



**Webinar - 2019**

**Fundamentos dos ENDs  
Convencionais**

## Programa de webinars e lives para alunos das universidades – 2019

### Objetivo:

- Difundir informações técnicas, em linha com nossa missão;
- Estabelecer um novo canal de comunicação com estudantes de escolas técnicas e futuros profissionais da indústria;
- Tornar a Abendi mais próxima.

MATERIAL EXCLUSIVO DA ABENDI

Webinar 4 A importância dos ENDS e Inspeção para a sua vida	24 de Setembro (Noite) Das 17h30 às 18h	Antonio Aulicino	» <a href="#">Inscreva-se aqui - 24/09</a>
Webinar 5 Ultrassem na indústria automotiva	03 de Outubro (Noite) Das 17h30 às 18h	Rui de Carvalho	» <a href="#">Inscreva-se aqui - 03/10</a>

## **Ensaio Não destrutivos**

Ferramenta fundamental na prevenção de falhas, acidentes, perda de tempo, recursos e vidas

- END – Métodos Convencionais mais comuns:

Ensaio Visual  
Liquido Penetrante  
Partículas Magnéticas  
Radiografia  
Ultrassom

- Fatores que influenciam na seleção de um Método de END:

- Material a ser testado
- Processo de Fabricação
- Geometria da Peça
- Tipos de descontinuidades características em função do processo de fabricação da peça
- Sensibilidade necessária
- Custos envolvidos

## • Ensaio Visual

É o mais antigo método de END

O primeiro END a ser usado na fabricação de peças ou equipamentos e na verificação da sua condição de operação (em serviço) para avaliar:

- A existência de descontinuidades superficiais visuais
- Acabamento superficial
- Refletividade e Cor
- Alterações dimensionais, alinhamentos e deformações

## • Ensaio Visual

Princípios Físicos:

A luz (luminosidade) e a visão são os princípios físicos deste método

Técnicas de Ensaio Visual:

- Exame Visual Direto
- Exame Visual Remoto
- Exame Visual Translúcido

# - Exame Visual Direto

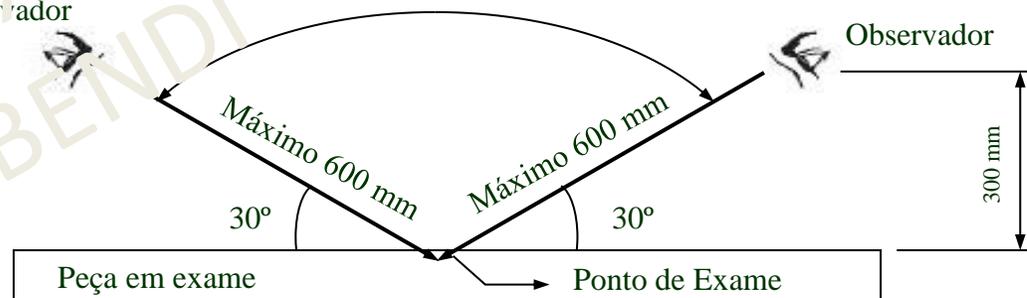
Instrumentos auxiliares:

- Lupas
- Espelhos



Observador

Observador

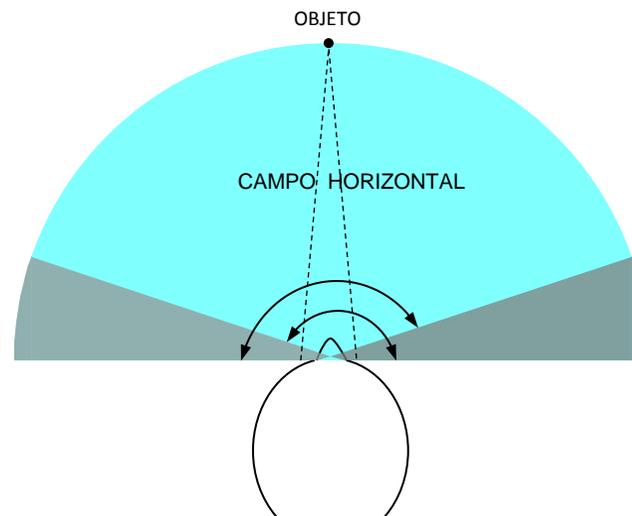


OBJETO

CAMPO VERTICAL

OBJETO

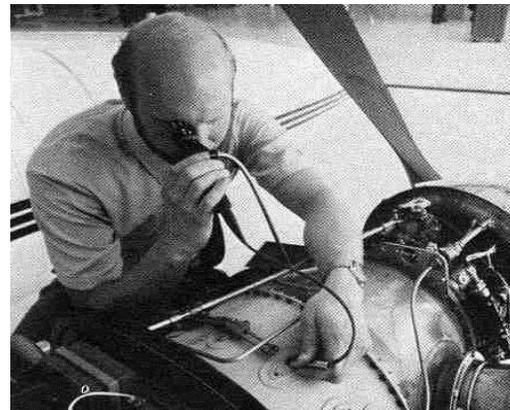
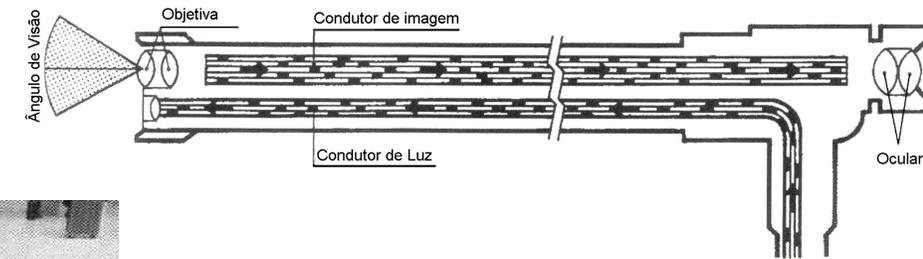
CAMPO HORIZONTAL



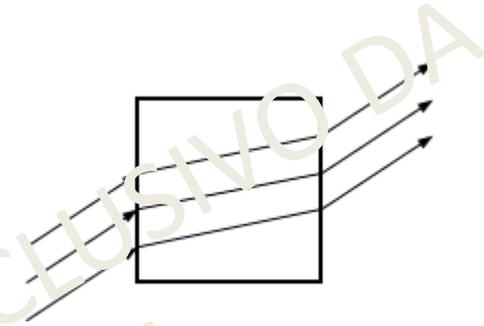
## • Ensaio Visual Remoto (difícil acesso)

- Instrumentos Auxiliares:

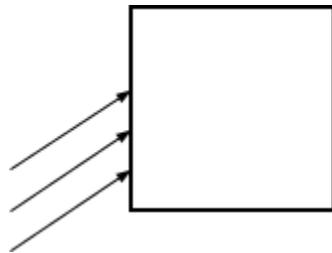
- Boroscópio / Endoscópio / Videoscópio



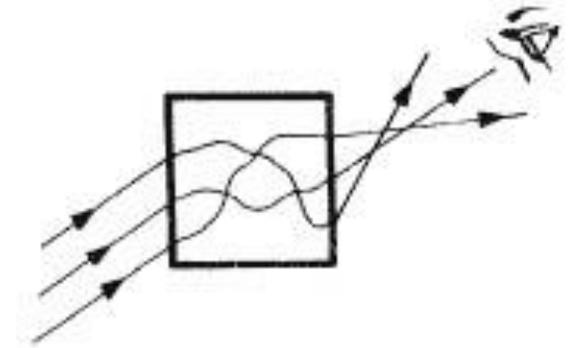
## • Ensaio Visual Translúcido



*Material Transparente ex:  
vidro de alta transparência*



*Material Opaco ex:  
material metálico*



*Material Translúcido ex:  
material compósito / polímero*

## •Ensaio Visual

### •Vantagens e Limitações do Ensaio Visual

#### -Vantagens

É um ensaio de rápida execução e de baixo custo

O ensaio visual detecta as imperfeições maiores e pode indicar os pontos com prováveis discontinuidades que devem ser inspecionados por outros Ensaio Não Destrutivos.

#### -Limitações

É limitado à detecção de discontinuidades superficiais visuais

## • Líquido Penetrante

É utilizado na detecção de descontinuidades abertas à superfície de materiais sólidos não porosos.

-Propriedades Físicas Fundamentais:

- ✓ Tensão Superficial (força de coesão entre as moléculas do penetrante)
- ✓ Molhabilidade
- ✓ Capilaridade (penetrar em pequenas descontinuidades)

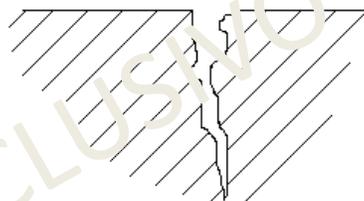
## • Líquido Penetrante

- Etapas Básicas:

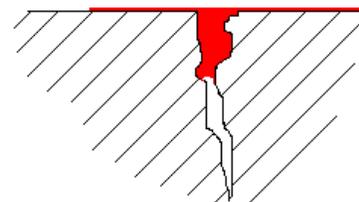
- ✓ Preparação da superfície e limpeza (melhorar o acabamento através de escovamento, lixamento ou esmerilhamento e eliminar impurezas da superfície com solvente apropriado, vapor desengraxante, limpeza por ultrassom, etc.)
- ✓ Aplicação do penetrante e tempo de penetração
- ✓ Remoção do excesso
- ✓ Aplicação do revelador
- ✓ Tempo para Formação da indicação
- ✓ Inspeção e laudo final
- ✓ Limpeza final da peça

# • Líquido Penetrante

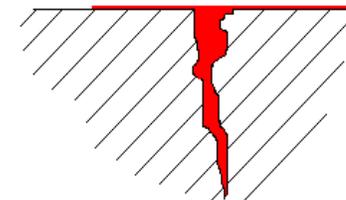
## • Resumo das Etapas de Ensaio por LP



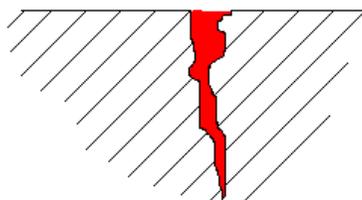
Superfície  
limpa



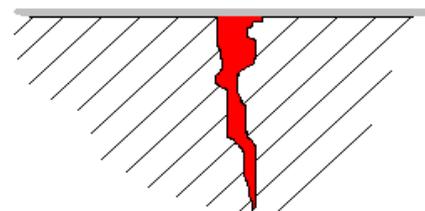
Início do tempo  
de penetração



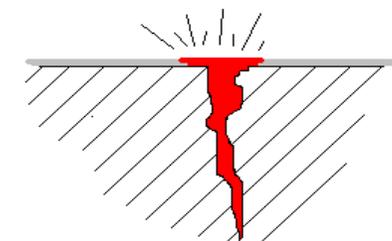
Término tempo  
de penetração



Após remoção  
do excesso



Aplicação do Revelador e  
início da Revelação

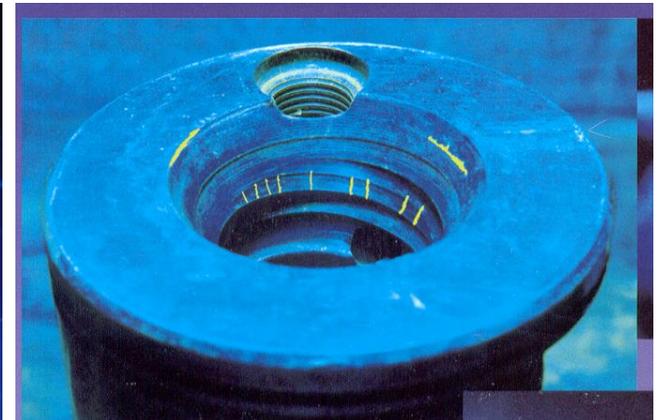
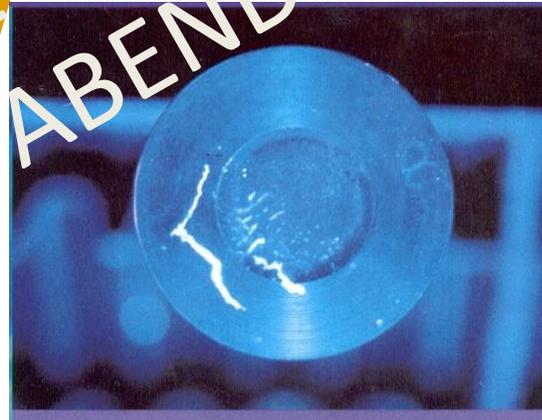


