

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS – APMA**

**EUDSON DE SOUSA AGUIAR**

**ALINHAMENTO EM MÁQUINAS ROTATIVAS COM EIXO**

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**EUDSON DE SOUSA AGUIAR**

**ALINHAMENTO EM MÁQUINAS ROTATIVAS COM EIXO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Prof. MSc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**EUDSON DE SOUSA AGUIAR**

**ALINHAMENTO EM MÁQUINAS ROTATIVAS COM EIXO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Msc. Luiz Otávio Ribeiro Carneiro

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico essa monografia à minha  
esposa Priscila e minha filha Ana Júlia –  
horas de sono perdidas, mas faria tudo  
de novo.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Bom Deus, que até aqui tem me ajudado, familiares e amigos pelo apoio, contribuição e tolerância incondicionais em todos os momentos. Um agradecimento especial ao meu orientador.

“Rapadura é doce, mas não  
é mole não.”

## RESUMO

Na indústria, e a bordo de embarcações, a utilização de máquinas rotativas é muito grande e estas devem estar com o mínimo de desalinhamento possível, pois este pode gerar um defeito nos rolamentos, maiores gastos com energia elétrica, quebra de eixos, vibrações para qual o equipamento não tenha sido projetado e conseqüentemente diminuir a vida útil do mesmo. Esta é a razão pela qual as empresas gastam um bom dinheiro, ou pelo menos deveriam, com o alinhamento de seus equipamentos rotativos. Alinhamento mecânico é um recurso utilizado pela mecânica, em conjunto de equipamentos rotativos, com a finalidade de deixar as faces de acoplamento sempre com a mesma distância, em qualquer ponto, e no mesmo plano. O objetivo do alinhamento é garantir o bom funcionamento dos equipamentos rotativos tendo, como característica principal eliminar vibrações, aquecimento e dar maior durabilidade aos componentes. Até onde uma falta de alinhamento pode prejudicar um equipamento, quais os tipos de desalinhamento conhecidos e algumas técnicas de alinhamento, são alguns dos pontos a serem analisados neste trabalho.

Palavras chave: Eixo. Alinhamento. Manutenção. Desalinhamento.

## **ABSTRACT**

On industry, and on board vessels, the use of turning machineries is huge and these must have the minimum of misalignment as possible, because it can generate failures on the bearings, higher consumption of electric power, cracks on the shaft, vibrations which the equipment was not projected to and consequently brings down the operational life of the equipment. That is the reason why the companies spend a good money, or they should, with alignment of theirs turnings machineries. Mechanical alignment is a mechanical resource, used on sets of turnings devices, with the function of let the coupling faces always with the same distance, on any point, and at the same plan. The objective of the alignment is to provide the good operation of the turning devices having, as priority to eliminate vibrations, excessive heating and provide higher durability to the components. What consequences a bad alignment can bring the device, which are the types of misalignment, are two of the topics to be studied on this work.

Key words: Shaft. Alignment. Maintenance. Misalignment



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Exemplo de acoplamento rígido	12
Figura 2 -	Exemplo de Acoplamento flexível	13
Figura 3 -	Exemplo de acoplamento de compensação	13
Figura 4 -	Condição típica de desalinhamento	14
Figura 5 -	Tipos de desalinhamento	15
Figura 6 -	Forças de reação nos mancais	16
Figura 7 -	Consumo de energia para acoplamento de elastômero	17
Figura 8 -	Consumo de energia para acoplamento de elastômero	17
Figura 9 -	Termografia mostrando o aumento da temperatura devido ao desalinhamento	18
Figura 10 -	Acoplamento danificado por desalinhamento	18
Figura 11 -	Mancal danificado por desalinhamento	18
Figura 12 -	Ilustração do uso de um relógio comparador	21
Figura 13 -	Alinhamento paralelo com relógio comparador	24
Figura 14 -	Alinhamento angular com relógio comparador	24
Figura 15 -	Alinhamento com régua e calibrador de folga	25
Figura 16 -	Alinhamento a laser	26
Figura 17 -	Conjunto com desalinhamento angular	27
Figura 18 -	Instalação do relógio comparador	28
Figura 19 -	Figura para registro de medidas	28
Figura 20 -	Instalação do relógio comparador	29
Figura 21 -	Conjunto com desalinhamento angular	29
Figura 22 -	Instalação do calibrador de folgas	30
Figura 23 -	Conjunto com desalinhamento radial	30
Figura 24 -	Instalação da régua $D =$ diâmetro da circunferência descrita pela ponta do relógio	31
Figura 25 -	Exemplo de calços	31
Figura 26 -	Leituras de desalinhamento	32
Figura 27 -	Aspecto vertical do desalinhamento	32
Figura 28 -	Aspecto horizontal do desalinhamento	32
Figura 29 -	Vistas lateral e superior do conjunto	33
Figura 30 -	Leituras de desalinhamento do conjunto	35
Figura 31 -	Caixa de engrenagem redutora	37
Figura 32 -	Tempo estimado para executar os passos de alinhamento	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>TIPOS DE ACOPLAMENTOS E CARACTERÍSTICAS</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Acoplamentos rígidos</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Acoplamentos flexíveis</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Acoplamentos de compensação</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>DESALINHAMENTO</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>O que é desalinhamento?</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Tipos de desalinhamento</b>	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>Efeitos do desalinhamento</b>	<b>16</b>
<b>3.4</b>	<b>Diagnóstico de desalinhamento</b>	<b>19</b>
3.4.1	Análise de Vibrações	19
3.4.2	Análise de Óleo	19
3.4.3	Termografia	20
<b>4</b>	<b>ALINHAMENTO</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Equipamentos e acessórios</b>	<b>22</b>
4.1.1	Dispositivos	22
4.1.2	Relógios comparadores	22
4.1.3	Ferramentas	22
<b>4.2</b>	<b>Variáveis de alinhamento</b>	<b>23</b>
<b>4.3</b>	<b>Métodos usados</b>	<b>23</b>
4.3.1	Relógio comparador	23
4.3.2	Régua e calibrador de folga	24
4.3.3	Alinhamento a laser	25
<b>4.4</b>	<b>Realizando um alinhamento</b>	<b>26</b>
4.4.1	Alinhamento Angular com relógio comparador	27
4.4.2	Alinhamento radial com relógio comparador	28
4.4.3	Alinhamento Angular com régua e calibrador de folga	29
4.4.4	Alinhamento radial com régua e calibrador de folga	30
<b>4.5</b>	<b>Fórmula para calço</b>	<b>31</b>
<b>4.6</b>	<b>SequênciaS de operações</b>	<b>33</b>
<b>4.7</b>	<b>Interpretação do relógio</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>REDUTORES</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>ALINHAMENTO DE MÁQUINAS QUENTES</b>	<b>39</b>
<b>6.1</b>	<b>Tempo necessário para o alinhamento</b>	<b>39</b>
<b>6.2</b>	<b>Frequência</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O alinhamento entre eixos acoplados é uma necessidade indiscutível. No entanto, quando se fala da qualidade do alinhamento, observamos pontos de vista divergentes, quanto ao grau de precisão necessário. O controle preditivo de equipamentos por análise de vibrações tem proporcionado valiosa ajuda neste sentido, quantificando os efeitos que desalinhamentos provocam em equipamentos. Um bom alinhamento de acoplamentos girantes, evita vibração, desgaste prematuro, aquecimento e perda de potência. Mesmo os acoplamentos que permitem desalinhamentos devem ser bem alinhados, para garantir bom desempenho, com maior duração da vida útil da transmissão. Apesar de o desbalanceamento ser considerado por muitos como a principal causa de vibração, na verdade 70 a 75% dos problemas de vibração são causados por desalinhamento.

