

ANA LUCIA RODRIGUES DE MORAES CHEQUER

**SISTEMA DE DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES  
EM ANÉIS DE ROLAMENTOS  
PELO MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico.

São Paulo

1994

ANA LUCIA RODRIGUES DE MORAES CHEQUER

**SISTEMA DE DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADES  
EM ANÉIS DE ROLAMENTOS  
PELO MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Trabalho apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Engenheiro Mecânico.

Área de Concentração:  
Ensaio Não Destrutivo

Orientador: Nicola Getschko

São Paulo

1994

## SUMÁRIO

	<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Apresentação do Problema</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Estabelecimento da Necessidade</b>	<b>4</b>
3.1.	Descontinuidades e Trincas	5
3.2.	Por que detectar trincas ?	7
<b>4.</b>	<b>Síntese de Soluções</b>	<b>7</b>
4.1.	Métodos de Inspeção de Descontinuidades	7
4.1.1.	Inspeção por Líquido Penetrante	8
4.1.2.	Inspeção por Correntes Parasitas	9
4.1.3.	Inspeção por Partículas Magnéticas	9
4.1.4.	Inspeção por Ultra-som	10
4.2.	Tabelas Comparativas	10
4.2.1.	Aplicabilidade dos métodos às necessidades	11
4.2.2.	Comparativo entre os métodos aplicáveis	12
<b>5.</b>	<b>O Método de Inspeção por Partículas Magnéticas</b>	<b>12</b>
5.1.	Princípio	12
5.2.	Magnetização	13
5.2.1.	Técnicas de Magnetização	15
5.2.2.	Direção dos Campos Magnéticos	15
5.2.3.	Intensidade do Campo Magnético	16
5.2.4.	Tipos de Corrente de Magnetização	16
5.3.	Tipos de Partículas Magnéticas	17
5.3.1.	Pós secos	18
5.3.2.	Partículas magnéticas em via úmida	19
5.3.3.	Líquidos Portantes	20
5.4.	Sequências de Operação	20
5.4.1.	Magnetização Contínua em Via Seca	21
5.4.2.	Magnetização Contínua em Via Úmida	21
5.5.	Desmagnetização	22
5.6.	Aplicação ao Projeto	25
<b>6.</b>	<b>Justificativa do Investimento</b>	<b>29</b>
<b>7.</b>	<b>Máquinas Detectoras de Trincas</b>	<b>29</b>
7.1.	Estudo Comparativo entre Máquinas Horizontais e Verticais	29
7.2.	Estudo Comparativo - Máquinas Verticais	33
<b>8.</b>	<b>Posto de Inspeção</b>	<b>40</b>
8.1.	Pesquisa em Ergonomia	40
8.1.1.	Definição das Variáveis	41
8.1.2.	Enfoque Ergonômico do Posto de Trabalho	44
8.1.2.1.	O Espaço de Trabalho	44
8.1.2.2.	Superfícies Horizontais	45
8.1.2.3.	Análise da Tarefa	48
8.1.2.4.	Dimensionamento do Espaço de Trabalho	49
8.2.	Requisitos Técnicos	50
8.2.1.	Iluminação	50
8.2.2.	Estudo de Tempos do Processo Existente	51

8.2.3.	Peças Inspeccionadas	52
8.3.	Concepção para o posto	52
9.	<b>Desmagnetização</b>	<b>55</b>
9.1.	Técnicas de Desmagnetização	55
9.2.	Equipamentos Propostos	56
9.3.	Verificação da Desmagnetização	59
10.	<b>Funcionamento do Sistema - Variáveis de Controle</b>	<b>60</b>
10.1.	Procedimento de Inspeção	60
10.2.	Acompanhamento do Equipamento	61
10.2.1.	Checagem quanto à quantidade de pó magnético em solução	61
10.2.2.	Checagem quanto aos contaminantes no banho	62
10.2.3.	Avaliação do desempenho do sistema quanto à sensibilidade	63
10.2.4.	Verificação do campo magnético	64
10.2.5.	Inspeção da iluminação	64
10.3.	O Ensaio, o Sistema de Qualidade e a ISO 9000	64
11.	<b>Conclusões</b>	<b>67</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>68</b>

## Resumo

O trabalho traz um estudo baseado na necessidade de implantar um sistema de ensaio não destrutivo para detecção de trincas em anéis numa fábrica de rolamentos.

É inicialmente apresentado um comparativo entre os métodos de ensaio existentes, apontando o Método por Partículas Magnéticas como o mais adequado à necessidade anteriormente apresentada.

Uma análise mais profunda deste ensaio leva à escolha da técnica de magnetização, do tipo de partículas magnéticas empregadas e da seqüência de trabalho, sendo a partir de então possível identificar as partes integrantes do sistema: uma máquina para umectação e magnetização de peças, um posto de inspeção visual, uma unidade desmagnetizadora e sistemas de transporte das peças entre as partes.

A escolha da máquina foi feita a partir de um comparativo entre as máquinas existentes no mercado, baseado em características técnicas como acabamento, segurança, operacionabilidade, compacidade, localização dos comandos e das bobinas indutoras, tanque e sistema de umectação, entre outros, além de aspectos econômicos.

Para a apresentação de uma concepção para o posto de inspeção visual, foi inicialmente realizado um estudo em ergonomia a fim de definir condições apropriadas de trabalho, haja vista à importância do fator humano na aprovação das peças. Requisitos técnicos referentes à iluminação, à condução e ao armazenamento também são colocados.

A desmagnetização é estudada quanto suas técnicas e são apresentados dois equipamentos propostos para este fim.

Ao final, o ensaio é analisado de uma forma global, visando definir o procedimento para acompanhamento do equipamento e controle das variáveis de influência no processo.

## 1.) INTRODUÇÃO

A intenção deste trabalho não é apenas apresentar uma solução para o problema da detecção de trincas em anéis de rolamentos. Ele traz mais que isto. Trata do problema, estudando-o em seus diferentes aspectos. Procura seguir uma metodologia clara e coerente e justificar cada decisão. O resultado está diluído nas afirmações do estudo apresentado a seguir.

## 2.) APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A empresa conta hoje com duas fábricas. A Fábrica I, localizada na cidade de São Paulo, é responsável pela fabricação de anéis e montagem de grande parte dos produtos. Na Fábrica II, localizada em Sorocaba, SP, têm-se a fabricação de corpos rolantes e a conformação. Em ambas, a estrutura está baseada em Unidades de Produção (UP's), cada uma responsável por um grupo de produtos semelhantes.

Movida pela necessidade de expansão de suas instalações e pela limitação de espaço em São Paulo, a empresa está aos poucos sendo transferida para a fábrica de Sorocaba. Inicialmente, a UP2 será transferida.

Ao contrário das máquinas operatrizes, que obedecem à divisão por UP's, o sistema de inspeção de descontinuidades em anéis é único, e utiliza-se do Método de Partículas Magnéticas. A figura abaixo mostra a posição da inspeção dentro da sequência de fabricação:

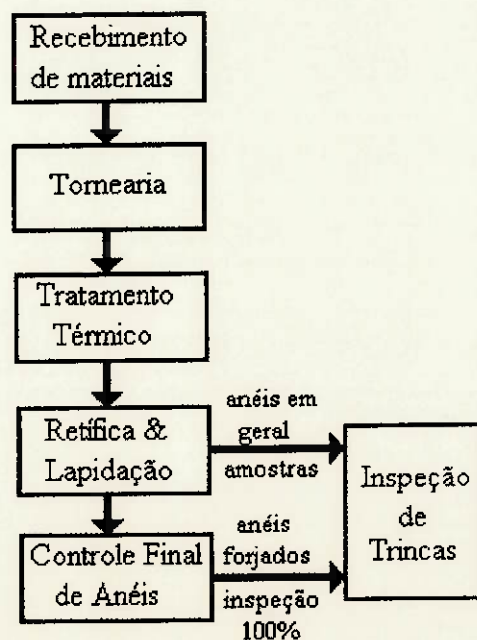


figura 2.1: localização da inspeção no processo

Surge então a necessidade de instalar um sistema de inspeção na Fábrica II, evitando que se tenha de transportar os anéis da UP2 até São Paulo, onde seriam inspecionados e então levados de volta a Sorocaba.

Em suma, o projeto em questão surge da necessidade de instalar um sistema de detecção de descontinuidades em anéis de rolamentos. Visto que a espessura dos anéis não ultrapassa 10 mm, o método escolhido deve possibilitar a detecção de defeitos superficiais e subsuperficiais até 5 mm de profundidade.

Anéis forjados e anéis de produtos de segurança, segundo normas da empresa, serão inspecionados em 100% do lote. Nestes produtos, incluem-se rolamentos de roda, que representam por volta de 10% do faturamento da empresa. Os demais produtos obedecem a um plano de amostragem, sendo geralmente tomado 10% do lote para inspeção. Vê-se portanto, que um grande número de peças será inspecionado, devendo o sistema apresentar facilidade de operação e produtividade tal que não seja comprometida a produtividade da linha.

### 3.) ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

#### 3.1.) Descontinuidades e Trincas

O termo descontinuidade é empregado quando a peça apresenta um vazio ou falta anormal de material, em sua superfície ou em seu interior. Estas podem aparecer sob a forma de trincas, poros, bolhas, pontos de corrosão, etc..

O termo trinca é aplicável a um tipo particular de descontinuidade, com aspecto típico de rachadura, resultante de ação violenta sobre a peça. Diferentes ações podem provocar trincas, entre elas:

- tensões internas provocadas pelo choque térmico de têmpera;
- tensões internas provocadas durante a retificação: quando há queima de peças, o processo é equivalente a um tratamento térmico brusco e anormal;
- tratamentos químicos com ácidos, como no caso de zincagem, cromeação, decapagem, quando o hidrogênio dos ácidos provoca micro-fissuras no material;
- esforços mecânicos, entre eles processos de conformação como o forjamento.

As peças forjadas estão especialmente sujeitas à presença de descontinuidades, podendo apresentar:

- trincas de forjamento, que ocorrem durante a deformação mecânica devido a falta de plasticidade decorrente de baixa temperatura de forjamento, excesso de segregação etc.;
- dobras, ou seja, porções de material sobrepostas e não caldeadas;
- trincas de flocos: trincas de pequeno comprimento causadas por acúmulo de hidrogênio em contornos de grão, rompendo-os.

### 3.2.) Por que detectar trincas ?

Não são permissíveis quaisquer trincas ou fissuras nos componentes dos rolamentos, visto que a propagação das mesmas podem ocasionar a quebra total do rolamento em serviço e inclusive do conjunto em que é utilizado. Estando sujeitos a esforços cíclicos, a propagação da trinca, de seu tamanho inicial a um comprimento crítico, dá-se por fadiga, levando à quebra do componente.

A falha por fadiga inclui três etapas: formação da trinca, propagação da mesma até um comprimento crítico e falha do componente. A vida de um rolamento é dada como o número de ciclos que o mesmo pode atingir sob determinada carga até que se manifeste o primeiro sinal de fadiga, como descascamento na pista de um de seus anéis. Este valor perde o sentido quando se tratam de rolamentos já trincados.

**Propagação de trincas:** A taxa de propagação da trinca, definida como a variação do comprimento em função do número de ciclos, é função da amplitude da intensidade da tensão atuante sobre o componente ( $\Delta K$ ), conforme a curva mostrada na figura 3.1.

Nesta, identifica-se três regiões:

- Região I: Para baixos valores de  $\Delta K$ , a taxa de propagação é quase inexistente;
- Região II: A partir de um determinado valor de  $\Delta K$ , a curva é linear, obedecendo à equação:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m ,$$

onde:  $da/dN$  é a taxa de propagação da trinca

$C$  e  $m$  são constantes do material.

- Região III: Acima de um valor crítico de  $\Delta K$ , a taxa aumenta e a fratura ocorre.

