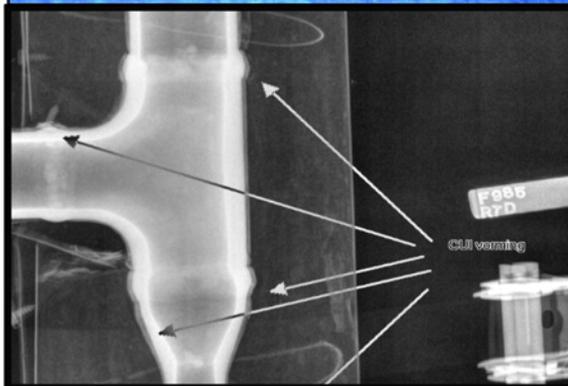
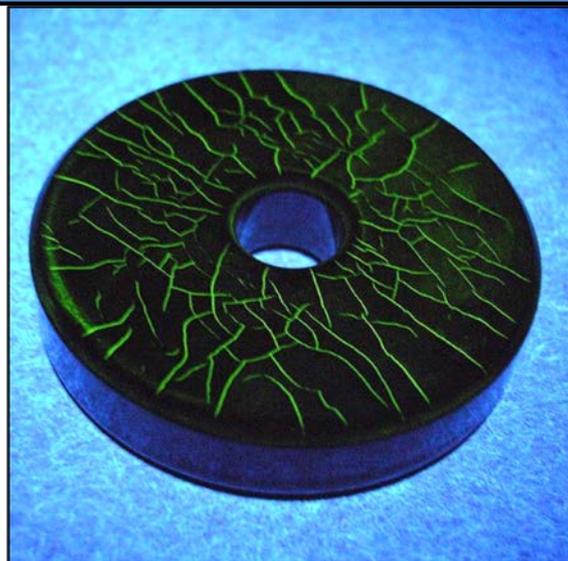


LOM 3084 –INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS



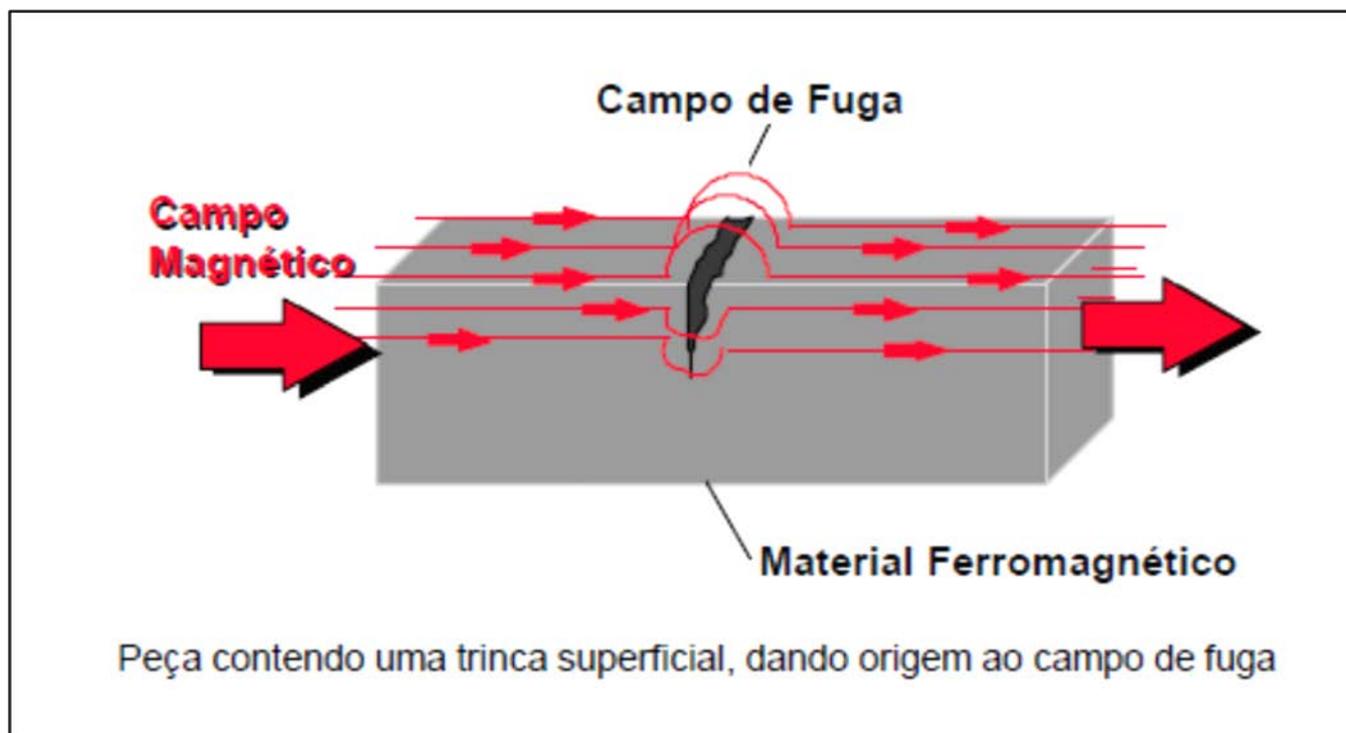
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

REFERÊNCIAS:

- **APOSTILAS-ABENDE-RICARDO ANDREUCCI;**
- **APOSTILAS DO CURSO DE UT-CETRE;**
- **MATERIAL DA GE INSPECTION TECHNOLOGIES.**

ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

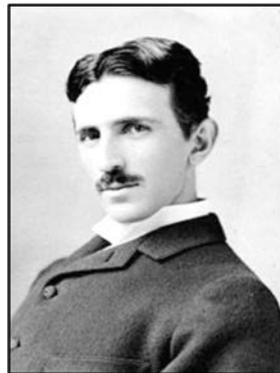
HISTÓRICO

Em 1820 o físico Hans Christian Oersted descobriu que a passagem de corrente elétrica por um fio condutor também produzia um campo magnético com a forma circular ao redor do condutor, com intensidade proporcional ao valor da corrente elétrica aplicada.

HISTÓRICO

- **Johann Carl Friedrich Gauss** nasceu em 30 de abril de 1777 (Brunswick, hoje Alemanha),
- Matemático e físico: **Teoria dos números, geometria diferencial, magnetismo, astronomia e ótica;**
- Em **1832**, Gauss e Weber: investigar o **magnetismo terrestre** (Alexander von Humboldt tentou obter ajuda de Gauss para fazer um grid de pontos de observação magnética ao redor da Terra).
- Escreveu teorias atuais sobre o magnetismo terrestre, incluindo as idéias de Poisson, medida absoluta da força magnética e uma definição empírica de magnetismo terrestre : Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata (**1832**), Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus (**1839**) e Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte (**1840**).
- **Faleceu** na manhã de 23 fevereiro de **1940**.