É sabido que todo elemento rotativo possui um desbalanceamento residual (eliminá-lo requer um procedimento de alto custo só justificável para equipamentos críticos, tais como equipamentos nucleares). Este pequeno desbalanceamento é amortecido (absorvido) pelos elementos dos rolamentos, que possuem folgas da ordem de 1,3  $\mu\text{m}$ , o que significa em termos práticos, nenhuma folga. Quando um equipamento é operado com desalinhamento, os esforços cíclicos causam desgaste excessivo nos mancais. Logo o desgaste transforma-se em folga excessiva entre os elementos dos rolamentos que dessa forma não fornecem mais o amortecimento necessário para restringir dos elementos rotativos. É quando alguém bem intencionado detecta a vibração e solicita o balanceamento ou a substituição da unidade defeituosa. Assim, sem um diagnóstico correto, trabalho extra desnecessário é realizado.

A estatística mostra que a percentagem de retrabalho é de 12%, o que gera um aumento exponencial dos custos. O desalinhamento além de destrutivo para o equipamento, também é dispendioso em termos do consumo de energia elétrica. Não é incomum encontrar uma diferença de 3 a 4 ampéres entre a potência despendida para acionar um equipamento corretamente alinhado e um desalinhado.

## 2 TIPOS DE ACOPLAMENTOS E CARACTERÍSTICAS

Existem três grupos distintos de acoplamentos, neste trabalho se dará ênfase a acoplamentos flexíveis e rígidos, que são normalmente usados em máquinas que possuem eixos rotativos. Por questões didáticas é bom falar sobre os três tipos e suas características.

### 2.1 Acoplamentos rígidos

-Flanges: são uniões entre eixos de transmissão, eixos de sincronismo, etc. Garantem maior rigidez, transmitem alto torque, exigem alinhamentos precisos e baixa rotação.

- Luvas de união bipartidas: usadas em uniões entre eixos, geralmente longos. Apresentam boa rigidez, fácil remoção para manutenção, necessitam de precisão no alinhamento, baixa rotação.

Figura 1 – Exemplo de acoplamento rígido



Fonte: <http://portuguese.alibaba.com/>

### 2.2 Acoplamentos flexíveis

- Elastômeros: para aplicações triviais em uniões de eixos, acoplamentos de bombas, etc. Características de transmissões de baixo e médio torque, de fácil instalação e remoção, permitem desalinhamentos e oscilações dos eixos. Apresentam inconvenientes de utilização em ambientes com presença de agentes químicos.

- Grade (aranha): usados em acoplamentos de motores elétricos, motores de combustão interna, bombas, etc. Características de transmissões de baixo e médio torque absorvem sobrecargas e amortecem vibrações.

Figura 2 – Exemplo de Acoplamento flexível



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

### 2.3 Acoplamentos de compensação

Engrenagens: aplicação em motores elétricos, redutores de baixo, médio e alto torque, caixas de sincronismo, etc. Acoplamento de bom acabamento e precisão permite flutuações dos eixos. Isola vibrações principalmente axiais.

Correntes: aplicação em motores elétricos, bombas, redutores de transportadores, máquinas em locais de difícil acesso. Atendem larga faixa de torque. Baixo custo.

Figura 3 – Exemplo de acoplamento de compensação



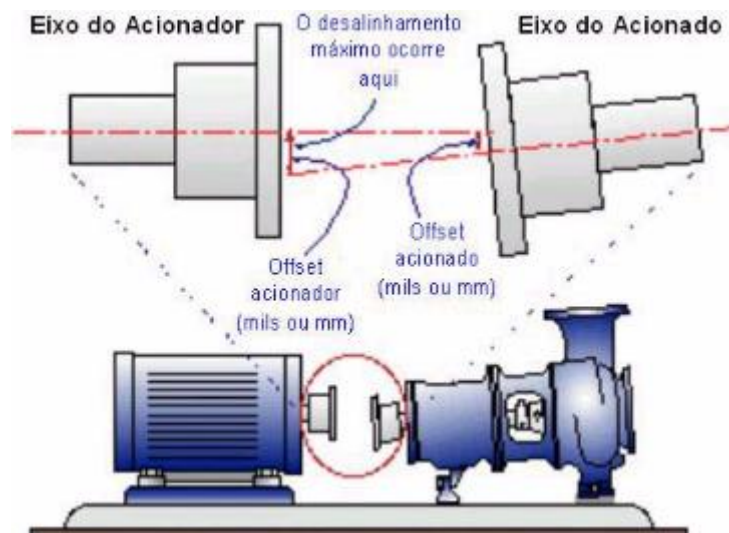
Fonte: [www.manutencaoesuprimentos.com.br](http://www.manutencaoesuprimentos.com.br)

### 3 DESALINHAMENTO

#### 3.1 O que é desalinhamento?

Muito se fala sobre desalinhamento do eixo, mas o que viria a ser o mesmo? Em termos bastante simples, o desalinhamento de eixos ocorre quando as linhas de centro dos eixos de rotação de duas máquinas não estão em linha um com o outro. Tal desconformidade propicia quebras mais frequentes de máquinas, ou seja, resulta em redução no tempo médio entre falhas. Em termos mais precisos, o desalinhamento de eixos é o desvio da posição relativa do eixo de um eixo colinear de rotação medida nos pontos de transmissão de força (ou potência) quando o equipamento está rodando nas condições normais de operação. Para entender melhor esta definição, vamos dissecá-la em partes de modo a ilustrar claramente o que está envolvido. O desvio relativo à posição do eixo é calculado pela medida da diferença entre a linha de centro atual de rotação de um eixo e a linha de centro de rotação projetada do outro eixo. A figura a seguir mostra uma condição típica de desalinhamento.

Figura 4 – Condição típica de desalinhamento

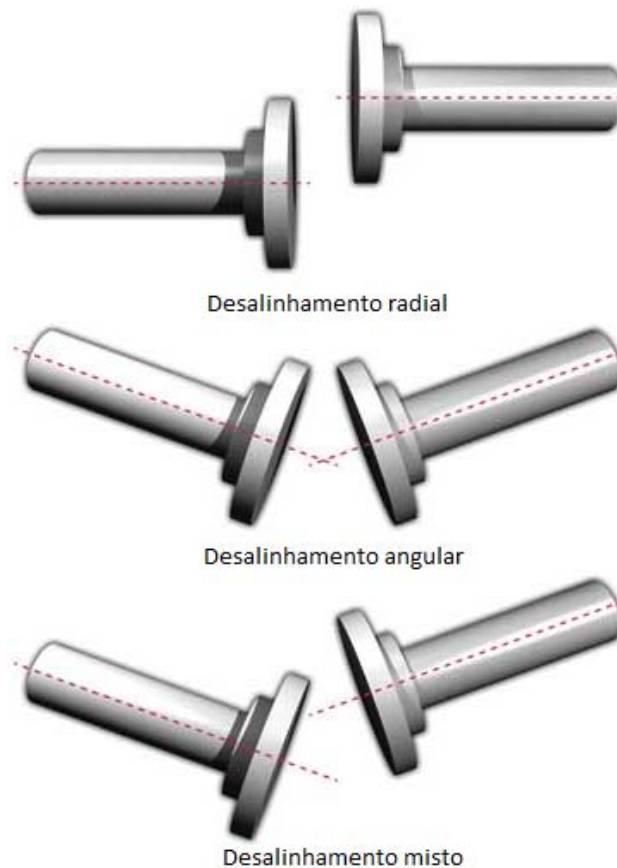


Fonte: <http://www.maintenanceresources.com/>

### 3.2 Tipos de desalinhamento

Os desalinhamentos ocasionados em máquinas rotativas acopladas podem ser de dois tipos: desalinhamento paralelo ou angular. O desalinhamento paralelo, ou radial, ocorre quando as linhas de centro de dois eixos são paralelas, mas não se encontram no ponto de transferência de carga. Já, o desalinhamento angular ocorre quando as linhas de centro de dois eixos se cruzam no ponto de transferência de carga, mas não são paralelos entre si. Geralmente a condição real de desalinhamento que ocorre entre máquinas rotativas, é uma combinação de ambos os tipos de desalinhamentos, o qual é designado por desalinhamento misto ou combinado, os tipos de desalinhamento estão ilustrados na figura a seguir.