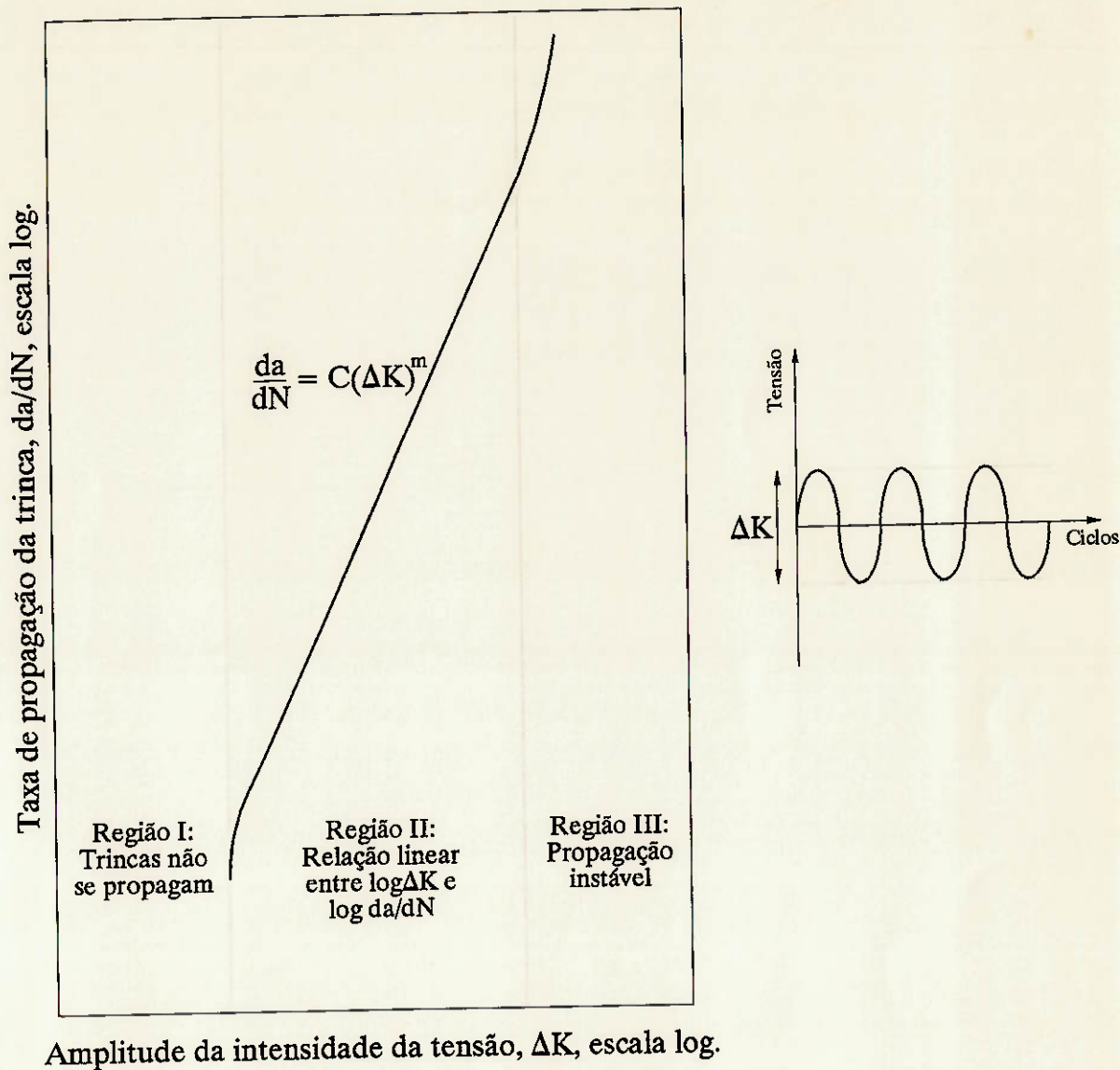


figura 3.1: propagação de trincas

É conveniente ressaltar que, acima de um determinado valor de  $\Delta K$ , haverá uma taxa de propagação que levará à fratura. Isto ocorrerá num prazo muito inferior à vida do rolamento, o que torna inadmissível a presença de trincas, e inegável a necessidade de detectá-las.

## 4.) SÍNTESE DE SOLUÇÕES

### 4.1.) Métodos de Inspeção de Descontinuidades

Serão a seguir apresentados os ensaios existentes para detecção de descontinuidades que não afetam a integridade das peças, ou seja, ensaios não destrutivos. O aprofundamento deste estudo será o suficiente para que se possa decidir pelo mais adequado à necessidade exposta nas seções anteriores.

#### 4.1.1.) Inspeção por Líquido Penetrante

Defeitos abertos à superfície, tais como trincas, poros etc. podem ser detectados por este método. Defeitos subsuperficiais não são detectáveis.

A utilização deste método não é limitada pelo tipo de material que constitui a peça, podendo ser aplicado a uma grande variedade de metais, plásticos, cerâmicos, ligas etc..

Os líquidos penetrantes são compostos de modo que tenham baixa viscosidade e possuem agentes que facilitam a penetração pelo interior dos defeitos. Contém ainda corantes e materiais fluorescentes que aumentam a visibilidade do defeito.

A técnica consiste na aplicação do líquido na superfície do material, onde é mantido por um certo espaço de tempo. O excesso é então removido utilizando-se água ou algum solvente específico. A superfície é seca e um revelador é aplicado. A função deste revelador é puxar o indicador de dentro da fissura para a camada de revelador imediatamente acima, tornando a indicação visível. A figura 4.1 ilustra o procedimento descrito.

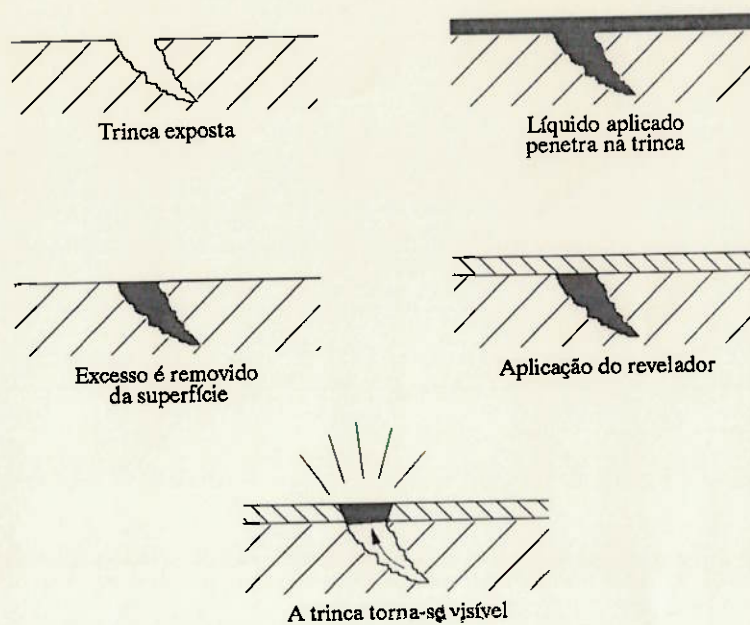


figura 4.1: inspeção por líquido penetrante

#### 4.1.2.) Inspeção por Correntes Parasitas

Esta técnica permite a detecção de defeitos superficiais ou subsuperficiais, em qualquer material metálico.

O método está baseado na indução de correntes parasitas no componente testado. Havendo descontinuidades, as correntes sofrem uma perturbação no seu fluxo. Através

de uma sonda que mede estas perturbações, pode-se obter um sinal evidenciando a presença da descontinuidade.

A magnitude da resposta depende de frequência e da amplitude da corrente, da condutividade elétrica do material e do tamanho, forma e orientação dos defeitos. Uma vez que o processo é sensível a muitas variáveis, a padronização do procedimento de teste é um pré-requisito para qualquer mudança de material ou geometria. O processo é ideal para o teste de um grande número de componentes que tenham material e geometria similar.

#### **4.1.3.) Inspeção por Partículas Magnéticas**

O Método de Partículas Magnéticas é aplicável à detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos.

O processo consiste na criação de um campo magnético no componente testado. Um meio, líquido ou pó, contendo partículas magnéticas contrastantes, é aplicado sobre a superfície. Indicações são formadas pela concentração de partículas na área sobre o defeito, causada pela atração exercida pelo campo de fuga gerado.

O método apresenta a vantagem de, com o mesmo equipamento, poder-se inspecionar peças com certas variações de tamanho.

#### **4.1.4.) Inspeção por Ultra-som**

O teste de ultra-som envolve a geração de ondas de som, geralmente por um cristal piezoelétrico junto à superfície de um meio líquido e posterior medição das características da onda.

O método é mais adequado à detecção de defeitos internos de tamanho tal que provoque uma perturbação no eco. Eventualmente podem ser detectadas descontinuidades superficiais de grande profundidade. A figura 4.2 ilustra o princípio do método.

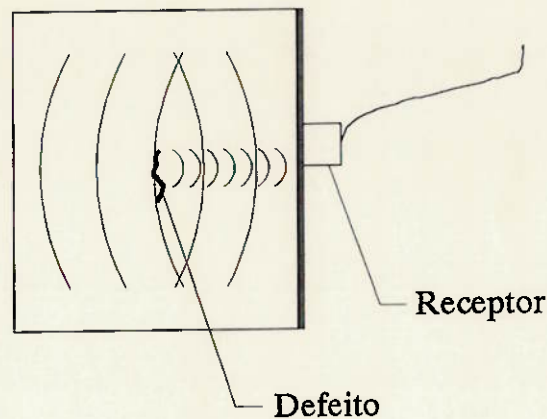


figura 4.2: inspeção por ultra-som

## 4.2.) Tabelas Comparativas

### 4.2.1.) Aplicabilidade dos métodos às necessidades

Método de inspeção	Aplicação
<b>Inspeção por Líquido Penetrante</b>	É apenas aplicável à detecção de defeitos superficiais, não atendendo às necessidades do projeto.
<b>Inspeção por Correntes Parasitas</b>	Aplicável à detecção de defeitos superficiais e subsuperficiais.
<b>Inspeção por Partículas Magnéticas</b>	Aplicável à detecção de defeitos superficiais e subsuperficiais.
<b>Inspeção por Ultra-som</b>	Mais adequado à detecção de defeitos internos.

#### 4.2.2.) Comparativo entre os métodos aplicáveis

Inspeção por Partículas Magnéticas	Inspeção por Correntes Parasitas
<p>A restrita aplicação a materiais ferromagnéticos não vem a ser uma restrição à sua utilização, uma vez que se enquadra ao material utilizado.</p> <p>O método permite a inspeção de peças de diferentes tamanhos e com relativa variação de forma, sem que se faça necessária qualquer adaptação ao equipamento.</p>	<p>Permite a inspeção em qualquer material metálico.</p> <p>O método exige um elevado grau de padronização, visto o grande número de fatores que influem nos resultados. Isto inviabiliza a inspeção nos anéis, dada a variedade de produtos. O método seria mais adequado à inspeção em corpos rolantes, onde seria possível a padronização.</p>

**Conclusão:** O Método por Partículas Magnéticas mostra-se o mais adequado às necessidades do sistema.

## 5.) O MÉTODO DE INSPEÇÃO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Nesta seção, o Método por Partículas Magnéticas (MPM) será descrito de forma mais detalhada. Deste modo, será possível identificar as partes que o sistema deverá conter e dividi-lo nos conjuntos necessários à sua execução.

### 5.1.) Princípio

O MPM está baseado no princípio segundo o qual as linhas de força de um campo magnético, quando presentes num material ferromagnético, serão distorcidas por uma mudança na continuidade do material. Se a descontinuidade é aberta para a superfície do material magnetizado, ou próxima a ela, as linhas de fluxo serão distorcidas na superfície, caracterizando uma condição de campo de fuga (*flux leakage*). Partículas magnéticas distribuídas sobre a superfície do material serão atraídas para a região onde este campo de fuga existir. Esta acumulação de partículas constituirá uma indicação da descontinuidade, que será visível sob condições apropriadas de iluminação.

Existem variações nos MPM's quanto ao tipo de equipamento, técnicas de magnetização, tipo de partícula magnética etc., mas todos baseiam-se neste princípio básico.

### 5.2.) Magnetização

Um material ferromagnético pode ser magnetizado não só pela passagem de uma corrente elétrica através do mesmo, mas também colocando o material em um campo magnético gerado por uma fonte externa.

Se uma descontinuidade estiver orientada paralelamente às linhas de força, ela será praticamente indetectável, uma vez que as linhas de força não serão interrompidas e a condição de campo de fuga não se caracterizará. Portanto, uma vez que descontinuidades podem aparecer em diferentes orientações, é usualmente necessário magnetizar a peça mais de uma vez para induzir linhas de força em direções adequadas à inspeção.

A intensidade das linhas é outro fator de grande importância. A intensidade do campo de fuga diminui conforme este se afasta da superfície. As linhas devem ser suficientemente fortes a fim de indicar as descontinuidades tidas como inaceitáveis. Por outro lado, as linhas de força não devem ser excessivamente fortes de modo que um excesso de partículas seja acumulado, mascarando indicações relevantes.

Daí resulta que, pelo método em questão, é possível a detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais, desde que estas últimas estejam localizadas a uma profundidade tal que o campo de fuga tenha força suficiente para acumular partículas.

**5.2.1.) Técnicas de Magnetização:** Uma peça pode ser magnetizada direta ou indiretamente. Na magnetização direta, a corrente de magnetização passa diretamente através do material, criando um campo magnético circular no mesmo. Com técnicas de magnetização indireta, um campo magnético é induzido no material, podendo ser circular, longitudinal ou multidirecional, dependendo da forma de indução. A escolha pela magnetização direta ou indireta dependerá de fatores como tamanho, facilidade do processo, configuração, entre outros.

- **Magnetização por Contato Direto:** Para a magnetização direta, deve ser efetuado contato físico entre o material ferromagnético e a corrente de magnetização. Isto pode ser obtido através do uso de cabeçotes, grampos, *prods* etc.. A escolha do método de

magnetização está vinculada à peça a ser magnetizada, sua forma e à extensão da área que se quer examinar.

A magnetização por contato direto permite que se localize a magnetização de regiões localizadas, sendo o método escolhido na inspeção de grandes componentes, como tubulações, barras, eixos etc.. Nestes casos, são utilizados *prods* em unidades móveis que garantem a portabilidade necessária para a inspeção de grandes áreas.

A magnetização por contato direto pode também ser utilizada na inspeção de pequenas peças, como no caso em questão. A peça manterá contato com dois cabeçotes, pelos quais a corrente é aplicada, gerando um campo circular. Neste caso, as peças são processadas em unidades fixas.

Podem ser apontadas vantagens e desvantagens desta técnica de magnetização aplicada a pequenas peças. As vantagens estão na facilidade de operação destas unidades, na grande sensibilidade a descontinuidades conseguida, no campo circular gerado que circundará todo o trajeto da corrente. A desvantagem é a possibilidade de queima por arco decorrente de condições impróprias de contato.

- Magnetização Indireta: A magnetização indireta envolve o uso de bobinas, *yokes* ou condutores centrais, a fim de induzir um campo magnético.

Pela utilização de bobinas, é possível a obtenção de um campo magnético longitudinal na peça, cuja intensidade será proporcional à corrente e inversamente proporcional à espessura da seção inspecionada.

