

Notas de aula:

Ensaaios Não Destrutivos (END)

Prof. Luciano Santa Rita Oliveira

Site: www.lucianosantarita.pro.br

E-mail: tecnologo@lucianosantarita.pro.br





Conteúdo programático

- Conceitos de processos de fabricação e descontinuidade;
- Conceitos de Controle de Qualidade;
- Introdução a END;
- END: Ensaio Visual;
- END: Líquido Penetrante;
- END: Partícula Magnética;
- END: Ultra som;
- END: Gamagrafia e Raios X;
- END: Neutronografia;
- Certificação profissional.



Referências bibliográficas

- Descontinuidades e inspeção em juntas de soldas - autor Paulo J. Mondenesi, 2001
- Controle de qualidade I - autor: Ricardo Andreucci, 2008
- Detecção de explosivos plásticos e narcóticos, aplicando neutrongrafia em tempo real, aliada à TC por transmissão - autor Francisco J. O. Ferreira, 2008
- Partícula magnética - autor: Ricardo Andreucci, 2009
- Radiologia industrial - autor: Ricardo Andreucci, 2009
- Proteção radiológica - autor: Ricardo Andreucci, 2010
- Ensaio por ultrassom - autor: Ricardo Andreucci, 2011
- Líquidos penetrantes - autor: Ricardo Andreucci, 2011
- Ensaio - <ftp://ftp.cefetes.br/cursos/>



Conceitos de processos de fabricação

- Com o desenvolvimento da indústria o sistema de produção artesanal foi sendo substituído por uma nova organização do trabalho para o aumento da produção, surge os processos de fabricação da indústria mecânica.
- Os principais processos de fabricação na indústria mecânica são:
 - ❑ Moldagem;
 - ❑ Conformação;
 - ❑ Corte;
 - ❑ Junção.



Conceitos de processos de fabricação

- **Moldagem** - Consiste na produção de um corpo sólido a partir de um metal amorfo, ou seja, no estado líquido, de pó granulado ou de pasta. (ex. fundição)
- **Conformação** - É um processo que, aos poucos, modifica um corpo sólido por meio de deformação plástica. (ex. laminação, extrusão e trefilação)
- **Corte** - Consiste em retirar metal de uma superfície por meio de uma ferramenta. (ex. torneamento e fresagem)
- **Junção** - Consiste na união de uma ou mais peças. Ex.: soldagem. (ex. soldagem)



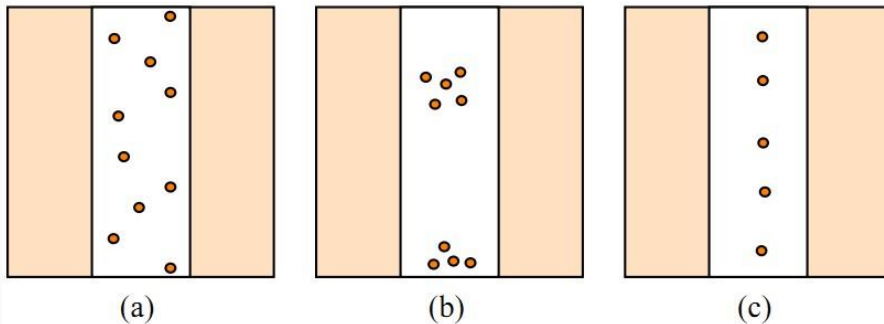
Conceitos de descontinuidade

- Qualquer interrupção da estrutura típica (ou esperada) de uma junta soldada. Neste sentido, pode-se considerar, como descontinuidade, a falta de homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda.
- Tipos de descontinuidades em soldas:
 - ☐ Porosidade
 - ☐ Inclusões de escória
 - ☐ Falta de fusão
 - ☐ Falta de penetração
 - ☐ Trinca



Tipos de descontinuidade

- **Porosidade** - formada pela evolução de gases, na parte posterior da poça de fusão, durante a solidificação da solda. Os poros tem usualmente um formato esférico, embora poros alongados possam ser formados.