Indicação após o tempo  
de Revelação

## • Líquido Penetrante

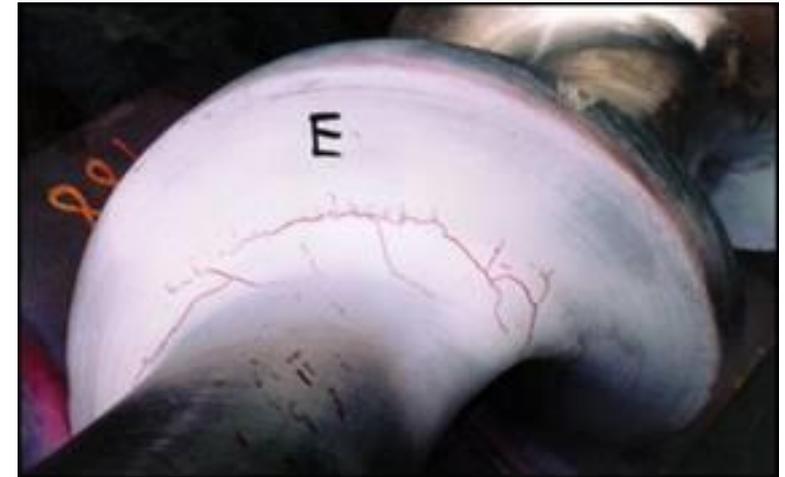
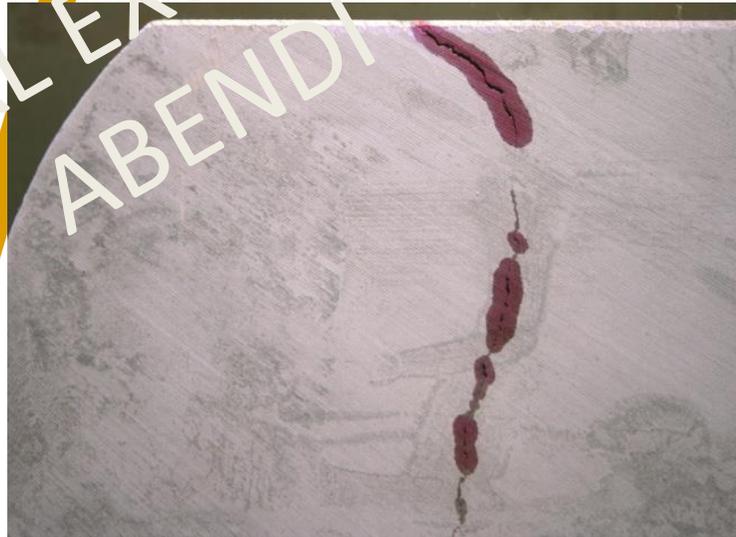
### Tipos de Líquido Penetrante

Tipo 1 – fluorescente: usado em ambientes escuros com auxílio de luz negra.



## • Líquido Penetrante

Tipo II – Penetrante colorido (não fluorescente) - É utilizado em ambientes claros, sendo visível com luz natural.

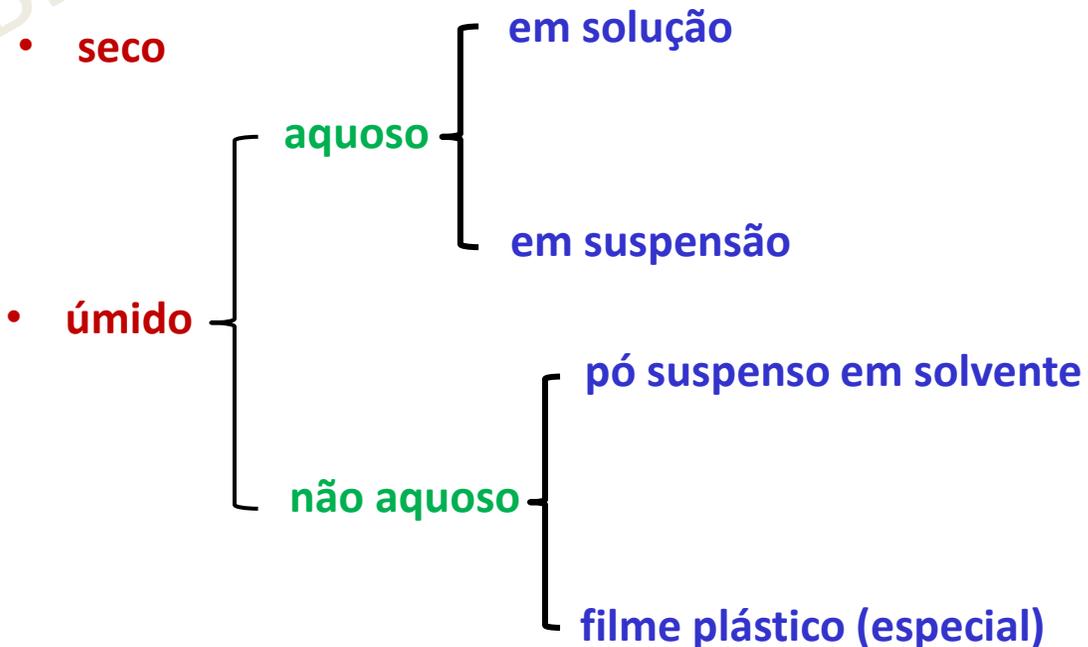


## • Líquido Penetrante

- Formas de remoção do excesso de Penetrante
  - ✓ Método A - Removível com água
  - ✓ Método B - Removível com água após emulsificação, lipofílico (Base oleosa)
  - ✓ Método C - Removível com solvente
  - ✓ Método D - Removível com água após emulsificação, hidrofílico (base aquosa).

## • Líquido Penetrante

- Tipos de Revelador (extrai o penetrante de dentro da descontinuidade, trazendo-o para a superfície e formando uma indicação visível a olho nú – manchamento)



## • Líquido Penetrante

### • Vantagens e Limitações do Ensaio por LP

#### - Limitações

- ✓ Detecta somente descontinuidades superficiais e que não estejam obstruídas
- ✓ Não proporciona registro permanente dos resultados
- ✓ Não aplicável em materiais porosos
- ✓ O resíduo de penetrante que permanece na descontinuidade pode ser prejudicial à solda ou à peça em alguns casos
- ✓ Normalmente não apresenta resultados satisfatórios em temperaturas da superfície inferiores a 10 °C e superiores a 52 °C.

## • Líquido Penetrante

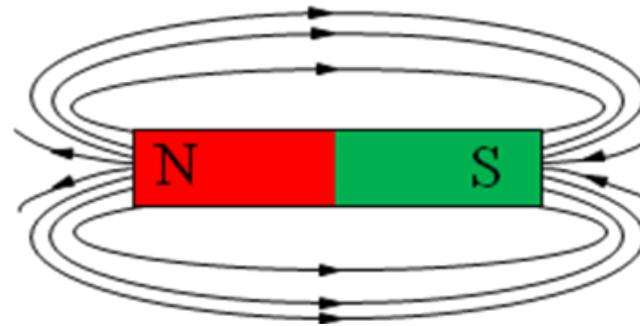
### • Vantagens e Limitações do Ensaio por LP

#### • Vantagens

- ✓ Detecção de descontinuidades imperceptíveis a olho nu
- ✓ Não existe inconveniente quanto ao formato da peça
- ✓ Ensaio rápido
- ✓ Fácil execução
- ✓ Aplicáveis em materiais magnéticos ou não magnéticos.
- ✓ Menos tempo para o treinamento de operadores/inspetores.

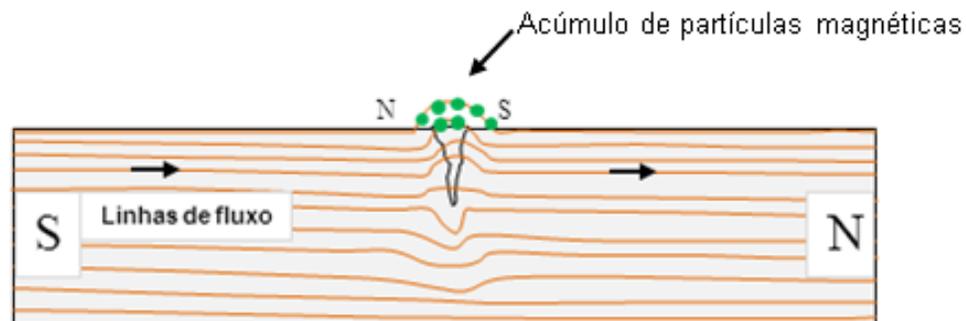
## •Partículas Magnéticas

É utilizado para localizar descontinuidades superficiais e subsuperficiais em peças de material ferromagnético (ligas de ferro, níquel, cobalto e quase todos os tipos de aço).



## •Partículas Magnéticas

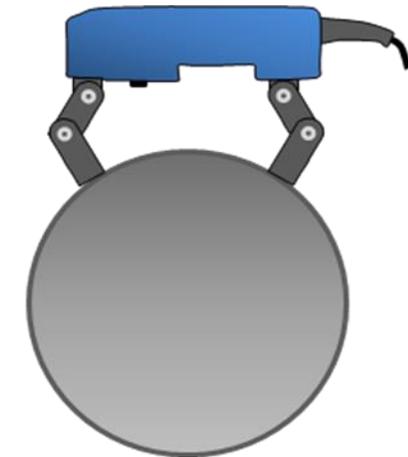
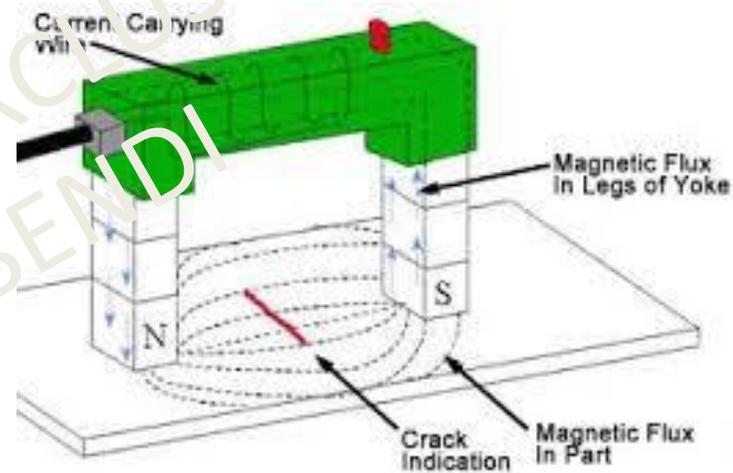
O princípio físico do método consiste na aplicação de uma corrente de magnetização ou de um campo magnético à peça inspecionada, com o objetivo de se ter um campo magnético nesta. A presença de descontinuidades superficiais ou subsuperficiais irá produzir campos de fuga na região da descontinuidade, causando uma polarização localizada, que é detectada pelas partículas ferromagnéticas que são aplicadas sobre a peça



## • Partículas Magnéticas

### • Técnicas de Ensaio por PM

- Yoke eletromagnético (campo longitudinal na peça)

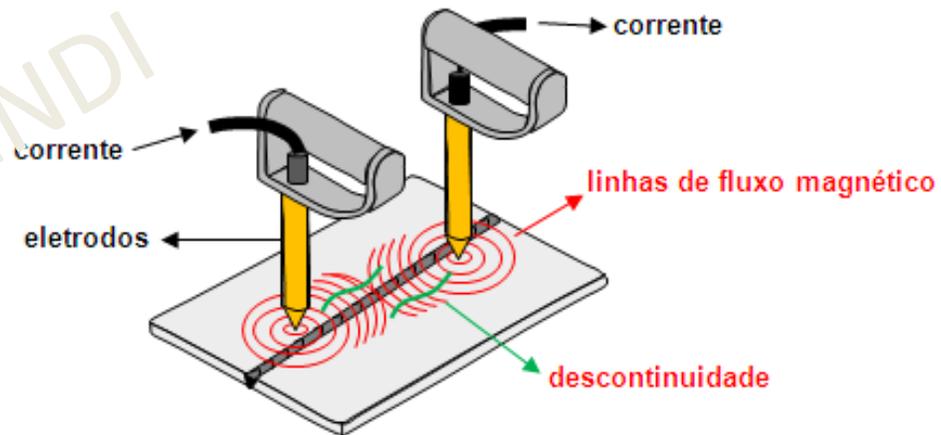


Vantagens do uso do Yoke:

É versátil e adequado para a inspeção tanto de uma pequena carcaça fundida quanto de estruturas de grandes dimensões, com diversas configurações/geometrias.

