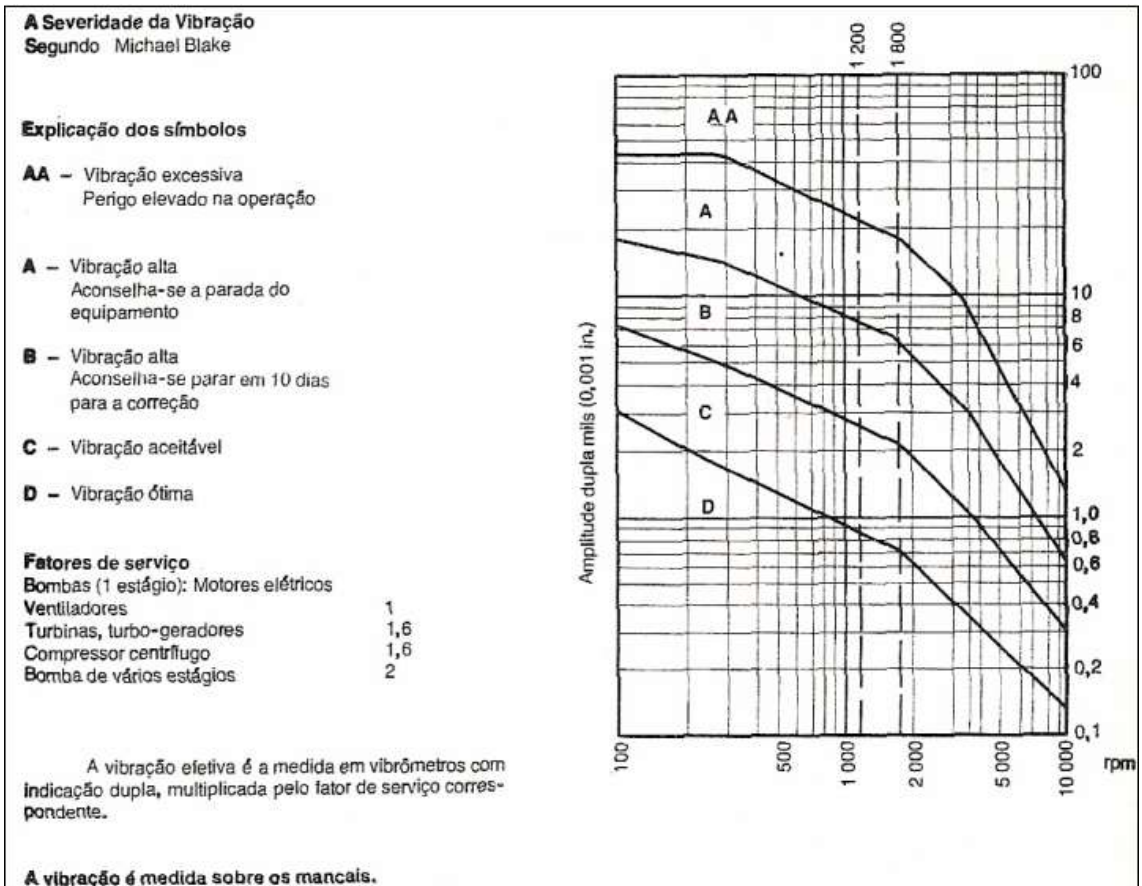
- Critério de T.C. Rathbone (figura 16): baseado na medição da amplitude de vibração na carcaça e na região dos mancais. Considera o desbalanceamento como causa da vibração e é utilizado em máquinas pesadas.



Fonte: Bombas Industriais

**Figura 16** – Critério de T.C. Rathbone

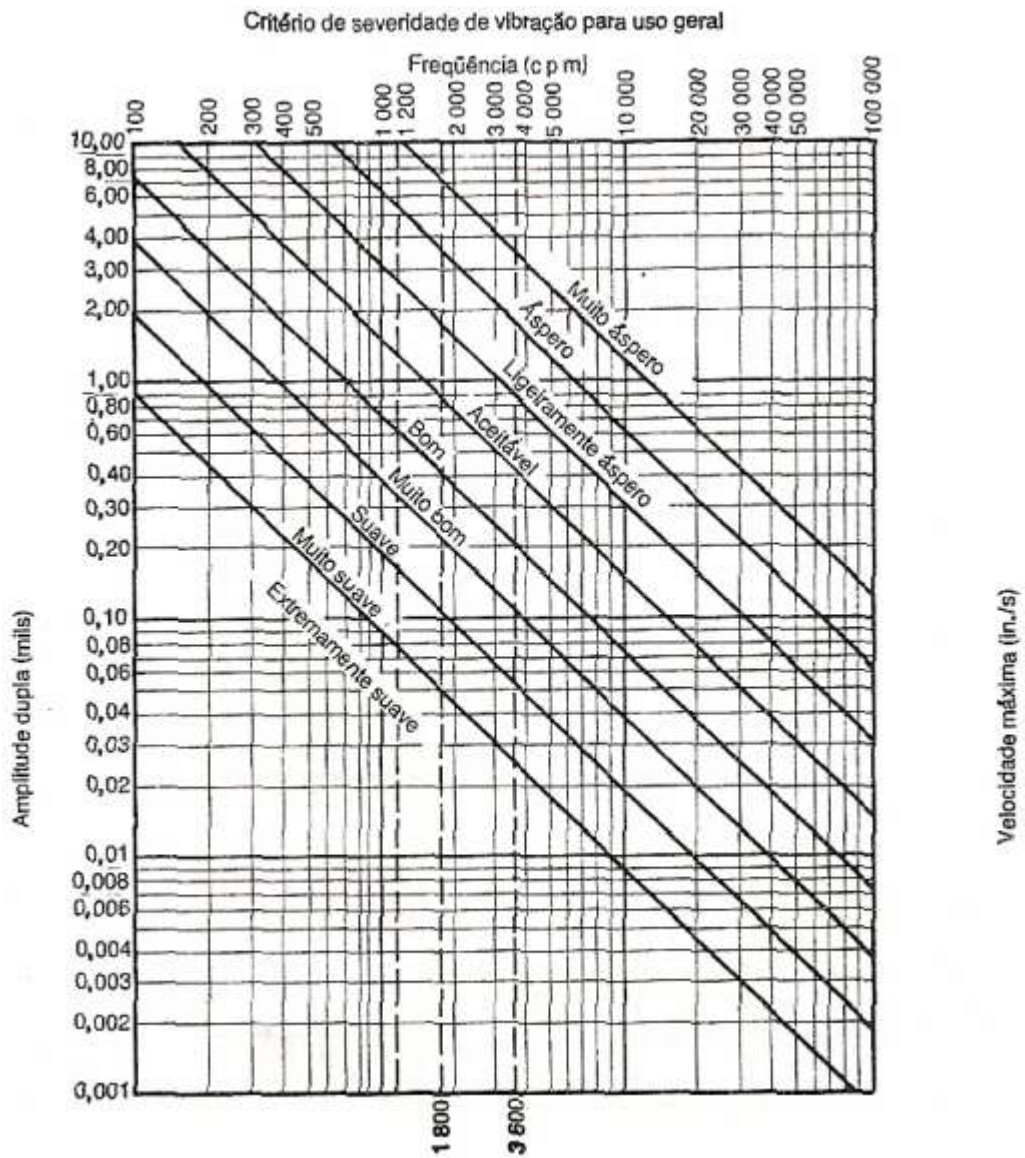
- Critério de Michael Blake (figura 17): introduz como novidade um fator de serviço que considera o tipo de equipamento.



Fonte: Bombas Industriais

**Figura 17** – Critério de Michael Blake

- Critério de IRD (figura 18): apresenta a introdução da velocidade como critério de severidade.



Fonte: Bombas Industriais

**Figura 18** – Critério de IRD

- Critério de Steven Maten (tabela 2): baseado em medidas de velocidade de vibração, feitas sem seleção de frequência, sobre os mancais do equipamento.