Tipos de porosidade: (a) distribuída, (b) agrupada e (c) alinhada

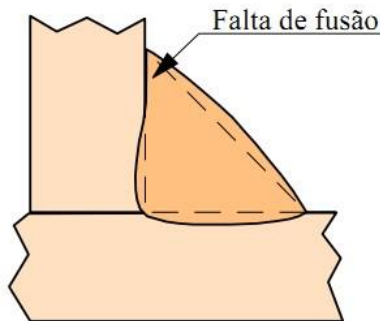
- **Inclusões de escória** - termo que descreve partículas de óxido e outros sólidos não metálicos aprisionados entre passes de solda ou entre a solda e o metal de base. Este tipo de descontinuidade aparece, em geral, com uma forma alongada em radiografias.



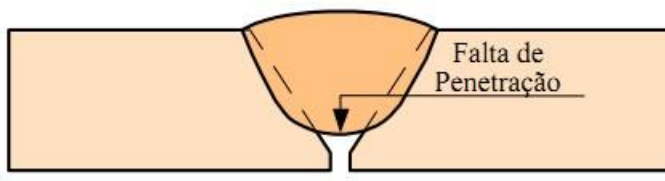


Tipos de descontinuidade

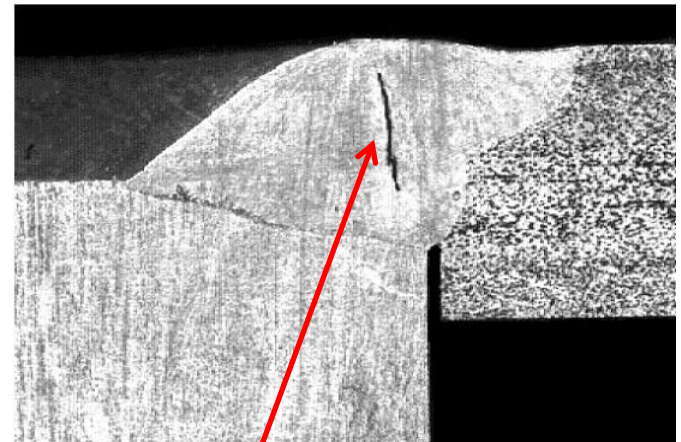
- **Falta de fusão** - termo que descreve a ausência de união por fusão entre passes adjacentes de solda ou entre a solda e o metal de base.



- **Falta de penetração** - termo que descreve a falha em se fundir e encher completamente a raiz da junta.



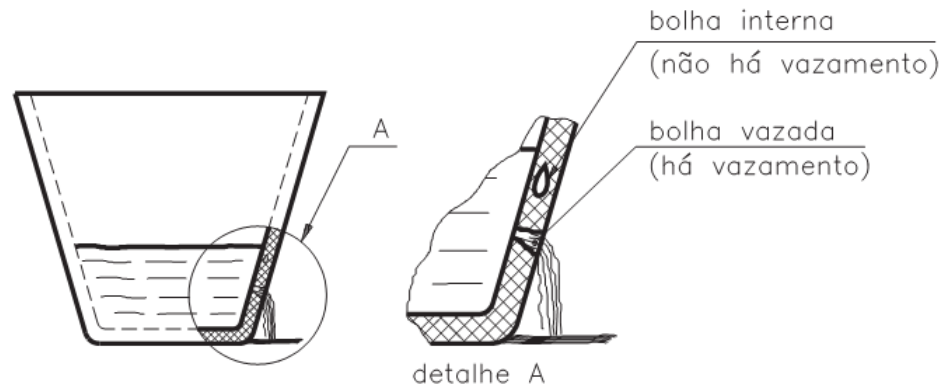
- **Trinca** - são consideradas, em geral, as descontinuidades mais graves em uma junta soldada por serem fortes concentradores de tensão.



Trinca



Descontinuidade x Defeito



- Um copo de vidro com pequenas bolhas de ar no interior de sua parede, formadas devido a imperfeições no processo de fabricação, pode ser utilizado sem prejuízo para o usuário. Essas imperfeições são classificadas como **descontinuidades**.
- Mas, caso essas mesmas bolhas aflorassem à superfície do copo, de modo a permitir a passagem do líquido do interior para a parte externa, elas seriam classificadas como **defeitos**, pois impediriam o uso do copo.



Conceitos de Qualidade

- A necessidade de padrões internacionais de engenharia no período pós-guerra, levou a criação em 1947, de um organismo capaz de facilitar a coordenação internacional e a unificação dos padrões internacionais.
- O propósito fundamental da *ISO (International Organization Standardization)* e de promover normas que traduzam o consenso dos diferentes países no mundo para facilitar o comércio internacional.
- A adoção do modelo da série de normas ISO gera certificação.