## • Partículas Magnéticas

- Técnicas de Ensaio por PM
  - Eletrodo (campo circular)

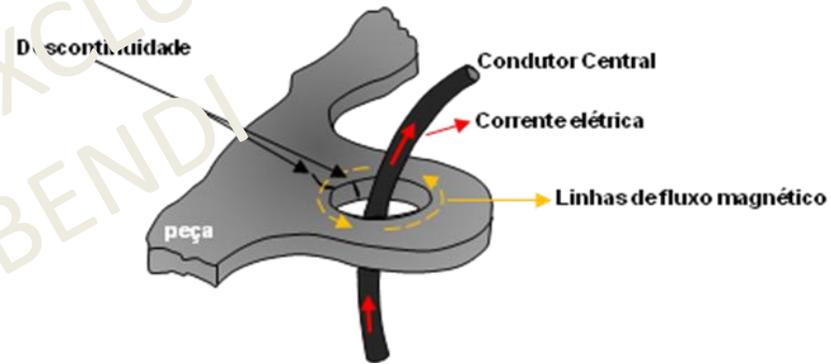


Vantagens do uso dos Eletrodos:

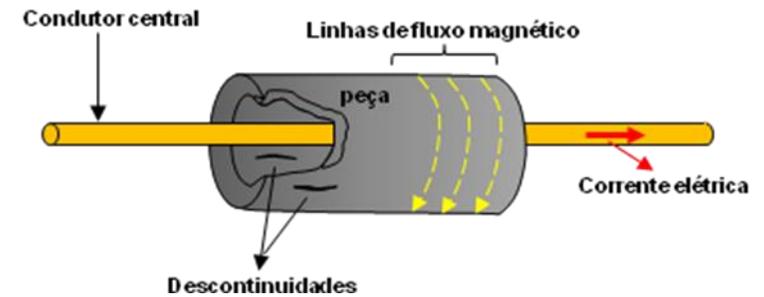
Depois da técnica do Yoke, é a mais utilizada na indústria, principalmente, para inspeções em peças ou equipamentos cuja forma geométrica seja irregular.

## • Partículas Magnéticas

- Técnicas de Ensaio por PM
  - Condutor central (campo circular)



Ensaio no orifício da peça



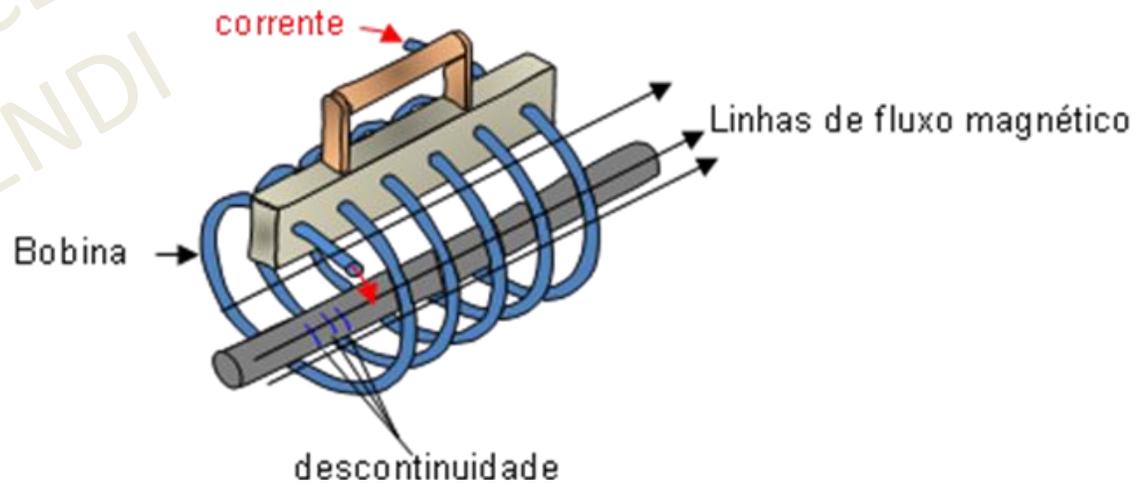
Ensaio de uma seção de tubo

Vantagens do uso do Condutor central:

Essa técnica é empregada em peças vazadas (tubos, flanges, porcas, etc.) para detectar descontinuidades nas superfícies internas ou externas.

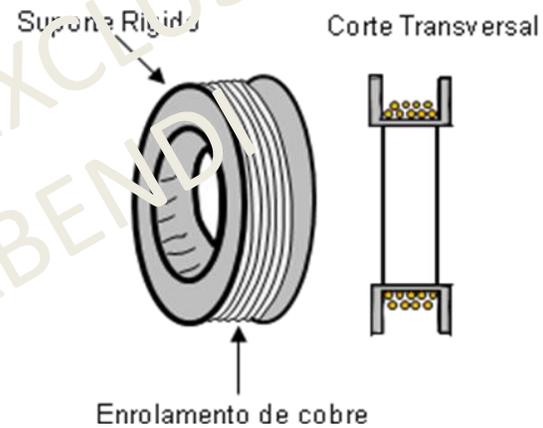
## •Partículas Magnéticas

- Técnicas de Ensaio por PM
  - Bobina (campo longitudinal)

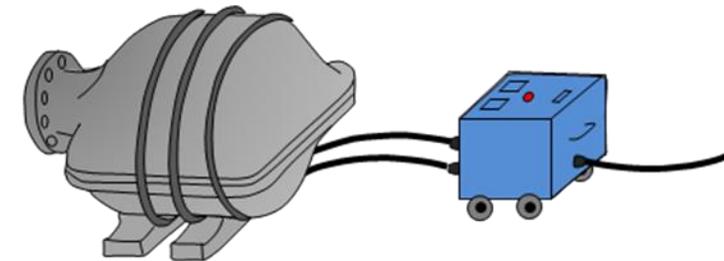


## • Partículas Magnéticas

- Técnicas de Ensaio por PM
  - Bobina (campo longitudinal)



Bobina tipo carretel



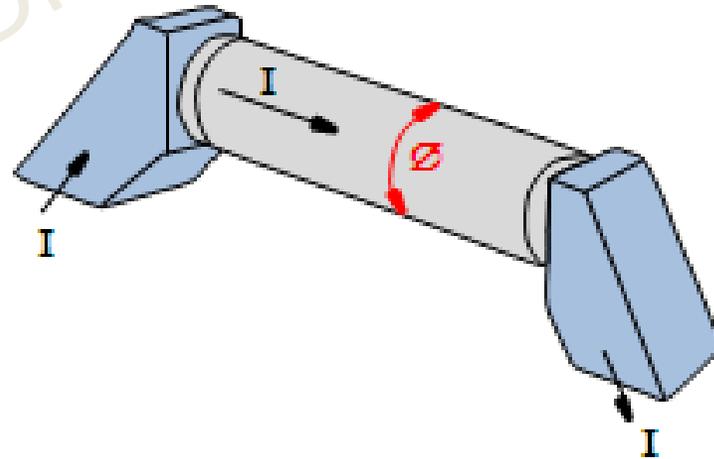
Bobina de cabos flexíveis

Vantagens do uso da técnica da Bobina:

Essa técnica é empregada em peças de grandes dimensões.

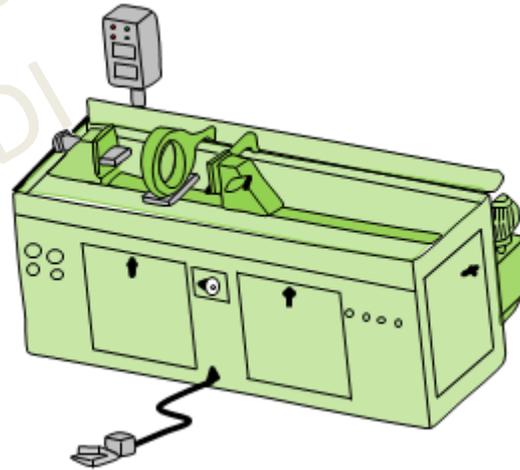
## • Partículas Magnéticas

- Técnicas de Ensaio por PM
  - Contato Direto (campo circular)



## •Partículas Magnéticas

- Técnicas de Ensaio por PM
  - Máquina estacionária



Permite o uso da técnica da Bobina, Condutor Central e Contato Direto

Vantagens do uso da máquina estacionária:  
Alta produtividade na inspeção de peças seriadas.

## •Partículas Magnéticas

### • As Partículas Magnéticas

São de materiais ferromagnéticos que possuem alta permeabilidade e baixa retentividade, aplicados na superfície da peça.

- Formas de aplicação das partículas:



Via Seca



Via úmida

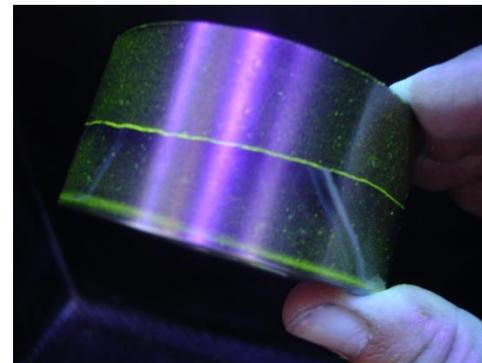
## •Partículas Magnéticas

- Cor das partículas

- Coloridas (mais usuais são preta, cinza, amarela e vermelha)



- Fluorescentes - Visíveis sob luz negra



## •Partículas Magnéticas

- Resumo das Etapas do Ensaio por PM
  - Preparação da superfície e Limpeza inicial
  - Magnetização da Peça
  - Aplicação das Partículas
  - Inspeção Final

## •Partículas Magnéticas

### • Vantagens e Limitações do Ensaio por PM

#### - Vantagens

- ✓ Trata-se de um método superficial mas que permite a detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais
- ✓ Pode ser aplicado em peças com temperatura elevada (partículas via seca)
- ✓ Fornece resultados imediatos, sendo mais rápido que o ensaio por meio de líquido penetrante

## • Partículas Magnéticas

- Vantagens e Limitações do Ensaio por PM

- Limitações

- ✓ Aplica-se somente a materiais ferromagnéticos
- ✓ Peças com geometria muito complexa pode dificultar a realização do ensaio
- ✓ Necessita de corrente elétrica próximo ao local de ensaio

## • Ensaio Radiográfico

Utiliza os raios X e raios  $\gamma$  para mostrar a presença e certas características de discontinuidades internas e superficiais do material.

O princípio físico do método baseia-se na capacidade da radiação eletromagnética com pequeno comprimento de onda em penetrar nos materiais sólidos e na absorção diferenciada que cada material oferece a esta radiação (raios X e  $\gamma$ ).

Fatores que influenciam na penetração de ondas eletromagnéticas (radiação):

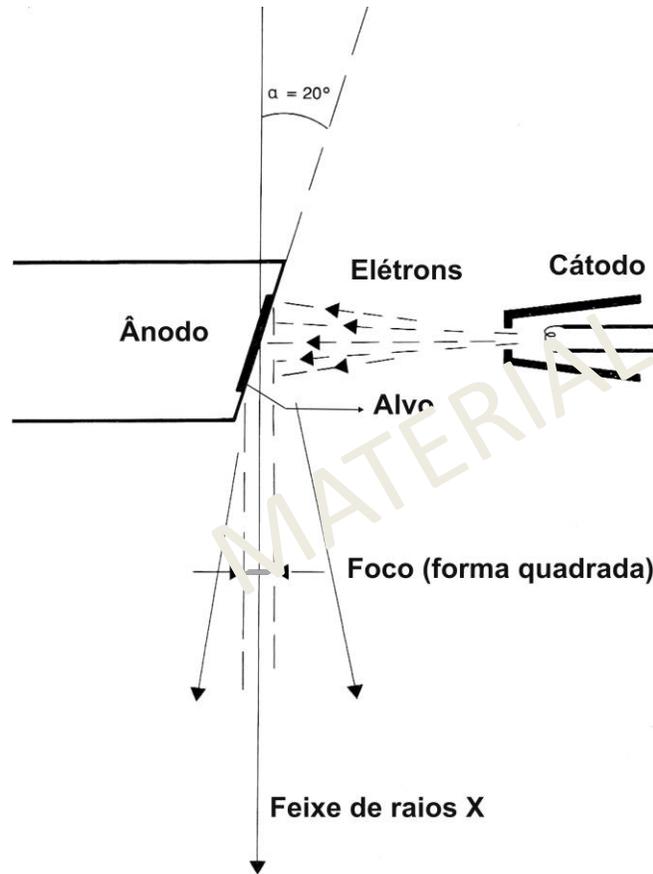
- Comprimento de onda da radiação
- Tipo de material
- Espessura da peça

## • Ensaio Radiográfico

### • Raio X

Uma fonte de raios X emite fótons de radiação de comprimento de ondas distintos e dentro de uma faixa de emissão (ajustes de mA e kV).