<b>Velocidade (in/s)</b>	<b>Severidade da vibração</b>
Acima de 0,5	Vibração extremamente elevada. Situação perigosa. Pare imediatamente a máquina
De 0,3 a 0,5	Vibração elevada. Corrija dentro de poucas semanas para evitar quebra do equipamento
De 0,2 a 0,3	Vibração em alta. Corrija para diminuir o desgaste da máquina
De 0,1 a 0,2	Vibração razoável. A correção seria anti-econômica
Abaixo de 0,1	Operação suave. Equipamento bem balanceado e alinhado

Fonte: Bombas Industriais

**Tabela 2** – Critério de Steven Maten

#### **4.5. FMEA**

A Failure Module and Effect Analysis é uma técnica indutiva onde o raciocínio parte do módulo de falha até a consequência que este modo de falha traz no sistema como um todo. É importante conhecer alguns conceitos relacionados à técnica:

- Modo de falha: é a maneira pela qual a falha é observada;
- Causa: fato originador do modo de falha;
- Efeito: consequência trazida pelo modo de falha na operação, na condição e no sistema como um todo.

#### **4.6. MCC**

A chamada Manutenção Centrada na Confiabilidade é um novo conceito de manutenção, cujo objetivo é otimizar o plano de manutenção e assim preservar a função do sistema. Utiliza todos os tipos e técnicas de manutenção e é caracterizado pela multidisciplinaridade.

## 4.7. MPT

A Manutenção Produtiva Total tem enfoque na manutenção preventiva, mas também utiliza manutenção preditiva. Está baseada em 5 pilares:

- Aumento da eficiência das atividades;
- Estabelecimento de um plano autônomo de manutenção pelos próprios funcionários: autoreparo;
- Estabelecimento de um planejamento da manutenção;
- Aumento de capacitação e qualificação dos funcionários, visando o crescimento de suas habilidades técnicas;
- Acompanhamento e gerenciamento do ciclo de vida dos equipamentos.

A MPT tem o objetivo de otimizar a organização da empresa tanto em termos materiais (máquinas, ferramentas, equipamentos) como em termos humanos (capacitação, qualificação de pessoal).

## 5. METODOLOGIA

Segundo dados da ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), os custos de manutenção em relação ao faturamento das empresas representam uma parcela significativa do PIB. No setor químico, os custos com manutenção podem chegar a 5% de seu faturamento, e em setores como o de transporte, este custo é equivalente a 12%.

A importância estratégica que o setor de manutenção vem adquirindo nas empresas, e que pode influenciar na mudança de posicionamento em relação às práticas de manutenção, está ligada ao montante que esse setor da atividade empresarial movimenta no Brasil e no mundo. Segundo a ABRAMAN, esse valor aproxima-se dos US\$ 35 bilhões por ano.

Outro dado que reforça a importância e o impacto da manutenção nas finanças das empresas é mostrado na tabela 3, que aponta a relação entre os custos de manutenção e o faturamento anual das empresas no Brasil.

Ano	Custo Total de Manutenção/Faturamento Bruto
2001	4.47%
1999	3.56%
1997	4.39%
1995	4.26%

Fonte: ABRAMAN. 2001

**Tabela 3** – Relação percentual entre custo de manutenção e faturamento das empresas no Brasil

De acordo com Almeida (2006) – *Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade*, os custos de manutenção correspondem à parte principal dos custos operacionais totais de todas as plantas industriais de manufatura e de produção,

dependendo da indústria específica, os custos de manutenção podem representar entre 15% a 30% do custo dos bens produzidos. Um terço de todos os custos de manutenção é desperdiçado como resultado de manutenção desnecessária ou inadequadamente realizada, quando se considera que a indústria americana gasta mais de 200 bilhões de dólares todo ano com manutenção de equipamentos de fábricas e instalações, torna-se claro o impacto sobre a produtividade e o lucro que é apresentado pela operação de manutenção. O resultado da gerência ineficaz da manutenção representa uma perda de 60 bilhões de dólares por ano.

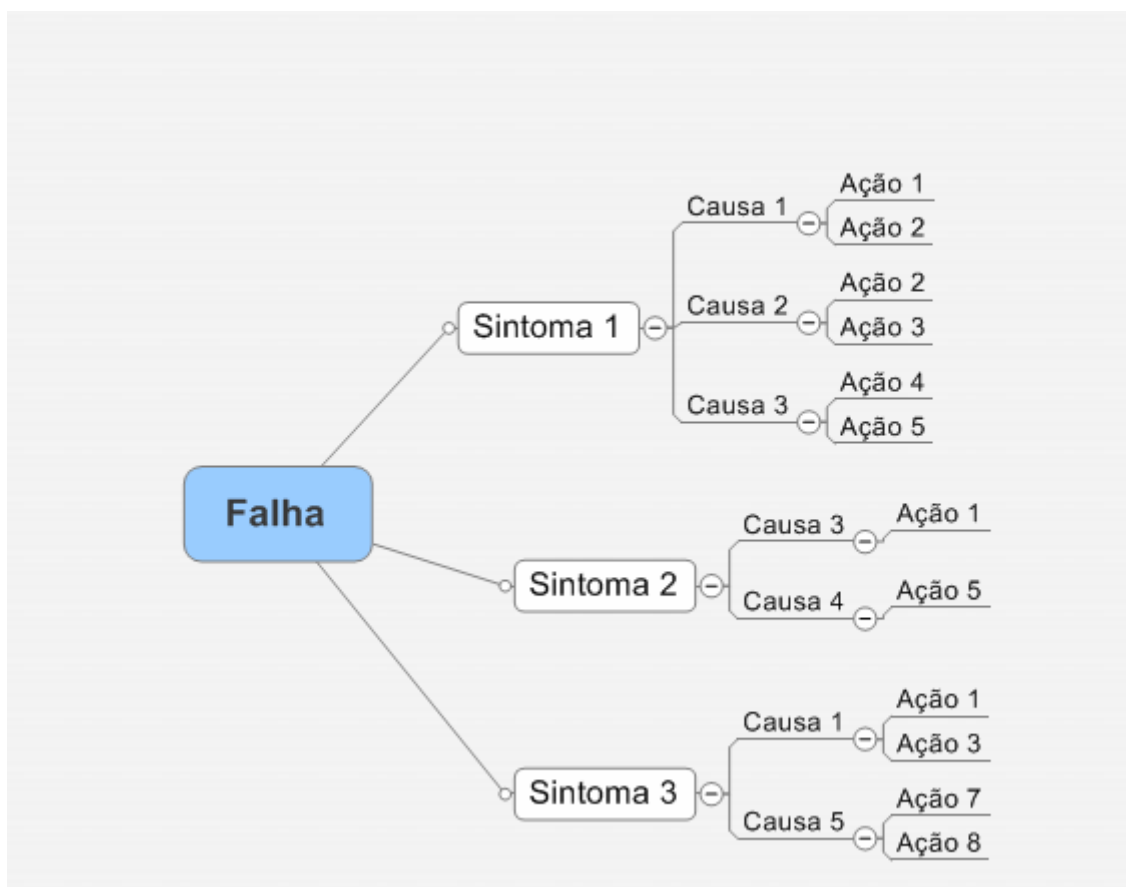
A razão dominante para uma gerência de manutenção ineficaz é a falta de dados de condição, que quantifiquem a real necessidade de reparo ou manutenção de maquinaria, equipamentos e sistemas da planta industrial. O cronograma de manutenção tem sido, em muitos casos, previsto em dados de tendência estatística ou na falha real de equipamentos da planta industrial. Logo, investir na manutenção torna-se algo promissor na redução dos custos e esse investimento pode ser representado na análise de falhas dos equipamentos.

De acordo com Kardec e Nacif (1999), com o decorrer dos anos, a manutenção foi quebrando alguns paradigmas:

- *Passado*: “O homem de manutenção sente-se bem quando realiza um bom reparo”;
- *Presente*: “O homem de manutenção sente-se bem quando, também, evita a necessidade do trabalho; evita a falha”;
- *Futuro*: “O homem de manutenção sente-se bem quando consegue evitar todas as falhas não-planejadas”.

O principal objetivo da análise de falhas é evitar que elas aconteçam, desenrolando um estudo sobre as causas que as geram, os sintomas que as mesmas demonstram e as ações para que esses sintomas e causas desapareçam.

O estudo será baseado no conceito de que quando um determinado equipamento trabalha de forma ineficiente ou apresenta qualquer problema em seu funcionamento, isso pode ser detectado através de sintomas, ou seja, os sintomas indicam um problema. Por sua vez, os sintomas apresentam causas e essas deveriam ser identificadas. Algumas causas podem ser sanadas por determinadas ações (corretivas, preditivas ou preventivas) às quais se chamou de recomendações. Assim, pôde-se definir a metodologia inicial de acordo com o esquema apresentado na figura 19, onde relacionam-se sintoma, causa e ação à uma determinada falha.