Figura 5 – Tipos de desalinhamento



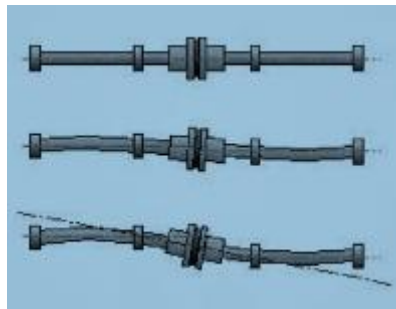
Fonte: <http://www.machinerylubrication.com/>

Vale ressaltar que cada tipo de desalinhamento pode ser encontrado tanto na vertical como na horizontal, então temos 6 tipos de desalinhamento.

### 3.3 Efeitos do desalinhamento

Eixos mal alinhados são responsáveis por muitos problemas em máquinas e equipamentos. O desalinhamento provoca forças de reações nos mancais, eixos e acoplamentos, onde essas forças são transmitidas de forma unidirecional e são de difícil medição devido a não existirem analisadores ou sensores que possam ser instalados externamente nas máquinas. Consequentemente o que se tem, são efeitos secundários dessas forças, as quais causam empenamento de eixos e rotores, podendo causar assim a quebra do eixo no mancal, ou próximo a ele, ou no cubo do acoplamento (HINES et al, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010). A Figura 6 ilustra as forças de reações nos mancais devido ao desalinhamento.

Figura 6 – Forças de reação nos mancais

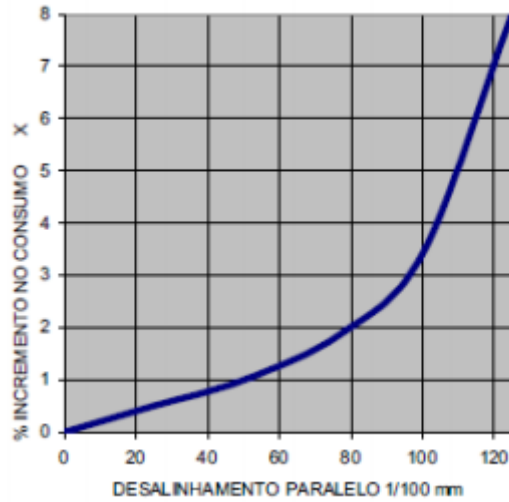


Fonte: PACHOLOK, 2004

O resultado da alta carga aplicada nos mancais é o aumento de consumo de energia pelo componente acionador (HINES et al, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010). As Figuras 7 e 8 ilustram a energia consumida pelo componente acionador utilizando um acoplamento de elastômero.

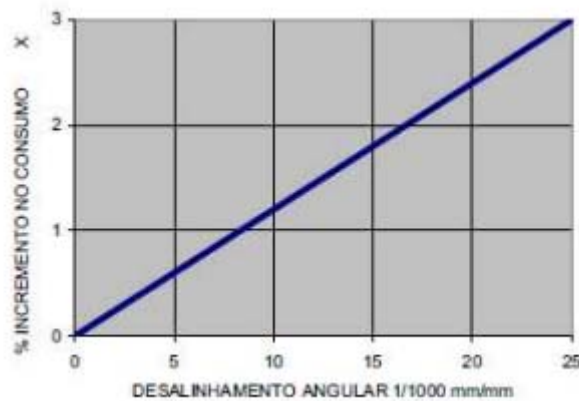


Figura 7 - Consumo de energia para acoplamento de elastômero



Fonte: PACHOLOK, 2004.

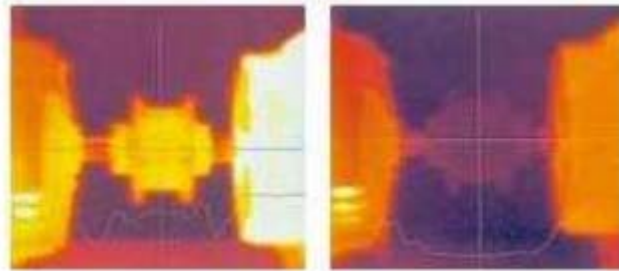
Figura 8 - Consumo de energia para acoplamento de elastômero



Fonte: PACHOLOK, 2004.

Um elevado grau de temperatura de carcaça pode ser detectado nos mancais ou próximo a ele. Aumento de temperatura ocorre também no acoplamento (HINES et al, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010). A Figura 6 mostra, por meio da termografia, o aumento de temperatura nos mancais e no acoplamento de uma máquina (lado esquerdo da figura), devido ao desalinhamento.

Figura 9 - Termografia mostrando o aumento da temperatura devido ao desalinhamento



Fonte: PRÜFTECHNIK, 2010.

Devido à vibração excessiva, vazamentos de óleo podem ocorrer nos retentores ou selos do mancal. Pode ocorrer afrouxamento nos parafusos de fundação. Os parafusos de acoplamentos podem afrouxar ou quebrar e os mancais danificar-se (HINES et al, 1998; PRÜFTECHNIK, 2010; PACHOLOK, 2004; PIOTROWSKY, 2010). Exemplos de danos em acoplamento e em mancal estão ilustrados, respectivamente, nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 - Acoplamento danificado por desalinhamento



Fonte: PACHOLOK, 2004.

Figura 11 - Mancal danificado por desalinhamento



Fonte: TIMKEN, 2011.

### 3.4 Diagnóstico de desalinhamento

Segundo a CESP (2010) nos últimos dez anos uma grande variedade de indústrias indicaram que 50% de todas as máquinas que sofreram paradas possuíam deficiências de alinhamento. Algumas pesquisas indicam ainda que, mais de 90% das máquinas estão trabalhando a abaixo das tolerâncias recomendadas. Para se detectar tais desalinhamentos é necessário dispor de dispositivos que operem nas consequências do fenômeno. A seguir serão apresentadas as principais técnicas utilizadas para a detecção de desalinhamento em máquinas rotativas.

#### 3.4.1 Análise de Vibrações

A análise de vibrações é uma ferramenta que permite determinar as deficiências existentes em máquinas acopladas através da identificação da frequência de origem dos problemas e (ou) parte dos equipamentos associada. As máquinas são elementos mecânicos articulados e podem ser vistos como osciladores mecânicos, já que estas possuem peças e articulações que sofrem excitações provocando vibrações que se propagam pela estrutura mecânica do sistema. Como resultado, o equipamento apresenta uma vibração complexa composta por várias frequências (MELQUESEDEQUE, 2008). A presença de folgas, trincas, desalinhamento de rolamentos e mancais entre outros, resulta na alteração ou aparecimento de novas frequências associadas aos problemas. Através de transdutores como os acelerômetros e sensores de deslocamento é possível medir e analisar as vibrações estabelecendo sua origem, identificando cada componente e o tipo de falha que a está gerando. Também é possível avaliar o estado mecânico do componente que a produz e a gravidade da deficiência detectada (MARÇAL; SUSIN, 2005).

#### 3.4.2 Análise de Óleo

Esta técnica define através de análises físico-químicas, o tempo de vida útil do fluido assim como as contaminações presentes. Se integra à técnica de análise de vibração com intuito de gerar soluções mais precisas, monitorando os desgastes nos equipamentos. A Ferrografia Analítica (AN) é um dos procedimentos utilizados nesta técnica. Ela identifica o tipo de desgaste, desalinhamento, corrosão entre

outros. através de diagnósticos laboratoriais, indicando o procedimento de manutenção a ser tomado (FRATO, 2011).