Conceitos de Qualidade

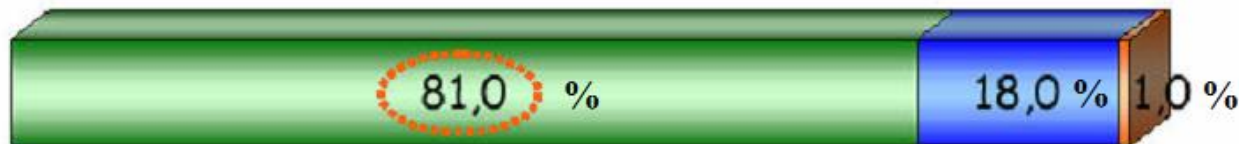
Dificuldades e Vantagens na obtenção da Certificação do sistema de Gestão da Qualidade (fonte: Inmetro/2005)

Dificuldades	%
Mudança da cultura da empresa	25,0
Resistência dos funcionários	21,0
Capacitação dos funcionários	13,0
Burocracia	8,0
Interpretação das normas	8,0
Adequação às normas	3,0
Outras	13,0
Nenhuma	18,0

Vantagens	%
Melhoria da organização interna	22,0
Melhoria da competitividade	12,0
Melhoria do controle de processo	11,0
Aumento da confiança dos clientes	11,0
Diminuição de custos	9,0
Aumento da padronização interna	9,0
Capacitação de funcionários	9,0
Redução dos desperdícios	8,0
Acesso a novos mercados	7,0
Melhoria contínua	7,0
Aumento da qualidade	6,0



Conceitos de Qualidade



■ Melhorou

■ Manteve-se estável

■ Piorou

Fonte: P3



Base: 100



Confiança dos clientes	19,8
Melhoria da organização interna	14,8
Melhoria do controle de processo	13,6
Satisfação dos clientes	12,3
Acesso a novos mercados	11,1

Clientes não exigem a certificação 22,2
Certificação não é a única responsável pelo desempenho 22,2

Resposta múltipla e espontânea
Fonte: P5 Base: 18

Concorrência desleal 100,0

Resposta múltipla e espontânea
Fonte: P6 Base: 1

(fonte: Inmetro/2005)



Introdução a END

- Como garantir que materiais, componentes e processos utilizados nas indústrias automobilísticas, de petróleo e petroquímicas, de geração de energia, inclusive nuclear, siderúrgicas, naval e aeronáutica tenham a qualidade requerida?





Introdução a END

- Os ensaios não destrutivos (END) são aqueles que após sua realização não deixam nenhuma marca ou sinal e, por consequência, nunca inutilizam a peça ou corpo de prova. Por essa razão, podem ser usados para detectar falhas em produtos acabados e semiacabados.
- Os END tratados nestas aulas serão:
 - ☐ Visual
 - ☐ Líquido penetrante
 - ☐ Partículas magnéticas
 - ☐ Ultrassom
 - ☐ Radiografia industrial (gamagrafia, raios X e neutrongrafia)





Ensaio Visual





Ensaio Visual

- Quando se vai à feira e escolhe frutas e legumes, você usa a visão para separar, por exemplo, aquela laranja mais bonita e saudável daquela feia e estragada.
- Essa atividade simples nada mais é do que um tipo de ensaio não destrutivo: o *ensaio visual*.



Ensaio Visual

- Foi o primeiro método de ensaio não destrutivo aplicado pelo homem aos metais. É, com certeza, o ensaio mais barato, usado em todos os ramos da indústria.
- A inspeção visual exige definição clara e precisa de critérios de aceitação e rejeição do produto que está sendo inspecionado.
- Requer ainda inspetores treinados e especializados, para cada tipo ou família de produtos.
- Um inspetor visual de chapas laminadas **não** poderá inspecionar peças fundidas e vice-versa, sem prévio treinamento.