**Figura 19** – Esquema representativo da metodologia utilizada

## 5.1. Organização dos dados

O primeiro passo na elaboração da metodologia de manutenção preditiva das bombas em questão foi avaliar os dados obtidos, os quais são reais e referentes a uma refinaria brasileira. Estes estão organizados numa planilha, onde o responsável pela manutenção das bombas da refinaria relacionou a ocorrência à bomba em questão, ao ano de coleta do dado, ao tipo de manutenção realizada, ao sintoma, à causa e à solução.

De posse de todos os conceitos, foi feita a análise dos dados da refinaria para que se pudesse entendê-los e avaliar se estão de acordo com as definições estudadas. Os dados armazenados e classificados seguem o exemplo da tabela 4.

TAG	Setor	Início	Término	Ano	Tipo Man	Sintoma	Causa Básica	Causa imediata	Solução
0020-P-03A	TE	9/10/2003	10/10/2003	2003	Preditiva	Vaz. Selo	Desbalanceamento	Op. Imprópria	Ver. geral
0045-P-07B	TE	13/2/2002	27/2/2002	2002	Corretiva	Grimpamento	Corrosvid Imprevista	Op. Imprópria	Trocado

**Tabela 4** – Exemplo ilustrativo dos dados da refinaria

O primeiro passo foi reorganizar estes dados, separando somente as informações necessárias para posterior definição da metodologia a ser utilizada. Com dados sobre intervenções feitas nos equipamentos e dos diferentes tipos de manutenção, além da organização dos conceitos e interações entre problema, solução, causa e ação, optou-se por realizar uma metodologia focada na manutenção preditiva dos equipamentos estudados. Primeiro, porque esta apresenta maior diversidade em técnicas de manutenção, segundo, porque se torna mais eficaz a partir do momento em que o comportamento do equipamento é estudado e é possível avaliar sua real condição.

Agir de forma corretiva muitas vezes é uma atuação necessária quando problemas menores não foram resolvidos, conseqüentemente seus custos podem ser maiores. Já a ação preventiva está diretamente ligada ao desgaste natural, sem nenhuma

intervenção humana quanto a isso, considerando apenas intervalos regulares de tempo e partindo-se da premissa de que o equipamento possui uma vida útil, não avaliando a possibilidade de estendê-la através da análise de seu comportamento.

Logo, a partir de uma metodologia estruturada e de dados confiáveis, pode-se utilizar todo o aprendizado adquirido ao longo da vida do equipamento, focando de maneira mais efetiva nos reais problemas que afetam o desempenho do equipamento.

Optando-se por utilizar o conceito de predição para o fechamento de uma metodologia de manutenção, o próximo passo seria organizar os dados para posterior uso no estudo em questão, focando-se nos de predição.

Analisando-se os dados da refinaria, observa-se que alguns deles estão equivocadamente alocados ou classificados. Desta forma, montou-se um processo para que os dados fossem classificados de acordo com os conceitos estudados e, posteriormente, pudessem ser reorganizados da maneira mais adequada à metodologia de estudo.

Na figura 20, pode-se visualizar um exemplo da árvore montada com a classificação da refinaria em ações de manutenção preditiva possuindo algumas divergências como a em destaque, onde o vazamento de selo, um problema que necessita de uma recuperação imediata para o ideal funcionamento do equipamento, é tratado apenas com uma revisão.

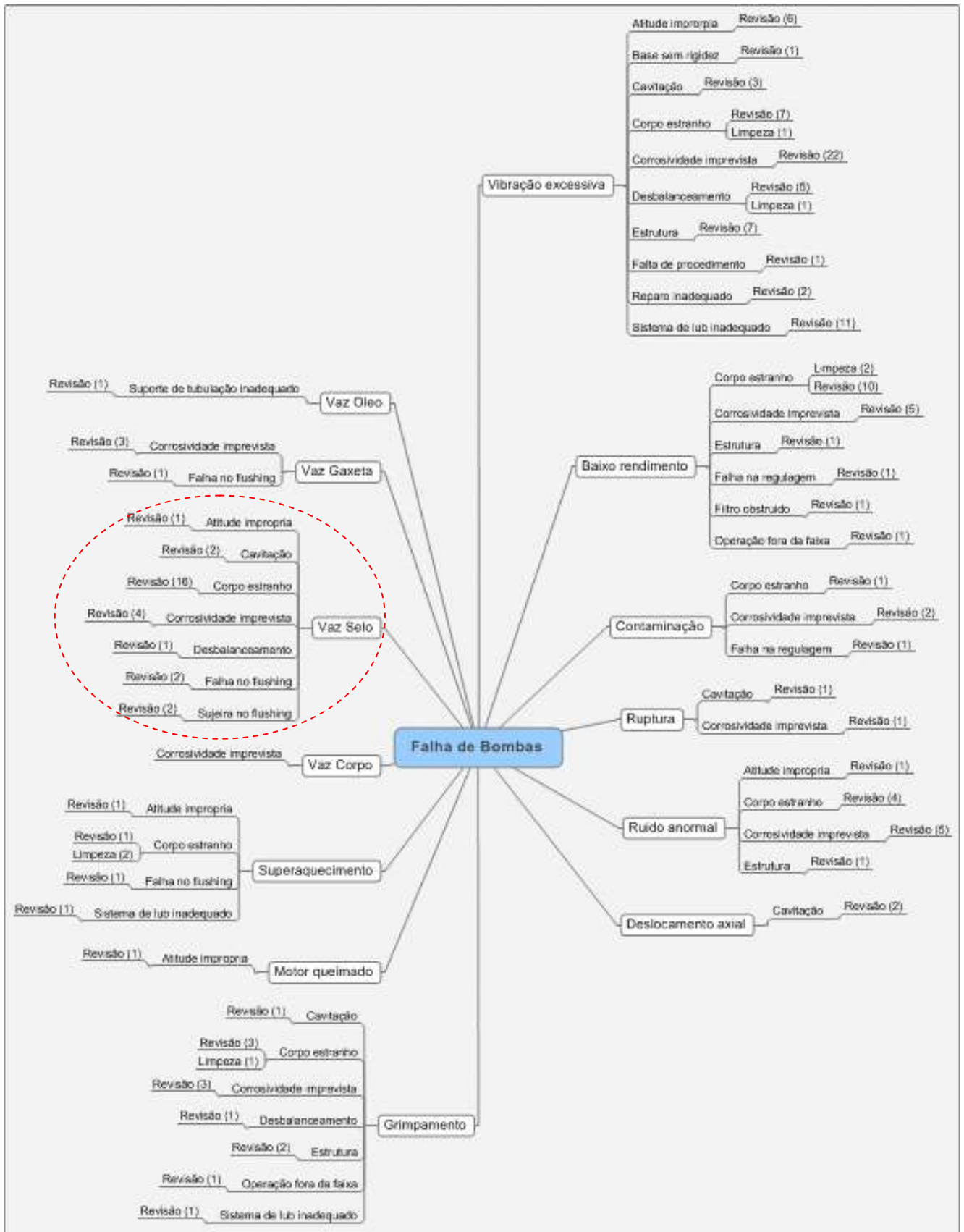


Figura 20 – Exemplo de classificação inadequada para práticas de Manutenção Preditiva



Muitas vezes essa classificação estipulada pelo responsável da refinaria não condizia com a real definição da manutenção, então, reorganizaram-se os dados, analisando a solução e o sintoma aplicados ao problema registrado: avaliando-se um determinado sintoma e relacionando-o à ação tomada, e definindo se esta ação foi de caráter preditivo ou corretivo.

Seguindo estes dois processos, tem-se uma nova base de dados, contendo as informações e as correções necessárias para o fechamento da metodologia e do estudo de caso. Os dados que não puderam ser classificados foram retirados da base. Assim, a nova base seria formada conforme a tabela 5.

TAG	Tipo Man	Sintoma	Causa Básica	Solução
0019-P-02C	Preditiva	Grimpamento	Corrosividade imprevista	Trocado

**Tabela 5** – Exemplo da nova estrutura da base a ser utilizada no estudo

## 5.2. Elaboração do sistema

Todo o estudo se baseia nas ações tomadas pelos especialistas da refinaria, e a grande mudança será a de levar ao operador esse conhecimento tácito para a tomada de decisão, acelerando assim seu processo de aprendizagem. Reter esse conhecimento tão difícil de ser passado torna-se fundamental na elaboração de uma política concisa no processo decisório da empresa.