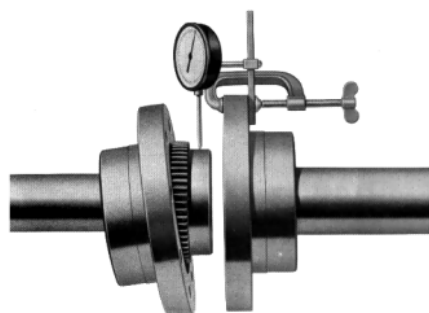
### 3.4.3 Termografia

Segundo Pacholok (2004), a termografia pode ser uma ferramenta auxiliar a análise de vibração para a detecção de desalinhamento de eixos, contudo, com limitações para tal. Observou-se, segundo ele, não ser possível estabelecer uma escala confiável entre a geração de calor no elemento flexível do acoplamento e a amplitude do desalinhamento. Pacholok (2004) também comenta a grande limitação para uso dessa técnica na indústria se aplica na questão de que o acoplamento recebe mais calor do motor elétrico do que da geração de calor devido ao desalinhamento dos eixos. Somente se consegue resultados satisfatórios com essa técnica, quando os valores do desalinhamento forem muito elevados comparados com as recomendações de tolerâncias estipuladas para o acoplamento.

## 4 ALINHAMENTO

Alinhamos uma máquina à outra, considerando uma delas como referência, ou seja, que já esteja na posição de trabalho conforme projeto. Instalamos dispositivos simples e provisórios para deslocar o motor na lateral, vertical e axial, de acordo com a correção exigida. O fator principal para quem executa o alinhamento, é a calma e o raciocínio espacial, mesmo em trabalho de emergência. Estes fatores observados darão melhores resultados que a correria por tentativa. Consideramos um bom alinhamento, quando se consegue precisão entre 0,03 e 0,05 m. O método de alinhamento aqui descrito refere-se à máquinas frias, isto é, em que a temperatura de trabalho não exceda em 10°C a temperatura na qual o acoplamento foi alinhado. Em máquinas quentes, deve-se fazer uma verificação após atingir a temperatura de trabalho, para observar o comportamento da máquina, e se necessário fazer-se a correção pelo mesmo método. Nestes casos, os fabricantes podem fornecer instruções específicas para a máquina, por conhecerem o seu comportamento através de experiência, ensaio e cálculo. Muitas vezes, as temperaturas consideradas no projeto, são diferentes das temperaturas realmente observadas nas condições de operação das máquinas, necessitando recalcular as dilatações, mudando o padrão de alinhamento a frio.

Figura 12 – Ilustração do uso de um relógio comparador



Fonte: SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão).

## 4.1 Equipamentos e acessórios

### 4.1.1 - Dispositivos

- Suporte para colocação de relógios (braçadeiras). Dispositivo construído de acordo com as formas, tamanho e local a ser instalado. Deve ser o mais rígido possível.
- Suporte universal com base magnética. Dispositivo padronizado de fácil instalação, boa rigidez e versatilidade.
- Suporte universal flexível com base magnética. Dispositivo padronizado de fácil instalação, permite mudança rápida de posição, porém, deve-se atentar muito para as condições das articulações.

### 4.1.2 Relógios comparadores

- Dos vários tipos existentes, são mais usados os de cursor e os de apalpador. A precisão varia entre 0,01 e 0,001 m, sendo normalmente usado o de 0,01 m.
- O relógio tipo cursor é usado tanto na radial como na axial, com curso normalmente de 10 m.
- O tipo apalpador tem curso normalmente de 1mm, o que limita sua aplicação. Tem a vantagem de facilitar o posicionamento, para as leituras axiais.

### 4.1.3 Ferramentas

- bloco padrão,
- apalpador de folga,
- micrômetro,
- paquímetro,
- nível de precisão,

- alavanca para giro dos eixos (de corrente ou lona),
- lanterna,
- espelho,
- chaves de aperto,
- torquímetro.

## **4.2 Variáveis de alinhamento**

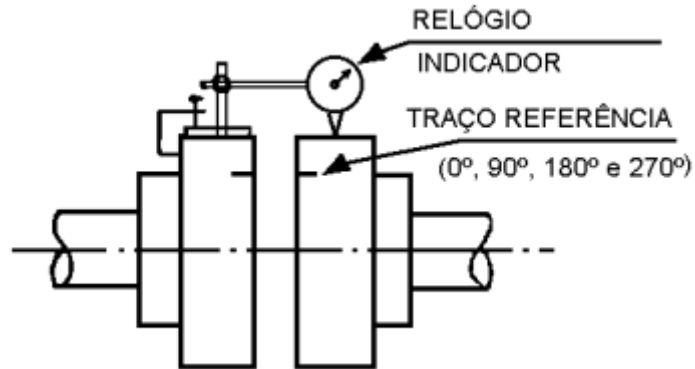
Como auxílio didático, trataremos do alinhamento como sendo executado entre motores e redutores. Alguns itens devem ser observados no alinhamento, para garantir a qualidade do mesmo. Antes de iniciarmos a leitura, verificamos: Nivelamento e alinhamento da base do motor e redutor, ovalização dos acoplamentos, empenamento dos eixos, folga axial do eixo do motor e do redutor, rigidez dos dispositivos de deslocação (macaquinhos), rigidez do suporte dos relógios, condição dos relógios comparadores (movimento livre do cursor e deslocamento contínuo do ponteiro), paralelismo dos calços finos na espessura, cotas dimensionais dos círculos descritos pelas pontas dos cursores e distâncias entre os furos da base do motor e centro vertical da face do acoplamento, torque correto dos parafusos de fixação do motor e do redutor.

## **4.3 Métodos usados**

### **4.3.1 - Relógio comparador**

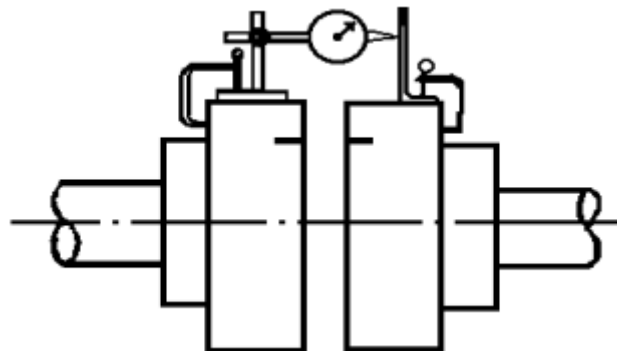
O alinhamento com relógio comparador deve ser executado em função da precisão exigida para o equipamento, à rotação e importância no processo. Para a verificação do alinhamento Paralelo e Angular devemos posicionar o relógio com a base magnética sempre apoiada na parte do motor. Já o sensor do relógio para alinhamento Paralelo, deve ser posicionado perpendicularmente ao acoplamento da parte acionada, enquanto que, no alinhamento Angular, o sensor deve estar posicionado axialmente em relação ao seu eixo. As figuras 13 e 14 mostram o uso do relógio comparador no alinhamento paralelo e angular respectivamente.

Figura 13 – Alinhamento paralelo com relógio comparador



Fonte: SENAI / CST.

Figura 14 – Alinhamento angular com relógio comparador



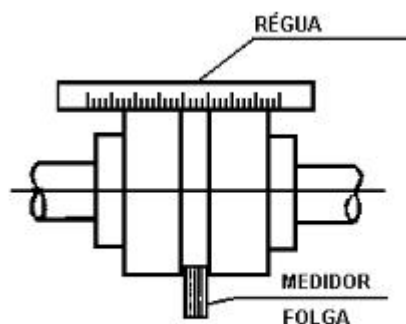
Fonte: SENAI / CST.

#### 4.3.2 Régua e calibrador de folga

O alinhamento com régua e calibrador de folga deve ser executado em equipamento de baixa rotação e com acoplamento de grandes diâmetros e em casos que exijam urgência de manutenção.



Figura 15 – Alinhamento com régua e calibrador de folga



Fonte: SENAI / CST.