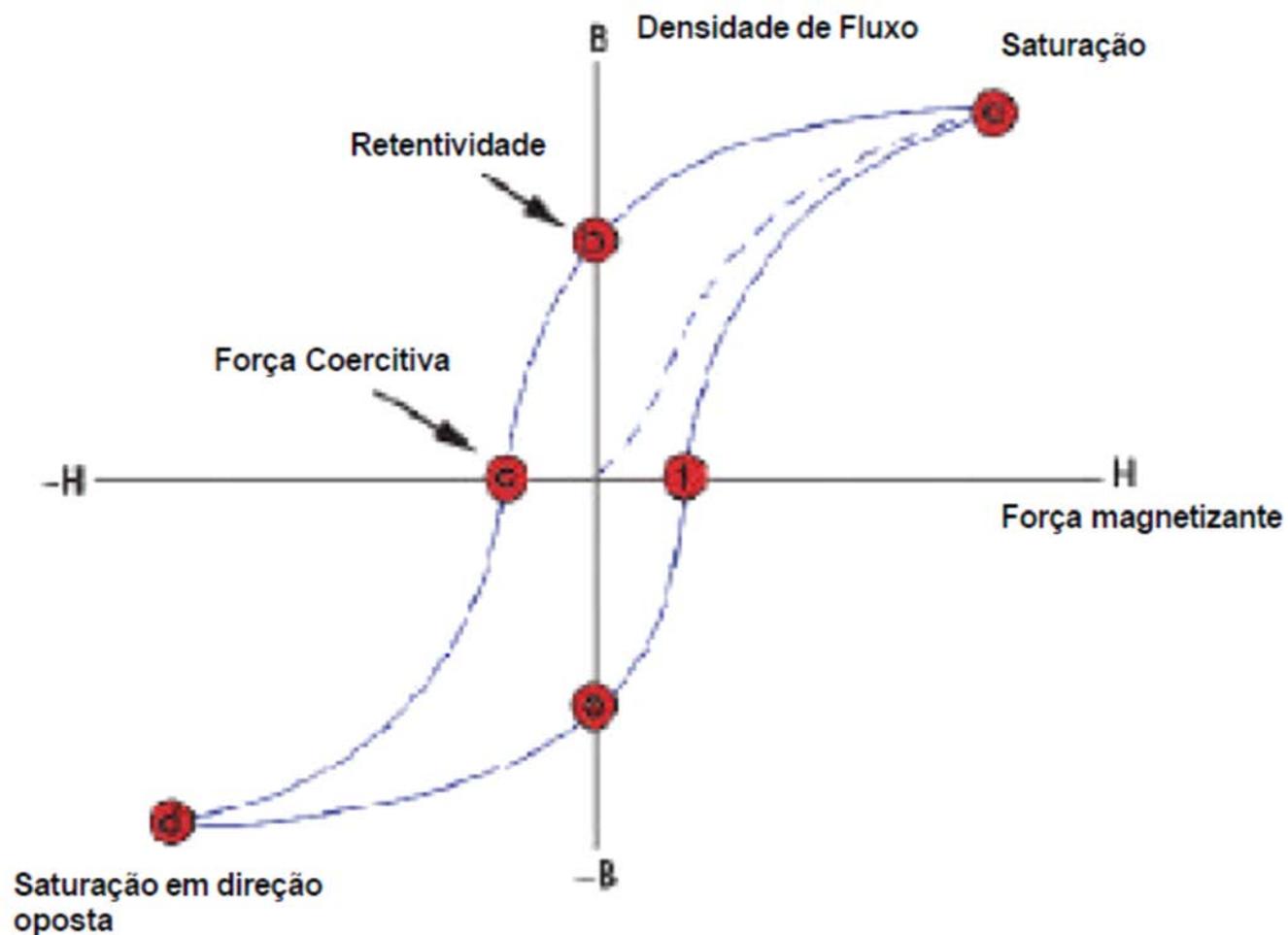
HISTÓRICO



- Nikola Tesla (Никола Тесла) (Smiljan, Império Austríaco, 10 de julho de **1856** — Nova Iorque, 7 de janeiro de **1943**);
- **1884-1886**: trabalhou com **Thomas Alva Edison (GE)**- teve muitas brigas por falta de pagamento de um bônus e por causa do gerador de CA;
- Emprego braçal: escavar valas;
- **1893**: Ganha a concorrência de Edison: Feira Mundial de Chicago electrificada com corrente alterna;
- **1895**: central hidroelétrica do Niágara, obra de Westinghouse, e o sucesso é tal que lhe chamam uma maravilha do mundo;
- **1897**: Demonstra o envio de dados sem fio (**invenção do rádio**);
- **1899**: Colorado Springs- em seu laboratório transmitia energia pelo ar. Queria distribuir **energia gratuitamente**;
- **1904**: Retiram-lhe a patente do Rádio (**Marconi**);
- **1908**: Raio da morte – **Tunguska**;
- **1912**: Indicado para o **Nobel de Física (recusou-Marconi)**;
- **1915**: Indicado para o **Nobel de Física (recusou dividir com Edison)**.

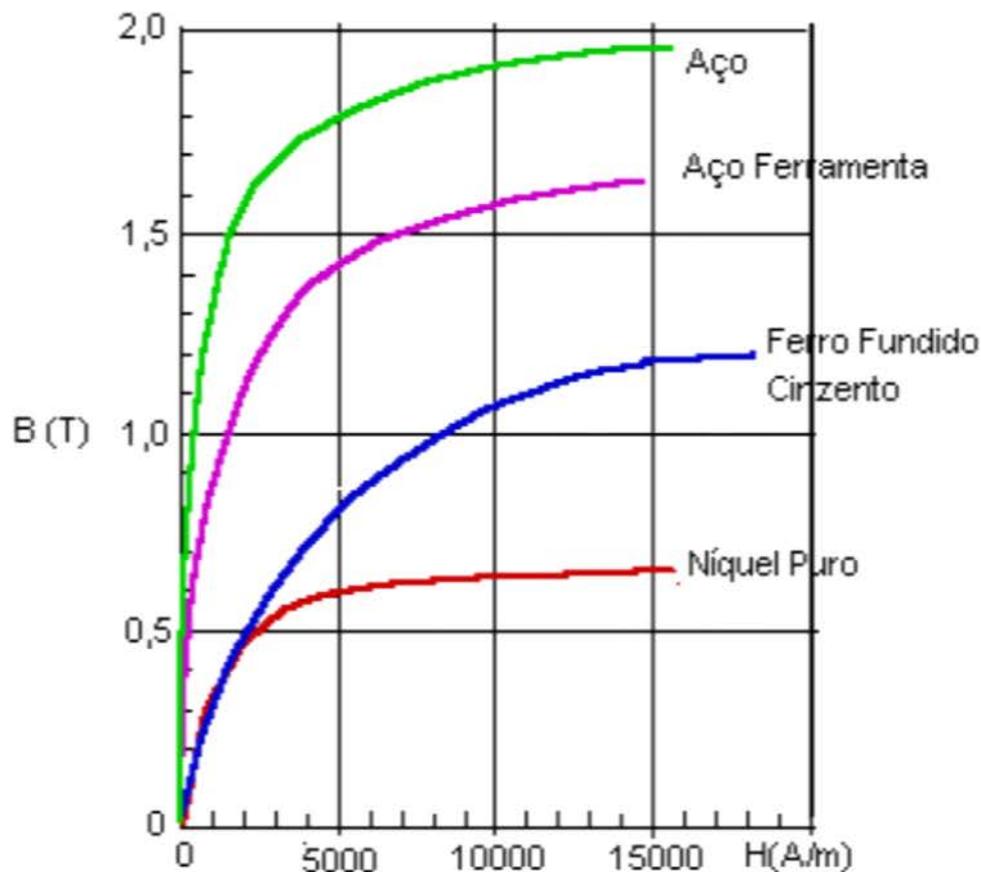
Permeabilidade Magnética (“ μ ”)

- É definida como: a **facilidade** com que um material pode ser **magnetizado**, e é representado pela letra. É adimensional;
- É a relação entre a **condutividade magnética do material** e a **condutividade magnética do ar**;
- **Relação** entre o **magnetismo adquirido pelo material (B)** pela presença de um campo externo e a **força de magnetização externa (H)**;
- A permeabilidade magnética de um material **não é constante** e **depende da força externa de magnetização**.



Curva de Histerese – Variação de $B \times H$

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Intensidade do Campo Magnético em Função de alguns materiais magnéticos.

Classificação

A permeabilidade magnética do vácuo é $\mu_0 = 4.\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$

a) Ferromagnéticos: $\mu > 1$.

Fortemente atraídos por imã. Exemplo: **ferro, cobalto e quase todos os tipos de aço (menos inox austenítico)**. Ideais para inspeção por partículas magnéticas.

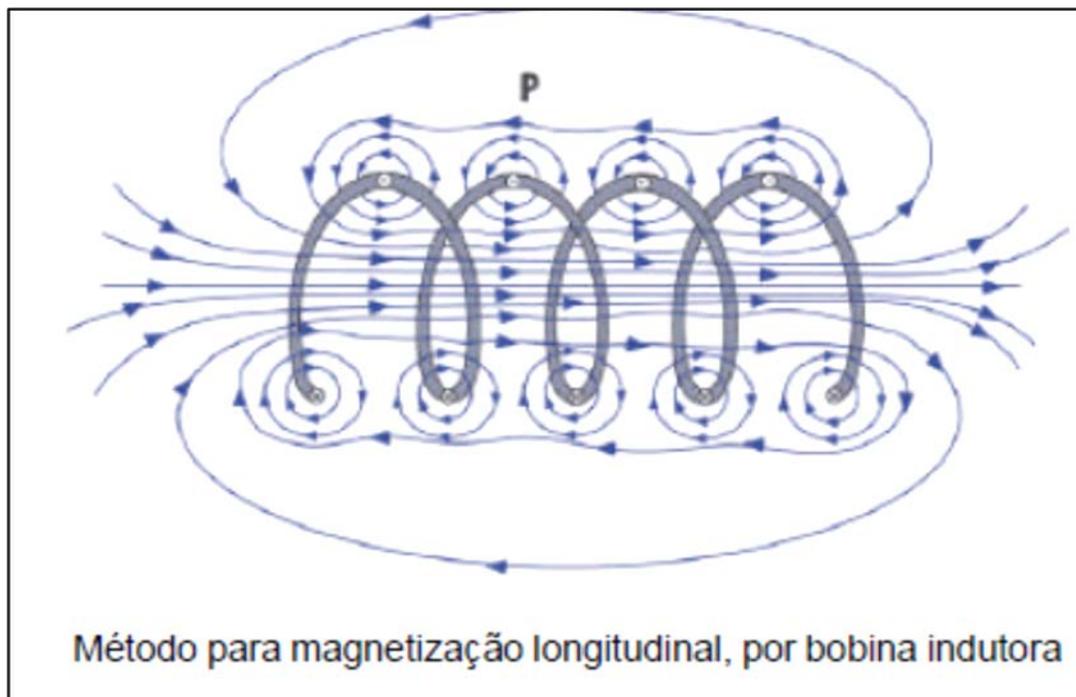
b) Paramagnéticos: $\mu = 1$.

Levemente atraídos por imã. Exemplo: **platina, alumínio, cromo, estanho, potássio**. **Não recomendados** para inspeção por partículas magnéticas.

c) Diamagnéticos: $\mu < 1$.