Através da passagem de corrente por um condutor central, um campo magnético circular pode ser induzido em peças com furo, o que é aplicável ao objeto do presente estudo.

As vantagens da técnica de magnetização indireta relacionam-se ao fato de não haver contato elétrico, eliminando a possibilidade de arco. As desvantagens aparecem relacionadas ao tamanho dos condutores de modo que flua a corrente requerida, às

limitações de tamanho das peças e às múltiplas magnetizações que se possam fazer necessárias, entre outras.

**5.2.2.) Direção dos Campos Magnéticos:** Como já citado, descontinuidades orientadas paralelamente às linhas de força do campo magnético não são detectáveis. Faz-se então necessária a magnetização em duas ou mais direções, de forma a possibilitar a detecção de descontinuidades qualquer que seja sua orientação.

- Magnetização Circular é o termo utilizado quando uma corrente elétrica passa através da peça ou por um condutor central, induzindo um campo magnético circular perpendicular ao fluxo de corrente. As indicações detectáveis orientam-se perpendicularmente às linhas de campo, ou seja, longitudinalmente na peça.

- Magnetização Longitudinal é o termo utilizado quando a corrente passa por uma bobina, induzindo um campo paralelo ao eixo da mesma. As indicações orientadas perpendicularmente ao campo, ou seja, perpendiculares ao eixo da peça, serão detectáveis.

- Magnetização Multidirecional é o termo usado quando um campo magnético é gerado de forma a oscilar ou mover por entro da peça, de uma direção para outra, geralmente a 90°. Isto permite a detecção de descontinuidades em mais de uma direção.

De acordo com as características da peça a ser inspecionada, podem ser utilizadas combinações das técnicas acima. Para anéis de rolamento, é intuitivo que magnetizações circular e longitudinal sejam utilizadas para detecção de descontinuidades orientadas paralelamente e perpendicularmente ao eixo da peça, respectivamente.

**5.2.3.) Intensidade do Campo Magnético:** Para que se produzam indicações satisfatórias, o campo magnético deve ter intensidade suficiente. Para que as indicações

sejam consistentes, a intensidade do campo deve ser mantida dentro de limites. Forma, tamanho e material da peça, assim como a técnica de magnetização, são fatores que afetam a intensidade do campo magnético. Embora possam ser encontradas na literatura diretrizes para a determinação da intensidade nas diferentes técnicas, é sempre recomendável uma determinação experimental destes valores através do ensaio com padrões cujas descontinuidades já são conhecidas.

**5.2.4.) Tipos de Corrente de Magnetização:** Existem três tipos básicos de corrente usados na inspeção pelo MPM: corrente alternada (AC), retificada de meia-onda (HW) e retificada de onda completa (FWDC).

A indutância associada à corrente alternada resulta num efeito superficial, que confina o campo à superfície do material. Sua aplicação fica então restrita à detecção de descontinuidades abertas à superfície.

Por outro lado, as correntes retificadas produzem campos que têm máxima capacidade de penetração e são usadas quando a detecção de descontinuidades próximas à superfície também é objetivo da inspeção.

### **5.3.) Tipos de Partículas Magnéticas**

Existem vários tipos de partículas magnéticas disponíveis para uso na inspeção pelo MPM. As partículas magnéticas podem ser encontradas na forma de pós secos, fluorescentes ou não, pós concentrados fluorescentes ou não para suspensão em água ou óleo, massas fluidas ou dispersão de polímeros.

O tipo de partícula magnética dita a técnica a ser utilizada, e conseqüentemente a seqüência de operação, como será visto mais a frente.

Quando são utilizados pós secos, fala-se em inspeção em via seca. Se usados pós concentrados suspensos em um líquido portante, tem-se inspeção em via úmida.

Um estudo a respeito das propriedades das partículas magnéticas será apresentado a seguir, de forma que se possa distinguir as duas técnicas e verificar a maior adequação de uma delas.

As partículas usadas nas inspeções por via úmida e seca são basicamente materiais ferromagnéticos finamente divididos que foram tratados para receber cor, fluorescente ou não, a fim de torná-los contrastantes com o fundo da superfície examinada.

As partículas magnéticas geralmente apresentam duas propriedades básicas:

- alta permeabilidade, para garantir a facilidade de magnetização e atração pela descontinuidade;
- baixa retentividade, de modo que não sejam atraídas umas pelas outras, formando aglomerados magnéticos.

As partículas magnéticas observam ainda aspectos de segurança, oferecendo baixo risco com relação a flamabilidade e toxicidade.

**5.3.1.) Pós secos** são aplicados por *spray* ou lançados diretamente sobre a superfície. O seu uso acarreta altos custos uma vez que, embora as partículas possam ser recolhidas e reutilizadas, há risco de contaminação.

Pós secos podem ser utilizados sob condições ambientais extremas. Não são afetados pelo frio, podendo a inspeção ser realizada a temperaturas que solidificariam os banhos; são também resistentes ao calor, podendo ser utilizadas a temperaturas superiores a 300°C.

Pós magnéticos secos são aplicáveis à inspeção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais principalmente em grandes objetos, com o uso de equipamentos de magnetização portáteis, pela sua facilidade de aplicação.

Apresentam, no entanto, várias desvantagens:

- não são tão sensíveis a descontinuidades finas e pouco profundas quanto o pó usado em via úmida;
- a aplicação é difícil no caso de superfícies irregulares ou que necessitem ser integralmente cobertas;
- em alta produção, o processo é mais lento;
- a adaptação a sistemas automatizados é mais difícil.

Geralmente, os pós secos não são fluorescentes, sendo a inspeção realizada sob luz branca. Isto se deve a aspectos econômicos e às próprias condições de utilização do método, que tornam inviável a inspeção sob luz negra que se faria necessária.

**5.3.2.) Partículas magnéticas em via úmida** são suspensas em um líquido portante que pode ser água ou óleo, a uma certa concentração, constituindo um banho. Este é frequentemente usado em unidades fixas, retidos em reservatório e então recirculado para uso contínuo.

Uma vez que as partículas magnéticas em via úmida podem ser menores, a técnica permite a detecção de descontinuidades menores. Os líquidos portantes, no entanto, não podem trabalhar sob condições ambientais extremas.

As partículas magnéticas para via úmida também são encontradas em cores fluorescentes ou não. Partículas fluorescentes oferecem maior contraste, mas sua utilização requer instalações e condições adequadas: áreas fechadas e iluminação por luz negra.

A concentração dos banhos é um fator que exerce grande influência sobre os resultados. Esta deve ser verificada diariamente e mantida dentro dos limites recomendados pelo fabricante.

**5.3.3.) Líquidos Portantes:** Os meios de suspensão mais frequentemente usados são óleos de baixa viscosidade e água condicionada.

As vantagens do uso de meios oleosos estão na não necessidade de agentes condicionantes e na proteção contra corrosão proporcionada à peça e ao equipamento. A principal desvantagem é a flamabilidade.

Os óleos usados na inspeção por via úmida devem ter as seguintes características:

- baixa viscosidade, a fim de não impedir a mobilidade das partículas;
- mínimo ponto de fulgor de 60°C, a fim de minimizar riscos de incêndio;
- devem ser inodoros, a fim de não afetar o fator humano;
- não devem apresentar fluorescência inerente, quando do uso de partículas fluorescentes, a fim de não interferir nas indicações;
- não devem degradar as partículas em suspensão.

Meios aquosos podem ser usados como líquido portante, desde que sejam adicionados agentes que proporcionem condições adequadas à dispersão e proteção anti-corrosiva. A água pura não dispersa alguns tipos de partículas magnéticas, não umedece todas as superfícies, além de ser corrosiva. Por outro lado, suspensões aquosas são mais seguras, uma vez que não são inflamáveis. A seleção e concentração dos agentes condicionantes são recomendações de fabricante. As propriedades a serem atendidas pelos meios aquosos são:

- boas características de umedecimento;

- boa dispersabilidade, de modo que não existam aglomerados de partículas magnéticas;
- mínima formação de espuma, que interfere na formação de indicações;
- não ser corrosivo;
- baixa viscosidade;
- não apresentar fluorescência, quando do uso de partículas fluorescentes;
- não ser reativo, ou seja, não causar deterioração das partículas magnéticas;
- alcalinidade não deve exceder pH 10,5;
- ser inodoro.

Além do controle das características desejáveis do líquido portante, devem ser realizados periodicamente controles de contaminação do banho por sujeira, pigmentos perdidos, óleo, óxidos etc, e da durabilidade e integridade das partículas em suspensão.

Feitas as apresentações relativas a técnicas de magnetização, tipos de partículas magnéticas e veículos, torna-se claro que existem variações do método e que cada qual requer determinado equipamento e sequência de operação.

A técnica de inspeção mais comumente utilizada envolve magnetização contínua, podendo ser utilizados pós secos ou em via úmida. As sequências de operação, nestes dois casos, são diferentes, sendo tratadas a seguir:

#### **5.4.) Sequências de Operação**

**5.4.1.) Magnetização Contínua em Via Seca:** Posto que as partículas usadas em via seca são mais pesadas, estas perdem mobilidade quando entram em contato com a

superfície do material. Portanto, é imperativo que a peça esteja sob ação do campo magnético enquanto as partículas estiverem "no ar", livres para migrar para os campos de fuga. Isto quer dizer que a passagem de corrente deve ser iniciada antes da aplicação das partículas magnéticas e terminada depois que a aplicação do pó tenha sido completa. Pelas próprias características operacionais, este tipo de inspeção é utilizado na detecção de trincas de grandes componentes. Neste caso, são utilizados equipamentos de magnetização portáteis com *prods* ou *yokes* e pós não fluorescentes que possibilitam a inspeção sob luz branca.

**5.4.2.) Magnetização Contínua em Via Úmida:** Envolve a umectação da peça com o banho, a fim de prover a superfície de uma quantidade abundante de partículas magnéticas em suspensão. A aplicação do banho deve terminar simultaneamente com o início da passagem da corrente. Assim, não haverá aplicação do banho enquanto fluir a corrente de magnetização. A prática inversa pode causar a lavagem das indicações formadas.

Geralmente, são utilizadas unidades fixas que promovem a umectação e magnetização da peça, além da coleta e recirculação do banho.

As partículas podem ser fluorescentes ou não, dependendo da disponibilidade de iluminação e do contraste desejado, decorrente do grau de detecção que se quer alcançar.

### **5.5.) Desmagnetização**

Após a inspeção, o material encontrar-se-á magnetizado. Este magnetismo residual é indesejável na maioria das vezes, apesar de não afetar as propriedades mecânicas do

material. No entanto, são afetadas as condições de mobilidade em peças que tenham o movimento como função, as operações de instrumentos de medição sensíveis, as operações de fabricação subsequentes etc..

Faz-se então necessário o uso de **desmagnetizadores**, a fim de trazer o magnetismo residual a níveis aceitáveis para o produto.

Em geral, a desmagnetização é efetuada sujeitando o material a um campo igual ou maior que aquele usado para sua magnetização, e continuamente revertendo a direção do campo até trazê-lo aos valores aceitáveis.

### **5.6.) Aplicação ao Projeto**

Pode-se agora aplicar os conceitos vistos ao projeto, determinando as técnicas a serem utilizadas e, partindo de uma concepção global preliminar, chegar aos conjuntos que comporão o sistema.

Foi estabelecida a necessidade de detectar trincas nos anéis de rolamento. Pela análise dos métodos disponíveis, foi escolhido o Método por Partículas Magnéticas como o mais adequado para solucionar o problema.

A esta altura, algumas decisões já podem ser tomadas quanto às variações que o método apresenta, variações estas relativas às direções dos campos gerados e ao tipo de partícula magnética.

- Deverão ser gerados dois campos magnéticos: um campo longitudinal, para detecção de defeitos transversais, e outro circular, para detecção de defeitos longitudinais. A figura 5.1 ilustra este fato.

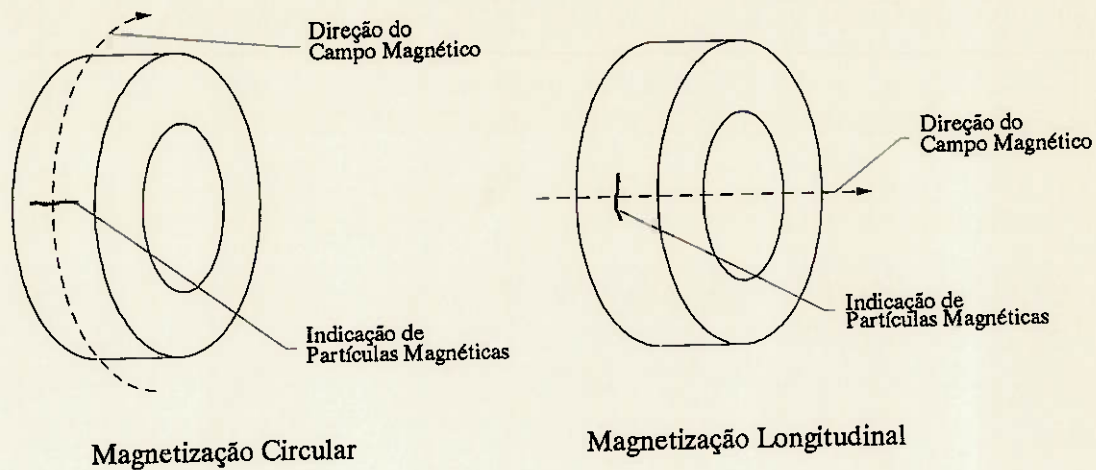


figura 5.1: direção dos campos magnéticos

- Será utilizada inspeção por via úmida, que garante que a peça será completamente coberta pelas partículas magnéticas. Desta forma, indicações poderão se formar em qualquer ponto da superfície da peça. Como visto, os pós magnéticos para via úmida apresentam maior sensibilidade, podendo detectar descontinuidades mais finas. Além da maior facilidade de operação, adequam-se à alta produção e são mais adaptáveis a sistemas automatizados.
- Serão utilizadas partículas fluorescentes, que fornecem maior contraste. Isto facilita a inspeção visual das peças. A necessidade de instalações adequadas para o posto de inspeção sob luz negra não vem a ser um problema, uma vez que não há uma grande limitação no espaço destinado à montagem do sistema.