Ensaio Visual

- Outras condições necessárias ao ensaio:
 - ❑ Limpeza da peça com objetivo de retirar resíduos que impeçam a visualização da descontinuidades;
 - ❑ Peças que tenham acabamento podem necessitar de preparação (produzir rebarbas na peça);
 - ❑ Iluminação adequada. Melhor com luz natural, sendo é mais utilizada luz artificial devendo ser posicionada atrás do inspetor ou em local que produza bom contraste;
 - ❑ Distância adequada para a inspeção, menos que 25cm produz distorções;
 - ❑ Em linha de produção peças com problemas (descontinuidades ou defeito) são usadas, propositalmente, para aferir a qualidade da inspeção ou inspetor.





Ensaio Visual

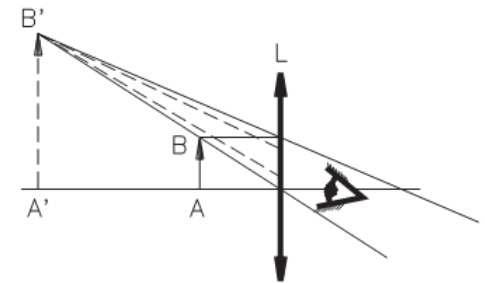
- Principal ferramenta do ensaio visual: os olhos
 - ❑ O olho é considerado um órgão pouco preciso. A visão varia em cada um de nós, e mostra-se mais variável ainda quando se comparam observações visuais num grupo de pessoas.
 - ❑ Ajudando os nossos olhos:
 - ❖ Lupas e microscópios;
 - ❖ Espelhos e tuboscópios;
 - ❖ Câmeras em circuito fechado.





Ensaio Visual

- Uso de lupas e microscópios
 - Formam imagens virtuais maiores que o objeto e possuem escala graduada para dimensionar as discontinuidades.



esquema da imagem virtual $A'B'$, fornecida lupa L de um objeto AB .

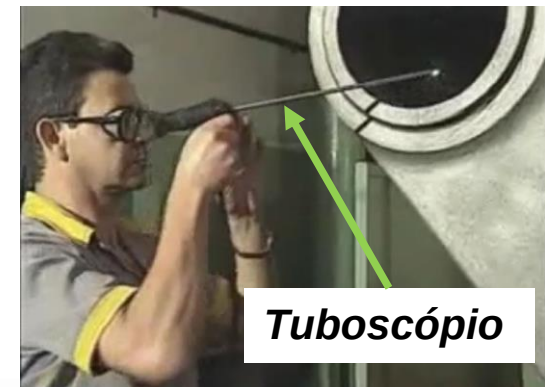
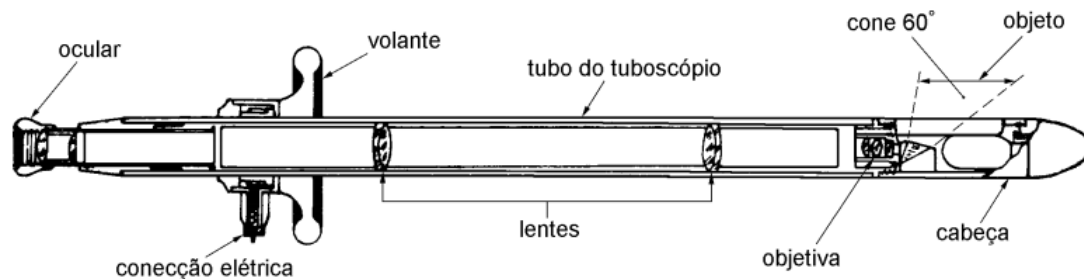
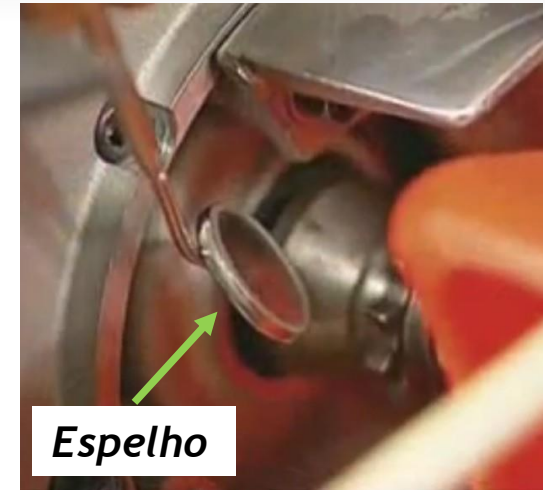




Ensaio Visual

- Uso de espelhos e tuboscópios

- Na indústria, espelhos também são usados para inspeção de cantos, soldas e superfícies onde nossos olhos não alcançam. Os tuboscópios observam tubos longos de pequeno diâmetro utilizados, por exemplo, em caldeiras.