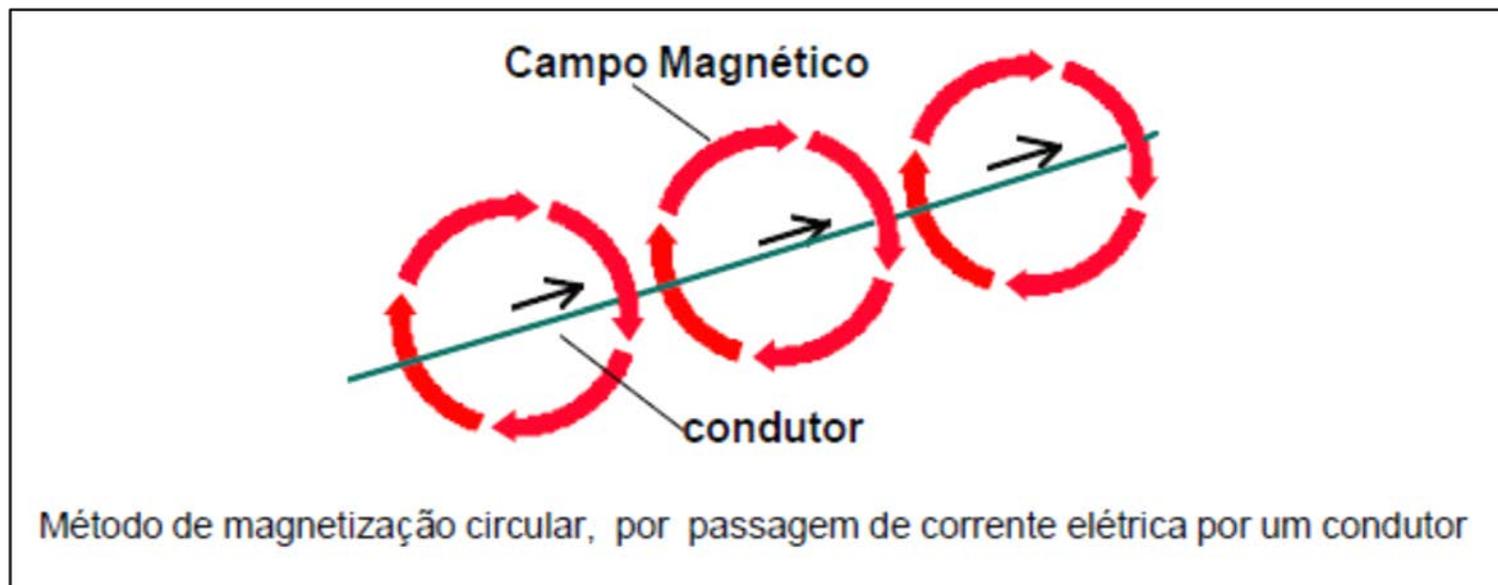
Levemente repelidos por imã. Exemplo: **prata, zinco, chumbo, cobre, mercúrio**. O ensaio por partículas magnéticas não é aplicável.

Magnetização Longitudinal



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Magnetização circular



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Magnetização multidirecional



Máquina para ensaio por partículas magnéticas de uma peça fundida para indústria hidroelétrica, usando a técnica multidirecional.

(Foto cedida pela empresa VOITH SIEMENS)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Ensaio de uma peça pela técnica de magnetização multidirecional.
Observe os grampos dos terminais de contato elétrico em cada lado da peça.

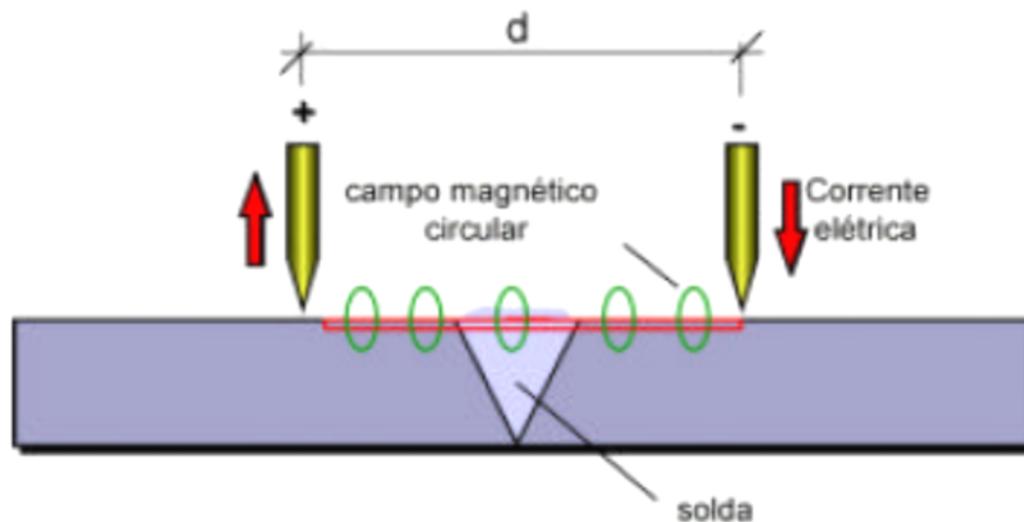
(Foto cedida pela empresa VOITH SIEMENS)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Magnetização por Passagem de Corrente Elétrica pela Peça

A Técnica dos Eletrodos

É a técnica de magnetização pela utilização de eletrodos, também conhecidas como pontas que quando apoiadas na superfície da peça, permitem a passagem de corrente elétrica pela peça. O campo magnético criado é circular. Esta técnica é geralmente aplicada em peças brutas fundidas, em soldas, nas indústrias de siderurgia, caldeiraria e outros.



Técnica de inspeção por Eletrodos

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Limitação da Corrente Elétrica na Técnica de Eletrodos

Espessura da peça	Corrente Elétrica aplicada por polegada de espaçamento entre os eletrodos
$< \frac{3}{4}$ pol. (19 mm)	mínimo de 90 até 110 A/pol.
$\geq \frac{3}{4}$ pol	mínimo de 100 até 125 A/pol.

Fonte: Código ASME Sec. V Art. 7

8" > Espaçamento entre eletrodos > 3"