- Cátodo (fonte de elétrons)
- Ânodo (alvo para ser atingido pelos elétrons)
- Acelerador de elétrons na direção desejada.



# •Ensaio Radiográfico

- Raio X



Inspeção radiográfica de soldas em tubos



## •Ensaio Radiográfico

- Raio  $\gamma$

Muitos isótopos apresentam excesso de energia, ou seja, em desequilíbrio nos seus núcleos (natural ou provocada artificialmente) e passam por um processo de estabilização energética. Este processo de estabilização ocorre por emissão de partículas  $\alpha$  e  $\beta$  e radiação gama. A este fenômeno se dá o nome de radioatividade ou decaimento radioativo, e os isótopos que apresentam radioatividade são denominados de radioisótopos.

## •Ensaio Radiográfico

- Raio  $\gamma$

Os isótopos de alguns elementos tem seus núcleos em estado de desequilíbrio, devido ao excesso de nêutrons, e tendem a evoluir espontaneamente para uma configuração mais estável, de menor energia.

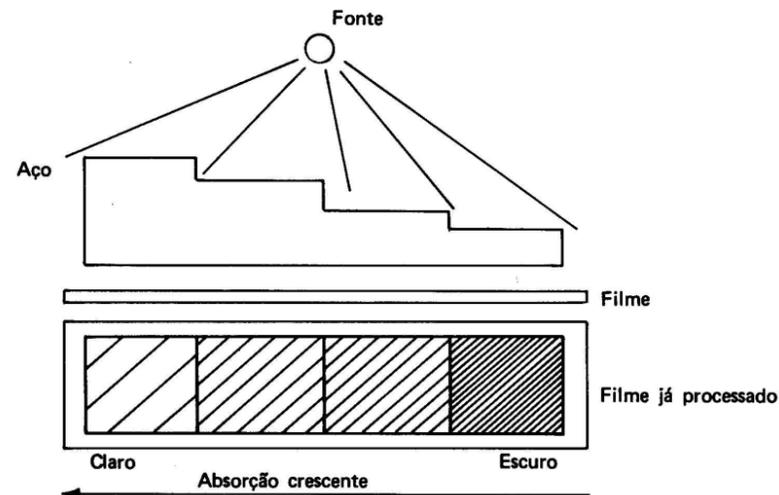


## •Ensaio Radiográfico

- Filme radiográfico

Os materiais absorvem radiação, alguns mais do que outros. Os materiais mais densos e os de maior número atômico absorvem uma maior quantidade de radiação do que os materiais menos densos e os de menor número atômico.

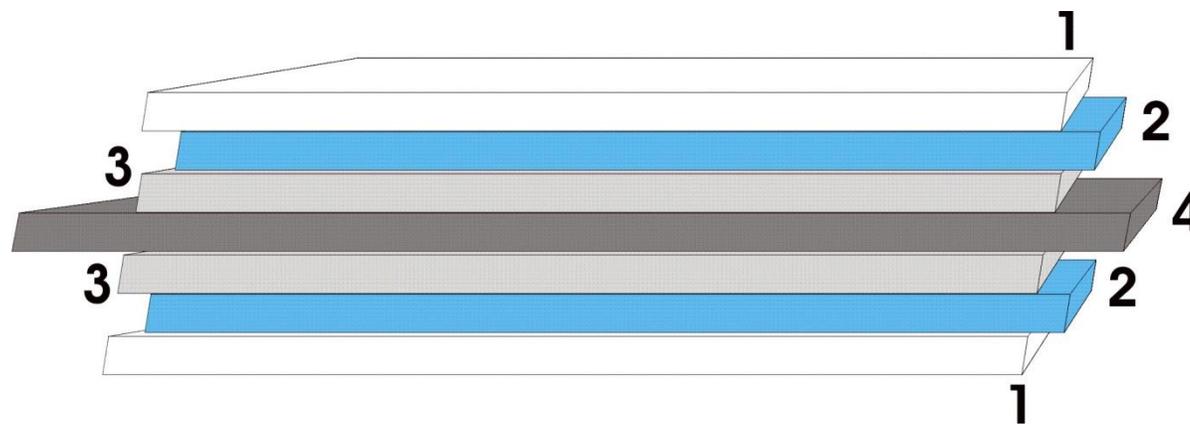
A espessura também contribui para a absorção, quanto maior a espessura maior quantidade de radiação irá absorver.



## •Ensaio Radiográfico

### • Filme radiográfico

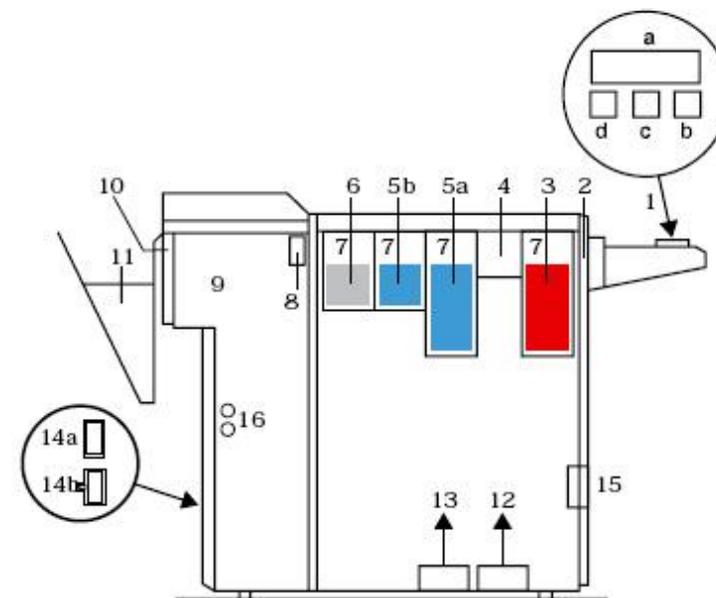
- 1 - Camadas de gelatina endurecida para proteção da emulsão
- 2 - Camadas de emulsão compostas principalmente por sais de prata, que são responsáveis pela detecção da radiação (são da ordem de 0,02/0,01 mm);
- 3 - Camadas de substrato para garantir a adesão das emulsões com a base celulósica 4;
- 4 - Base de poliéster ou triacetato de celulose



## •Ensaio Radiográfico

### • Processamento do Filme radiográfico

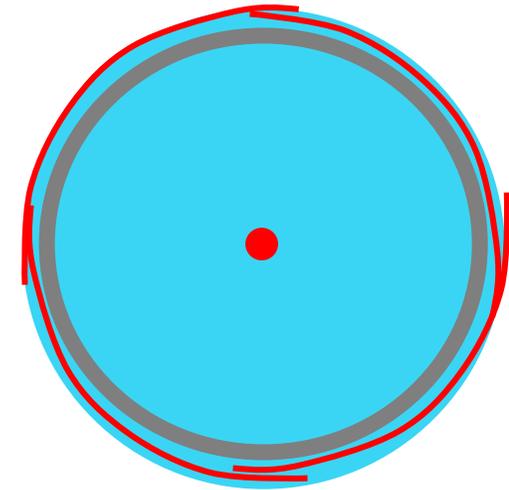
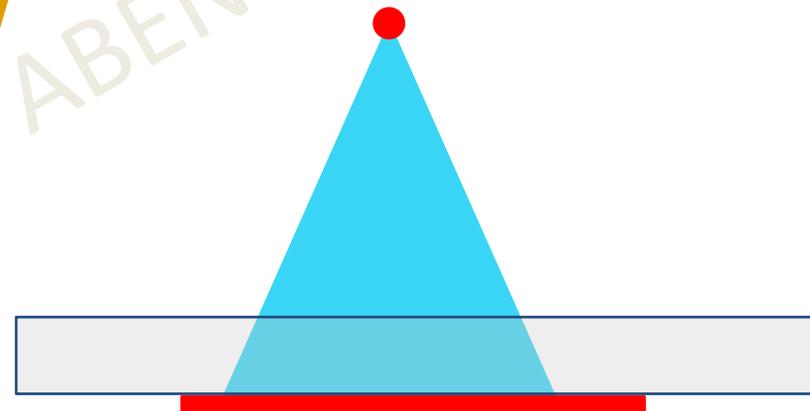
- A – Revelação
- B - Banho de parada
- C - Lavagem intermediária
- D – Fixação
- E - Lavagem final
- F - Banho umectante
- G - Secagem



# •Ensaio Radiográfico

## Técnicas de Exposição

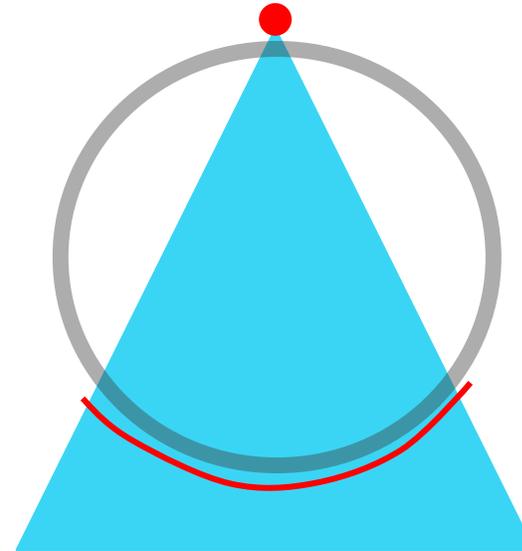
Parede Simples Vista Simples (PSVS)



# •Ensaio Radiográfico

## Técnicas de Exposição

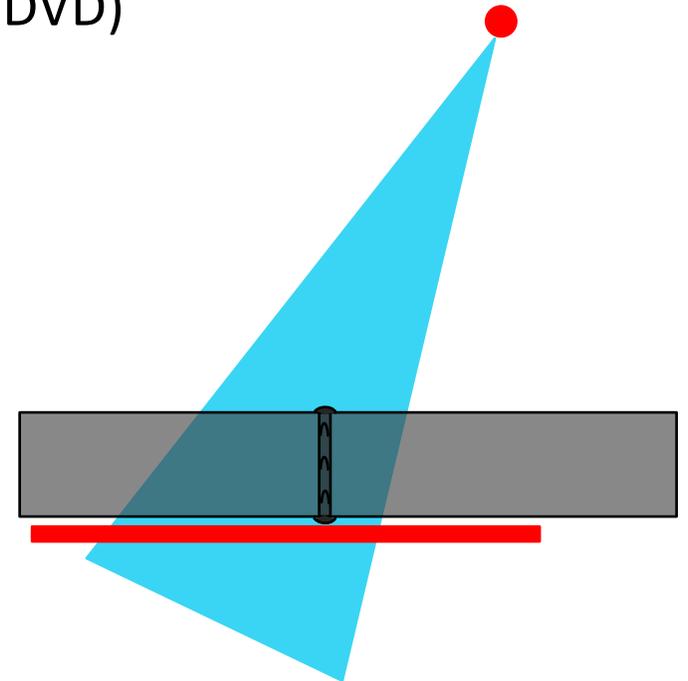
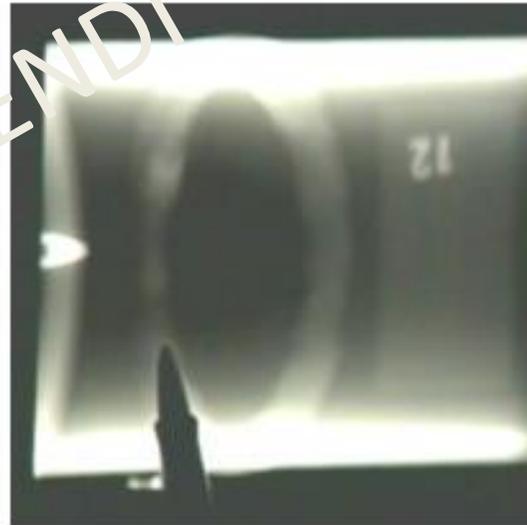
Parede Dupla Vista Simples (PDVS)