Ensaio Visual

- Uso de câmeras em circuito fechado
 - ❑ Uma câmera acoplada à um tuboscópio permite ao inspetor executar o exame de superfícies a grandes distâncias; este recurso é utilizado quando o ambiente em que se encontra a peça, ou a parte dela a ser examinada, não é favorável devido a gases tóxicos, altas temperaturas ou radiação.





Ensaio Visual - Resumo

- É o primeiro END aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, frequentemente associado a outros ensaios de materiais.
- É um importante recurso na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial e na observação de descontinuidades superficiais visuais em materiais e produtos em geral.





Líquido penetrante





Líquido penetrante

- Descontinuidades superficiais, mas não visíveis.
O Ensaio Visual pode ser usado?



- Histórico



LP → Óleo e querosene



Revelador → Giz Moído e álcool



Descontinuidades



Líquido penetrante

- O método consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície.





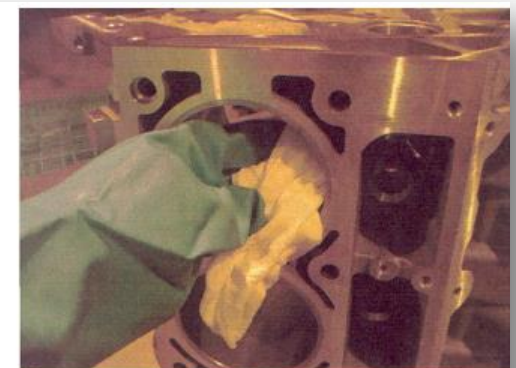
Líquido penetrante

- O método de END por Líquido penetrante pode ser descrito em 6 etapas:
 - ❑ Preparação da superfície - Limpeza inicial;
 - ❑ Aplicação do Penetrante;
 - ❑ Remoção do excesso de penetrante;
 - ❑ Revelação;
 - ❑ Avaliação e Inspeção;
 - ❑ Limpeza pós ensaio e registro.



Líquido penetrante

- O método de END por Líquido penetrante: etapa 1/6
 - ❑ Preparação da superfície - Limpeza inicial;



Inspeção de bloco de motores – Fase de limpeza

Andreucci, 2011



Líquido penetrante

- O método de END por Líquido penetrante: etapa 2/6
 - Aplicação de penetrante;



Aplicação do penetrante com pincel . Nas fotos acima penetrante colorido vermelho, e na foto abaixo penetrante fluorescente

Andreucci, 2011



Líquido penetrante

- O método de END por Líquido penetrante: etapa 3/6
 - ❑ Remoção de excesso de penetrante;



Remoção do penetrante com pano



Foto: gentileza de VOITH SIEMENS
Remoção com spray de água

Andreucci, 2011



Líquido penetrante

- O método de END por Líquido penetrante: etapa 4/6
 - Revelação;



Foto: gentileza de VOITH SIEMENS

Aplicação do revelador por pulverização com pistola de pintura à esquerda e aplicação de revelador seco com pulverizador manual à direita.

Andreucci, 2011



Líquido penetrante

- O método de END por Líquido penetrante: etapa 5/6
 - ❑ Avaliação e inspeção;

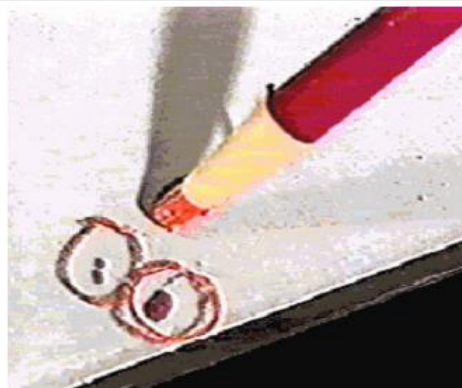
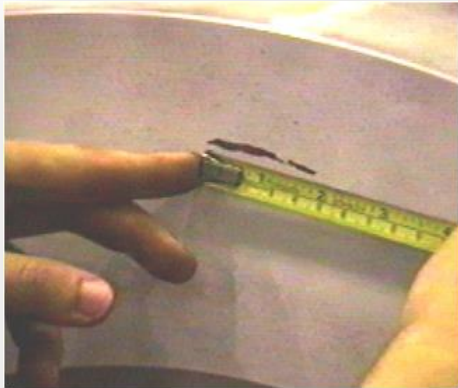
Luz branca