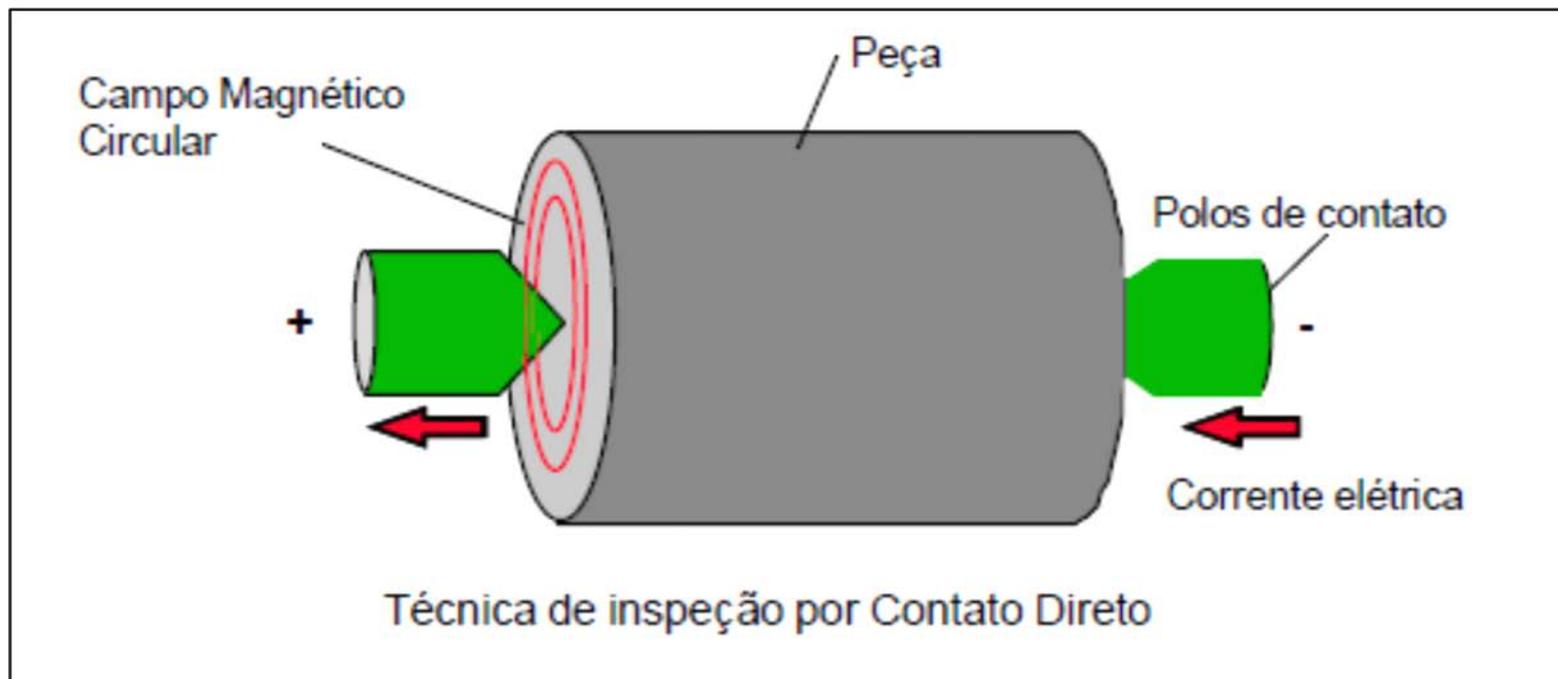


Uso da técnica de eletrodos para inspeção de uma solda de conexão

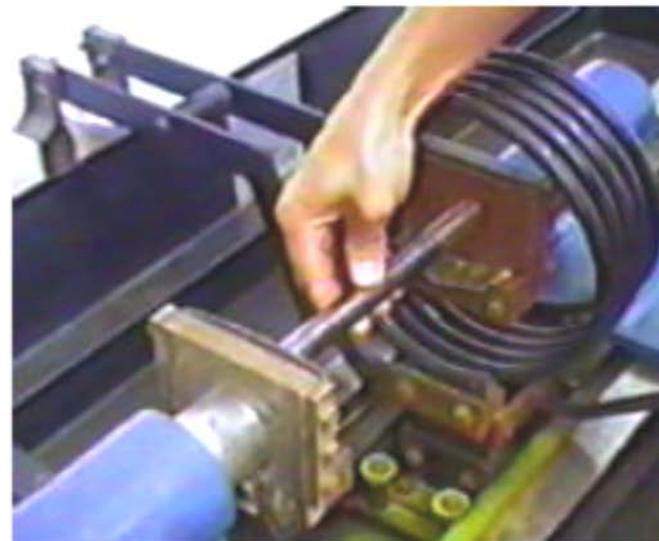
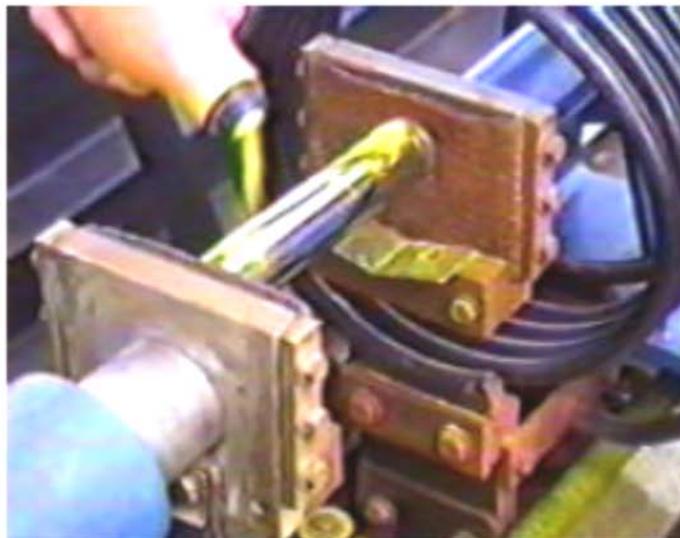
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

A Técnica de Contato Direto (magnetização por placas ou cabeçotes de contato)

- Aplicação em **máquinas estacionárias**: conhecida como técnica de magnetização pela passagem de corrente elétrica de extremidade a extremidade;
- O **campo magnético** formado é **circular**;
- **Difere da técnica por eletrodos**: é aplicável em sistemas de inspeção automáticos ou semi-automáticos.



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

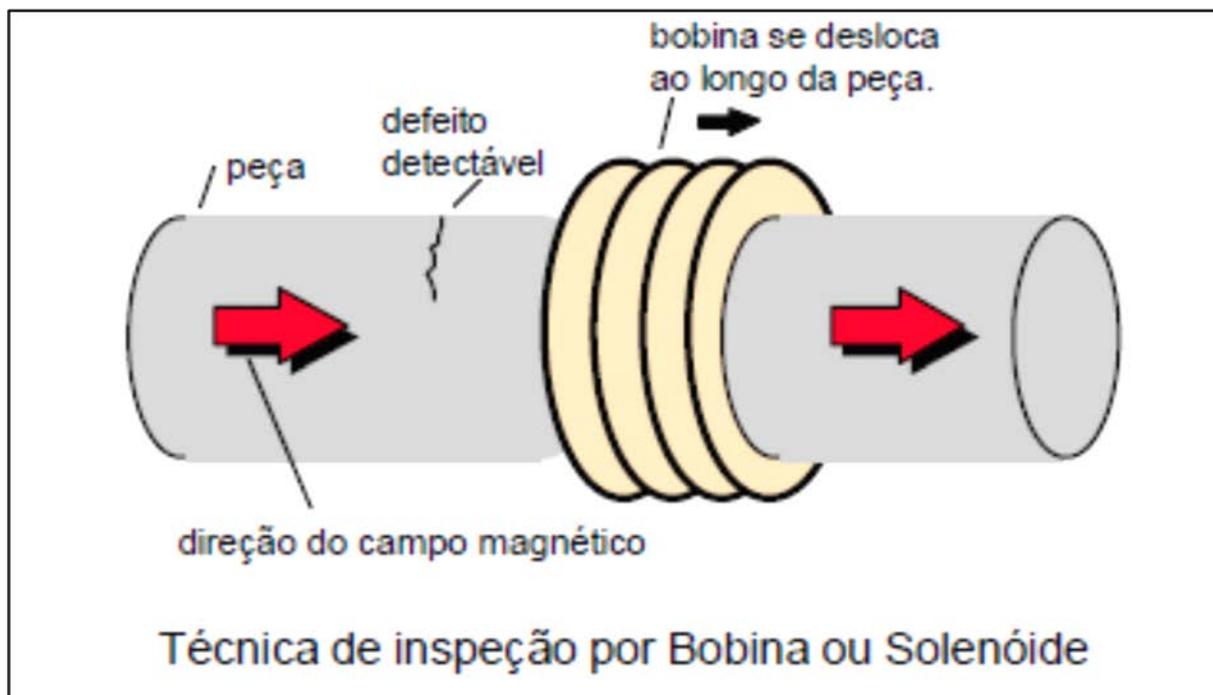


Fotos mostrando a técnica de magnetização circular por contato direto. Na foto esquerda o técnico pulveriza o pó magnético seco num eixo magnetizado por passagem de corrente elétrica. Na foto direita o técnico posiciona uma barra para a técnica de contato direto.

(Fotos extraídas do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Técnicas de Magnetização por Indução de Campo Magnético



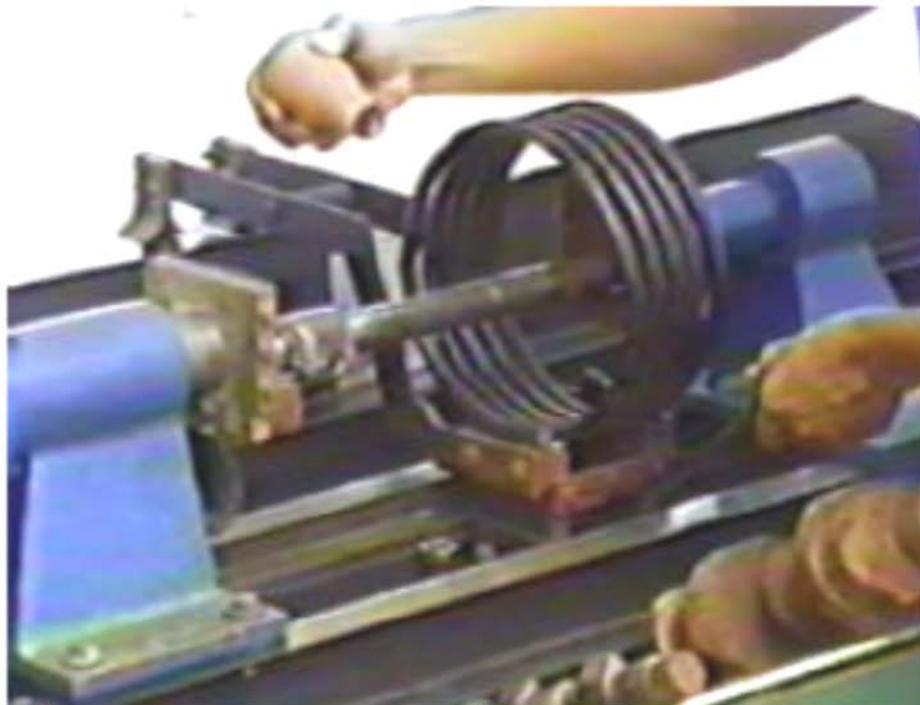


Foto mostrando a técnica de magnetização longitudinal de um eixo , por bobinas
(Foto extraída do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Conjunto da Bobina e sistema de spray de água contendo pó magnético.