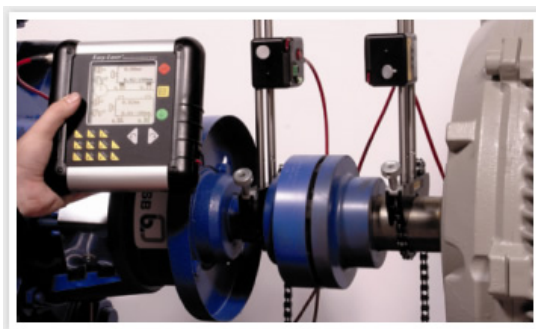
Para obter o alinhamento correto tomamos as leituras, observando sempre os mesmos traços referenciais em ambas as metades do acoplamento, em 4 posições defasadas de  $90^\circ$ . O alinhamento paralelo é conseguido, quando a régua se mantiver nivelada com as duas metades nas 4 posições ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$ ). O alinhamento angular é obtido, quando o medidor de folga mostrar a mesma espessura nas 4 posições ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$ ), observando, sempre, a concordância entre os traços de referência.

#### 4.3.3 Alinhamento a laser

O alinhamento a laser é o melhor método utilizado para alinhar eixos acoplados, oferecendo uma grande superioridade técnica em todos os níveis face aos métodos tradicionais como o de relógios comparadores. A precisão chega a ser dez vezes maior, eliminando erros sistemáticos e leituras inconsistentes, resultando maior confiabilidade e rapidez no alinhamento (MGS, 2009). Esse método se baseia em emissor e receptor de feixe laser. O sistema laser executa medidas da posição angular e paralela do eixo através da emissão de um laser pelo transdutor (parte fixa) para o prisma (parte móvel). Esse sistema de alinhamento consiste na utilização de duas unidades, sendo uma emissora e a outra receptora do feixe laser. Os sensores são ligados a um microcomputador portátil da classe palmtop, por meio de cabos ou por rádio frequência, que realiza os cálculos e orientações para correção do desalinhamento. Com isso, torna-se um método versátil e prático. Este método apresenta a limitação de uso em ambientes que possam provocar refração no feixe do laser, como por exemplo, próximo a uma turbina a vapor a qual gera

nuvens de condensado e sob a luz solar onde podem ocorrer interferências ou erros nas medições (PACHOLOK, 2004; OPMEC, 2010).

Figura 16 – Alinhamento a laser



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

Se compararmos os métodos podemos levar em consideração 3 variáveis: Velocidade, precisão e facilidade de uso. Para o relógio comparador temos boa precisão, porém teremos velocidade e facilidade de uso ruim. Para a régua teremos precisão ruim, porém teremos boas velocidades e facilidade de uso. O vencedor neste comparativo seria o alinhamento a laser, que levaria classificação boa nos três quesitos.

#### 4.4 Realizando um alinhamento

A realização de um bom alinhamento não depende, tão somente, de quem o faz, por isso, devemos observar, antes da execução do serviço, os itens abaixo:

- Nivelamento - esse processo é de grande importância, considerando que todas as dificuldades que possamos ter na realização do alinhamento final, terão origem na não observação desse detalhe. Por isso, devemos deixar os dois equipamentos o mais plano possível.
- Centralização - devemos, também, observar a centralização das funções que servirão de fixação dos equipamentos.

- Dispositivos de deslocamento - a instalação de dispositivos de deslocamento (macaquinhos) em posições estratégicas na base de assentamento servem para permitir maior precisão de deslocamento horizontal.

Observação: O alinhamento deverá ser realizado, preferencialmente, sem os parafusos de fechamento do acoplamento.

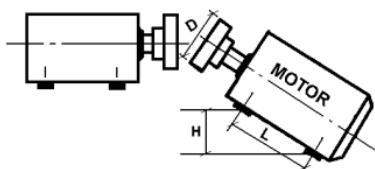
Para que se realize a correção do alinhamento, com rapidez e qualidade, é recomendável que seja executada na seguinte sequência prática:

- Correção do Angular Vertical;
- Correção do Paralelo Vertical;
- Correção do Angular Horizontal;
- Correção do Paralelo Horizontal.

#### 4.4.1 Alinhamento Angular com relógio comparador

Suponhamos que o conjunto de acionamento com desalinhamento angular seja da figura 17.

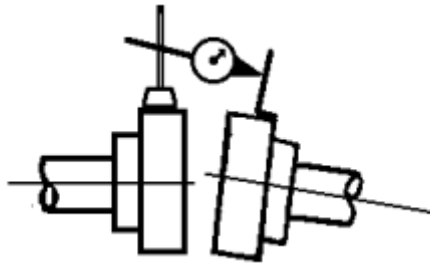
Figura 17 – Conjunto com desalinhamento angular



Fonte: SENAI / CST.

Instale o relógio como mostra a figura 18, certifique-se de que a sua base esteja firmemente posicionada após ter instalado o relógio, gire o seu dial até zerá-lo.

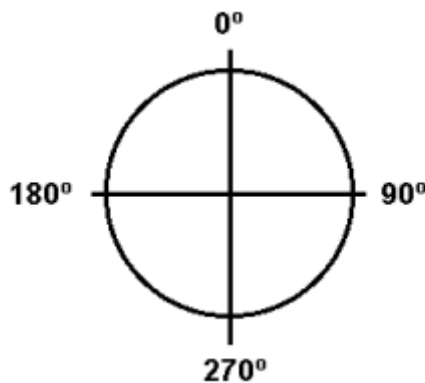
Figura 18 – Instalação do relógio comparador



Fonte: SENAI / CST.

Em seguida gire os dois eixos, simultaneamente, e leia as medidas nos pontos 0°, 90°, 180° e 270°, figura 19.

Figura 19 – Figura para registro de medidas



Fonte: SENAI / CST.

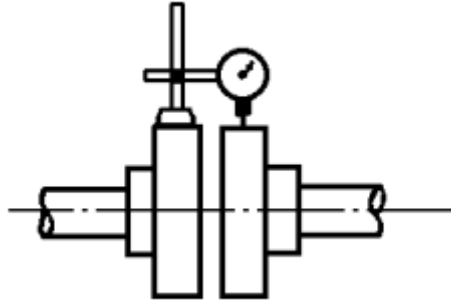
Analisando os registros, verifique em que posições se encontra o equipamento. Comparar os valores encontrados com a tolerância do acoplamento (tabela). Caso esteja desalinhado, aplicar esses valores na fórmula  $H = (X.L)/D$ , que veremos mais adiante. Esse cálculo permitirá que se determine os calços a serem colocados ou retirados no plano vertical dianteiro ou traseiro.

#### 4.4.2 Alinhamento radial com relógio comparador

Instale o relógio comparador, como mostra a figura 20, certificando-se de que a sua base esteja firme. Pressione a agulha do relógio no acoplamento e gire o “Dial”, até zerá-lo. Em seguida, gire ambos os acoplamentos, simultaneamente, e

faça as leituras nos pontos  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$  e registre todas as medidas levantadas no gráfico da figura 19.

Figura 20 – Instalação do relógio comparador

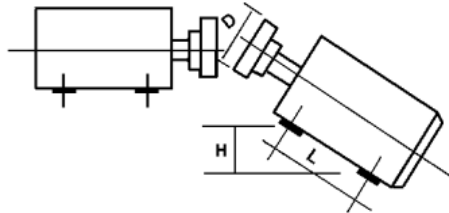


Fonte: SENAI / CST.

#### 4.4.3 Alinhamento Angular com régua e calibrador de folga

Suponhamos que o conjunto desalinhado seja o da figura 21.

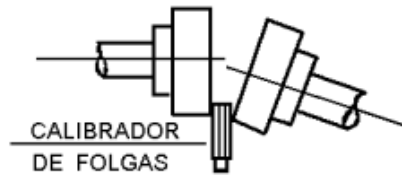
Figura 21 – Conjunto com desalinhamento angular



Fonte: SENAI / CST

Coloque o calibrador de folga entre as faces do acoplamento, como mostra a figura 22.