# •Ensaio Radiográfico

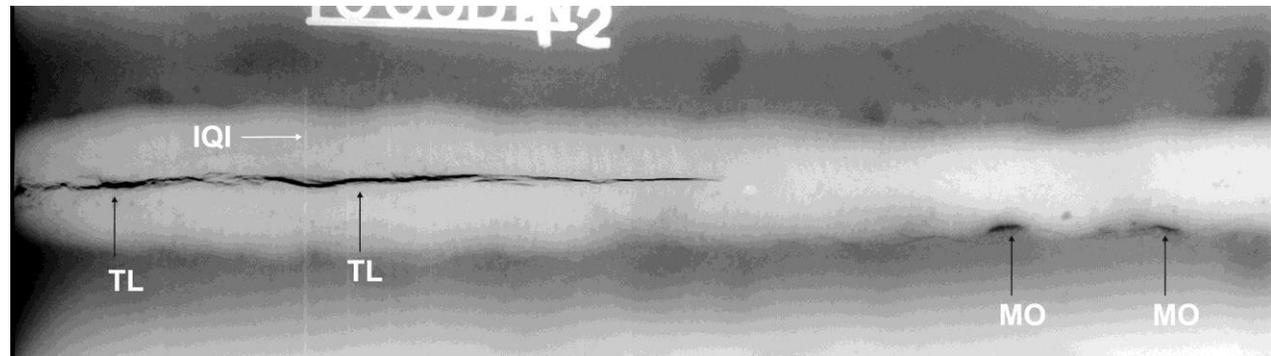
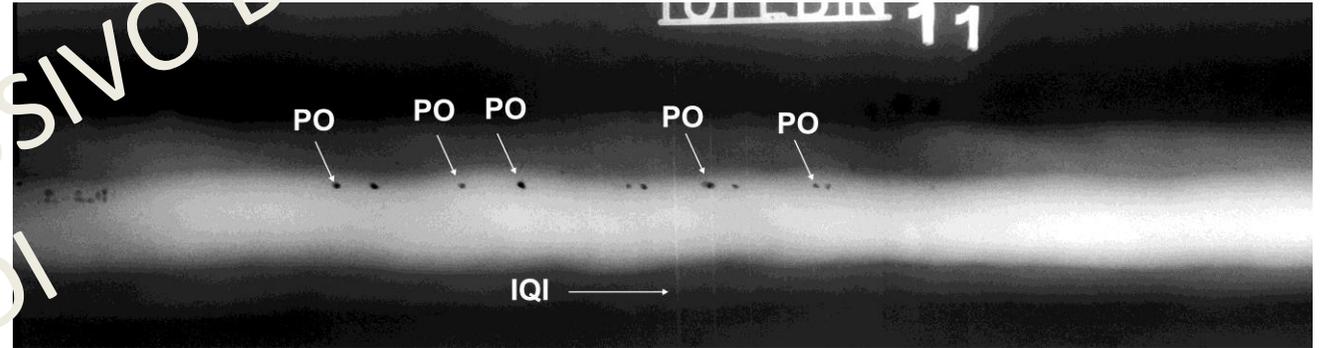
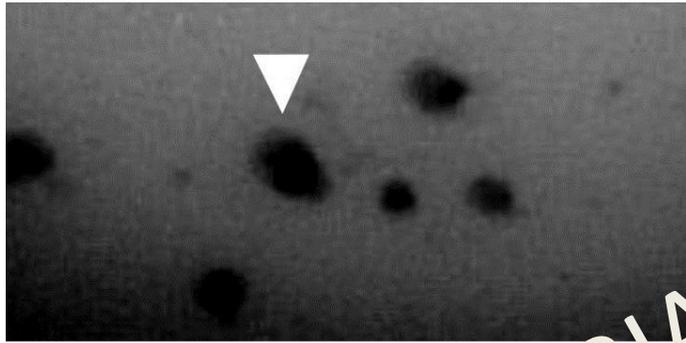
## Técnicas de Exposição

Parede Dupla Vista Dupla (PDVD)



# •Ensaio Radiográfico

## Interpretação



## •Ensaio Radiográfico

- Vantagens e Limitações

- Vantagens

- ✓ Registro permanente dos resultados

- ✓ Detecta facilmente defeitos volumétricos, tais como porosidades, inclusões, rechupes, etc.

# •Ensaio Radiográfico

## Vantagens e Limitações

### - Limitações

- ✓ Descontinuidades bidimensionais, tais como, trincas, duplas-laminações e faltas de fusão são detectadas somente se o plano delas estiver alinhado ou seja paralelo ao feixe de radiação
- ✓ É necessário o acesso a ambas as superfícies de uma peça para radiografá-la
- ✓ Dependendo da geometria da peça não é possível obter radiografias com qualidade aceitável, que permitam uma interpretação confiável
- ✓ A radiografia afeta a saúde dos operadores, inspetores e do público e deve por isso, ser criteriosamente utilizada
- ✓ É necessária a interrupção de trabalhos próximos para a exposição da fonte
- ✓ O custo do equipamento e material de consumo são relativamente altos
- ✓ É um ensaio relativamente demorado
- ✓ No caso de raios X, o aparelho não é totalmente portátil, dificultando a execução de radiografias em lugares de difícil acesso
- ✓ A interpretação requer experiência e conhecimento dos processos de fabricação, para a identificação correta das descontinuidades.

## • Ultrassom

O princípio físico deste método consiste na introdução de ondas mecânicas no material em inspeção. Estas ondas de alta frequência transportam energia sem transportar matéria. As mesmas podem ser geradas de diversas formas ex. (laser, eletrostricção, térmico, mecânico, piezoelétrico), sendo este último citado o mais comum na construção de transdutores ( cabeçotes ) para o ensaio por ultrassom.

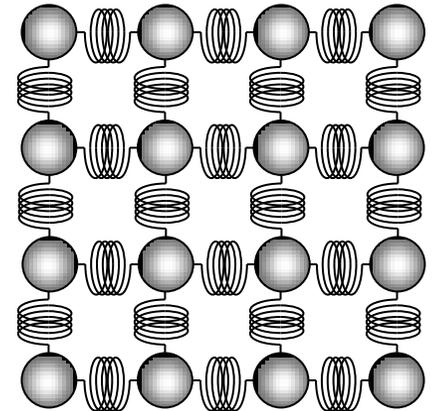
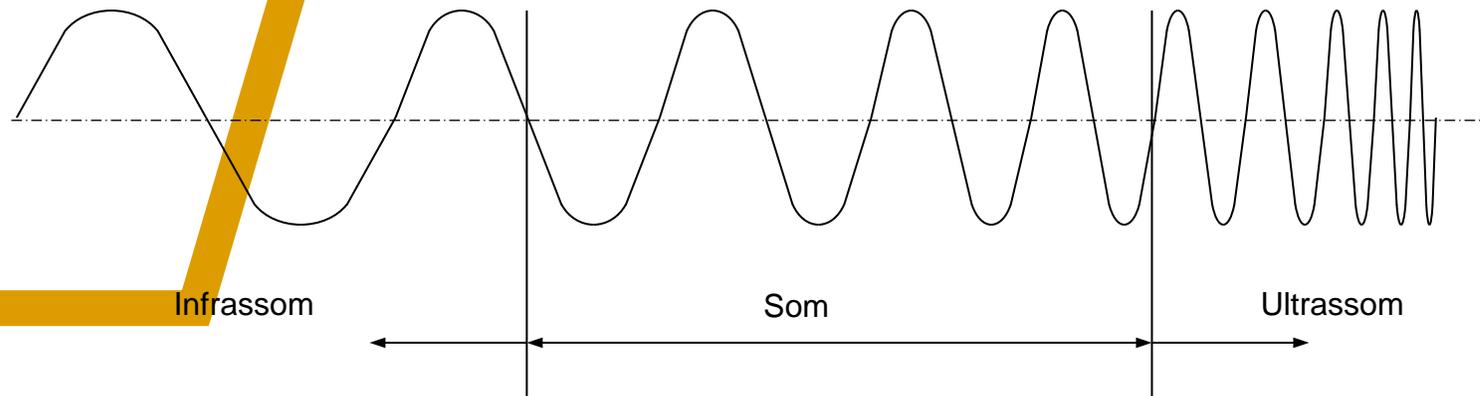
## • Ultrassom

Aplicações:

- Detecção de descontinuidades internas, mas também pode ser utilizado na detecção de descontinuidades superficiais
- Dimensionamentos e caracterização de materiais, dentre outras aplicações

# • Ultrassom

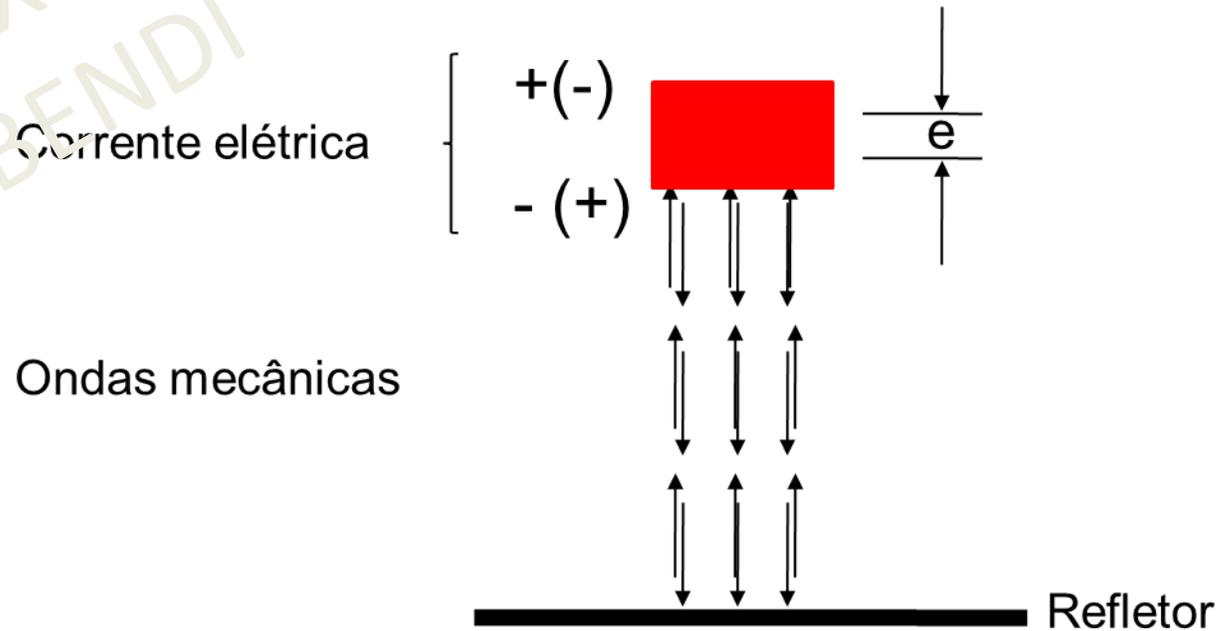
- Espectro de Frequência Sonora
  - Frequências (n° de oscilações/segundo)
  - ✓ Infrassom: abaixo de 20 Hz
  - ✓ Som (audível): entre 20 Hz e 20 kHz
  - ✓ Ultrassom: acima de 20 kHz



# • Ultrassom

## Efeito Piezoelétrico

Propriedade que certos cristais possuem de transformar energia elétrica em energia mecânica e mecânica em elétrica