Ensaio de um virabrequim pela técnica da bobina

Para peças onde a razão L/D , onde L é o comprimento da peça sendo no máximo 18 polegadas e D o seu diâmetro, for maior ou igual a 4, a intensidade do campo pode ser calculada através da fórmula:

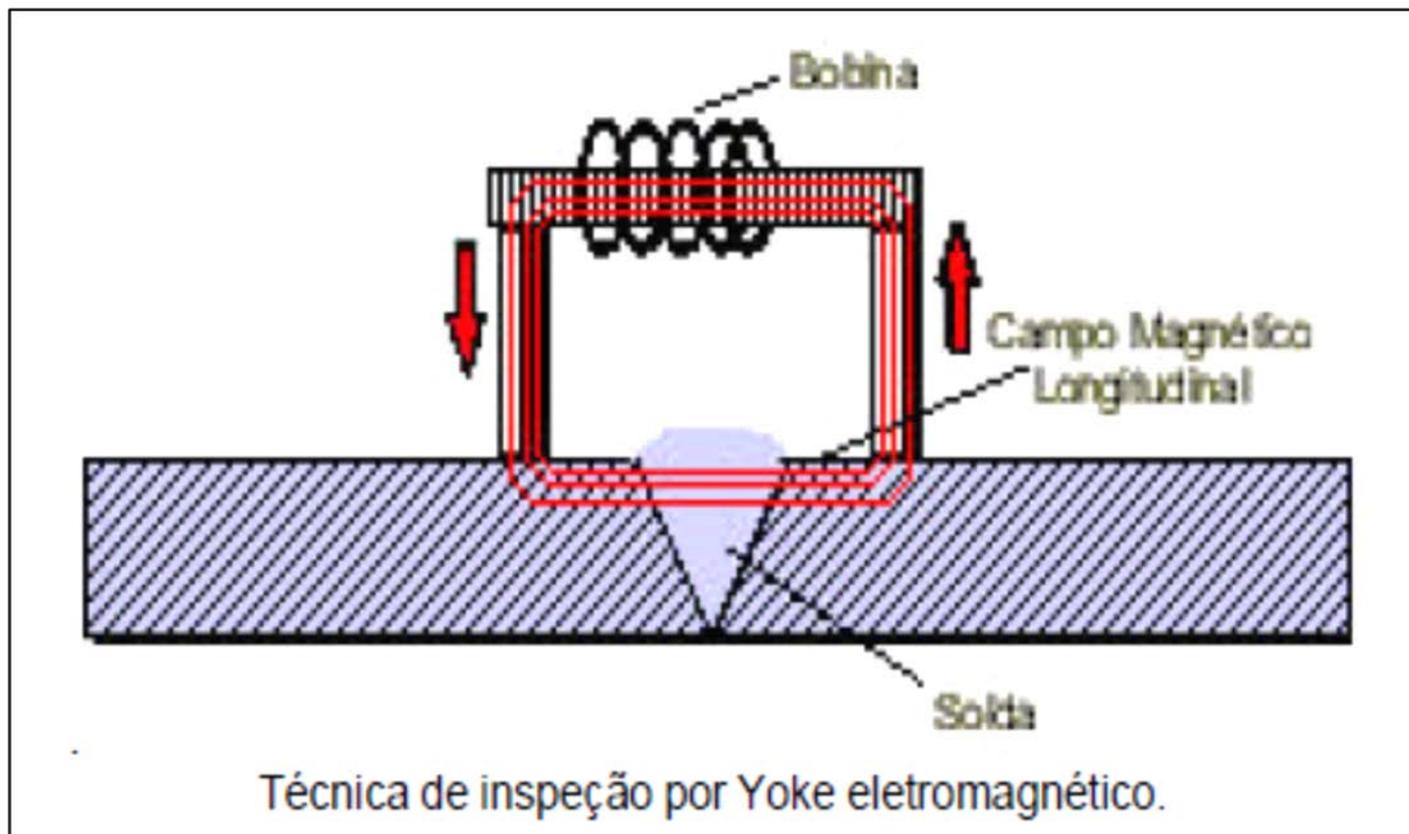
$$\text{Ampère-volta} = 35000 / (L/D) + 2 \quad (\pm 10\%)$$

(fonte: ASME Sec.V Art.7)

(Para peças não cilíndricas, D deve ser a máxima seção transversal da peça.)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

A Técnica do loque ou Yoke



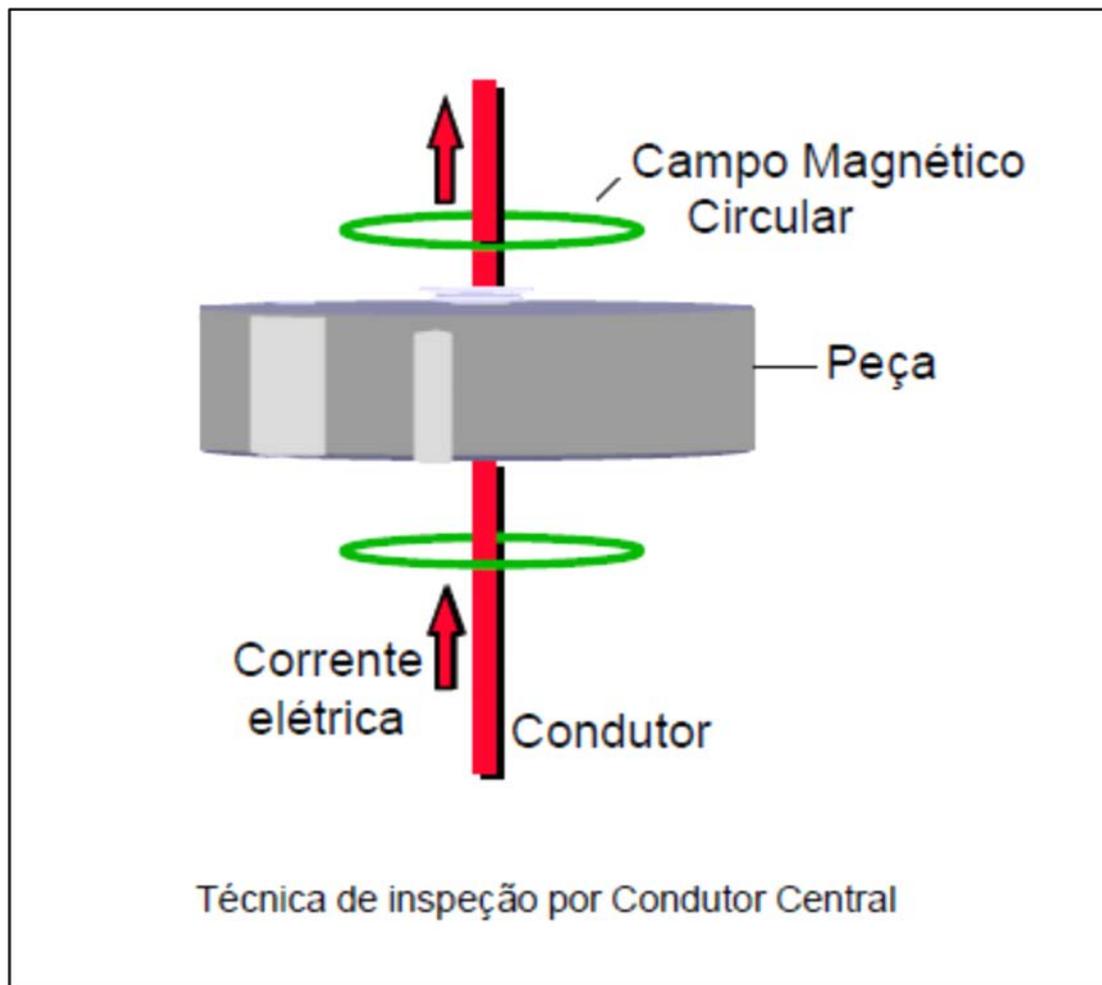
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Magnetização utilizando o YOKE

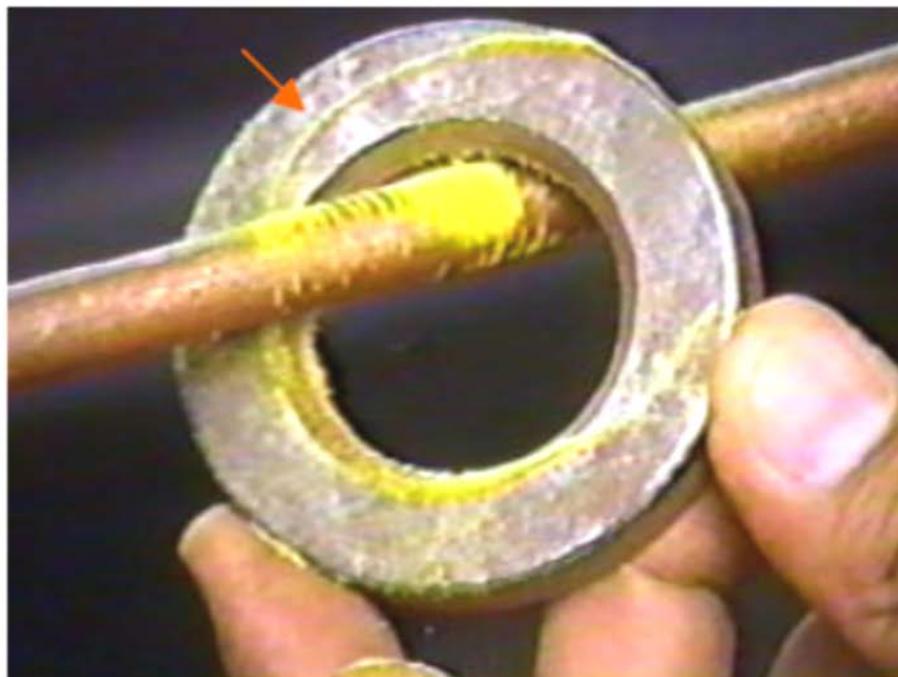
Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

A Técnica do Condutor Central



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

O uso do padrão indicativo de campo é sempre um requisito recomendado para certificação da intensidade do campo magnético gerado.



Indicação de trinca detectado pela técnica do condutor central. Observe a linha circular formada na superfície do anel pelo acúmulo do pó magnético.