Figura 22 – Instalação do calibrador de folgas



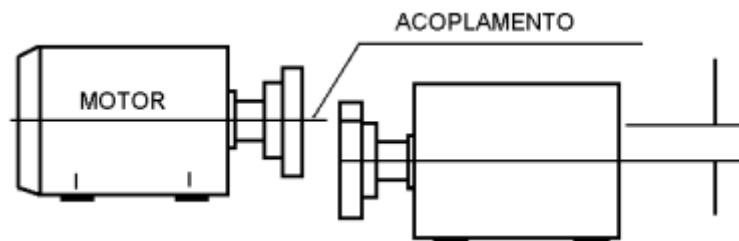
Fonte: SENAI / CST.

Retire as medidas nos seguintes pontos: 0°, 90°, 180° e 270° e registre as medidas no gráfico da figura 19. Analisando os registros, verifique em que posição se encontra o equipamento. Comparar os valores encontrados com as tolerâncias do acoplamento (tabela). Caso esteja desalinhado, aplicar esses valores na fórmula  $H = (X.L)/D$ , que veremos mais à frente. Esse cálculo permitirá que se determine o deslocamento no plano vertical, com a retirada ou colocação de calços (traseiros ou dianteiros), proporcionando um alinhamento mais rápido.

#### 4.4.4 Alinhamento radial com régua e calibrador de folga

Suponhamos que o conjunto de acionamento com desalinhamento radial seja o da figura 23.

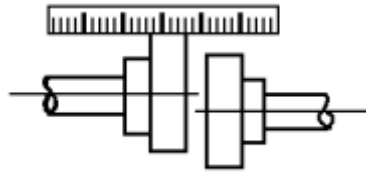
Figura 23 – Conjunto com desalinhamento radial



Fonte: SENAI / CST.

O primeiro passo será colocar a régua apoiada na metade mais alta do acoplamento (figura 24);

Figura 24 – Instalação da régua



Fonte: SENAI / CST.

O segundo passo será introduzir o calibrador no espaço entre a régua e a metade do acoplamento mais baixa. A medida lida corresponde à espessura dos calços no plano vertical ou o deslocamento no plano horizontal.

#### 4.5 Fórmula para calço

Esta fórmula foi desenvolvida para auxiliar na correção do alinhamento angular.  $H = (X.L)/D$  , onde:

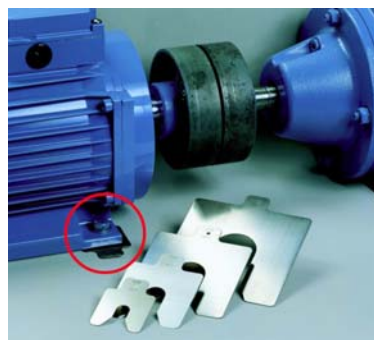
H = espessura do calço

X = leitura dada pelo relógio ou calibrador de folga

L = distância entre centro do acoplamento e os pontos de fixação do equipamento.

D = diâmetro da circunferência descrita pela ponta do relógio

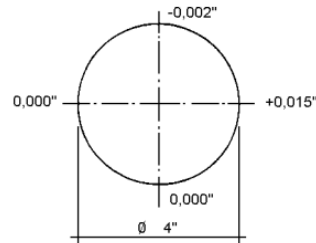
Figura 25 – Exemplo de calços



Fonte: <http://www.laseralign.com.ar/>.

Vamos usar como exemplo as seguintes leituras da figura 26:

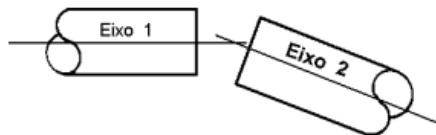
Figura 26 – Leituras de desalinhamento



Fonte: SENAI / CST.

Na vertical teremos o seguinte aspecto:

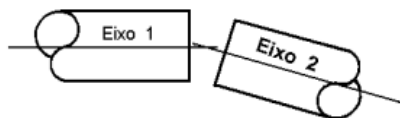
Figura 27 – Aspecto vertical do desalinhamento



Fonte: SENAI / CST.

Na horizontal o seguinte aspecto:

Figura 28 – Aspecto horizontal do desalinhamento



Fonte: SENAI / CST

A correção do axial vertical será feita introduzindo-se um calço H e H1 nas sapatas B,C e AD respectivamente:

$$H = (X.L)/D = (0,002".50")/4"$$

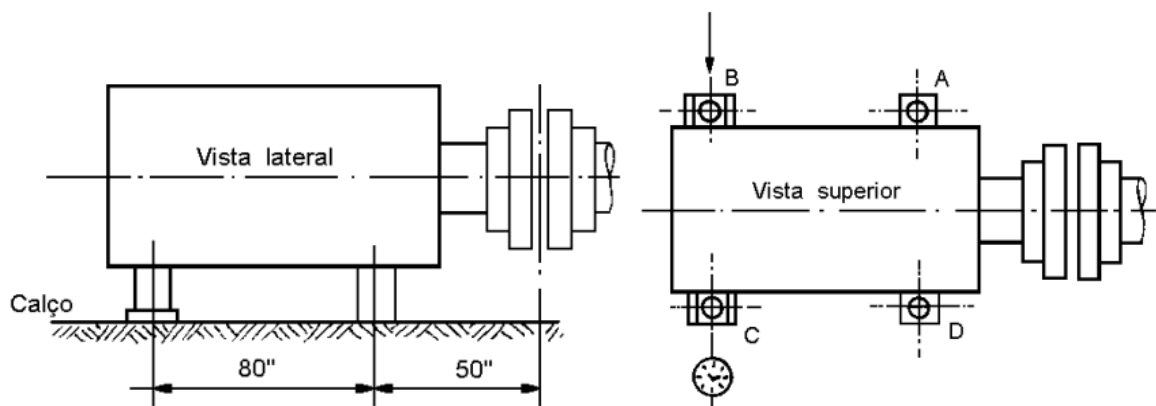
$$H = 0,025"$$



$$H1 = (0,002" \cdot 130") / 4"$$

$$H1 = 0,065"$$

Figura 29 – Vistas lateral e superior do conjunto



Fonte: SENAI / CST.

A correção do axial horizontal será obtida empurrando-se a máquina no sentido da sapata B pela sapata C por intermédio dos parafusos “macaquinhos” ou qualquer outro recurso.

#### 4.6 Sequências de operações

Os procedimentos abaixo descreverão uma rotina lógica de operação.

- Limpar a base da bomba.
- Com o pé da bomba solto, fixar o adaptador ao corpo espiral, apertando os estojos cruzados com o torque recomendado pelo fabricante.
- A fixação do pé da bomba deverá ser executada com auxílio do relógio comparador, apoiando a base magnética em um ponto fixo e o sensor na posição vertical superior do acoplamento, conforme figura. Pressione o sensor e ajuste o “Dial” na posição “0”.

Com o aperto do pé da bomba, o ponteiro não deverá alterar sua posição inicial. Caso ocorra, proceder à correção, através da colocação de calços, até normalizar essa diferença.

– Retire todos os calços do motor elétrico sobre a base e faça uma limpeza. No caso de base nova, remova a tinta de proteção.

– Posicione o motor, colocando-o mais próximo possível da folga axial desejada entre os cubos (consultar tabela para tipo de acoplamento). Procure fixar os parafusos da base do motor com o mesmo torque, colocando a base do relógio em um ponto fixo e o sensor na parte superior do pé do motor (o mais próximo possível do parafuso de fixação) para verificar se há algum apoio falso. Caso haja, deverá ser corrigido, colocando-se calços na medida indicada pelo relógio.

– Instalar e posicionar relógios para leituras de desalinhamento radial e angular.

Observação: A base do relógio ou dispositivo deve estar fixada no eixo do condutor (motor) de referência, a 180° um do outro, o que facilitará o acompanhamento da leitura.

– Trave os cubos para que girem simultaneamente.

– Dê uma ou mais voltas completas no acoplamento, até que sejam definidas as diferenças encontradas.

– Corrija primeiro, a diferença angular vertical, colocando calços onde for necessário. Use a fórmula  $H = (X.L)/D$ , paralelo a isso corrija, também, o radial vertical, através dos calços.