## • Ultrassom

### Cristais Piezoelétricos

QUARTZO

SULFATO DE LÍTIO

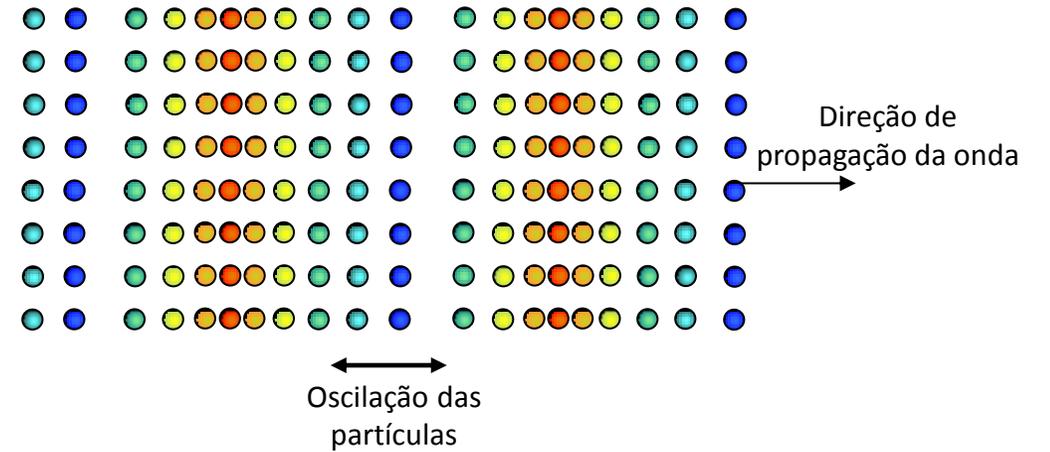
TITANATO DE BÁRIO

METANIOBATO DE CHUMBO

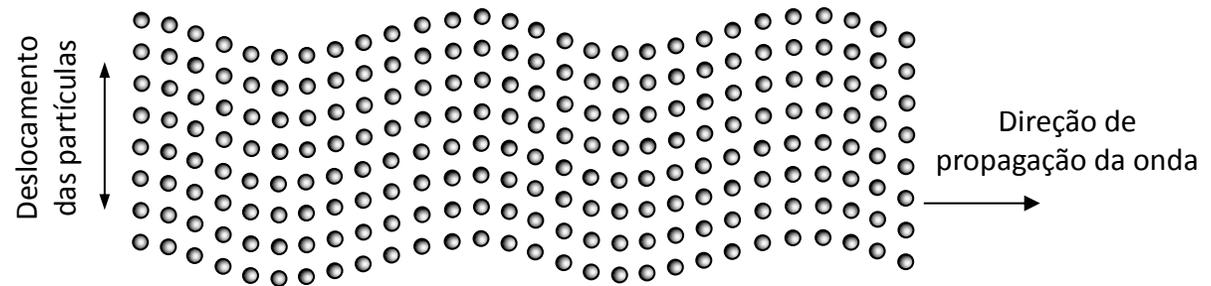
# • Ultrassom

- Tipos de Ondas Ultrassônicas

✓ Longitudinal



✓ Transversal



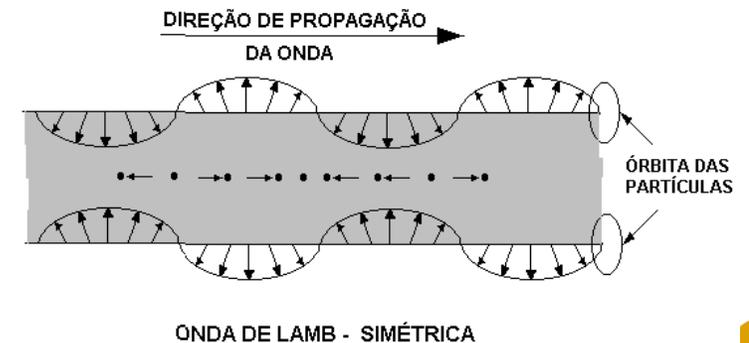
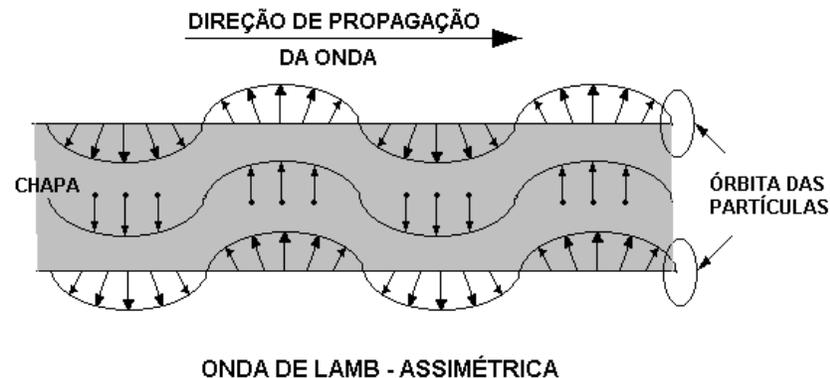
## • Ultrassom

- Tipos de Ondas Ultrassônicas
  - ✓ Superficiais

Rayleigh - Gerada a partir da onda transversal

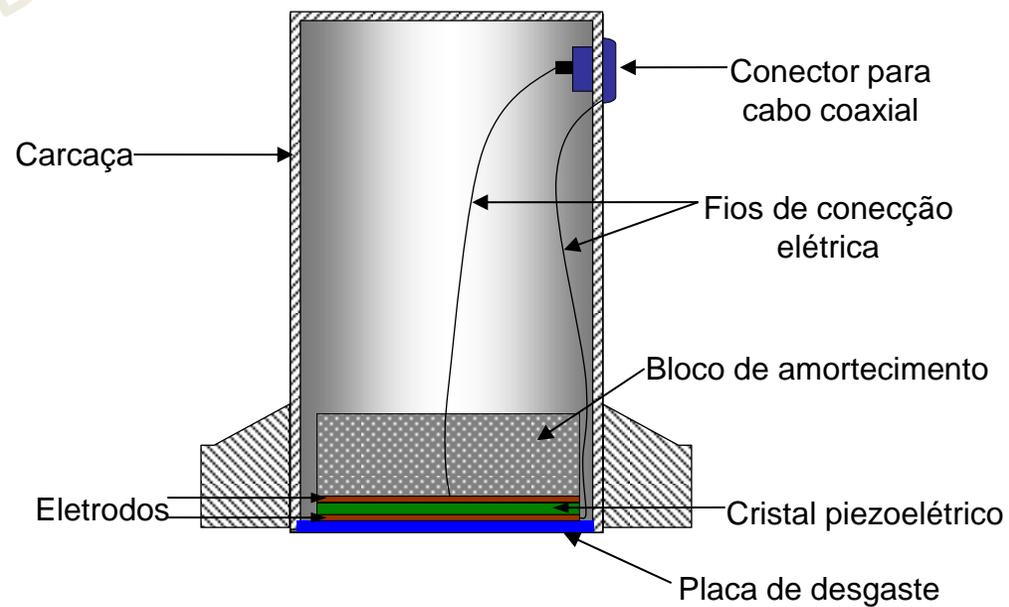
Creeping – Gerada a partir da onda longitudinal

Lamb – Transmitida em espessuras finas



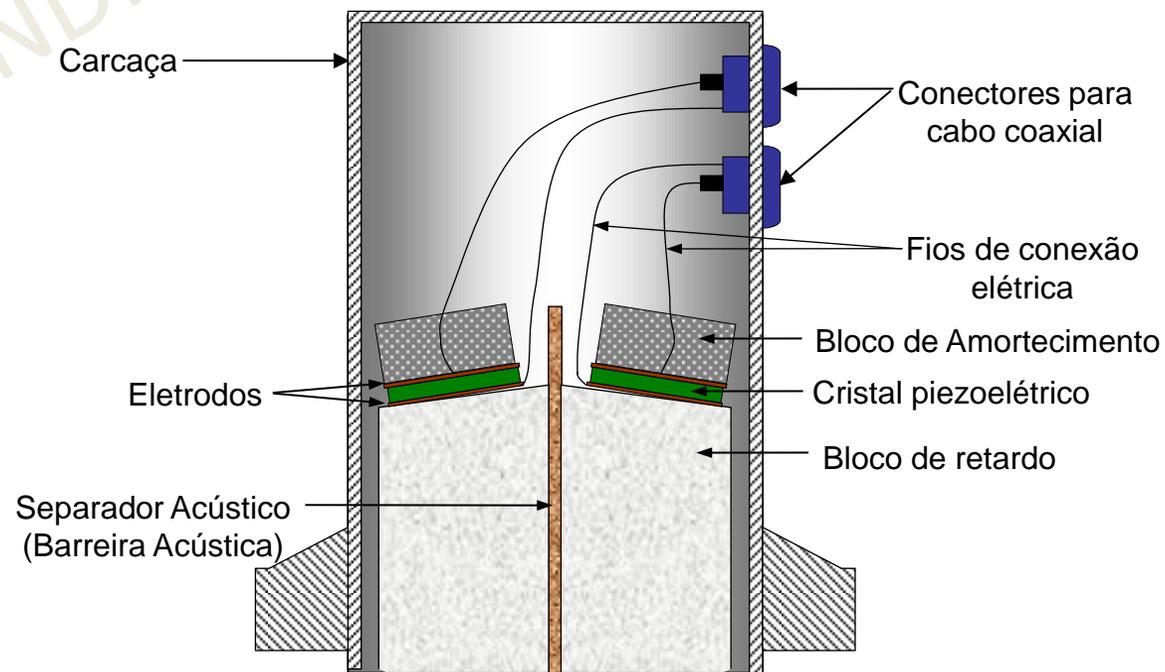
## • Ultrassom

- Construção Típica dos Cabeçotes
- ✓ Cabeçote Normal



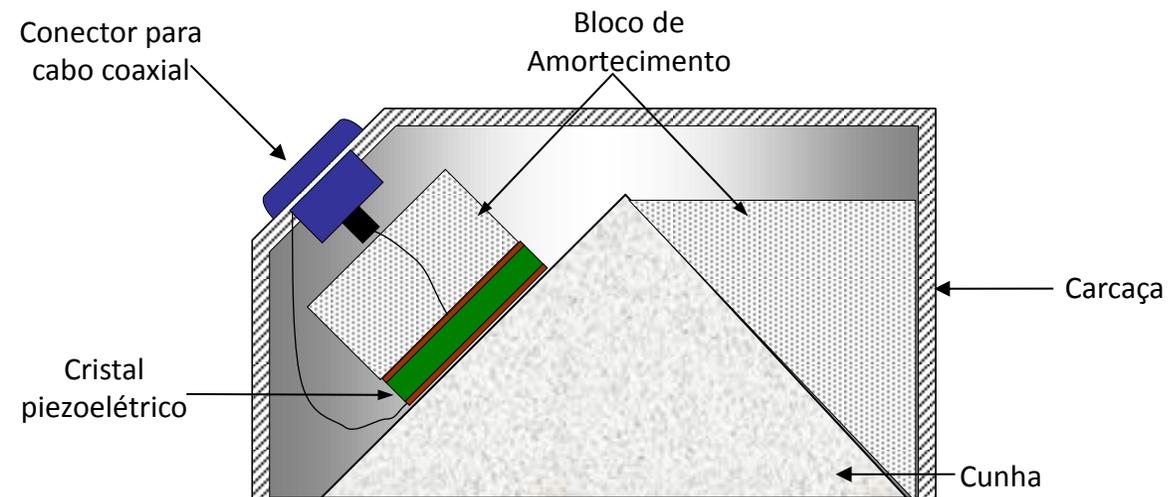
## • Ultrassom

- Construção Típica dos Cabeçotes
- ✓ Cabeçote Duplo cristal (Emissor/Receptor)