O grande objetivo deste projeto é chegar a uma metodologia de melhoria da manutenção de equipamentos baseada no histórico de intervenções feitas em um conjunto de bombas de uma determinada refinaria. De posse de uma metodologia clara, pode-se focar em ações que, de acordo com a experiência, possam solucionar os problemas encontrados nos equipamentos. De acordo com a relação *problema – sintoma*

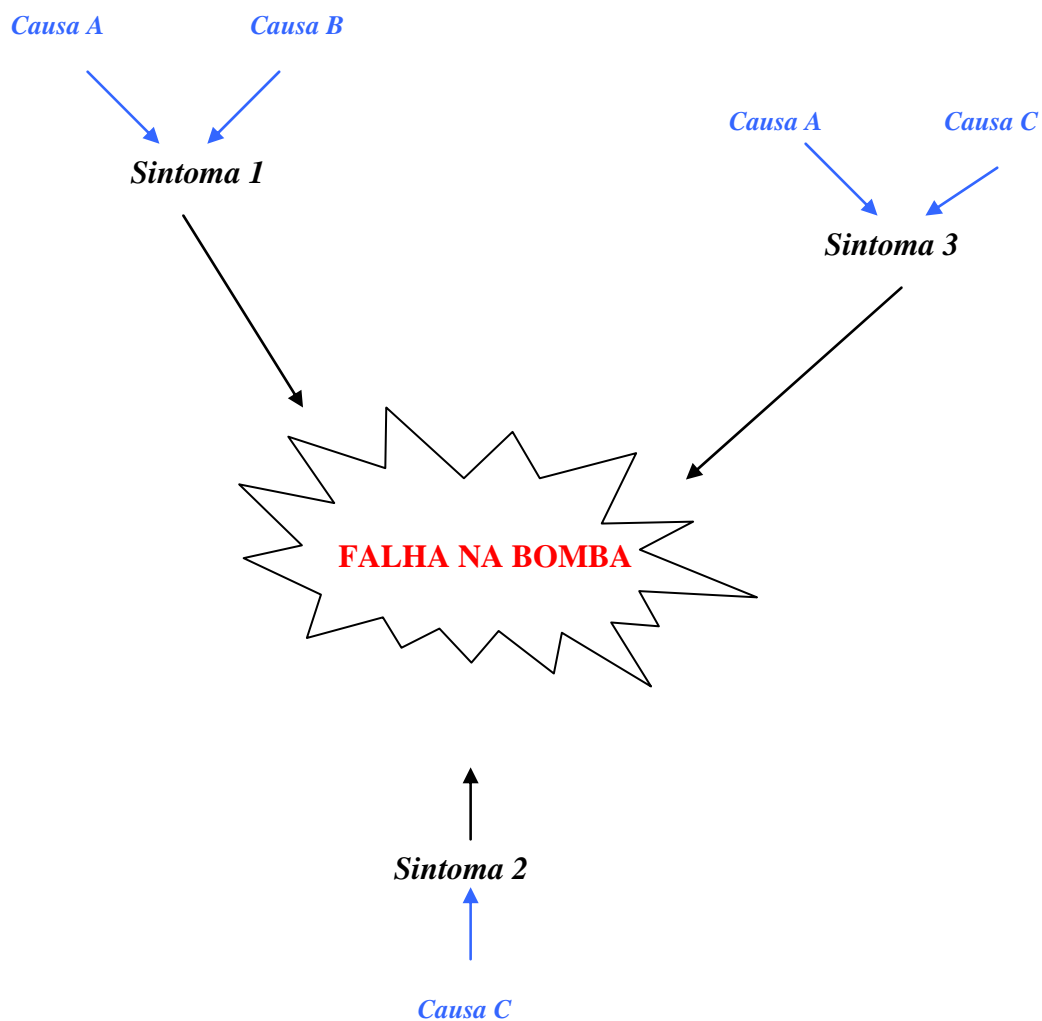
– *causa – ação*, o sistema foi mapeado e montou-se um processo de simples execução e geração de resultados.

#### *Passo 1 – Levantamento dos sintomas*

Utilizando o conhecimento e o histórico adquirido ao longo da vida dos equipamentos, pode-se levantar os principais sintomas que levaram a uma falha. A doença aqui será denominada falha da bomba e o levantamento de seus sintomas é o início para o diagnóstico final.

#### *Passo 2 – Levantamento das causas*

É possível relacionar todo sintoma a uma causa, como quando uma determinada doença aparece: os sintomas se manifestam e estes são gerados por algum motivo, aqui denominados de causas. De posse de todos os sintomas levantados para falha nas bombas da refinaria, relacionou-se a cada um deles as possíveis causas que os geram. Tendo-se, então, o cenário mostrado na figura 21.



**Figura 21** – Relação entre os conceitos utilizados na metodologia

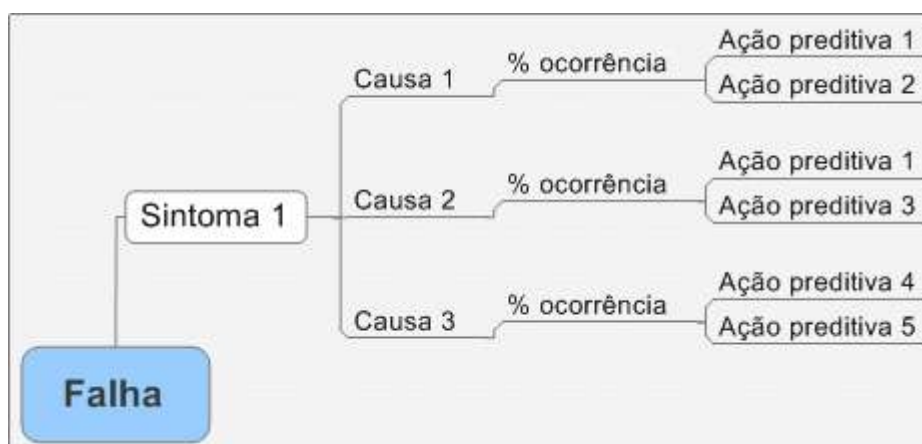
*Passo 3 – Levantamento das ações*

Para que se possa sanar o problema no equipamento, o ideal é que se combata a sua causa e não seu sintoma. Por isso, aqui neste estudo, a relação sintoma – causa é de extrema importância. Levantar as ações que combatam uma causa específica aumenta a efetividade da manutenção, já que o operador está atuando de forma direta a um

diagnóstico apresentado, assim, a redução do tempo de *downtime* e execução da manutenção, bem como recursos humanos, poderão ser otimizados.

#### *Passo 4 – Estruturação do conhecimento*

Até aqui, já se viu que é possível relacionar informações de forma a modelar o comportamento de um determinado equipamento. O desafio agora é estruturar essas informações de forma que fique claro o seu entendimento pelo operador e responsável pela manutenção. O objetivo é fazer com que o operador não gaste tempo fazendo uma análise detalhada do comportamento da máquina, mas que já tenha este comportamento detectado e que o sistema apenas lhe indique o ideal a fazer de acordo com o histórico de seu sistema de operação. Assim, o que o operador precisará fazer é detectar o que está acontecendo na forma de sintomas, o que é feito rotineiramente em uma inspeção. O sistema baseado na metodologia proposta relaciona as possíveis causas da ocorrência deste sintoma a propostas de ações preditivas que visem evitar a ocorrência da falha, como pode ser visualizado na figura 22.