Finalmente, chega-se a uma concepção geral do projeto, que deverá conter:

- uma unidade fixa, que realiza a umectação e magnetização das peças;
- um posto de controle visual para inspeção sob luz negra;
- uma unidade de desmagnetização, que reduza o magnetismo residual a níveis toleráveis;
- sistemas de alimentação e condução das peças por entre as partes acima.



## 6.) JUSTIFICATIVA DO INVESTIMENTO

Como visto, é inegável a necessidade de inspecionar a presença de descontinuidades em anéis de rolamentos.

Deve-se, no entanto, estudar a viabilidade econômica do projeto. O investimento na montagem de um novo sistema na Fábrica II deve ser justificável, visto que já existe um sistema para os mesmos fins na fábrica da capital.

A base do estudo está no fato de que a mudança de uma UP para Sorocaba traz a necessidade de inspecionar os anéis no sistema de São Paulo, o que acarretaria outros custos, como transporte e estoque de segurança. Ao final de 10 anos, tempo de depreciação do equipamento, os custos decorrentes da não instalação de um novo sistema devem superar, ou ao menos equilibrar o investimento realizado.

• **Peças:** Os produtos da UP2 são rolamentos de contato angular, como rolamentos de roda, rolamentos de embreagem, entre outros. Segundo os planos de inspeção da empresa, peças forjadas ou de segurança devem ser inspecionadas 100%. As demais são controladas por amostragem.

Através de listagens de produtos produzidos no ano de 1.993, chega-se aos seguintes valores:

total de produtos da UP2/ano: 5.232.221,

dos quais: 610.349 são rolamentos de roda (forjados e de segurança)

e 10.977 são outros rolamentos com anéis forjados.

total de anéis inspecionados/ano:

roda -> 3 anéis/rolamento (100%): 1.831.047

outros forjados -> 2 anéis/rolamento: 21.954

demais -> 2 anéis/rolamento, assumindo que 10% do lote é inspecionado:

922.179

total -> 2.775.180 anéis inspecionados por ano.

peso médio de 1 anel: 120 g

• **Custos:**

- Transporte: A inspeção em SP acarretaria custos relativos ao transporte das peças de Sorocaba até São Paulo.

O custo do frete do caminhão é:

ida (com carga): US\$ 125

volta (descarregado): US\$ 62,5

total -> US\$ 187,5 /viagem

A capacidade do caminhão é de 12 toneladas. Admite-se que este viaja normalmente com

50% de sua capacidade: 6 ton.

nº peças/viagem: 50.000

-> 56 viagens/ano

custo anual de transporte: US\$ 10.500

- Estoque de Segurança: Deve-se manter um estoque de peças que garanta a montagem durante aproximadamente 2 hora, caso se tenha problemas que atrasem a chegada das peças.

tempo médio de montagem: 1 min

2 h -> 120 rolamentos -> 240 anéis

O custo de estocagem é estimado na empresa como 8% do custo do material estocado.

custo médio de um anel: US\$ 1,00

estoque: 240 anéis em cada viagem

custo anual:  $8\% \times 240 \times 56$

custo anual de estocagem: US\$ 1.075,20

O custo anual devido à inspeção em São Paulo será US\$ 11.575,20. O investimento necessário para a montagem do novo sistema está estimado em US\$ 30.000. Vê-se, portanto, que ao final de 3 anos o investimento já é justificado.

Obs.:

- Os custos de pessoal se equivalem nos dois casos: enquanto a nova inspeção demanda dois funcionários, haverá uma menor carga sobre o sistema de São Paulo. Assim, funcionários excedentes poderão ser deslocados para outras tarefas.

- A empresa possui hoje dois equipamentos: um em funcionamento e outro quebrado. A reforma deste último foi orçada em US\$ 10.000. Estes equipamentos já possuem mais de 20 anos de uso. Frente às perspectivas de expansão e mudança da empresa, a renovação dos mesmos seria inevitável.

## 7.) MÁQUINAS DETECTORAS DE TRINCAS

As unidades fixas citadas quando da divisão do projeto em conjuntos são encontradas no mercado como *máquinas detectoras de trincas*, que realizam a umectação e magnetização das peças.

Estas máquinas são geralmente encontradas em duas diferentes configurações: verticais ou horizontais. Esta diferença construtiva reflete-se na facilidade de operação que pode ser encontrada num dos casos, nos métodos de magnetização e umectação etc., conforme consta do estudo realizado.

A 1ª parte do projeto consiste no processo decisório relativo à compra da máquina. Propostas de diferentes fabricantes, com diferentes configurações, foram analisadas a fim de escolher a mais adequada. O resultado desta análise é o estudo comparativo apresentado a seguir.

Inicialmente, foi feito um estudo comparativo entre máquinas horizontais e verticais, para então realizar a escolha do modelo da máquina.

### 7.1.) Estudo Comparativo entre Máquinas Horizontais e Verticais

As duas configurações possíveis foram analisadas segundo alguns aspectos principais:

- **Produtividade:** As máquinas horizontais oferecem maior produtividade que os modelos verticais, sendo possível a fluxagem de um maior número de peças por minuto.

- Operacionabilidade: Máquinas verticais são mais ergonômicas e fáceis de operar que as máquinas horizontais.
- Compacidade: Modelos verticais apresentam a vantagem de serem mais compactos que os horizontais, minimizando limitações de espaço que possam existir.
- Preço: Pela análise das propostas recebidas, conclui-se que máquinas verticais representam menores investimentos.
- Algumas máquinas horizontais apresentam sistema de magnetização indireta, através de condutores centrais e de bobinas externas. Pela inexistência de contato elétrico, fica praticamente eliminada a possibilidade de queima por arco decorrente de condições impróprias de contato. Este sistema apresenta, no entanto, limitações quanto ao tamanho da peça a ser magnetizada.

Pela análise dos fatores acima, as máquinas verticais mostram-se mais adequadas. A maior produtividade das máquinas horizontais pode ser compensada pela maior facilidade de operação e pela prática já adquirida em máquinas verticais, há muito já utilizadas na empresa para o mesmo fim. Além disso, pela análise do processo, pode-se afirmar que a produtividade da máquina não afetaria a produtividade do processo, uma vez que o verdadeiro gargalo na inspeção de trincas é o controle visual das peças fluxadas, e não a fluxagem das mesmas.

As figuras 7.1 e 7.2 ilustram as duas configurações analisadas.

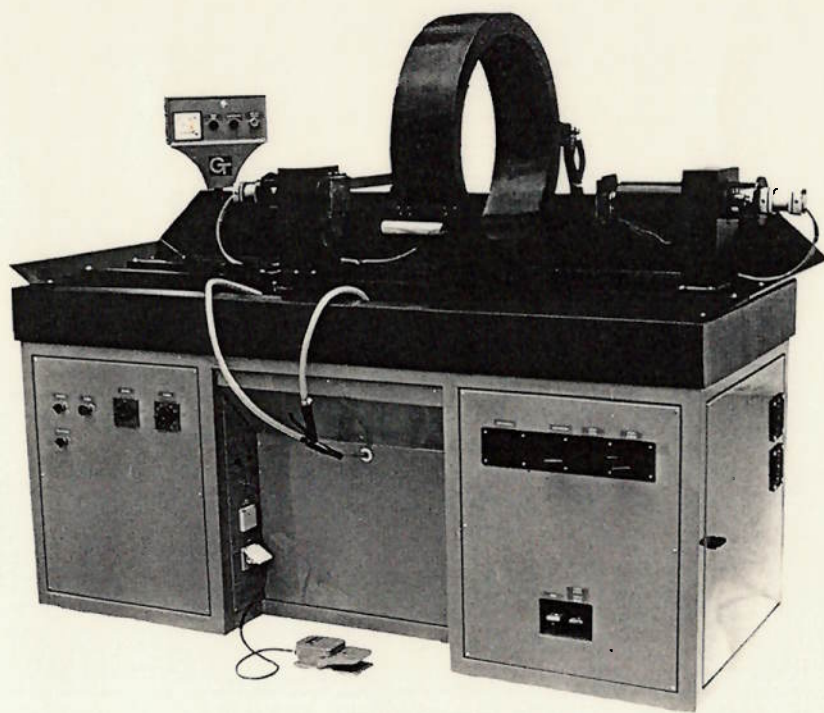


figura 7.1: máquina horizontal

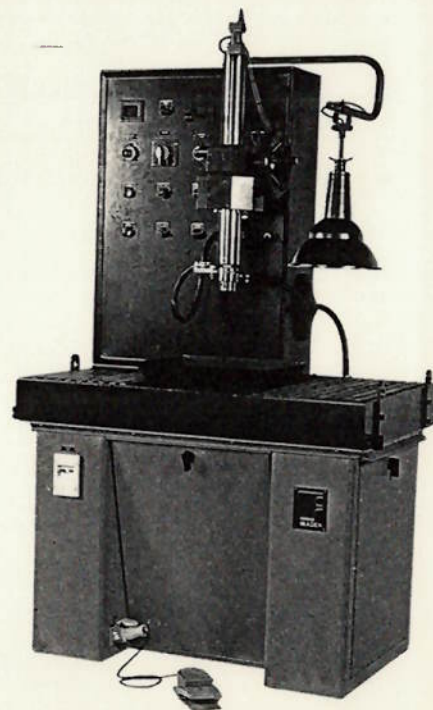
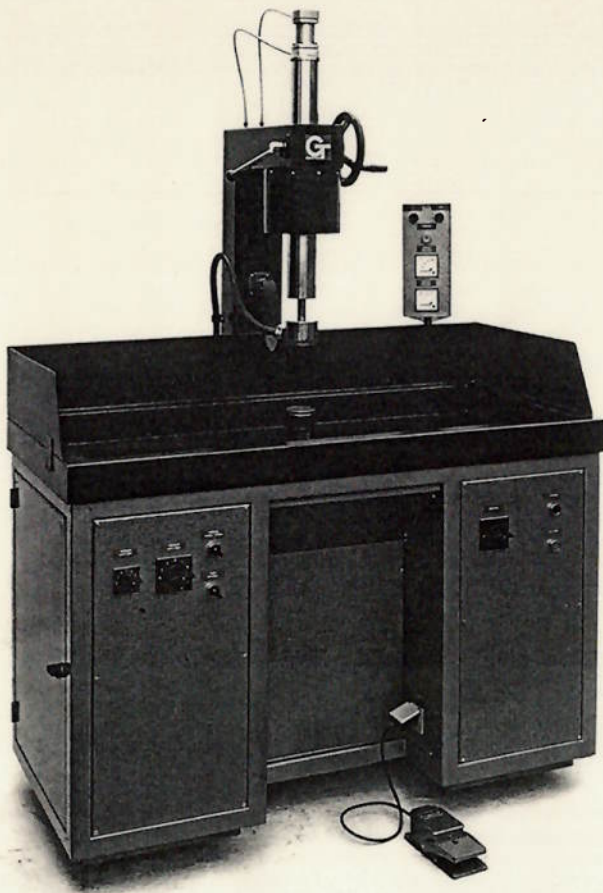


figura 7.2: máquina vertical

## 7.2.) Estudo Comparativo - Máquinas Verticais

Tendo-se decidido por máquinas verticais, resta agora analisar comparativamente os modelos propostos. Foram comparados os seguintes equipamentos:

- Máquina Digital Programável, marca Foerster - Imaden, modelo VAU-2/20-K.
- Máquina Detectora de Trincas Vertical, marca Aroflux / Brasil, modelo VCL-2/2.
- Máquina Detectora de Trincas, marca Gaus-Flux, modelo VACL-20/20 kA.

A análise dos equipamentos foi realizada através de visitas a outras empresas que possuíssem determinada máquina, de testes na empresa e de auditorias nos fabricantes.

Para que se tivesse um resultado quantitativo relativo à maior adequação de determinado equipamento, foi montada uma Tabela de Avaliação. Nesta, foram atribuídos pesos (1 a 5) e notas (1, 2 ou 3) às diferentes características analisadas:

- Acabamento: É desejável que os materiais utilizados confirmem maior durabilidade à máquina, garantida através de ensaios especiais verificados em auditoria.
- Segurança: Como, a princípio, o meio líquido a ser utilizado é o querosene, transformadores e outros elementos elétricos, quando expostos, aumentam o risco de explosão.
- Operacionabilidade: Deve-se garantir que a máquina possa ser operada também por mulheres. Para tal, acionamentos e movimentação de partes da máquina devem ser suaves.

- Tanque: Será analisada a capacidade do tanque, bem como a existência de mecanismos que impeçam a decantação das partículas magnéticas em suspensão.
- Localização dos comandos de operação, garantindo os requisitos de ergonomia.
- Avanços tecnológicos que a máquina incorpore.
- Sistema de umectação da peça: Se a peça não for umectada em toda sua superfície, indicações poderão deixar de ser detectadas.
- Localização das bobinas indutoras: Bobinas distantes do contato provocarão atraso no início da magnetização.
- Área ocupada pelo equipamento.
- Preço.