## • Ultrassom

- Construção Típica dos Cabeçotes
- ✓ Cabeçote Angular

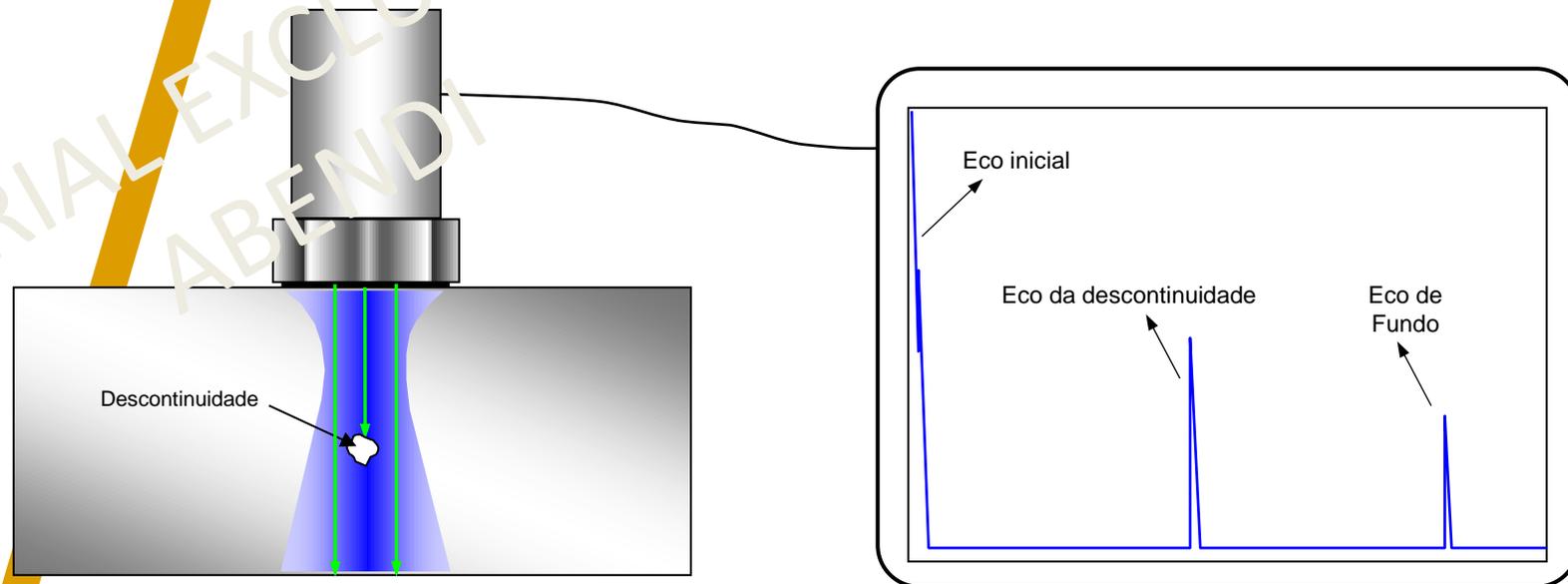


## • Ultrassom

- Acoplante
  - ✓ Permite a passagem da energia ultrassônica entre o cabeçote e a peça
  - ✓ Os acoplantes normalmente usados, em função da geometria e condições de superfície: óleo, glicerina, graxa, carboxi metil celulose e água

## • Ultrassom

- Princípio de um Sistema de US



## • Ultrassom

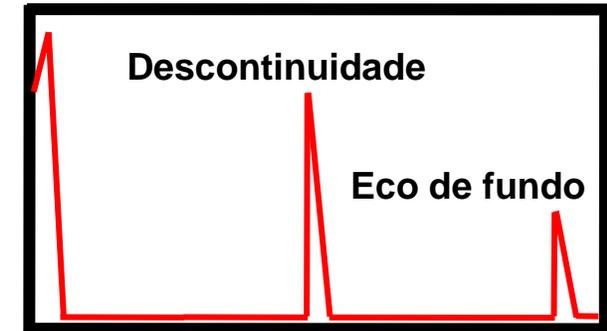
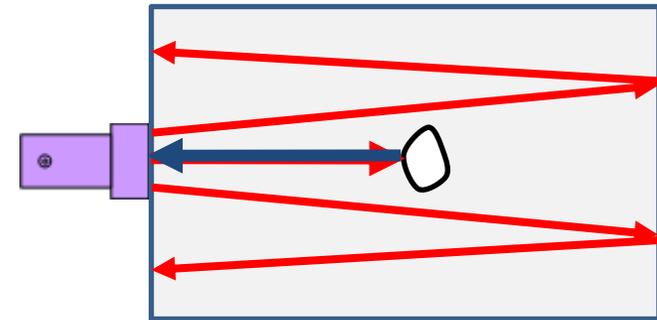