(Foto extraída do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

Resumo dos Métodos e Técnicas de Magnetização

MÉTODO	TÉCNICAS DE MAGNETIZAÇÃO	
Longitudinal	Indução de Campo	Bobina (solenóide) Yoke Imã permanente
Circular	Passagens de Corrente elétrica	Eletrodos (pontas) Contato Direto (placas)
	Indução de Campo	Condutor central <ul style="list-style-type: none"> • Barra • Cabo Enrolado
Multidirecional	Indução e/ou passagem de Corrente elétrica	Combinação das Técnicas de campo Longitudinal com o Circular

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Medidor típico de campo magnético utilizando a sonda de Hall. Pode medir de 10 até 30.000 Gauss , muito útil para verificação do valor do campo magnético efetivo na peça a ser inspecionada por partículas magnéticas ou ainda campos residuais.

(foto extraída do catálogo da Magnaflex)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

DESMAGNETIZAÇÃO

Alguns materiais, devido as suas propriedades magnéticas, são capazes de reter parte do magnetismo.

Interferência nos processos de Usinagem

- Magnetização das ferramentas de corte afetando o **acabamento da peça**.
- A **retenção de limalha** e partículas contribuirá para a perda de corte e desgaste da ferramenta.

Interferência nos processos de Soldagem

- Deflexão do arco elétrico, desviando-o da região de soldagem, interferência conhecida como sopro magnético.

Interferência com Instrumentos de Medição

- instrumentos sensíveis de medição.

Interferência na aplicação da peça ensaiada

- Há registros de acidentes aéreos por interferências de campos magnéticos de trens de pouso nos instrumentos de navegação da aeronave.

DESMAGNETIZAÇÃO

Tratamentos térmicos desmagnetizam os materiais: **Temperatura de Curie**

Material	Ponto Curie °C
Níquel	372
Ferro puro	774
Cobalto	1.131

Fonte: ABM - Aços Carbono e Aços Liga - Chiaverini

Técnicas de desmagnetização: inverter o campo (polarização) da própria máquina ou utilizar campos magnéticos gerados por corrente alternada, o que leva a campos invertidos alternadamente e reduzindo-o a zero (desmagnetizadores).

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert



Aparelhos para avaliação do campo magnético residual. Gaussímetro (da esquerda) e o Medidor de Campo (da direita)

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Métodos de ensaio**Via Seca**

Aplicação do pó via seca

Comparando com o método por via úmida, as partículas por via seca são mais sensíveis na detecção de discontinuidades próximas a superfície, mas não são mais sensíveis para pequenas discontinuidades superficiais. Também, para uma mesma área ou região examinada, o consumo é maior. Por outro lado, é possível a reutilização das partículas, caso o local de trabalho permitir e que seja isenta de contaminação.

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Via Úmida

É método de ensaio pela qual as partículas encontram-se em dispersão em um líquido, denominado de veículo. Este líquido pode ser a água, querosene ou óleo leve .

No método por via úmida as partículas possuem granulometria muito fina, sendo possível detectar descontinuidades muito pequenas, como trincas de fadiga.

Devemos ressaltar que neste método de ensaio, as partículas que estão em dispersão, mesmo na presença do campo magnético, tem maior mobilidade do que na via seca, e podem percorrer maiores distâncias enquanto se acomodam ou até serem aprisionadas por um campo de fuga. Da mesma forma, nas superfícies inclinadas ou verticais requerem menor esforço para remoção do excesso.

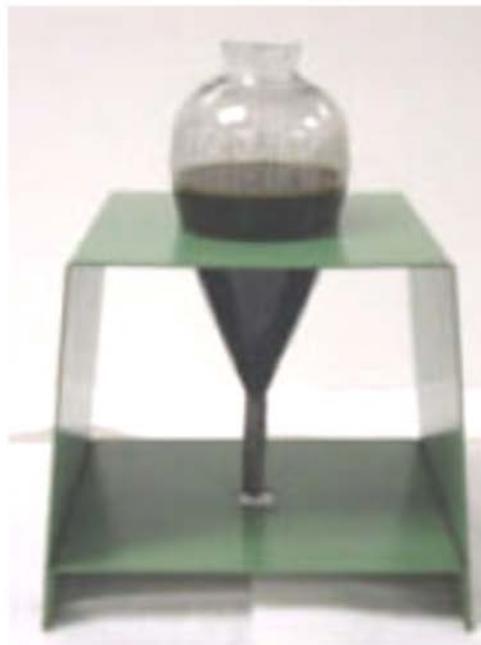
- Preparação das Partículas Via Úmida:

As partículas para serem aplicadas pelo método por via seca não requerem preparação e são retiradas diretamente das embalagens para os aplicadores de pó. Já as partículas para via úmida requerem a preparação da suspensão ou banho. Estas partículas podem estar na forma de pó ou pasta.

A preparação da suspensão por via úmida é muito importante para garantia da homogeneização do banho e dispersão das partículas na região em ensaio, após aplicação. Os fabricantes indicam nas próprias embalagens os valores de concentração adequada para a suspensão. Algumas partículas são utilizadas tanto em querosene quanto em água, fazendo com que o banho tenha uma composição homogênea, evitar a formação de espuma e a oxidação da superfície da peça logo após o ensaio.

- A mistura deve ser homogênea;
- Não pode haver aglomerados;
- A Suspensão não pode ser agitada;
- Para promover a homogeneização: o veículo de suspensão é adicionado aos poucos ao pó;
- A concentração da suspensão deve ser medida.

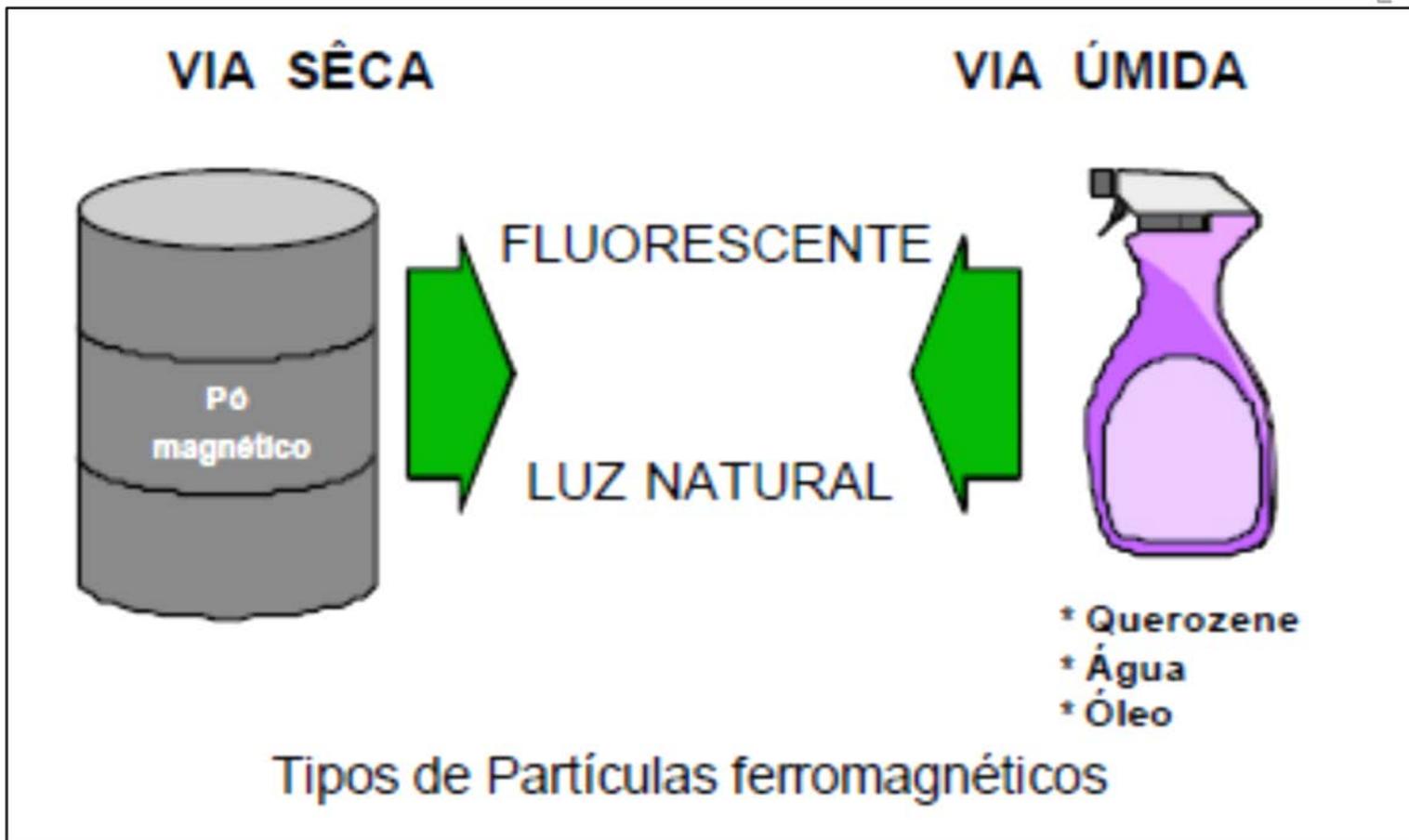
A verificação da concentração pode ser realizada de acordo com a norma ASTM E-709, usando-se um tubo decantador padronizado graduado, que tem a forma de pêra. Como ele , são retirados da suspensão pronta 100 ml, e aguarda-se 30 minutos.