– Aperte todos os parafusos de fixação do equipamento e faça nova leitura, certificando-se de que atingiu os valores desejados.

Corrija o angular horizontal, utilizando a fórmula  $H = (X.L)/D$

– Faça leitura do desalinhamento radial horizontal.

Observação: Se vocês estiverem usando um relógio Centesimal e se o ponteiro der, a partir do “0”, um deslocamento anti-horário a 180°, significa que o motor está mais baixo e vocês devem colocar calços no valor da metade da leitura.

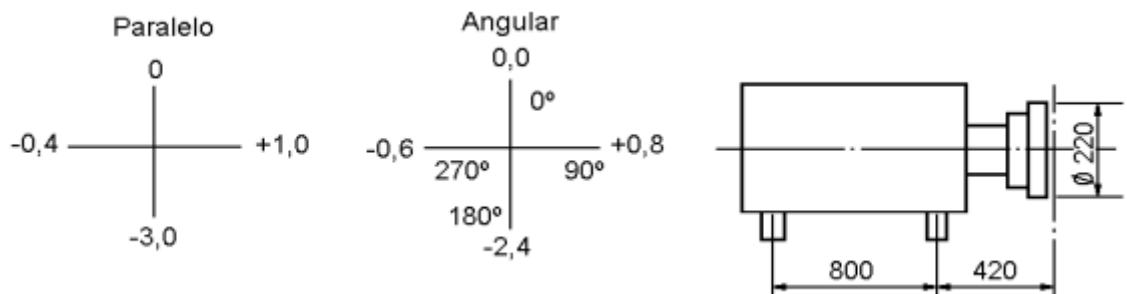
– Torne a apertar todos os parafusos de fixação e faça nova leitura, encontrando os valores desejados. Dê como concluído o alinhamento.

– Coloque os elementos de transmissão, lubrifique (se necessário), feche o acoplamento e proteção.

#### 4.7 Interpretação do relógio

A seguir será mostrado como interpretar as leituras obtidas. Toda vez que a haste do relógio for pressionada, o relógio indicará leituras positivas, e quando a mesma for distendida, indicará leituras negativas. Analisando as leituras encontradas na figura 30 abaixo, para corrigir o desalinhamento, deveremos proceder da seguinte forma:

Figura 30 – Leituras de desalinhamento do conjunto



Fonte: SENAI / CST.

Angular vertical = 0; -2,4

Utilizando a fórmula  $H = (X.L)/D$ , e considerando D como  $\varnothing 220\text{mm}$ , teremos:

$$H = (2,4 \cdot 420) / 220$$

$$H = 4,58\text{mm}$$

$$H1 = (2,4 \cdot 1220) / 220$$

$$H1 = 13,3\text{mm}$$

Como na posição 180° a leitura deu negativa, indicando que o acoplamento está “aberto” embaixo e o motor está mais baixo, como mostra o paralelo vertical, é conveniente levantar a dianteira em 4,58mm.

$$\text{Paralelo vertical} = 0; -3,0$$

$$-3,0 / 2 = 1,5$$

Como a leitura deu negativo, a haste foi distendida, portanto o motor está abaixo. Devemos levantá-lo por igual em 1,5mm.

$$\text{Angular horizontal} : 0,8; -0,6$$

Na posição 90° a leitura foi de +0,8 indicando “fechado”, em 270° com a leitura de -0,6 temos indicação de “aberto”. Portanto, devemos deslocar a traseira no sentido 90° para 270°, ou a dianteira no sentido contrário.

$$\text{Paralelo horizontal: } 1,0; -0,4$$

$$1,0 + (-0,4) = 1,4 \text{ em módulo.}$$

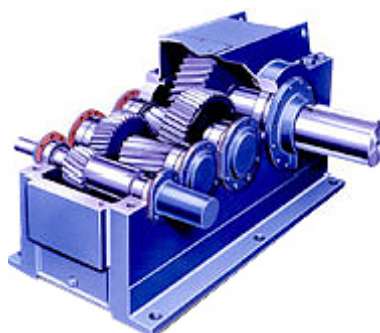
$$1,4 \div 2 = 0,7$$

Como a medida maior foi positiva e está em 90°, isto indica que a haste foi pressionada nesta posição. Devemos então deslocar o motor em 0,7mm para 90°.

## 5 REDUTORES

Redutor de velocidade é um dispositivo mecânico que reduz a velocidade (rotação) de um acionador. Seus principais componentes são basicamente: Eixos de entrada e saída, rolamentos, engrenagens e carcaça. O redutor de velocidade é utilizado quando é necessária a adequação da rotação do acionador para a rotação requerida no dispositivo a ser acionado. Devido às leis da física, quando há redução da rotação, aumenta-se o torque disponível. Existem diversos tipos e configurações de redutores de velocidade, sendo os mais comuns os redutores de velocidade por engrenagens.

Figura 31 – Caixa de engrenagem redutora



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

O mesmo procedimento deverá ser empregado para alinhamento de redutores, conforme descrição anterior, na seção 3.6. Quando não dispomos da tolerância máxima de desalinhamento permissível do acoplamento, devemos utilizar as seguintes fórmulas práticas:

$$\text{Angular} = (2.Lc \text{ eixo até à ponta do relógio})/1000$$

$$\text{Paralelo} = (2.Lc \text{ eixo até à ponta do relógio})/2000$$

Ao executarmos um alinhamento em equipamentos acionados por turbina, o alinhamento final deverá ser feito estando a na temperatura de operação. Se isso for impossível, dever-se-á prever uma folga entre a altura da turbina e o eixo, quando a turbina estiver fria. Além disso, se a bomba deve recalcar líquidos quentes, deve-se prever um folga na cota do eixo para a expansão da bomba. Em quaisquer circunstâncias, o alinhamento deverá ser verificado quando a unidade estiver na

temperatura de operação, e será ajustado, se necessário, antes de se colocar a bomba realmente em serviço. Para acionamento mediante motores elétricos não é necessária a previsão de uma folga em virtude do aquecimento.

## 6 ALINHAMENTO DE MÁQUINAS QUENTES

Equipamentos que operam em temperaturas significativamente superiores, em relação às condições de partida, provocam alterações de posição dos acoplamentos de transmissão. Nestes casos, é preciso conhecer tais deslocamentos, de modo a compensá-los durante o alinhamento a frio, para que os eixos fiquem corretamente alinhados à quente. Equipamentos que operam com temperaturas superiores a 10°C das condições nas quais os eixos foram alinhados necessitam de correção de posição para alinhamento a frio, compensando as dilatações. Além das temperaturas reais de operação, temos que conhecer os possíveis pontos de guia, das carcaças dos equipamentos a serem alinhados. Pontos de guia limitam o deslocamento da estrutura, em determinadas direções, e isto influenciará na cota considerada para o cálculo das dilatações verticais e horizontais.