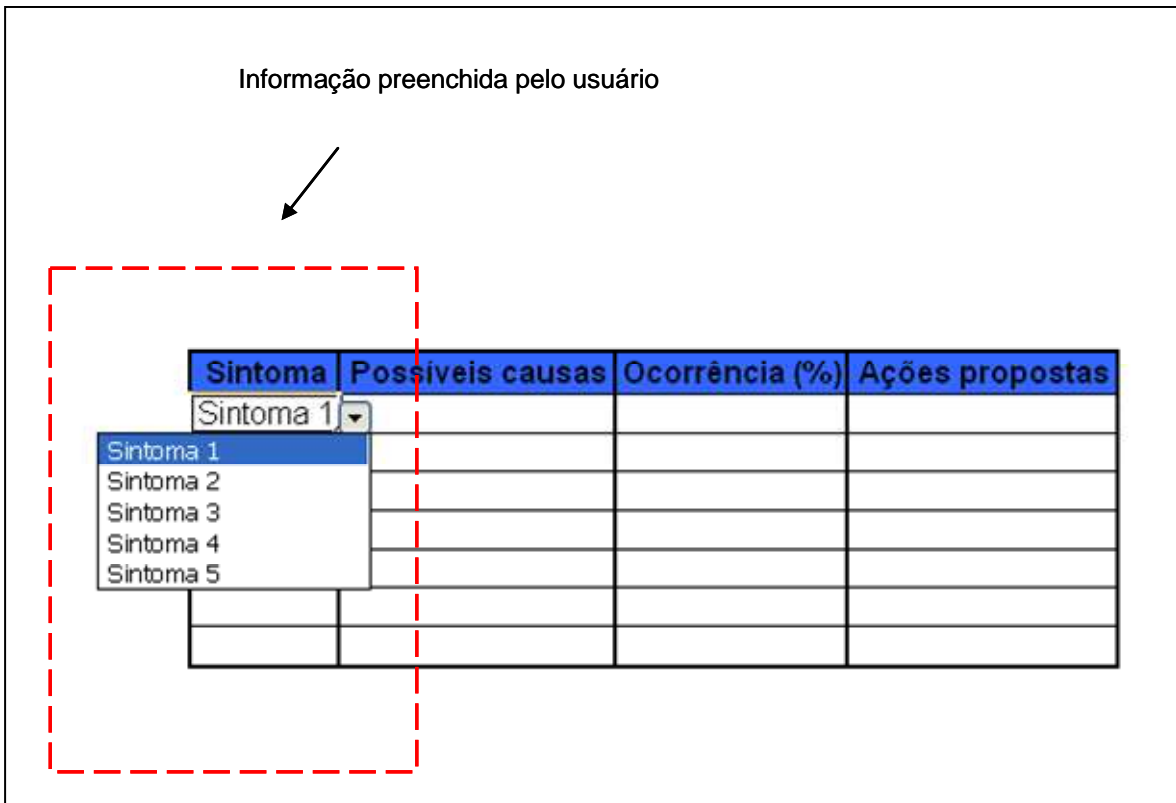


**Figura 22** – Estrutura da metodologia

Vale enfatizar que a metodologia considera apenas os sintomas que possam gerar ações preditivas, partindo-se da premissa de que antes de se fazer necessária uma ação corretiva, provavelmente sintomas de predição já deveriam ser notados anteriormente, ou seja, uma intervenção mais drástica (corretiva) deve ser precedida de sintomas mais amenos (predição), e caso estes sintomas não sejam reparados, sintomas mais drásticos aparecerão em cadeia.

#### *Passo 5 – Montagem do sistema*

Com todas as informações estruturadas, foi criada uma interface de fácil manuseio e entendimento do operador. O usuário entra com uma informação (sintoma encontrado no equipamento) e o sistema, de acordo com as informações históricas adquiridas no banco de dados, fornece ao usuário meios de escolher a melhor recomendação para solucionar o sintoma, lembrando que este sistema será alimentado por dados coletados, portanto terá resultados dinâmicos, de acordo com o comportamento adotado pelos equipamentos ao longo de seu uso. A figura 23 apresenta um exemplo da dinâmica adotada pelo sistema criado.



**Figura 23** – Escolha do sintoma

A partir do momento que o usuário entra com a informação coletada em campo, sintoma que identifica uma falha, o sistema devolve informações alimentadas pelo histórico dos dados coletados nas inspeções, paradas e outras intervenções, como pode ser visualizado na figura 24.

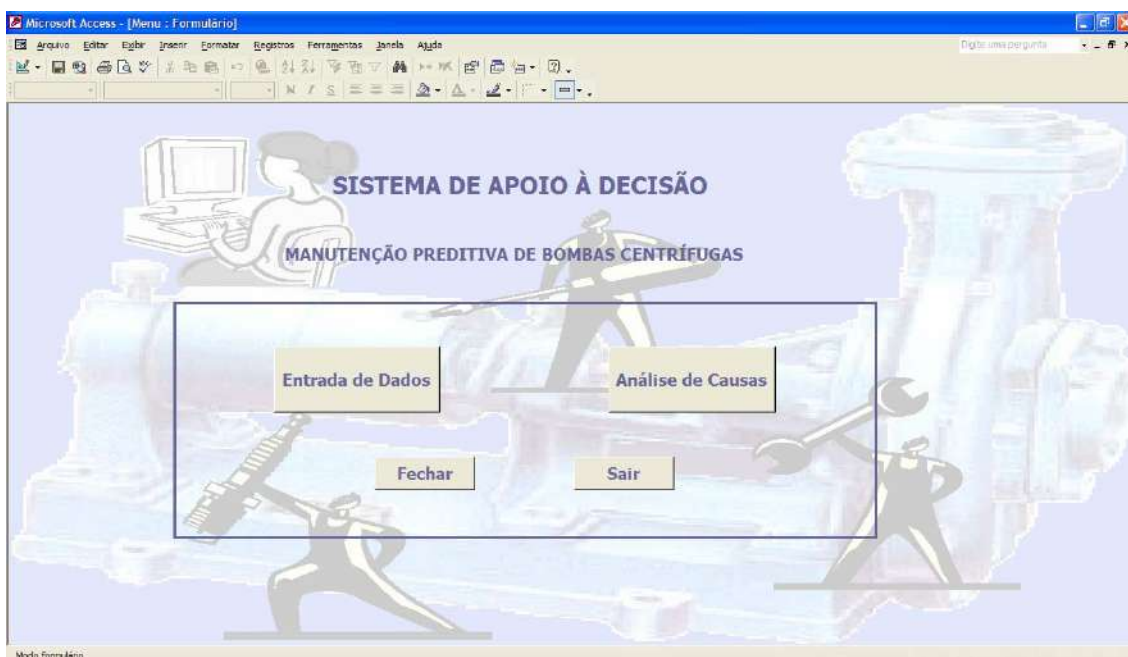
Sintoma	Possíveis causas	Ocorrência (%)	Ações propostas
Sintoma 1	Causa 1	50	Ação preditiva A
	Causa 2	30	Ação preditiva B
	Causa 3	20	Ação preditiva C

**Figura 24** – Informações levantadas pelo sistema

O sistema é capaz de identificar as causas relacionadas ao sintoma, o percentual de ocorrência dessa causa em relação a todas as causas possíveis e as ações propostas para solucionar cada causa.

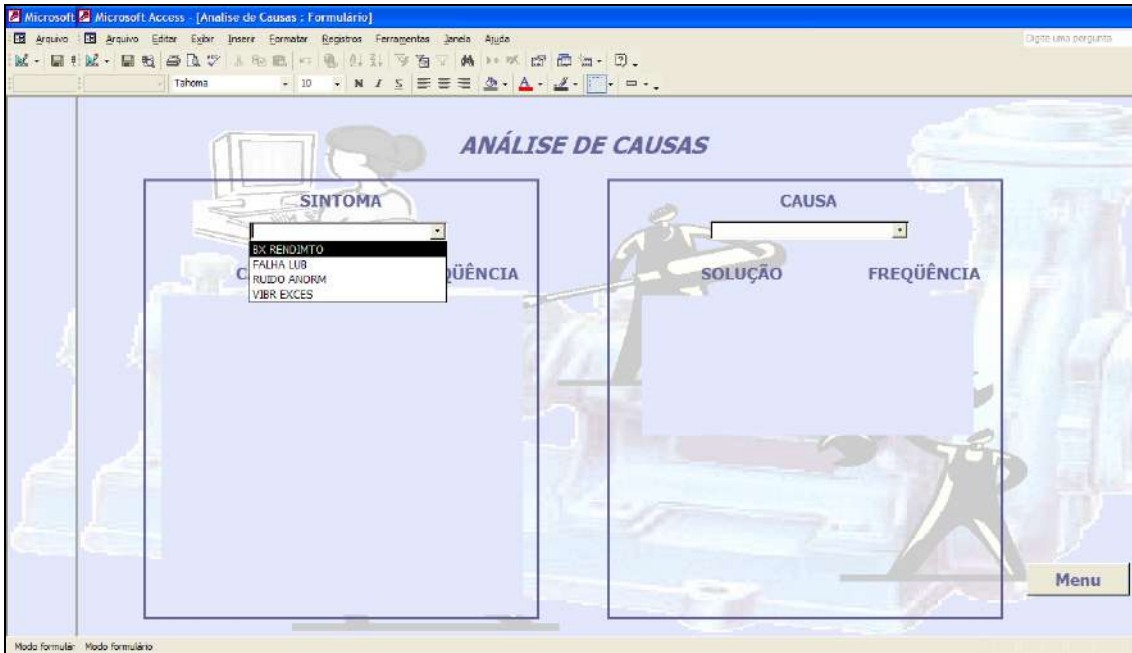
### 5.3. Estudo de caso/resultados

De forma a obedecer todos os passos levantados anteriormente, foi montada uma ferramenta em Access para a aplicação da metodologia criada. Esta metodologia foi montada a partir da procura de uma solução simples, onde o nível de qualificação do usuário seja acessível ao dos responsáveis pela manutenção; e servirá como guia no rastreamento da causa. Este estudo de caso utiliza dados de uma refinaria nacional e a interface criada pode ser visualizada na figura 25.