**a.) Máquina Detectora de Trincas Vertical, modelo VCL-2/2, marca Aroflux / Brasil**

- Pode-se verificar, na máquina em teste na empresa, deterioração prematura de partes externas da máquina.
- A máquina inclui um gabinete a parte contendo elementos de comando, mas os transformadores são expostos e localizados na parte inferior da máquina. A máquina não possui uma grelha para proteção de sua parte superior. O choque com peças pode provocar deterioração e decorrente vazamento de querosene até as partes elétricas, com risco de explosão.
- A movimentação do cabeçote superior, com sistema de cremalheira, exige grande esforço.

- Além do tanque propriamente dito (cuja capacidade não foi informada), a máquina dispõe de uma moto-bomba que mantém o líquido em constante agitação, impedindo a decantação das partículas magnéticas em suspensão.
- A fixação da peça e o início da circulação de corrente são comandadas por um pedal de partida. Os demais comandos situam-se num gabinete a parte, cuja vantagem, sob o aspecto da ergonomia, dependerá da localização do mesmo.
- A máquina apresenta sinalização luminosa de falta de contato ou de corrente, que impede que peças não magnetizadas continuem no processo
- A umectação da peça dá-se por chuveiro automático localizado no cabeçote superior da máquina.
- As bobinas indutoras localizam-se próximo aos contatos, no cabeçote superior. O atraso no início da magnetização é então minimizado.
- Área ocupada: máquina: 500 X 1000 X 2000
- gabinete: 400 x 700 x 1800
- Preço: US\$ 15.200

**b.) Máquina Digital Programável, marca Foerster-Imaden, modelo VAU-2/20-K**

- A máquina apresenta acabamento de ótima qualidade, proporcionando maior durabilidade, verificada através de testes especiais na empresa.
- A máquina apresenta luz indicadora de sobre-aquecimento do transformador e de baixa pressão de ar comprimido. Apresenta grelha de proteção que impede choque das peças com o tampo superior.
- A movimentação do cabeçote é mais livre.

- O tanque apresenta capacidade para 18 litros de solução e bomba que impede a decantação das partículas em suspensão.
- O acionamento do ciclo de trabalho dá-se por pedal e chaves no quadro de comandos, localizado à frente do operador, a uma altura adequada.
- Tem-se a possibilidade de escolha do modo de operação: automático ou semi-automático. No modo automático, ao pressionar o pedal uma única vez, é iniciada a operação contínua na qual o operador apenas deve carregar e descarregar peças durante um tempo de pausa regulável.
- A umectação das peças é feita por chuveiro automático solidário ao cabeçote superior da máquina.
- As bobinas localizam-se no cabeçote superior.
- Área ocupada: 1150 X 750 X 1730
- Preço: US\$ 20.280

**c.) Máquina Detectora de Trincas, marca Gaus-Flux, modelo VACL-2,0/20 KA**

- O acabamento é razoável.
- A máquina apresenta grelha de proteção.
- A movimentação do cabeçote superior é feita pelo mesmo sistema de cremalheira.
- Apresenta tanque com capacidade para 20 litros de solução.
- O acionamento é feito por pedal, e demais comandos situados na parte inferior da máquina.
- Há a possibilidade de operação automática.

- As peças são umectadas por chuveiro automático, situado no cabeçote superior da máquina.
- As bobinas localizam-se no cabeçote superior.
- Área ocupada: 1600 X 1000 X 900
- Preço: US\$ 18.000

**Auditorias de Sistema de Qualidade:** Foram auditados os Sistemas de Qualidade das empresas citadas, com base na norma ISO 9001. Chegou-se às seguintes conclusões:

- Arotec S/A Ind. e Comércio: A empresa não possui um Sistema de Qualidade implantado e em operação.
- Foerster Imaden Indústria e Comércio Ltda.: A empresa possui um Sistema de Qualidade implantado, devendo apenas formalizá-lo através de um Manual de Qualidade.
- Gausteste Prod. e Equip. para Controle de Qualidade Ltda.: A empresa não possui um Sistema de Qualidade totalmente implantado e em operação.

Tabela de Avaliação

		FOERSTER	AROFLUX	GAUSFLUX
CARACTERÍSTICA	PESO	NOTAS		
Acabamento	2	3	2	2
Segurança	4	3	1	2
Operacionabilidade	4	2	1	2
Tanque	4	3	3	3
Localização dos comandos	2	3	1	2
Avanços tecnológicos	3	2	1	2
Sistema de umectação da peça	5	2	2	2
Localização das bobinas indutoras	3	3	3	3
Área ocupada	2	3	3	2
<b>Total:</b>	-	75	52	65
Preço	-	US\$ 20.280	15.200 URV	US\$ 18.000
Sistema de Qualidade implantado	-	sim	não	não

**CONCLUSÃO:** Pelo estudo realizado, a máquina VAU-2/20-K, marca Foerster-Imaden, mostra-se a mais adequada.

**DADOS DA MÁQUINA:**

- Campo circular por magnetização direta, por passagem de corrente retificada através dos contatos e da peça;

- Campo longitudinal induzido por fluxo magnético ao longo da peça, produzido por passagem de corrente retificada de onda completa através das bobinas montadas nos cabeçotes;
- Umectação por chuveiros solidários ao cabeçote superior.
- Altura do tampo = 930 mm.

## 8.) POSTO DE INSPEÇÃO

Uma vez magnetizadas e umectadas, as peças apresentarão, sob condições adequadas de iluminação, suas indicações de trincas evidenciadas.

O sistema deve então conter um posto de inspeção onde as peças sejam examinadas e, quando apresentarem indicações, refugadas.

Como ponto de partida para o projeto, pode-se enumerar alguns requisitos com base no sistema existente e em características da máquina e do processo.

A tomada de decisão quanto a aprovação das peças inspecionadas é atribuída ao operador. Admitindo que a máquina que realiza a magnetização e a umectação das peças está trabalhando satisfatoriamente, e que a iluminação é adequada, o único fator de influência no processo passará a ser o fator humano. Critérios de aprovação corretos transmitidos aos operadores através de treinamento adequado, bem como condições de trabalho que não provoquem fadiga ou induzam a erros são aspectos que devem ser considerados. A adaptação do trabalho ao homem, e não o inverso, é objeto da **Pesquisa em Ergonomia** apresentada a seguir.

### 8.1.) Pesquisa em Ergonomia

A eficiência, a confiabilidade e a qualidade da operação de inspeção visual das peças magnetizadas estão diretamente relacionadas às condições de trabalho proporcionadas aos inspetores.

Qualquer projeto de sistema homem-máquina deve consistir inicialmente num estudo do relacionamento entre o homem e seu trabalho, equipamento e instalações, atentando aspectos relativos à anatomia e psicologia do trabalhador e adaptando às capacidades e limitações do organismo humano.

A aplicação da ergonomia no projeto de sistemas industriais deve visar a melhoria das condições físicas de trabalho, procurando reduzir a fadiga e a monotonia decorrentes de trabalhos mecânicos e deficiências ambientais.

Se, na fase de projeto, os requisitos de ergonomia podem parecer irrelevantes, os sintomas do não cumprimento dos mesmos aparecem claramente no alto índice de erros, acidentes e refugo, muitas vezes provocados por tensões musculares e psíquicas a que são, nestes casos, submetidos os trabalhadores.

#### **8.1.1.) Definição das Variáveis**

Sendo a ergonomia o estudo da adaptação do trabalho ao homem, deve-se ter, como atividade preliminar à definição de requisitos do sistema, a determinação dos fatores que influenciam nesta adaptação. Tem-se então, como objeto de estudo:

- o homem, em suas características físicas, psicológicas e sociais;
- o ambiente que envolve o homem durante o trabalho;
- os equipamentos;
- o processo e a organização do trabalho em si.

**Fator humano: Caracterização dos usuários do sistema**

- características gerais: Os inspetores destinados a esta tarefa são na maioria das vezes homens, com idades variando entre 25 e 40 anos.
- nível de instrução: apresentam 1º grau completo, podendo estar cursando 2º grau ou já tê-lo completado.
- experiência: os inspetores são funcionários do Controle Final de Anéis, que realiza controle de algumas características por amostragem e classificação dos anéis. Recebem treinamento para o trabalho na detecção de trincas através de cursos ministrados na empresa.
- características físicas:
  - sensoriais: os funcionários da empresa são de tempos em tempos submetidos a exames de acuidade visual e auditiva;
  - dimensões corporais: a antropometria é importante para que se possa definir dimensões críticas a serem consideradas no projeto do posto de trabalho. A estatura dos funcionários em questão varia entre 1,55 e 1,70 m. Para o corpo sentado, pode-se estimar comprimentos de partes do corpo em função da estatura, conforme figura 8.1.

H = 1,55 - 1,70 m	
dimensões em cm	
0,462 H	= 71,6 - 78,5
0,795 H	= 123,2 - 135,2
0,523 H	= 81 - 88,9
0,454 H	= 70,4 - 77,2
0,135 H	= 20,9 - 23
0,086 H	= 13,3 - 14,6
0,280 H	= 43,4 - 47,6
0,342 H	= 53 - 58,1
0,249 H	= 38,6 - 42,3
0,311 H	= 48,2 - 52,9
1,032 H	= 160 - 175,4
0,229 H	= 35,5 - 38,9
0,203 H	= 31,5 - 34,5
0,256 H	= 39,7 - 43,5

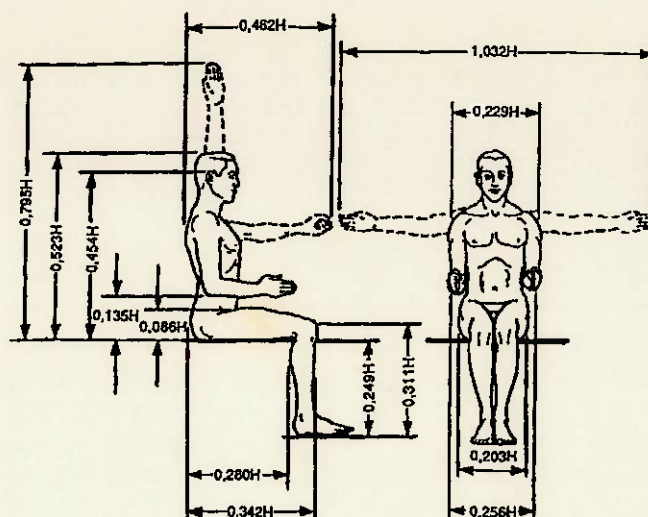


figura 8.1: dimensões antropométricas

**Ambiente:** Condições ambientais desfavoráveis são uma grande fonte de tensão no trabalho, causando desconforto e prejudicando o desempenho.

- ruído: O sistema de inspeção será montado no mesmo galpão em que se encontram as máquinas operatrizes. Um problema que decorre deste fato é o ruído provocado por estas máquinas. Para atenuar este problema, o uso de protetores auditivos é prática obrigatória nestes locais.
- iluminação: A inspeção visual será realizada sob luz negra, em decorrência do uso de partículas magnéticas fluorescentes. Este é um fator que induz à necessidade de revezamento dos inspetores nesta função. Comprovadamente, as cores exercem influências de caráter físico ou mesmo psicológico sobre a produtividade e a qualidade do trabalho. Influências de caráter psicológico estão associadas ao estado emocional: estudos apontam o preto como cor deprimente e angustiante. Sob o aspecto físico, o problema relaciona-se à presença de indicações brilhantes em fundo escuro. Tem-se uma situação de ofuscamento que leva a um desconforto provocado pela atividade do

músculo que controla a abertura do íris. Quando há um objeto brilhante que se destaca em ambiente escuro, há ações contraditórias entre os músculos que tendem a fechar e outros que tendem a dilatar o íris, causando fadiga, irritação e distração.

- olfato: Quando da utilização do querosene como líquido portante, seu forte odor pode provocar tonturas ou enjôo.

### **8.1.2.) Enfoque Ergonômico do Posto de Trabalho**

O enfoque ergonômico tende a desenvolver postos de trabalho que reduzam as exigências biomecânicas, procurando colocar o operador em boa postura, os objetos dentro dos alcances dos movimentos corporais e havendo facilidade de percepção de informações.

A partir da aplicação dos dados antropométricos estimados na caracterização dos usuários do sistema, espera-se definir um espaço de trabalho adequado à realização da tarefa.

Esta aplicação deve considerar que as medidas antropométricas obtidas apresentam um grau de variabilidade. Assim, existe a necessidade de combinar medidas mínimas e máximas de acordo com a dimensão considerada.

#### **8.1.2.1.) O Espaço de Trabalho**

Espaço de trabalho é um espaço imaginário, necessário para o organismo realizar os movimentos requeridos por um trabalho.

O fator que mais influi no dimensionamento de um espaço de trabalho é a postura. Para o sistema em questão, a tarefa será realizada em postura sentada.

### 8.1.2.2.) Superfícies Horizontais

As superfícies horizontais de trabalho merecem especial interesse nesta pesquisa, pois é sobre elas que se realiza o trabalho de inspeção.

**Alcances sobre a mesa:** A área de alcance ótimo sobre a mesa pode ser traçada girando-se os antebraços em torno dos cotovelos com os braços caídos normalmente. A parte central, situada em frente ao corpo, fazendo intersecção com os dois arcos, será a área ótima para se usar as duas mãos. A área de alcance máximo será obtida fazendo-se girar os braços estendidos em torno do ombro.

A figura 8.2 ilustra estas áreas, considerando os dados antropométricos da figura 8.1.