Tubo decantador para partículas magnéticas via úmica

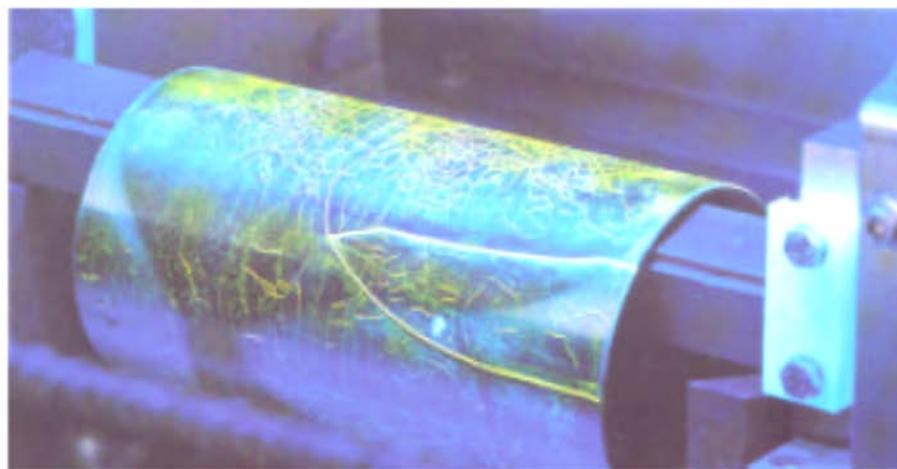
Após esse tempo, verifica-se na base do tubo, a quantidade também em ml de partículas decantadas, que se estiverem dentro da faixa recomendada pelas normas, indicam que a suspensão está pronta para uso.

Os valores recomendados são de **1,2 a 2,4 ml** para a inspeção por via úmida de partículas observadas sob luz branca ou natural, e de **0,1 a 0,4 ml** para as partículas fluorescentes, que são observadas sob luz ultravioleta (ou luz negra). Tais limites de concentração dependem da norma ou especificação aplicável.



Escolha do Tipo das Partículas magnéticas

- **Cor** das partículas está associada à **cor de fundo**, **cor da superfície** da peça em exame, temperatura da superfície, posição da peça;
- Usar a partícula cuja cor produza com a superfície o **melhor contraste possível**;
- O **Código ASME Sec. V Art.7** estabelece que partículas **via seca** podem ser utilizadas em superfícies com temperatura **até 315°C** e **via úmida** podem ser utilizadas em superfícies com temperatura **até 57,2 °C**.



Inspeção por partículas magnéticas fluorescentes de um anel contendo inúmeras trincas.

Foto extraída do catálogo da Karl Deutsch.

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Procedimento para Ensaio

Os requisitos mínimos para um procedimento escrito para aplicação do ensaio por partículas magnéticas é descrito abaixo, e segue as recomendações do **ASME Sec. V Art. 7**:

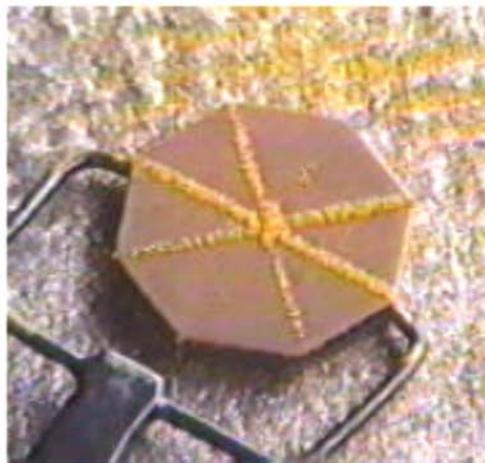
- a) Técnica de magnetização;
- b) Tipo ou amperagem de corrente elétrica para magnetização;
- c) Preparação da superfície;
- d) Tipo de partículas magnéticas usadas;
- e) Método de aplicação das partículas;
- f) Método de remoção do excesso de partículas da superfície;
- g) Intensidade mínima de iluminação;
- h) Espessura de revestimentos , se não removidos;
- i) Demonstração do procedimento , se aplicável;
- j) Temperatura da superfície;
- k) Forma e tamanho das peças a serem inspecionadas;
- l) Equipamentos;
- m) Técnica de desmagnetização;
- n) Limpeza após o ensaio;
- o) Requisitos de qualificação de pessoal.

Preparação da Superfície

- Jato de areia ou granalha;
- Escova de aço;
- Solvente e panos umedecidos em solventes ou secos;
- Limpeza química ;
- Vapor desengraxante;
- Esmerilhamento.

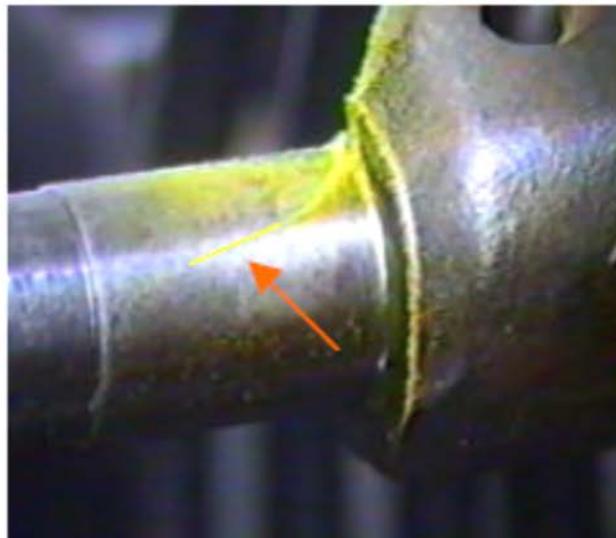
Escolha do equipamento e da técnica

Às vezes é necessária a utilização de um padrão indicativo.



Padrão indicativo de Campo Magnético recomendado pelo Código ASME Sec.V Art.7 , ASTM E-709 e ASTM - E 1444

Tipos de indicação

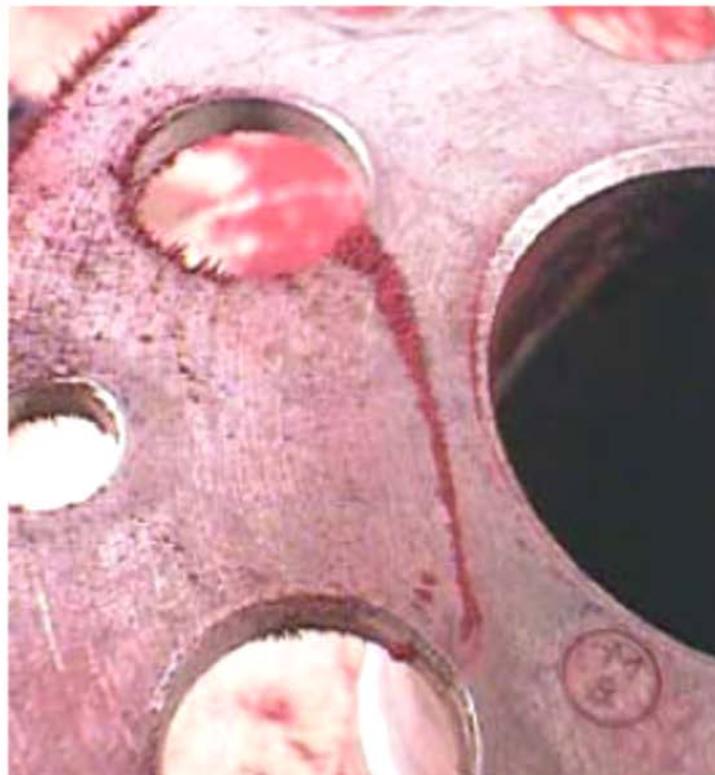


Indicação típica de trinca num eixo automotivo, obtido pela técnica de magnetização por contato direto , método via seca com partículas visíveis com luz branca.