# • Ultrassom TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Técnica pulso eco



PEÇA COM DESCONTINUIDADE

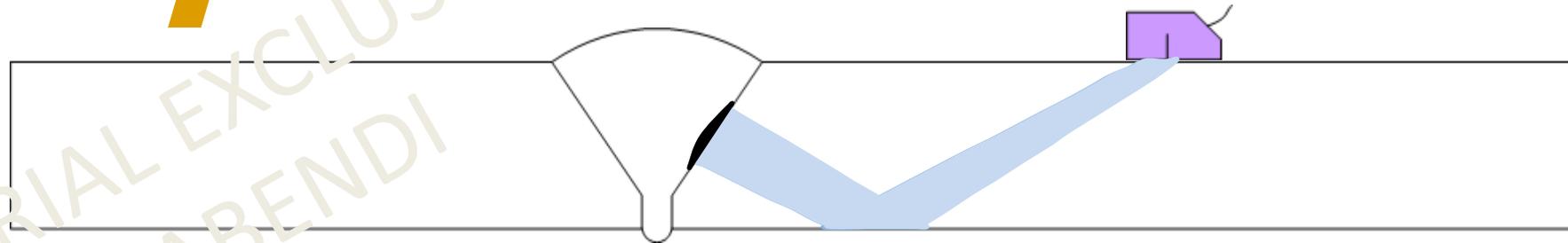


Tempo ou distância percorrida pela onda

# • Ultrassom

## TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Técnica pulso eco

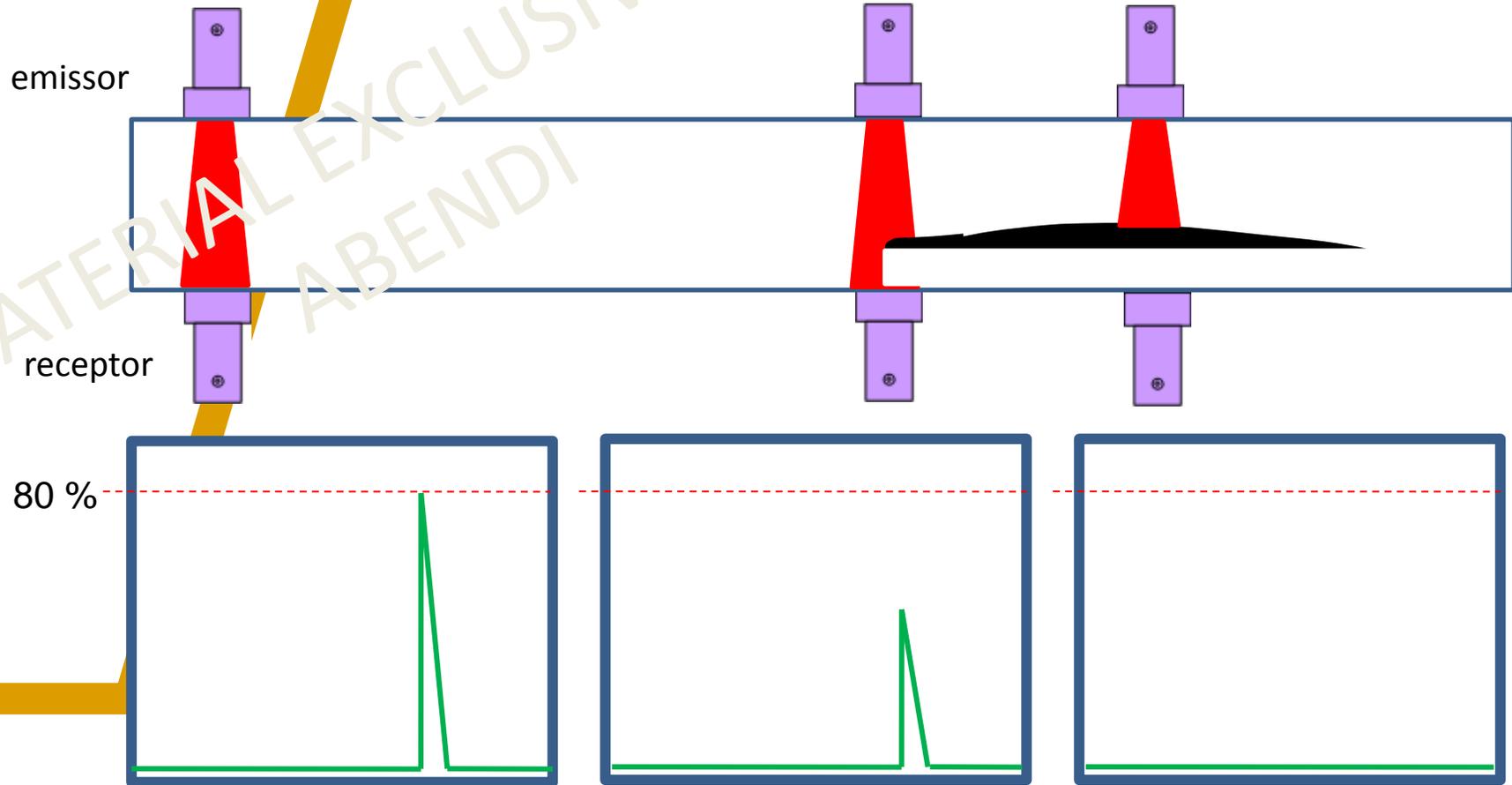


Tempo ou distância percorrida pela onda

# • Ultrassom

## TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

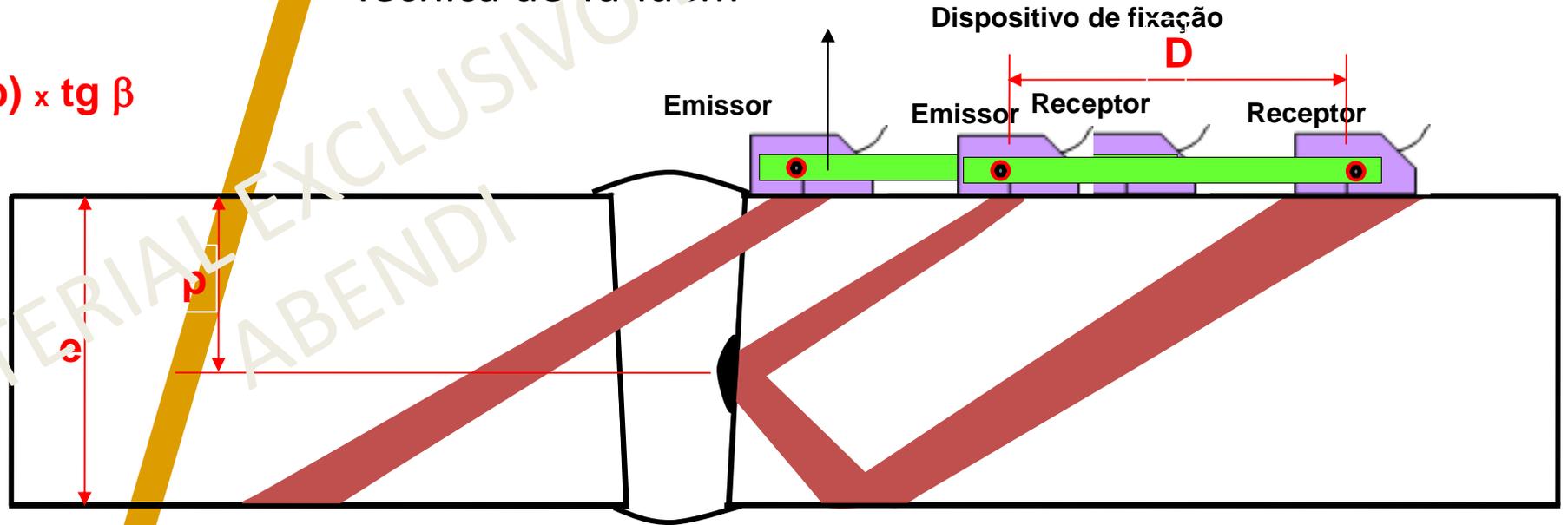
Técnica de transparência



# • Ultrassom TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Técnica de Tandem

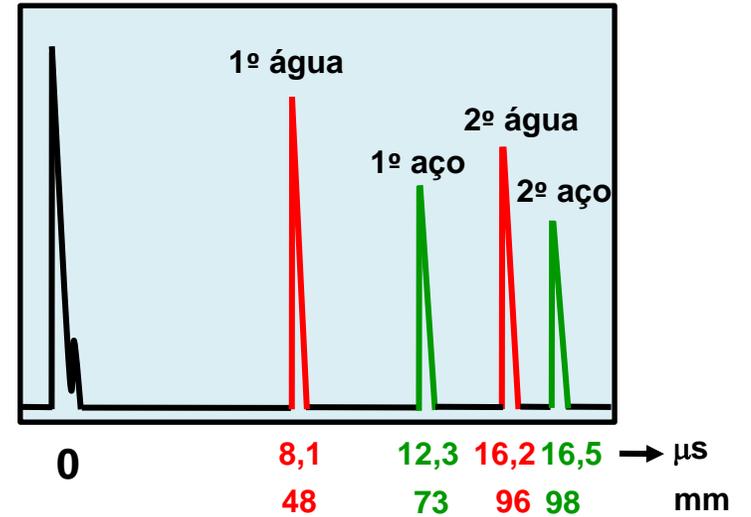
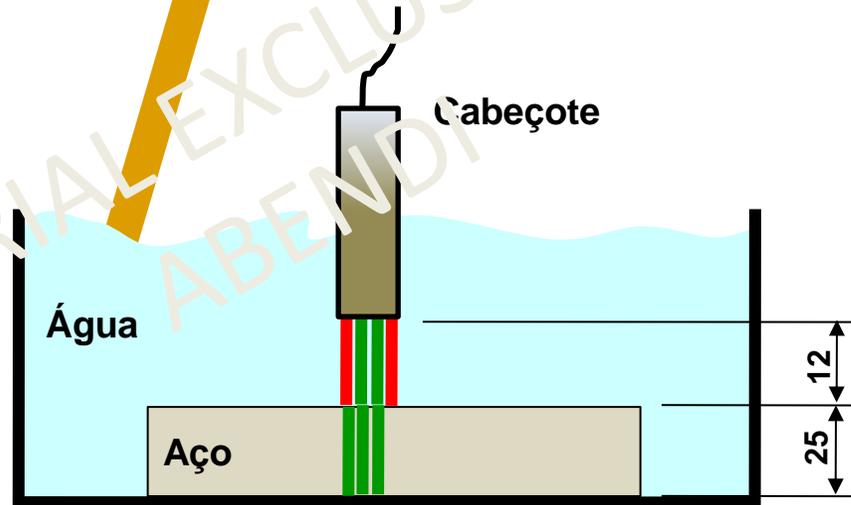
$$D = 2(e - p) \times \text{tg } \beta$$



# • Ultrassom

## TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

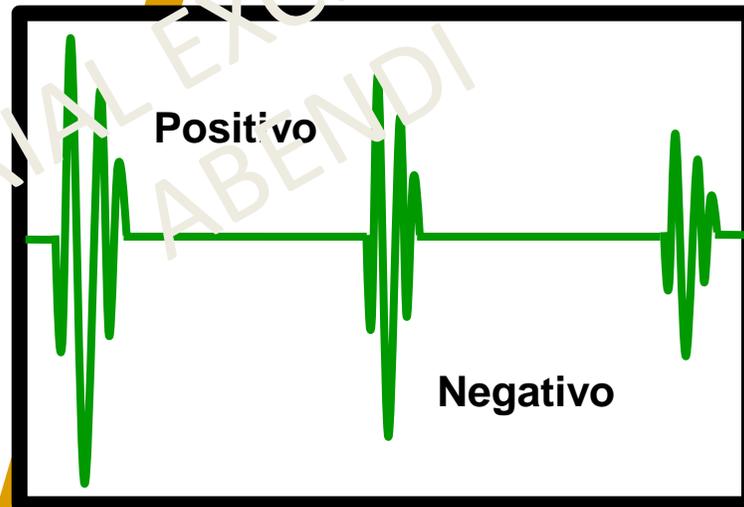
Técnica por Imersão



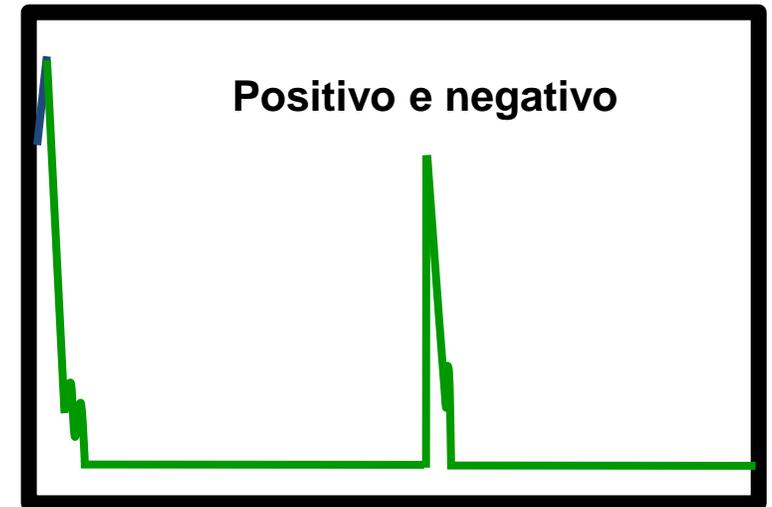
## • Ultrassom

*Interpretação ( Apresentação de Sinais )*

### Mostrador tipo A-Scan



Modo RF

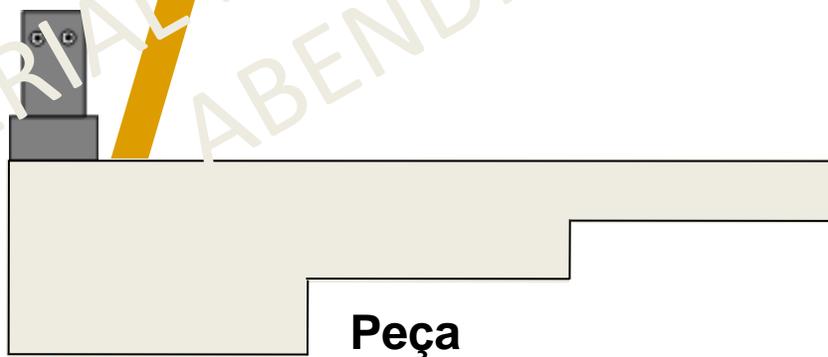


Modo retificado completo

## • Ultrassom

*Interpretação ( Apresentação de Sinais )*

**Mostrador tipo B-Scan**



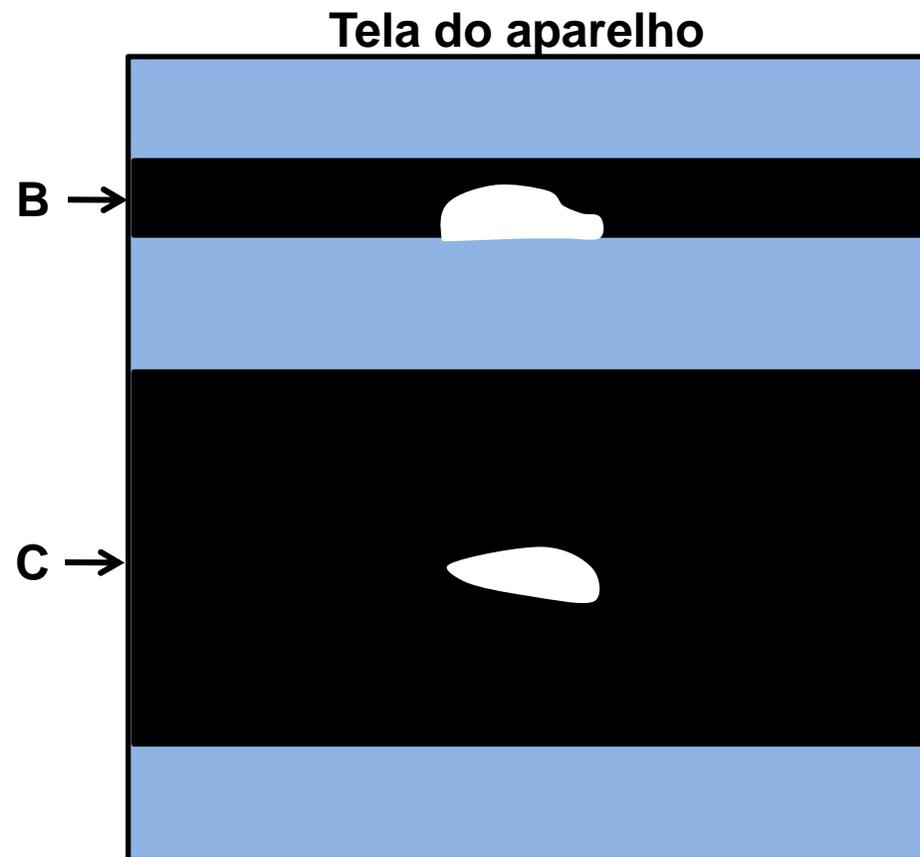
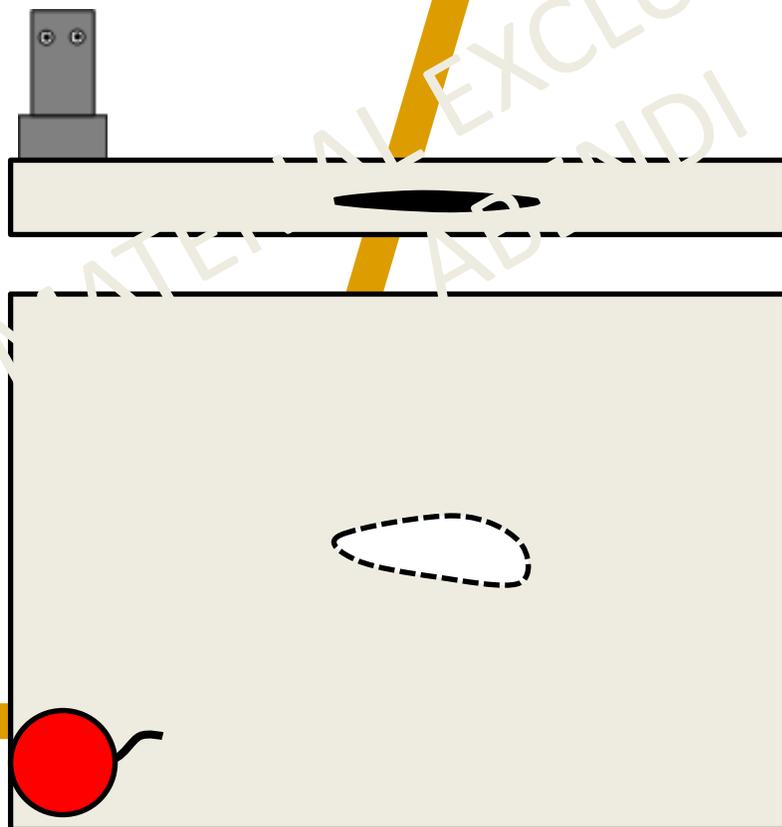
**Tela do aparelho**



## • Ultrassom

*Interpretação ( Apresentação de Sinais )*

### Mostrador tipo C-Scan



## • Ultrassom

### • Vantagens e Limitações

#### - Vantagens

- ✓ Pode ser executado em materiais metálicos e não-metálicos.
- ✓ Não necessita do acesso por ambas as superfícies da peça.
- ✓ Permite localizar e dimensionar com precisão as descontinuidades.
- ✓ É um ensaio mais rápido do que radiografia.
- ✓ Pode ser executado em juntas de geometria complexa, como nós de estruturas tubulares.
- ✓ Não requer paralisação de outros serviços durante a sua execução e não requer requisitos rígidos de segurança, tais como os requeridos para o ensaio radiográfico.

# • Ultrassom

## • Vantagens e Limitações

### - Limitações

- ✓ Não se aplica a peças cuja forma, geométrica e rugosidade superficial impeçam o perfeito acoplamento do cabeçote à peça
- ✓ O grão grosseiro de certos fundidos / peças pode dispersar o som e causar sinais que perturbem ou impeçam o ensaio
- ✓ Peças pequenas ou de pouca espessura são difíceis de inspecionar
- ✓ O equipamento de ultrassom é caro.
- ✓ Os inspetores necessitam de maior treinamento e experiência que para os outros ensaios não-destrutivos.
- ✓ A melhor detecção da descontinuidade depende da orientação do defeito na peça ( perpendicular ).

# OBRIGADO!



**40 ANOS**  
1979-2019

Preservando a vida  
e o meio ambiente.

**Alessandro Sancovicei**

Examinador Assistente

[alessandro.sancovicei@abendi.org.br](mailto:alessandro.sancovicei@abendi.org.br)

Tel. (11) 5082-2841



Abendi



[abendinews.org.br](http://abendinews.org.br)

[abendi.org.br](http://abendi.org.br)