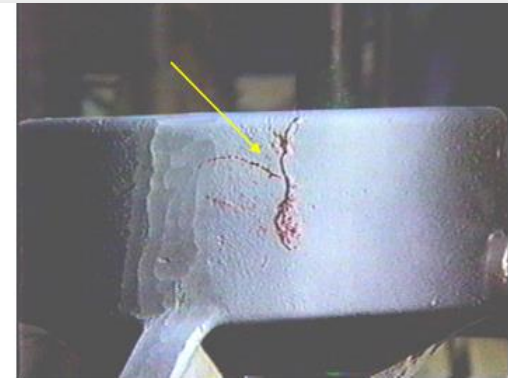


Líquido penetrante

- O método de END por Líquido penetrante: etapa 6/6
 - ❑ Limpeza pós ensaio e registro;



Registro dos resultados

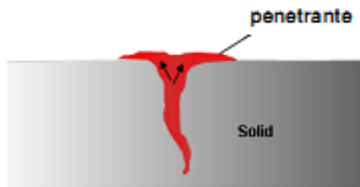
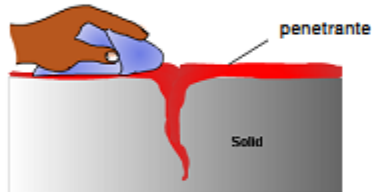
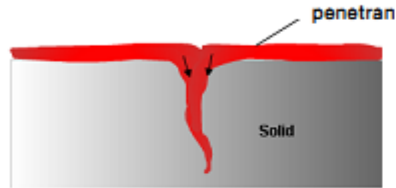


Resultado do ensaio por líquidos penetrantes de uma peça fundida.

Líquido penetrante



RESUMO DA SEQUÊNCIA DO ENSAIO



Preparação inicial da Superfície conforme o procedimento;

Tempo para Secagem dos produtos de Limpeza;

Aplicação do penetrante conforme instruções do procedimento

Tempo de penetração , conforme requerido no procedimento ;

Remoção do Excesso de penetrante, conforme instruções ;

Tempo para Secagem dos produtos de Limpeza ;

Aplicação do Revelador ;

Tempo de Avaliação das indicações

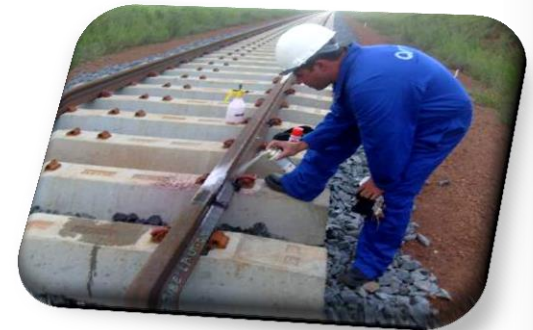
Laudo final e registros

Limpeza final , se requerido



Líquido penetrante - Resumo

- Buscam detectar descontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, tais como trincas, poros, dobras, etc..
- Podem ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira.
- É muito usado em materiais não magnéticos, além dos materiais magnéticos. Sendo também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.





Partícula magnética





Partícula magnética

- O processo consiste em submeter a peça, ou parte desta, a um ***campo magnético***.
- Na região magnetizada da peça, as discontinuidades existentes, ou seja a falta de continuidade das propriedades magnéticas do material, irão causar um ***campo de fuga*** do ***fluxo magnético***.
- Com a aplicação das partículas ***ferromagnéticas***, ocorrerá a aglomeração destas nos campos de fuga, uma vez que serão por eles atraídas devido ao surgimento de ***polos magnéticos***.
- A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e da extensão da extensão da discontinuidade.