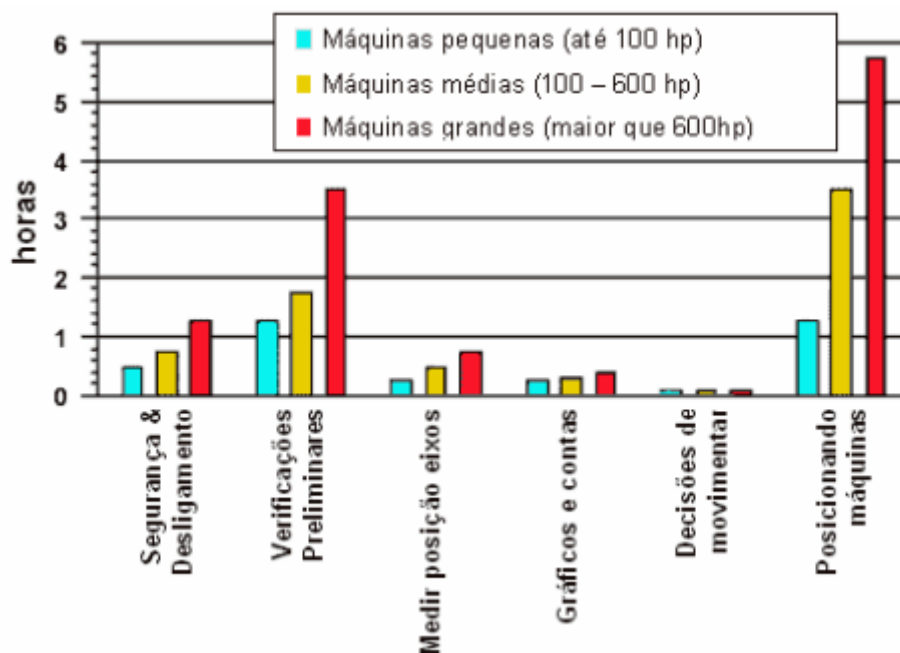
### 6.1 Tempo necessário para o alinhamento

Mas quanto tempo será que leva cada passo do procedimento de alinhamento? São oito os passos básicos para o trabalho total de alinhamento:

1. Preparação – ferramentas, pessoas, treinamento.
2. Obter informações relevantes sobre as máquinas a serem alinhadas. São necessárias ferramentas especiais para medir o alinhamento ou reposicionamento das máquinas? As máquinas se movem da posição *off-line* para condições de operação? Se sim, quanto e... você tem que desalinhá-las propositalmente de modo que elas se movam para a posição de alinhamento quando estiverem em operação normal?
3. Antes de você começar o trabalho em uma máquina lembre-se... Segurança em primeiro lugar! Identifique e desligue a máquina.
4. Verificações preliminares: “*runout*”, pé manco (*soft foot*), acoplamento está OK, mancais OK?, fundação OK?, base (skid) OK?. A tubulação está forçando a máquina?

5. Meça a posição dos eixos. Eles estão dentro das tolerâncias de alinhamento aceitáveis?
6. Decida quem necessita ser movida (qual a maneira e quanto) e então fisicamente reposicione a(s) máquina(s) verticalmente, lateralmente e axialmente. Depois que você tiver feito um movimento, volte ao passo 5 e verifique para ver se as máquinas realmente foram movimentadas do modo que você esperava que fossem.
7. Instale o acoplamento e verifique se o equipamento acionado roda livre. Instale a proteção do acoplamento.
8. Rode a máquina e faça as verificações necessárias.

Figura 32 - Tempo estimado para executar os passos de alinhamento



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

O gráfico da acima mostra o tempo médio total que leva para fazer os passos de 2 a 8, levando em consideração o tamanho( potência em Hp) do equipamento. O passo 1 não está no gráfico desde que procurar todas as ferramentas necessárias e



treinar todos que estão envolvidos pode levar um tempo considerável. Como pode se ver, os dois maiores tempos consumidos nas tarefas de alinhamento são: executar as verificações de integridade mecânica e movimentar as máquinas para alinhar os eixos. Não é de todo incomum para um alinhamento preciso levar de 3 a 8 horas, assumindo que tudo esteja certo.

Alguns itens devem ser observados caso se queira otimizar o tempo gasto com o alinhamento. Em primeiro lugar, as pessoas que são “alinhadores” de máquinas devem conhecer o que eles estão fazendo e ter uma meta para alcançar. Eles também necessitam acessar todas as ferramentas necessárias para executar o trabalho e as ferramentas devem estar funcionando perfeitamente. Se sua empresa comprou um sistema de medição de alinhamento caro que permanece trancado em um armário, ele não valerá nada se não puder ser usado quando necessitarem dele. É também importante ter um sistema de alinhamento que possa lhe fornecer, com alternativa de movimento, soluções quando reposicionar as máquinas. A chave para o sucesso no alinhamento de máquinas vem da habilidade de se chegar a solução que é possível realizar e minimiza os movimentos requeridos no pé. Cálculos apurados do movimento necessário no pé da máquina são desnecessários se você não pode mover a máquina a quantidade que o sistema de alinhamento está lhe pedindo.

## **6.2 Frequência**

Como mencionado previamente máquinas rotativas podem mover imediatamente depois de dada a partidas. Isso ocorre rapidamente e o(s) eixo(s) adotam como que uma posição permanente após a estabilização da condição térmica ou do processo ser estabilizada (qualquer coisa entre 2 horas e 1 semana dependendo do caso). Entretanto há variações mais vagarosas e mais sutis que ocorrem em longos períodos de tempo. As máquinas mudarão vagarosamente a sua posição do mesmo modo que a sua entrada de garagem fica saliente ou a fundação do seu prédio trinca. A acomodação do solo sob a maquina pode causar movimento de toda a fundação. Tanto quanto as fundações se movam vagarosamente, as tubulações conectadas exercerão esforços sobre os equipamentos causando modificações no alinhamento. Variações sazonais de temperatura causarão

variações também no concreto, base metálica, tubulações e dutos seja expandindo-os ou contraindo-os. É recomendável que em equipamentos recém instalados (novos) seja feita verificação quanto a mudanças no alinhamento de 3 a 6 meses após a entrada em operação. Baseado no que for encontrado durante a primeira ou segunda verificação do alinhamento, adeque a sua inspeção para o melhor ajuste para do trem de máquinas. Em média, alinhamento de eixos em todos os equipamentos deveria ser verificado, anualmente.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como podemos ver, o correto alinhamento de uma máquina traz inúmeros benefícios para a mesma. Não importa o método que se use, o alinhamento deve ser levado a sério em todos os setores industriais, inclusive na navegação, onde encontramos muitos maquinários com eixos rotativos. O próprio eixo principal do navio não deve ser esquecido, uma vez que o desalinhamento, como vimos, provoca um uso de energia desnecessário e conseqüente consumo de combustível extra.

Sabemos, porém que muitas vezes a manutenção preditiva é esquecida e pouco se preocupa com os testes que poderiam indicar um desalinhamento. Os gastos com a preditiva/preventiva podem ser altos no início, porém poupam um gasto mais alto com a corretiva no futuro.

Cabe a cada um, no seu cargo e empresa, tentar mudar esta visão que temos, de se consertar quando quebrar. Temos que prevenir a manutenção corretiva e sempre checar a condição do equipamento periodicamente em funcionamento. A termografia, análise de vibrações e de óleo são exemplos dado de preventivo-preditiva que devemos usar não somente em máquinas rotativas, mas em todos os equipamentos que se faça necessário.

Lembre-se que um bom alinhamento exige paciência e prática, e que a vida útil do equipamento será prolongada quão mais perfeito for o alinhamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PACHOLOK, M. **Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos de máquinas rotativas**: uma ferramenta auxiliar à análise de vibrações. 2004. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Disponível em < <http://www.biblioteca.pucpr.br/>>. Acesso em: abr. 2014.
- PIOTROWSKY, J. **A Importância de alinhamento entre eixos**. 2010. Disponível em: <<http://www.tecem.com.br/>>. Acesso em: abr. 2014.
- SENAI. **Alinhamento de máquinas rotativas**. 1997. Espírito Santo. Disponível em: < <http://icando.com.br/livros/apostilas/>>. Acesso em: abr. 2014.
- CABRAL et al. **Efeitos do desalinhamento em transmissão de potência motor-bomba**. 2005. Disponível em: <<http://www.dem.feis.unesp.br/>>. Acesso em: mar. 2014.
- CESP – Companhia de Energia de São Paulo. Instruções de Manutenção. Disponível em: <<http://intranet.cesp.com.br/>>. Acesso em: maio 2014.
- HINES et al. **Desalinhamento de eixos reduz a vida dos rolamentos**. 1998. Artigo. Disponível em: <<http://w.mt-online.com>>. Acesso em: abr. 2014.
- MELQUESEDEQUE, M. AC. **Identificação de falhas em sistemas rotativos empregando técnicas não-lineares**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://w.ebah.com.br/>>. Acesso em maio de 2011.