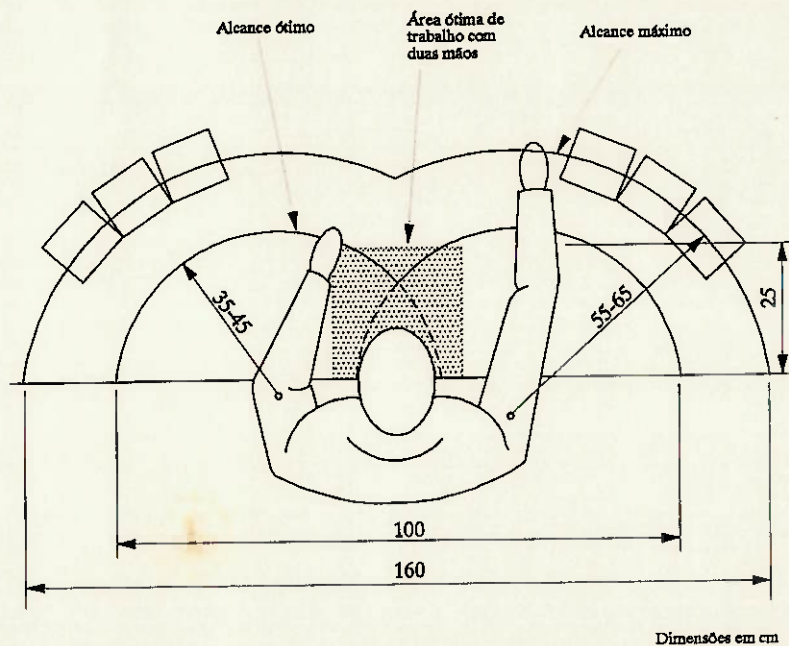


figura 8.2: áreas de alcance

A faixa situada entre a área ótima e aquela de alcance máximo deve ser usada para colocação de peças. Tarefas de maior frequência ou que exijam maior precisão - no caso, a inspeção - devem ser executadas dentro da área ótima.

**Altura da mesa para trabalho sentado:** As duas variáveis que influem na altura da mesa, para trabalho sentado, são a altura do cotovelo e o tipo de trabalho a ser executado. Quando o trabalhador está sentado, a altura do cotovelo depende da altura do assento e, desta forma, deve-se definir inicialmente a altura do assento usando a altura da parte inferior da coxa. Somando-se a esta a altura do cotovelo acima do assento, obtém-se a altura da mesa.

Para trabalhos de precisão, é conveniente uma superfície ligeiramente mais alta, até 5 cm acima do cotovelo.

**O problema do assento:** Análises sobre postura são de grande interesse em ergonomia. Más posturas causam fadiga, dores lombares e câimbras que, se não forem corrigidas, podem provocar anormalidades permanentes na coluna.

O contato entre o corpo e o assento é feito por dois ossos de forma arredondada, situados na bacia, chamados de tuberosidades isquiáticas. Estas são cobertas apenas por uma fina camada de tecido muscular e uma pele grossa. Em apenas 25 cm<sup>2</sup> de superfície de pele sob essas tuberosidades, concentram-se 75% do peso total do corpo sentado.

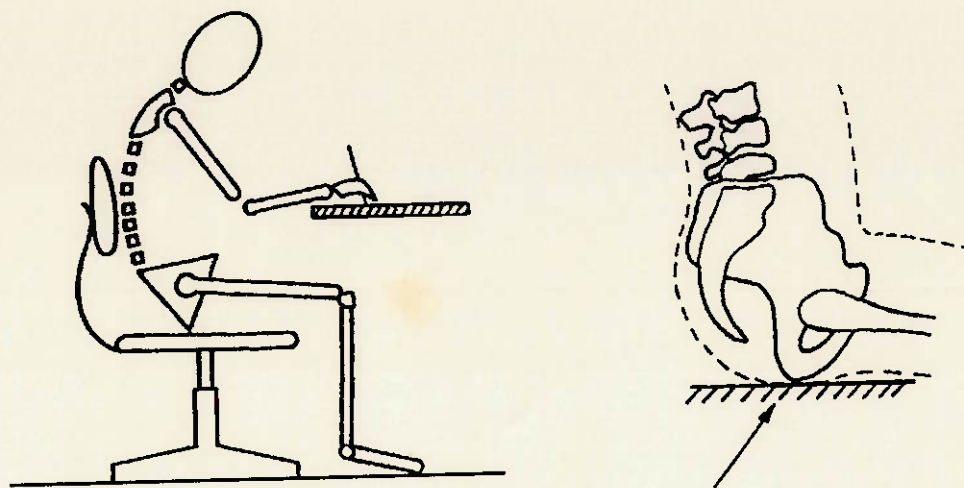


figura 8.3: tuberosidades isquiáticas

Uma leve camada de estofamento é benéfica, reduzindo a pressão e aumentando a área de contato, sem prejudicar a postura. Assim, um estofamento pouco espesso, colocado sobre uma base rígida, que não se afunde com o peso do corpo, ajuda a distribuir a pressão e proporciona maior estabilidade ao corpo, contribuindo para redução do desconforto e da fadiga. O material usado para revestir o assento deve ter característica antiderrapante e ter capacidade de dissipar o calor e umidade gerados pelo corpo, não sendo recomendados plásticos lisos e impermeáveis.

- Dimensionamento de assentos: Em trabalhos de fábrica, a postura recomendada é a ereta, na qual a coluna fica na vertical e o tronco é sustentado pelos músculos dorsais. Facilita a movimentação dos braços e a visualização para frente.



figura 8.4: postura ereta

A figura 8.5 traz as dimensões básicas recomendadas para assentos na postura ereta. As dimensões estão apresentadas como uma faixa de variação para acomodar diferenças antropométricas.

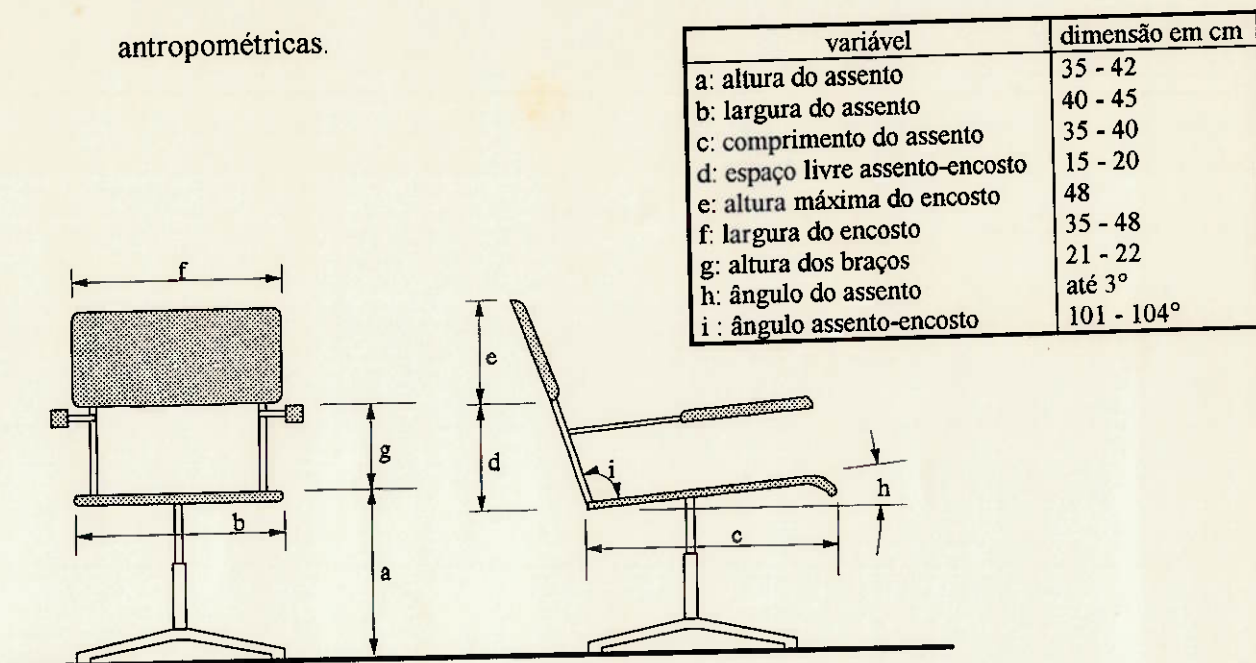


figura 8.5: dimensões básicas recomendadas para assentos

### 8.1.2.3.) Análise da Tarefa

O conhecimento das ações humanas necessárias para realização do trabalho é uma etapa das mais importantes para o dimensionamento de um posto de trabalho.

Através da caracterização da tarefa, pode-se estabelecer condições adequadas ao cumprimento da mesma.

Tarefa:

- objetivo: peças magnetizadas chegam continuamente e são mantidas num pulmão. O operador deve pegar as peças, examiná-las e segregar aquelas que apresentarem indicações.

- operador: o operador já foi caracterizado no início desta pesquisa.
- características técnicas: o operador não deverá manejar controles nem ferramentas.
- condições operacionais: o operador trabalhará sentado, e esforços físicos serão decorrentes de condições desconfortáveis e má postura. O único equipamento de proteção individual a ser utilizado será o protetor auricular.
- condições ambientais: já descritas no início desta pesquisa.
- condições organizacionais: existe a possibilidade (e a necessidade) de se adotar um revezamento entre os operadores nas diferentes funções (magnetização, inspeção, armazenagem), a fim de evitar os efeitos indesejáveis do trabalho repetitivo.

#### **8.1.2.4.) Dimensionamento do Espaço de Trabalho**

O objetivo deste item é definir um espaço dentro do qual os movimentos possam ser realizados de forma otimizada, e a partir daí definir uma concepção para o posto.

Com base nos dados antropométricos e na norma francesa AFNOR-X-35-104, pode-se dimensionar um espaço para trabalho sentado.

Todas as alturas podem ser acrescidas de uma constante, desde que este acréscimo seja compensado por pela utilização de um apoio para os pés.

É importante observar que o espaço dimensionado considera as áreas de alcance ótimo e máximo. Estas devem receber atenção especial quando da definição do arranjo do posto, de modo que a inspeção seja realizada na área ótima, e a tomada de peças na área de alcance máximo.

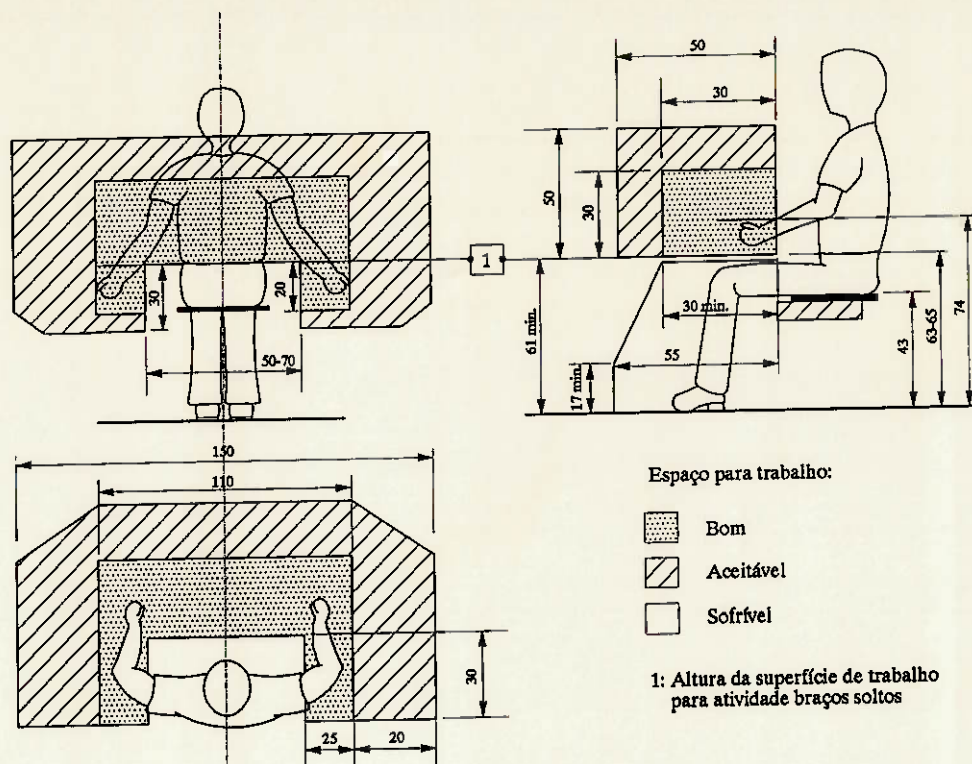


figura 8.6: espaço para trabalho sentado

## 8.2.) Requisitos Técnicos

Ao final da Pesquisa em Ergonomia, tem-se dimensionado um espaço a ser ocupado por cada operador, bem como as áreas de alcance, para realização do trabalho de inspeção.

Em função de características das peças, do método de trabalho e do tipo de inspeção, surgem requisitos aos quais o projeto deve também atender. Estes são tratados a seguir:

### 8.2.1.) Iluminação

A utilização de partículas magnéticas fluorescentes induz à necessidade de iluminação por luz negra, a fim de tornar as indicações visíveis.