Partícula magnética

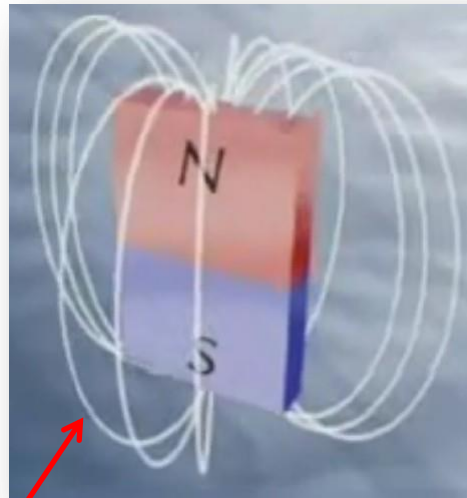
- O que é um *campo magnético* ?
- O que é um *campo de fuga* ?
- O que é um *fluxo magnético* ?
- O que são partículas *ferromagnéticas* ?
- O que são *polos magnéticos* ?



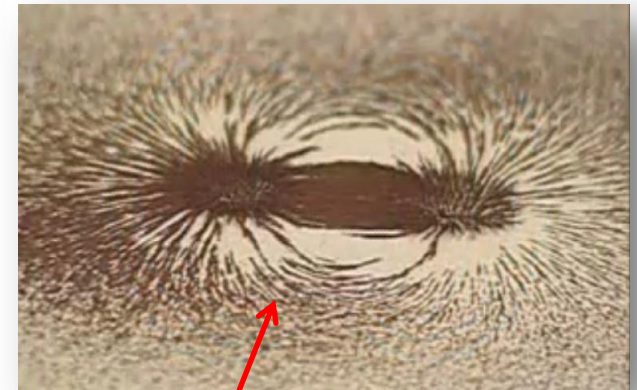


Conceitos

- Campo magnético é uma região do espaço que foi modificada pela presença de um ímã .

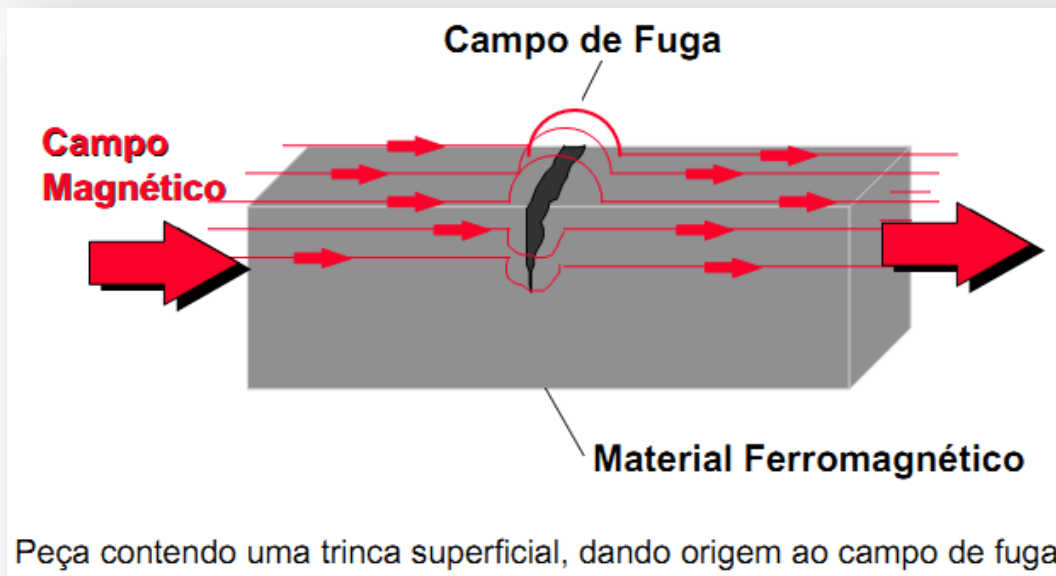


Linhas de indução são tridimensionais



Limalha de ferro sob ação das linhas de indução

Conceitos



- O ***desvio das linhas de força*** dá origem a novos polos, provocando a dispersão das linhas de fluxo magnético que ***dão origem ao “Campo de Fuga”***. A figura demonstra como as ***linhas de força são perturbadas pela presença de uma descontinuidade*** dando origem ao campo de fuga.