(Foto extraída do filme "Ensaio por Partículas Magnéticas")

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Tipos de indicação



Trinca entre dois furos detectada com partículas magnéticas via seca,

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Tipos de indicação

Indicações de trincas sobre a solda, detectadas com pó magnético via seca



Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Tipos de indicação

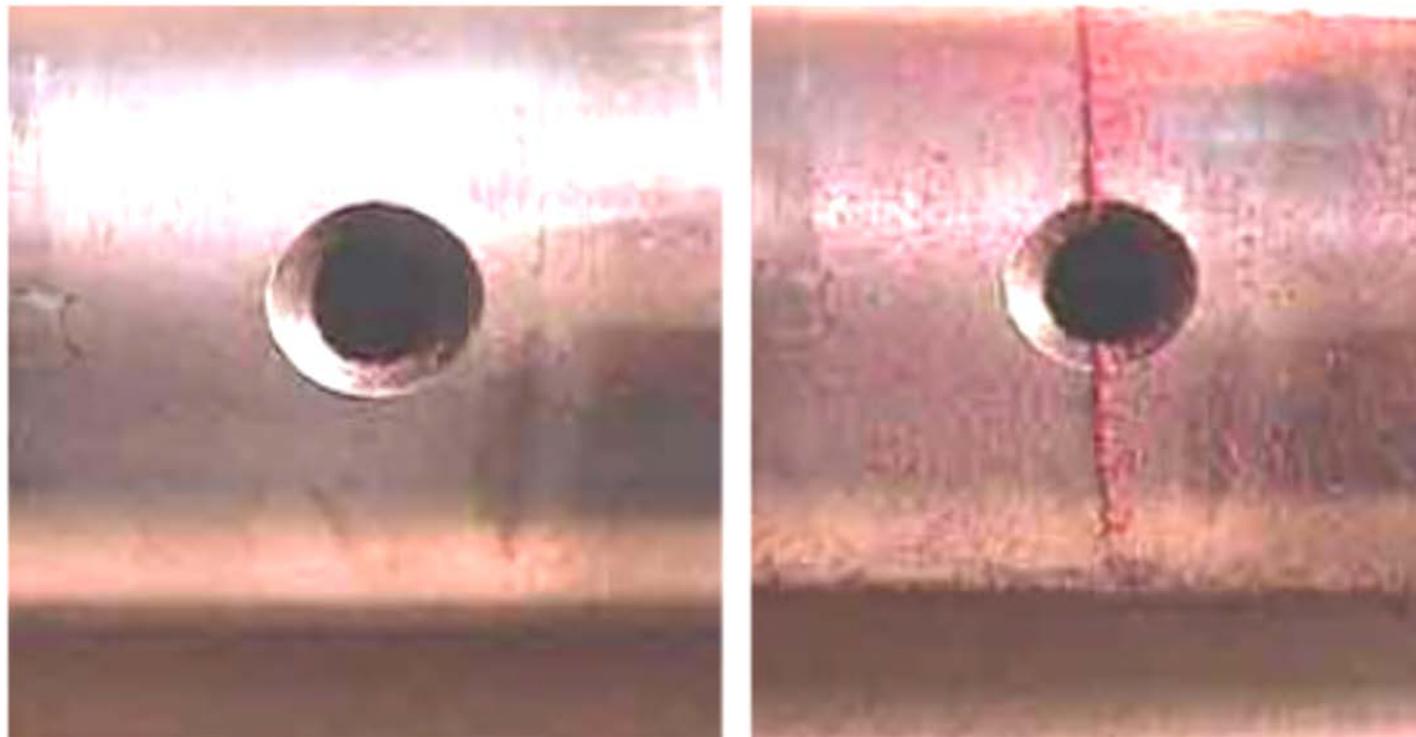
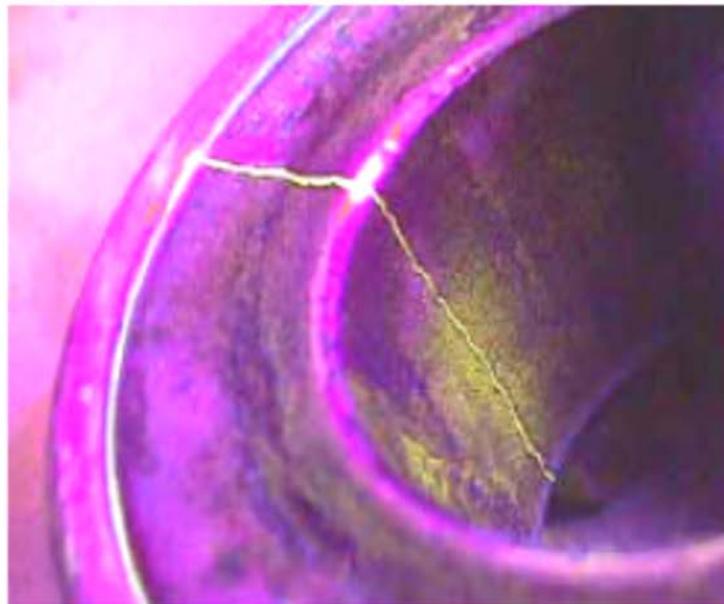


Foto da esquerda mostrando a peça antes da inspeção por partículas e a foto da direita mostrando a trinca originada do furo.

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Tipos de indicação



Indicações de trincas produzidas por partículas magnéticas fluorescentes

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Calibração dos Equipamentos

- **Frequência** : Os equipamentos contendo amperímetro devem ser calibrados no mínimo uma vez ao ano , ou quando ocorrer reparos elétricos ou danos.
- **Procedimento**: Os amperímetros podem ser verificados por comparação com um padrão rastreável a outro reconhecido. Leituras comparativas podem ser feitas no mínimo em três níveis de saída de corrente dentro da faixa usual.
- **Tolerância**: A medida realizada não deve variar mais do que $\pm 10\%$ do fundo da escala, relativa ao valor real da corrente.

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert

Critério de Aceitação conforme o Código ASME Sec. VIII Div.1 e 2

O critério de aceitação que segue abaixo , é uma tradução do Código ASME Sec VIII Div.1 Apêndice 6 e Div. 2 Ap. 9, é aplicável para superfícies inspecionadas por partículas magnéticas , projetadas conforme este Código.

Avaliação das indicações:

Uma indicação é uma evidência de uma imperfeição mecânica. Somente indicações com dimensões maiores que 1/16 pol. (1,6 mm) deve ser considerada como relevante.

- (a) Uma indicação linear é aquela tendo um comprimento maior que três vezes a largura.
- (b) Uma indicação arredondada é aquela na forma circular ou elíptica com comprimento igual ou menor que três vezes a largura.
- (c) Qualquer indicação questionável ou duvidosa , deve ser reinspecionada para determinar se indicações relevantes estão ou não presentes.

Aceitação:

Toda as superfícies devem estar livres de :

- (a) indicações relevantes lineares ;
- (b) indicações relevantes arredondadas maiores que 3/16 pol. (4,8 mm) ;
- (c) quatro ou mais indicações relevantes arredondadas em linha separadas por 1/16 pol. (1,6 mm) ou menos (de borda a borda) ;
- (d) uma indicação de uma imperfeição pode ser maior que a imperfeição , entretanto , o tamanho da indicação é a base para a avaliação da aceitação .



PARTÍCULAS MAGNÉTICAS RELATÓRIO DE ENSAIO

(Identificação do CEG)

PROCEDIMENTO - N.º REV.		CRITÉRIO DE ADEQUAÇÃO		RELATORIO N.º
MATERIAL		N.º ID	COORDENADA DA SUPERFÍCIE	FOLHA de
NORMA DE REFERÊNCIA				

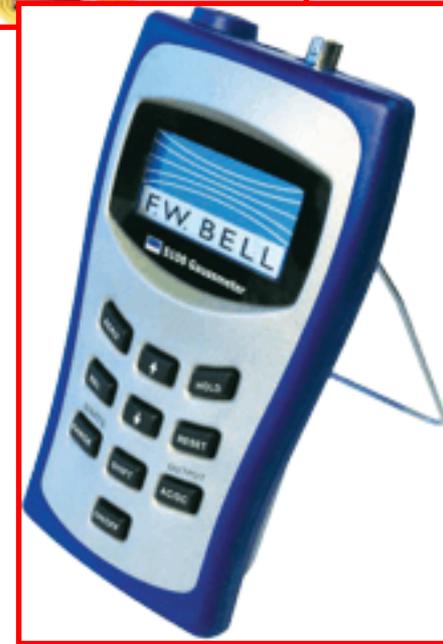
<input type="checkbox"/> YÓKE		<input type="checkbox"/> ELETRODO		<input type="checkbox"/> CONTATO DIRETO		<input type="checkbox"/> BOBINA		<input type="checkbox"/> CONDUTOR CENTRAL	
Espessura C.P. (mm):		Diâmetro C.P. (mm):		Comprimento X Largura (mm):		Partícula Magnética Marca / Fabricante:			
Equipamento - Tipo / Modelo:			Diâmetro Bobina e n.º Espiras:			Diâmetro Condutor:			
Corrente de Magnetização:			Valor da Corrente Utilizada:			Partículas Magnéticas <input type="checkbox"/> Gelatina <input type="checkbox"/> Fluorescente			
Ensaio <input type="checkbox"/> Via Úmida <input type="checkbox"/> Via Seca			Desmagnetização <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			Corrente de Desmagnetização:			

N.º DISCONTINUIDADE	TIPO DE DISCONTINUIDADE	LOCALIZAÇÃO DE A	DIREÇÃO DA DISCONTINUIDADE	LAUDO	OBSERVAÇÃO

LEGENDA:

<p>LAUDO A = APROVADO R = REPROVADO NEC = NECESSÁRIO EXAME COMPLEMENTAR</p>	<p>DISCONTINUIDADE: SP = SOBREPOSIÇÃO PO = POROSIDADE FF = FALTA DE PENETRAÇÃO</p> <p style="text-align: right;"> FF = FALTA DE FUSÃO TT = TRINCA TRANSVERSAL TL = TRINCA LONGITUDINAL</p>
---	--

<input type="checkbox"/> APROVADO		<input type="checkbox"/> REPROVADO		<input type="checkbox"/> NEC	
Nome do Candidato:				N.º:	
Modalidade do Exame:			Assinatura do Candidato:		
Empresa:		Data:		Visto do Examinador:	



Partículas Magnéticas



Figure 4. An Inspector Performing a Magnetic Particle Inspection of a Component.

FIM

Prof.Dr. Cassius Olivio Figueiredo Terra Ruchert