### 8.2.2.) Estudo de tempos do processo existente

Foi realizada uma análise do processo no sistema existente na Fábrica I para o mesmo fim, quanto as velocidades de chegada das peças magnetizadas ao posto e de inspeção visual, para diferentes peças. Os resultados e conclusões são mostrados abaixo:

<p><b>Peça:</b> anel interno de rolamentos de roda (peça mais ferqüente)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fluxagem (magnetização + umectação): 18 peças/min, com 1 operador</li> <li>• inspeção visual: 10 peças/min, com 1 operador</li> </ul>
<p><b>Peça:</b> anel externo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fluxagem (magnetização + umectação): 16 peças/min, com 1 operador</li> <li>• inspeção visual: 8 peças/min, com 1 operador</li> </ul>
<p><b>Peça:</b> cubo do rolamento de roda do Omega</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fluxagem (magnetização + umectação): 4 peças/min, com 1 operador</li> <li>• inspeção visual: 4 peças/min, com 1 operador</li> </ul>

#### Conclusões:

- Da diferença entre taxas de chegada de peças magnetizadas e taxas de inspeção, decorre a necessidade de balanceamento do processo através de um “pulmão” que armazene as peças entre as duas etapas.
- Pela diferença entre as taxas e inspeção visual de diferentes tipos de peças, ou mesmo pela variação em que o sistema é solicitado de acordo com a programação da produção, é desejável que o posto de inspeção seja flexível quanto a possibilidade de variar o número de inspetores. Assim sendo, chega-se a necessidade de um posto que comporte até quatro inspetores, para momentos de trabalho mais intenso.

### **8.2.3.) Peças inspecionadas**

Um problema crítico que deve ser evitado é a batida. Os anéis inspecionados encontram-se retificados ou em seu estado final, e as batidas podem provocar amassamento na pista de anéis internos, entre outros danos. As consequências destes choques só serão detectadas na montagem, por ruído excessivo ou visualmente, refugando o rolamento. Assim, sendo, deve-se assegurar que, durante o transporte das peças até o posto, do posto ao desmagnetizador e então para armazenagem, não se tenha condições que levem a choques entre peças, ou das peças com a parte estrutural do posto.

Dimensões das peças inspecionadas: Os diâmetros das peças variam entre 40 e 140 mm, a altura máxima é de 120 mm.

### **8.3.) Concepção apresentada para o posto**

O sistema proposto é composto basicamente por dois transportadores de correia. A esteira superior traz as peças magnetizadas e umectadas ao posto. As peças chegam a uma calha, que funciona como pulmão, e situa-se dentro da área de alcance máximo. O operador pega as peças nesta calha, examina-as e, se aprovadas, são colocadas na esteira inferior, que conduz os anéis através do túnel desmagnetizador.

As peças trincadas são colocadas numa caixa, ao lado do operador, devidamente identificada.

Observações:

- A altura da mesa de inspeção obedece ao estipulado na figura 8.6.

- O posto deverá possuir uma cobertura, como que formando uma tenda, para que a claridade não atrapalhe a inspeção.
- Entre os fabricantes de luminárias de luz negra, como da figura 8.7, pode-se destacar a Foerster e a Gausteste.

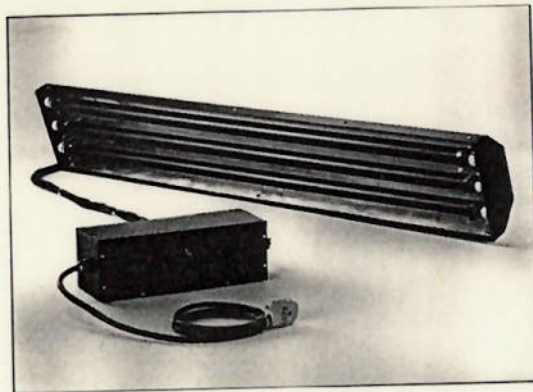


figura 8.7: luminária de luz ultra-violeta

- Após desmagnetização, as peças são conduzidas a outra calha, para serem então colocadas nas caixas e levadas à etapa seguinte do processo.

Um esquema representativo do posto é mostrado na figura 8.8.

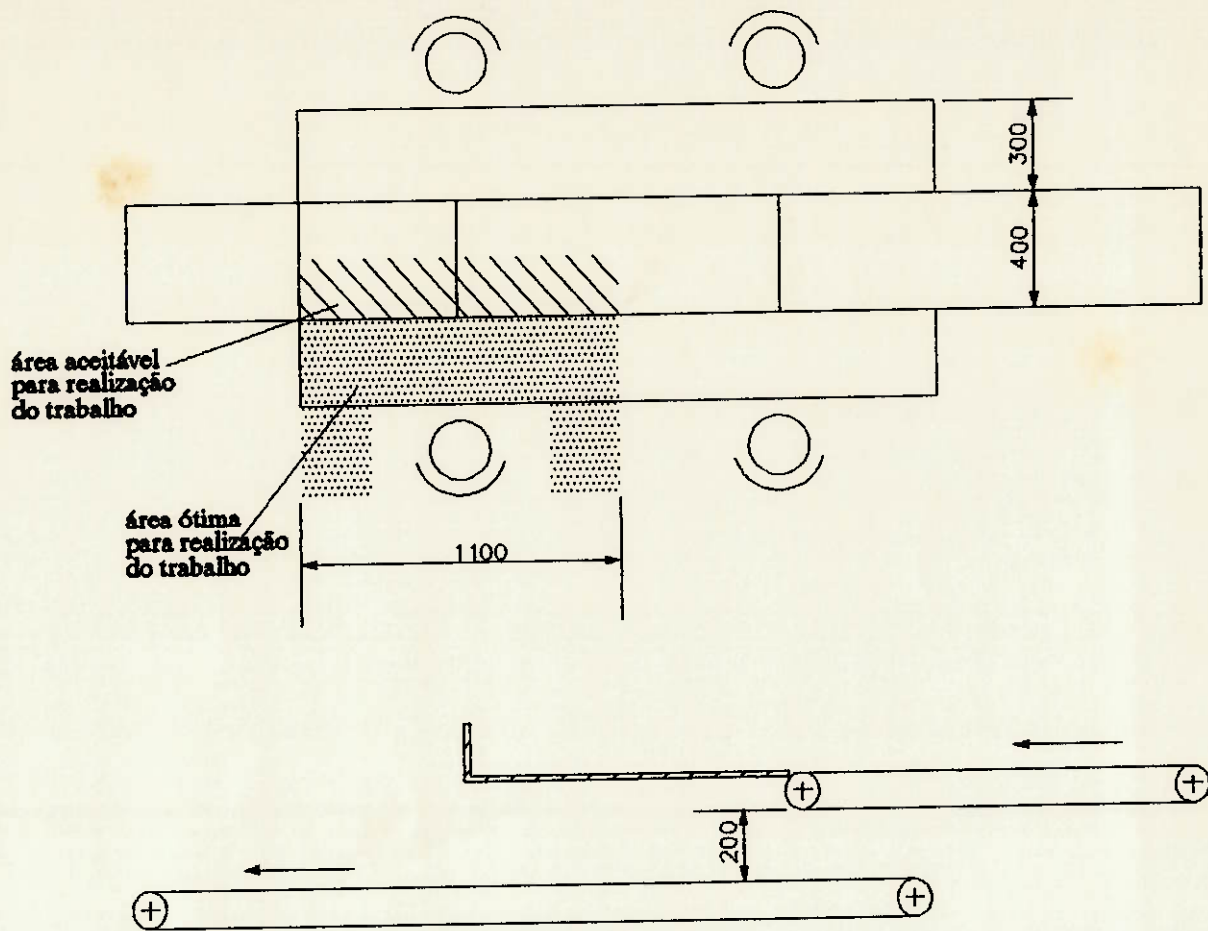


figura 8.8: esquema do posto

## 9.) DESMAGNETIZAÇÃO

Após o ensaio, as peças devem ser desmagnetizadas, de modo que o magnetismo retido nas mesmas seja reduzido a valores permissíveis. As razões para a desmagnetização referem-se a:

- interferência na usinagem: o magnetismo residual poderá interferir nos processos futuros de fabricação, pois o magnetismo da peça induzirá à magnetização da ferramenta, afetando o acabamento da peça;
- interferência em instrumentos: o magnetismo residual interfere em instrumentos sensíveis de medição, de modo que as leituras obtidas não corresponderão à realidade;
- interferência na aplicação do produto: a magnetização de componentes poderá acarretar a perda de mobilidade, levar ao travamento ou prejudicar o equipamento ao qual se destina o rolamento.

Assim, tem-se a necessidade de reduzir o magnetismo residual a um valor que não prejudique etapas posteriores. O valor considerado aceitável para o magnetismo residual de componentes é 0,3 kA/m, valor este que deve ser assegurado pelo desmagnetizador.

### 9.1.) Técnicas de Desmagnetização

São várias as técnicas de desmagnetização existentes, sendo que todas são baseadas no princípio de que, submetendo a peça a um campo magnético que é continuamente invertido e gradualmente reduzido a zero, após um determinado período ou número de ciclos de histerese regressivos, a peça será desmagnetizada.

A desmagnetização pode ser feita de duas formas básicas:

- reduzindo a corrente: A peça é colocada dentro da bobina e a corrente alternada é reduzida em pequenos decrementos até um valor desprezível. Tal operação exige equipamento especial que permita que a corrente elétrica seja reduzida gradualmente. Equipamentos que geram correntes de baixa frequência mostram-se mais eficientes, pois aumentam a penetração da corrente alternada.
- movimentando a peça: É um método usado na produção seriada onde as peças magnetizadas são transportadas por uma esteira ou correia transportadora que passa dentro de uma bobina. O processo consiste em fazer com que a peça passe pelo eixo da bobina, afastando-a da mesma antes de retirá-la da esteira. Se a peça tiver um movimento de rotação sobre o seu próprio eixo, maior será a garantia de uma desmagnetização homogênea. Deve-se tomar cuidado para que a peça seja completamente removida da influência do campo da bobina desmagnetizadora, caso contrário a peça será magnetizada. A peça somente será desmagnetizada se a intensidade do campo gerado pela bobina for superior à do campo gerado pela magnetização anterior.

## 9.2.) Equipamentos Propostos

- A Vallon - Desmagnetization Systems propõe o sistema ES 2421, adequado à desmagnetização de anéis. O equipamento é dotado de um gerador de baixa frequência (modelo EG 2421A) que, por produzir um campo magnético rotativo, vem a substituir procedimentos mecânicos que conduziam as peças girando através da bobina a fim de atingir baixo magnetismo residual. O EG 2421A gera um campo magnético com frequências entre 1 e 10 Hz, ajustáveis de acordo com a espessura da

parede dos anéis. Estes podem então ser conduzidos através da bobina numa posição fixa, arranjados formando tubos, por um sistema de guias ajustáveis. A velocidade de transporte pode ser seleccionada na faixa de 1 a 20 m/min, dependendo da frequência de desmagnetização ajustada.

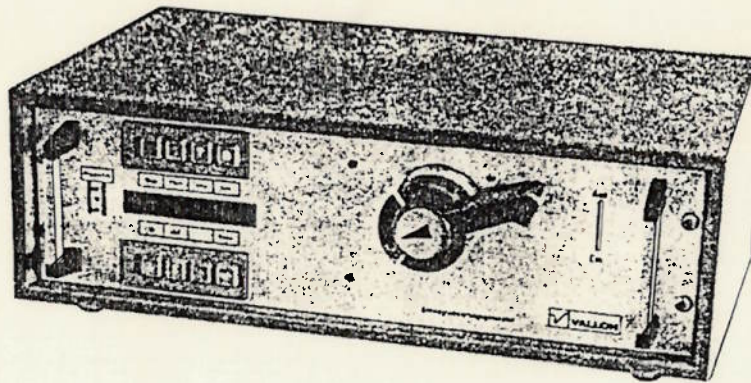


figura 9.1: gerador de baixa frequência EG 2421A

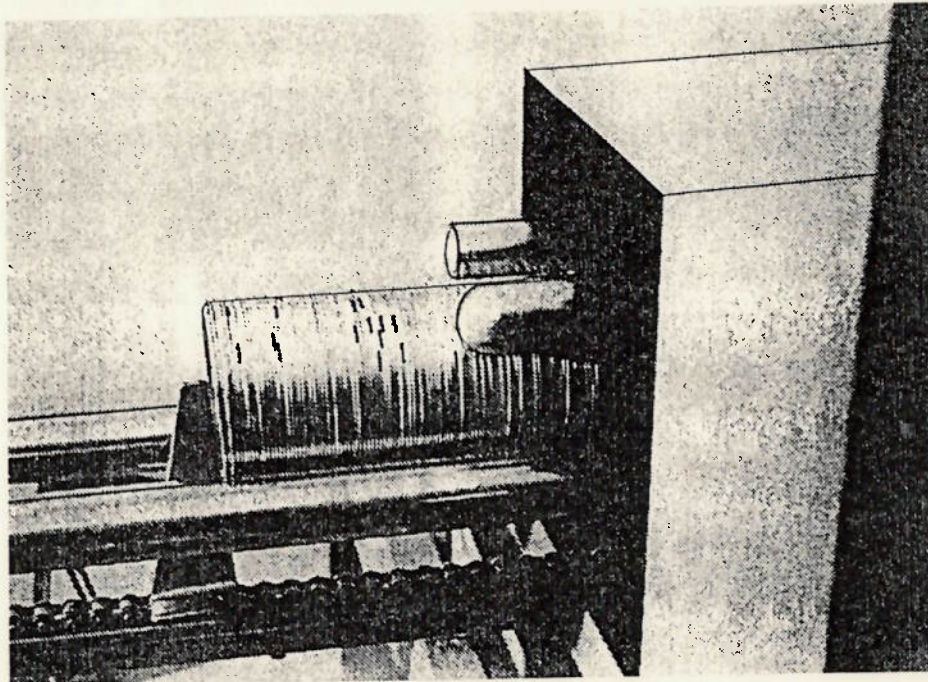


figura 9.2: sistema de guias ajustáveis

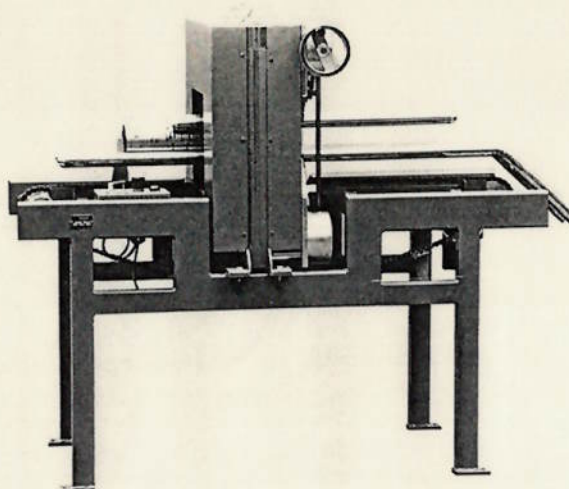


figura 9.3: sistema de desmagnetização

- A Gausteste apresenta uma Bobina Desmagnetizadora modelo GB 4,0, com corrente alternada de frequência 10 Hz. A passagem das peças através da bobina pode ser feita por rampa, onde seria provável a ocorrência de batidas entre as peças, ou por esteira rolante. Em qualquer uma das configurações, não está previsto um sistema de guia para as peças.