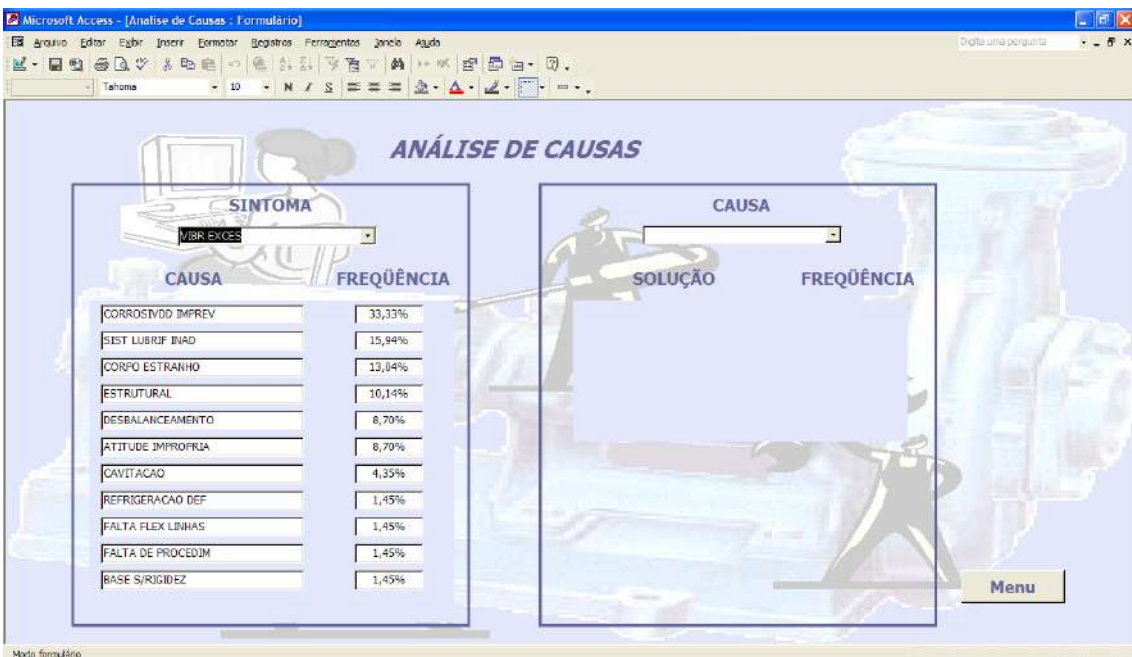
**Figura 25** – Interface da ferramenta de apoio à decisão

1 – Ao inspecionar ou examinar uma máquina, o usuário qualificado levanta os sintomas encontrados na inspeção. Identificado o sintoma, o usuário seleciona este sintoma no sistema, conforme pode ser visto na figura 26.



**Figura 26** – Etapa 1: identificação do sintoma

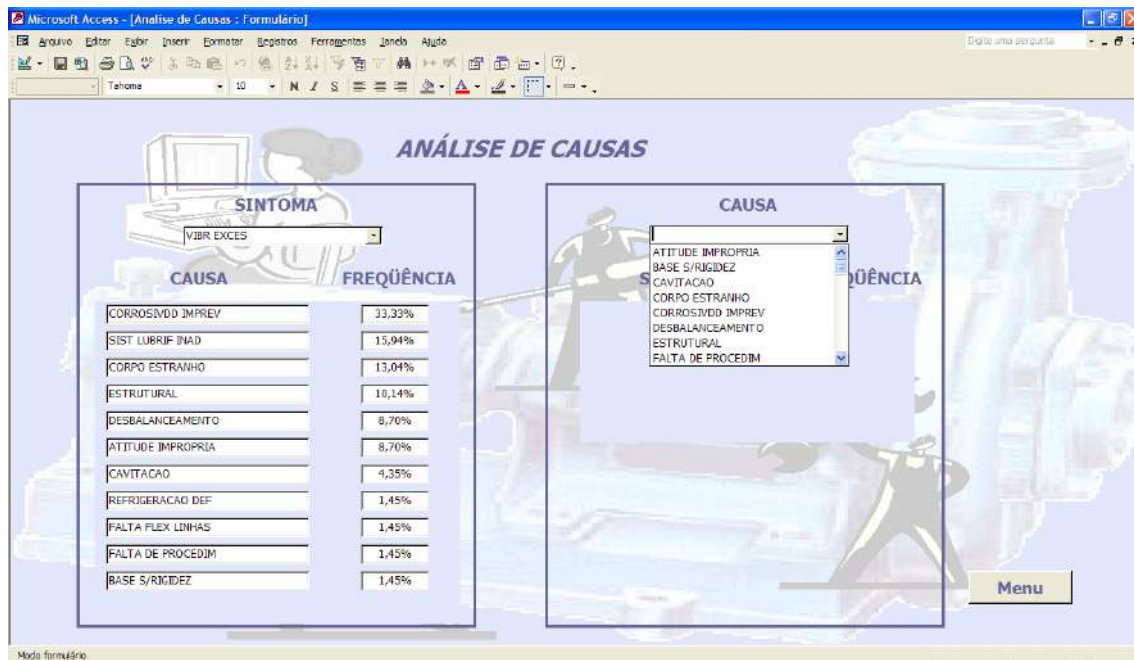
2 – Identificado o sintoma, por exemplo, vibração excessiva, o sistema busca em sua base todas as possíveis causas relacionadas a ele, além de indicar o percentual de ocorrência de cada causa em relação às demais relacionadas a esse sintoma. Esta etapa da metodologia pode ser visualizada na figura 27.



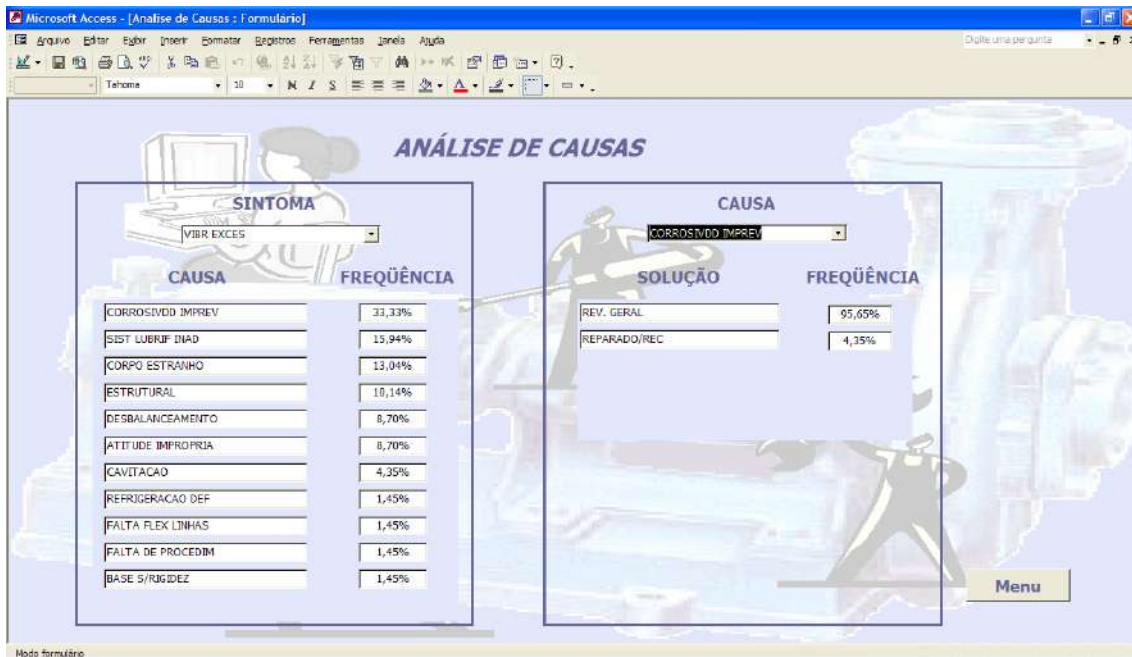
**Figura 27** – Determinação das possíveis causas



3 – De acordo com as possíveis causas levantadas e suas frequências de ocorrência, o usuário vai à campo na busca da causa geradora do sintoma. Descoberta esta causa, o usuário a seleciona na ferramenta de apoio à decisão, que por sua vez propõe ações específicas, de forma a atuar diretamente na extinção de determinada causa. Esta etapa da metodologia pode ser visualizada nas figuras 28 e 29.

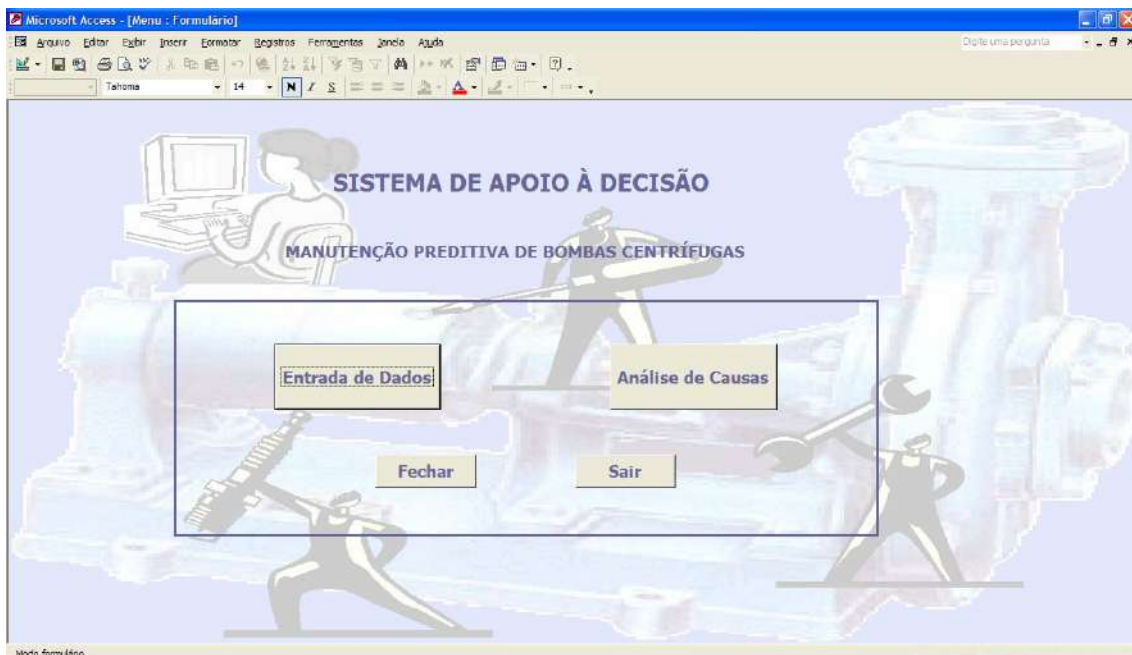


**Figura 28** – Seleção da causa

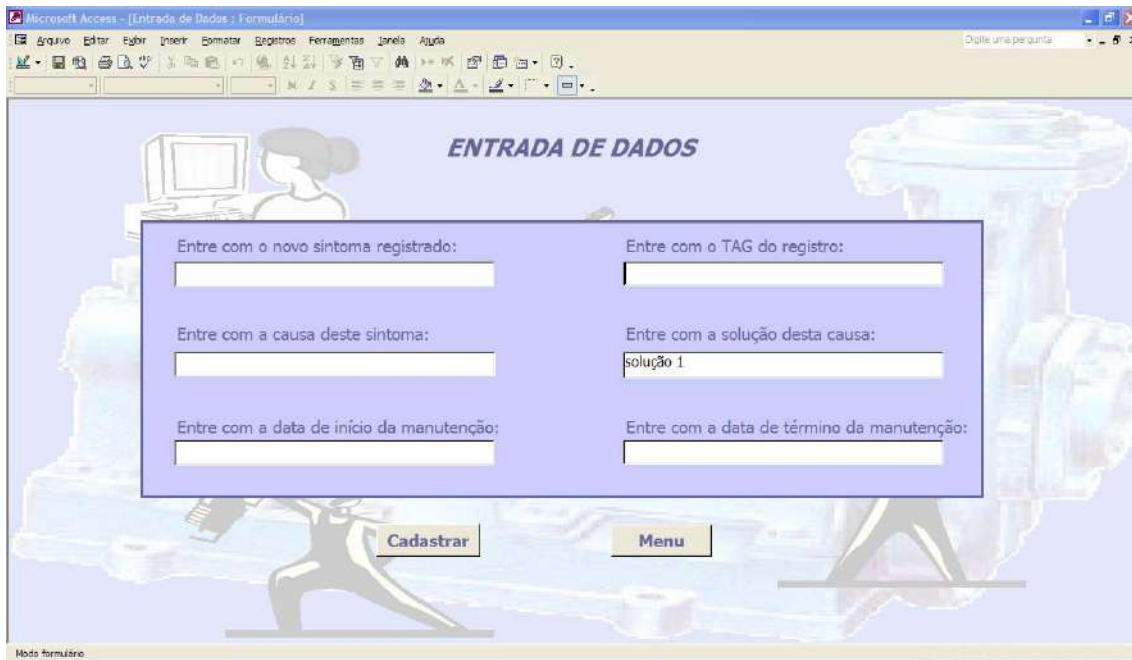


**Figura 29** – Apresentação das soluções propostas

4 – Encontrada a causa e tomada a ação ou ações necessárias, o banco de dados deverá ser alimentado com mais esta ocorrência levantada, como pode ser visto nas figuras 30 e 31.



**Figura 30** – Interface para edição



**Figura 31** – Interface para inserção de novo dado

O sistema torna-se uma importante ferramenta de rastreamento de soluções e apoio à tomada de decisão e o processo de utilização da metodologia pode ser observado no fluxograma da figura 32.