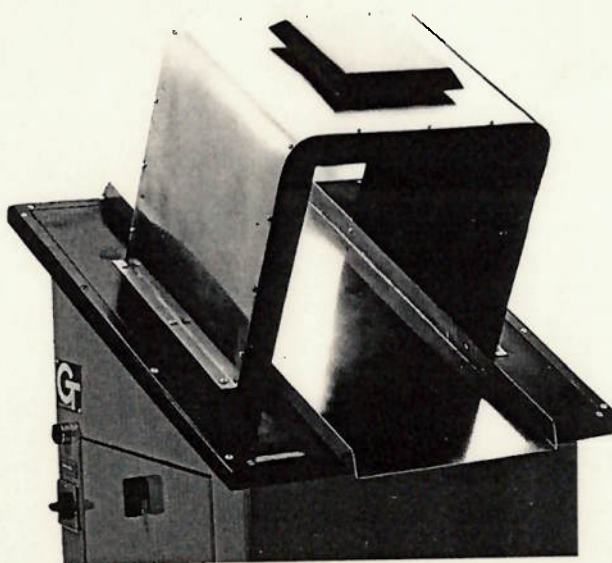


figura 9.4: bobina desmagnetizadora GB 4,0

**Comparativo:** O sistema proposto pela Vallon mostra-se adaptável numa faixa de variação, enquanto o equipamento da Gausteste apresenta parâmetros fixos, que sugere maior universalidade. A escolha por um sistema deve se basear no cumprimento da necessidade básica de assegurar o magnetismo residual de 0,3 kA/m. O meio mais confiável para a tomada de decisão é o teste prático de ambos, para diferentes peças.

### 9.3.) Verificação da Desmagnetização

O magnetismo residual é uma característica controlada regularmente, em todos produtos, e prevista nos planos de inspeção dos mesmos.

O aparelho que realiza a medição é um indicador da intensidade do campo. São dois os medidores de campo mais utilizados:

- MCM 500, da Arotec, que opera com sonda de Hall, e possibilita uma resolução de 0,025 kA/m.
- Magnetoscop 1580, da Foerster, que também opera com sonda de Hall, e possibilita uma resolução de 0,01 kA/m.



figura 9.5: medidor de campo

## 10.) FUNCIONAMENTO DO SISTEMA - PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO E VARIÁVEIS DE CONTROLE

### 10.1.) Procedimento de Inspeção

- **Preparação das Peças:** A superfície da peça a ser examinada deve estar essencialmente limpa, seca e livre de contaminantes como óleo, graxa, ferrugem e carepas, ou qualquer outra substância que possa influir nos resultados da análise. A limpeza das superfícies de inspeção pode ser feita com o uso de detergentes, solventes orgânicos ou por meios mecânicos. O estado de acabamento das superfícies também é um fator de influência. No caso dos anéis de rolamentos, no entanto, as superfícies são torneadas, retificadas ou lapidadas, não havendo comprometimento dos resultados por um “embaraço” das partículas magnéticas, que seria decorrente de um acabamento ruim das superfícies inspecionadas.
- **Umectação das peças:** O ensaio por partículas magnéticas em via úmida utiliza-se e um líquido impregnado com pó magnético fluorescente. Este banho atinge as peças por meio de um chuveiro no cabeçote superior do equipamento, que realiza a umectação das peças imediatamente antes do início da magnetização.
- **Magnetização das peças:** Conforme descrito em seções anteriores, o fluxo magnético deve percorrer a trinca perpendicularmente, ou pelo menos ter uma componente suficientemente forte neste sentido. Assim, o equipamento utilizado é dotado de dois tipos de magnetização: magnetização por campo circular e magnetização por campo longitudinal.

- **Inspeção:** A inspeção é realizada em área escurecida, com iluminação de luz negra, acendendo-se a lâmpada que a emite pelo menos cinco minutos antes de se iniciar a inspeção.
- **Desmagnetização:** Após ter sido realizada a inspeção, as peças devem ser desmagnetizadas em um túnel especial, de modo que atinjam o magnetismo residual permissível.
- **Limpeza:** Antes de se passar para uma próxima operação, as peças devem ser lavadas de maneira que não existam mais resíduos do banho indicador e, logo em seguida, devem ser protegidas com óleo.

## **10.2.) Acompanhamento do Equipamento - Variáveis de Controle**

O equipamento de inspeção deve ser testado diariamente e os resultados devem ser registrados.

### **10.2.1.) Checagem quanto à quantidade de pó magnético na solução**

A concentração de partículas magnéticas em suspensão deve ser mantida num nível adequado especificado ou recomendado pelo fabricante. Se a concentração não é mantida apropriadamente, os resultados podem apresentar grande variação. A concentração em volume para partículas fluorescentes geralmente recomendada é de 0,2 a 0,5 ml a cada 100 ml de banho.

A concentração do banho é normalmente determinada medindo o volume sedimentado em tubo centrífugo em forma de pera, conforme ASTM D96. Antes da tomada da amostra, deve-se proceder a homogeneização do banho pela recirculação do mesmo no equipamento, por aproximadamente 30 minutos. É então tomada uma amostra de 100 ml, e deixada decantar por 30 minutos. O volume sedimentado no fundo do tubo é indicativo da concentração de partículas no banho.

Medida corretiva: Se a concentração do banho estiver abaixo do recomendado, devem ser acrescentadas partículas magnéticas ao mesmo. Na situação inversa, deve ser adicionado líquido portante ao banho.

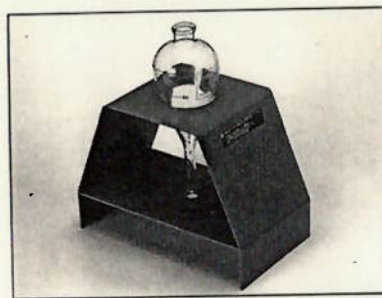


figura 10.1: tubo centrífugo

### **10.2.2.) Checagem quanto aos contaminantes no banho**

Imediatamente após a verificação da concentração do banho, deve ser verificado o número de contaminantes, que aparecem por cima das partículas magnéticas decantadas. O volume de contaminantes não deve ser superior a 50% do volume decantado.

Além disto, deve-se verificar que tanto os contaminantes quanto o meio de suspensão não apresentam fluorescência generalizada quando o tubo centrífugo é observado sob uma lâmpada de luz negra.

Medida corretiva: Em qualquer um dos casos, o tanque deve ser drenado, inteiramente limpo e reabastecido com um novo banho.

### **10.2.3.) Avaliação do desempenho do sistema de ensaio quanto à sensibilidade**

O desempenho global de um sistema de inspeção por partículas magnéticas - isto é, a combinação das partículas magnéticas com o equipamento, as técnicas de operação, a sequência de operação e os níveis de magnetização - deve ser monitorado regularmente para assegurar que a sensibilidade é mantida. Isto é feito simulando condições de ensaio com peças ou padrões cujo resultado é conhecido.

- peças trincadas obtidas em ensaio: um modo prático de avaliar o desempenho do sistema é utilizar peças representativas com descontinuidades conhecidas. Se, quando submetidas ao ensaio, as peças tiverem suas descontinuidades reveladas, a performance do sistema pode ser considerada adequada.
- padrões fabricados com descontinuidades: apresentam descontinuidades a diferentes profundidades, de modo que o desempenho do sistema será considerado adequado quando indicações até uma profundidade pré-estabelecida forem reveladas.

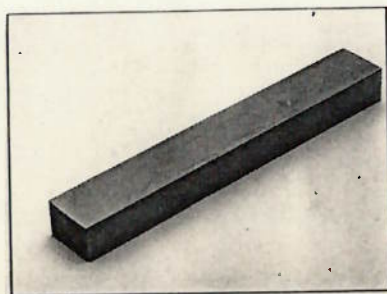


figura 10.2: barra-padrão

#### 10.2.4.) Verificação do campo magnético

A intensidade do campo magnético deve ser tal que resulte em campo de fuga forte o suficiente para atrair as partículas magnéticas e produzir indicações.

A medição do campo é realizada com o aparelho MCM 500, tanto para o campo longitudinal quanto para o circular. A leitura deve estar entre 40 e 60 A/cm.



figura 10.3: medidor de campo MCM

#### 10.2.5.) Inspeção da iluminação

A intensidade de irradiação deve ser superior a  $1200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , quando medida a 30 cm da lâmpada. O instrumento de medição deve ter seu comprimento de onda calibrado em 365 nm, a cada 52 semanas.

As principais causas que influenciam a luminosidade das lâmpadas são as variações de tensão, o envelhecimento e a sujeira que se deposita sobre o vidro da lâmpada e sobre a calha de iluminação.

#### 10.3.) O Ensaio, o Sistema de Qualidade Assegurada e a ISO 9000

A empresa possui um Sistema de Qualidade Assegurada implantado e é certificada segundo a ISO 9001: Sistema da Qualidade - Modelo para garantia da qualidade em projetos/desenvolvimento, produção, instalação e assistência técnica. Assim sendo, o sistema de ensaio deve atender a alguns requisitos especificados na norma.

- **quanto à avaliação de fornecedores (item 4.5):** Deve-se assegurar a capacidade destes em atender aos requisitos especificados. O método de seleção depende do tipo de produto. No caso de equipamentos ou suprimentos, a escolha pode ser feita com base em auditorias, demonstração prévia de desempenho ou registros de capacidade.
- **quanto ao controle de processo (item 4.8):** Deve-se assegurar que os processos que influem na qualidade são realizados sob condições controladas. Estas condições incluem, no caso do ensaio, instruções de trabalho documentadas, aprovação e monitoração do equipamento e critérios da qualidade do trabalho estipulados em normas escritas.
- **quanto a inspeção e ensaios (item 4.9):** A inspeção deve ser realizada conforme plano de controle ou procedimentos documentados, estabelecendo a conformidade do produto com requisitos especificados e identificando produtos não conformes. Devem ser mantidos registros que evidenciem a submissão do produto à inspeção.
- **quanto aos equipamentos de inspeção (item 4.10):** Conforme visto no item 10.2 deste texto, os equipamentos de ensaio devem ser controlados, aferidos e calibrados segundo procedimentos e períodos definidos e documentados.
- **quanto à identificação de peças e controle de produtos não conformes (item 4.12):** Devem ser mantidos procedimentos que assegurem que as peças trincadas não sejam utilizadas. As peças devem ser devidamente identificadas e segregadas.

- **quanto aos registros da qualidade (item 4.15):** São utilizadas tabelas de frequência a fim de registrar o índice de refugo devido a trincas. Estes registros devem ser arquivados e facilmente recuperados para cada produto.
- **quanto ao treinamento (item 4.17):** Deve-se assegurar que o operador é qualificado para a realização da tarefa através de treinamento oferecido pela empresa.

## 11.) CONCLUSÕES

Partindo de uma necessidade comprovada, passou-se a um estudo detalhado do problema. A escolha do método por partículas magnéticas, devidamente justificada, e a posterior análise detalhada do ensaio foram a base do projeto na definição de seus subconjuntos.

No primeiro deles, a máquina, foi apresentado um comparativo entre as disponíveis no mercado baseado em características básicas, chegando à especificação do equipamento. Passando ao posto de inspeção, foi dada ênfase à apresentação de requisitos básicos, e não à definição de uma solução final. A Pesquisa em Ergonomia mostrou a importância da adaptação do posto ao seu usuário, e não o contrário, como forma de proporcionar condições favoráveis de trabalho. Foram também enumerados requisitos decorrentes da técnica de inspeção utilizada e do produto em questão.

A desmagnetização foi tratada apresentando as técnicas possíveis e propondo duas opções de equipamento.

Ao final, o texto traz um resumo do funcionamento do sistema e um “guia” para acompanhamento do equipamento, como forma de manter condições adequadas para obtenção de resultados representativos.

Talvez fique evidente a dificuldade de conciliar um projeto executado na prática com os fins didáticos deste trabalho. Prazos diferentes e inconstantes impossibilitaram a apresentação de um sistema em funcionamento. Procurou-se, no entanto, colocar toda base teórica que fica por trás do projeto e é muitas vezes ignorada quando da elaboração de trabalhos na empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLANGELO, V.J.; HEISER, F.A. **Analysis of Metallurgical Failures.** 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1986.

BETZ, C.E. **Principles of Magnetic Particle Testing.** 1.ed. Chicago, Magnaflux Corporation, 1967.

ILIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção.** 1.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1990.

APOSTILA de Partículas Magnéticas. São Paulo, Abende.

STANDARD Practice for Magnetic Particle Examination: E 709. ASTM, 1990.

SISTEMAS da qualidade: ISO 9001. Rio de Janeiro, ABNT, 1990.