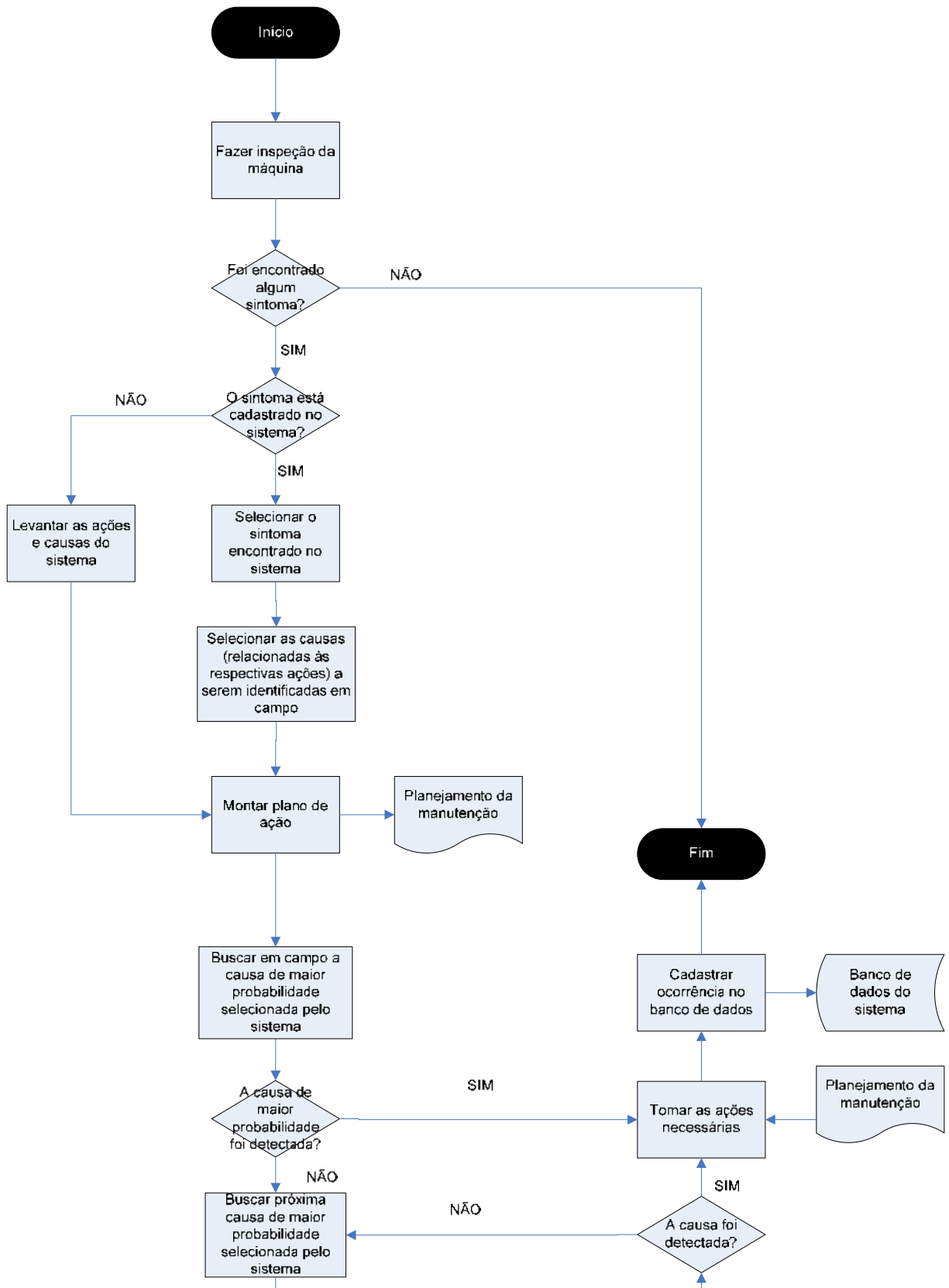


Figura 32 – Fluxograma para metodologia proposta

## 6. CONCLUSÃO

Um dos grandes problemas em qualquer processo decisório é de encontrar meios de chegar à decisão mais correta e nem sempre a aquisição de dados históricos possibilita isso. Muitas vezes, um grande montante de informações, pelo simples fato de não apresentar uma organização, dificulta a interpretação por parte do usuário.

Observou-se neste estudo que, de posse de dados sobre intervenções durante a vida de bombas industriais, é possível estruturar uma metodologia capaz de guiar o responsável pela manutenção das máquinas à busca da causa geradora de sintomas que originam um problema; e conseqüentemente tomar a melhor ação. Pode-se dizer que a metodologia proposta não se resume somente à tomada de decisão, facilitando o processo de aprendizagem de um recurso menos experiente, fazendo-o refletir nas possíveis ações tomadas na história do equipamento. Além de estimulá-lo à busca da detecção da causa através de tecnologias de monitoramento de condição de forma não evasiva e rápida.

Para a implementação do método proposto neste projeto, é necessário que se tenha uma base de dados confiável, organizada de acordo com a estrutura e conceitos associados ao método; e que possibilite rastrear, com embasamento estatístico, as causas dos sintomas identificados em campo. Como forma de refletir a adequação dos dados a este método de apoio, as seguintes questões devem ser consideradas:

- Após quanto tempo se pode utilizar de forma confiável o histórico de manutenção no apoio à tomada de decisão? – deve-se analisar o tempo para que se tenha o montante necessário de dados para se avaliar estatisticamente os resultados, levando-se em consideração a possível sazonalidade nas características do processo.

- Como identificar os sintomas? – o usuário deve ser capaz de identificar os sintomas através do monitoramento de condição do equipamento.
- Como detectar a causa a ser registrada? – apesar de o sistema guiar o usuário na busca da causa geradora do sintoma, deve-se avaliar formas de se investigar eficientemente estas causas.
- Como as ações devem ser abordadas? – detalhar as ações de forma que sejam claras e atuem diretamente na eliminação da causa.

Portanto, preenchendo-se todos os requisitos mencionados, a metodologia, seguida de acordo com o procedimento especificado neste trabalho, será capaz de apoiar o usuário na busca da melhor ação para sanar um problema no equipamento, através do rastreamento da causa geradora.

Pode-se aperfeiçoar a metodologia estudada neste projeto, a partir da análise de monitoramento de indicadores de desempenho, de forma a avaliar a real condição do equipamento, permitindo assim ações mais rápidas e condizentes com o estado da máquina. Além disso, possibilitando mapear as falhas até a identificação da causa raiz (*Root Cause Analysis*).

Novos conceitos, como Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e Manutenção Produtiva Total (MPT), apoiariam a metodologia estudada neste projeto de forma a aprofundar o nível de conhecimento requerido sobre equipamentos e sistemas, assim como identificar os diferentes processos de falha que podem afetar a segurança, a confiabilidade e a operabilidade dos equipamentos, analisando as melhores estratégias que preveniriam ou corrigiriam estas falhas.

Outro ramo da ciência que vem sendo bastante estudado são os Sistemas de Redes Neurais Artificiais, os quais visam simular o cérebro humano, possibilitando que o sistema adquira conhecimento com a experiência, aprenda errando ou acertando e faça

descobertas. A metodologia proposta caminharía para uma solução deste tipo, onde o histórico de dados seria interpretado por um sistema antes de auxiliar numa tomada de decisão, em seguida esta ação seria avaliada para alimentar novamente o sistema, e com isso, a ferramenta iria se aprimorando.

Em virtude do mencionado pode-se dizer então, que existem várias evoluções a serem feitas acerca do tema Manutenção Preditiva para Tomada de Decisão.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, M. T., *Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade*, disponível em <http://www.mtaev.com.br>, setembro de 2006.

AFONSO, L. O. A., *Análise de Falhas de Máquinas Rotativas – Alguns Pontos Importantes*, Trabalho apresentado no IEV 2002.

DINIZ, F. L. B., Apresentação didática do curso de pós-graduação: *Avaliação e Gerenciamento de Risco*, Rio de Janeiro/ RJ, 2006.

FERREIRA, A. B. H., *Minidicionário da Língua Portuguesa*, 1ª ed., Nova Fronteira, Rio de Janeiro/ RJ, 1977.

FILHO, B., *Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade*, Ciência Moderna, Rio de Janeiro/ RJ, 1996.

KLETZ, T. A., *O que houve de errado? Casos de desastres em Indústrias Químicas, Petroquímicas e Refinarias*, McGraw-Hill, São Paulo, 1993.

MACYNTIRE, A. J., *Bombas e Instalações de Bombeamento*, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro/ RJ, 1980.

MATTOS, E. E., *et. al. - Bombas Industriais*, Técnica, Rio de Janeiro/ RJ, 1989.



MEDRONHO, R. A., REIS, R. A., Apresentação didática: *Práticas de Engenharia Química I*, 2006.

MELO, P. F., Apresentação didática: *PO na Manutenção de Máquinas Marítimas*, Rio de Janeiro/ RJ, 2006.

MORAES, P. H. A., *Manutenção Produtiva Total: estudo de caso em uma empresa automobilística*, Dissertação de Tese de Mestrado, Taubaté/ SP – 2004.

NUNES, E. L., *Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da Implantação em uma Sistemática de Manutenção Preventiva Consolidada*, Dissertação de Tese de Mestrado, Florianópolis/ SC – 2001.

PEREIRA, G. H., *A Manutenção da Produção*, Dissertação de Tese de MBA em Gerência Empresarial, Taubaté/ SP – 2000.

REIMAN, T., *Assessing the maintenance unit of a nuclear powerplant – identifying the cultural conceptions concerning the maintenance work and the maintenance organization*, Finlândia – 2006.

SANTOS, P. A. C., *Avaliação Estatística da Gestão da Manutenção e Acompanhamento do Grau de Obsolescência de Máquinas Marítimas Militares*, Dissertação de Tese de Mestrado, Rio de Janeiro/ RJ – 2003.

Revista Manutenção/ Edição 105 – Julho/ Agosto 2005.

[www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br), agosto de 2006.

[www.tecmag.com.br](http://www.tecmag.com.br), julho de 2006.