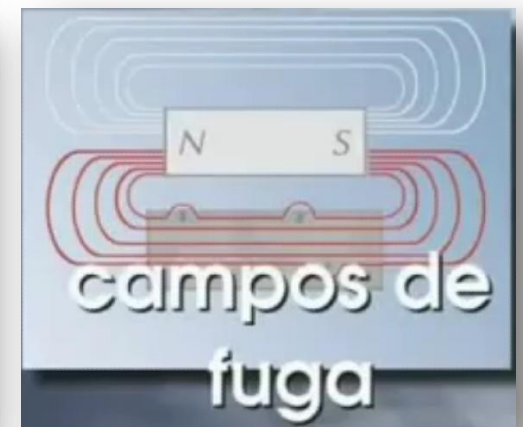
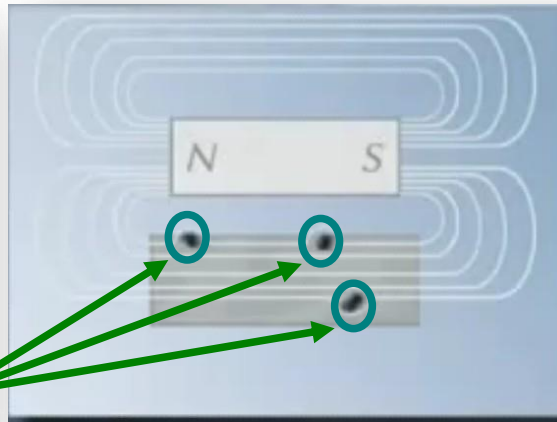
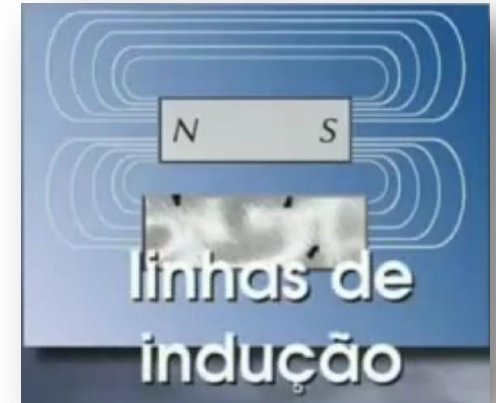
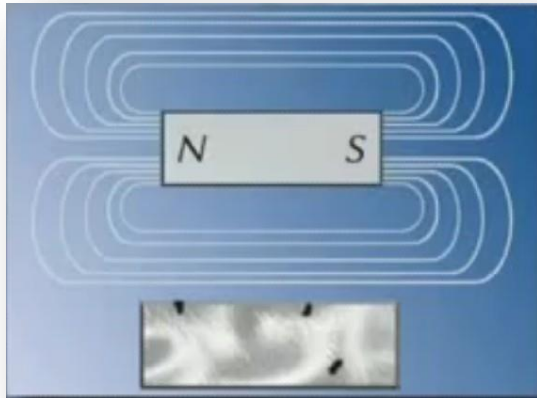


Partícula magnética

- No ensaio por partículas magnéticas, ao ***aplicarmos*** a partícula ferromagnética, no local onde surge um campo de fuga, devido à formação de um dipolo magnético, provocará seu agrupamento, ou seja, ***as partículas se acumulam em todo contorno de um campo de fuga***. Desta forma, o ensaio por partículas magnéticas funciona como um “detector” de campos de fuga.
- ***Não existe um tamanho mínimo*** da descontinuidade para que ocorra o campo de fuga, com isto o método é mais eficiente que o ensaio por líquidos penetrantes, para materiais ferromagnéticos.

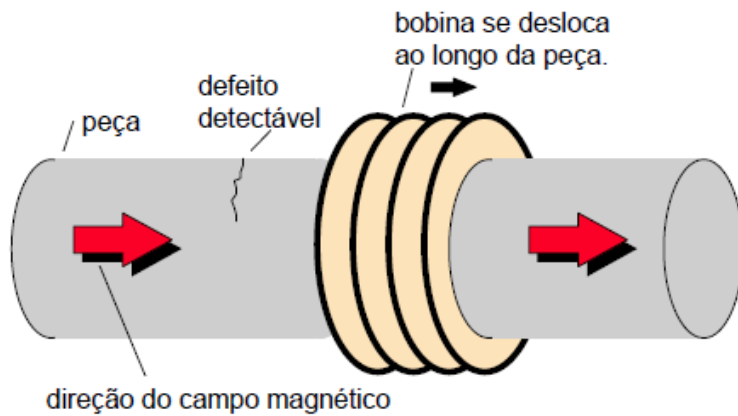


Princípio do método

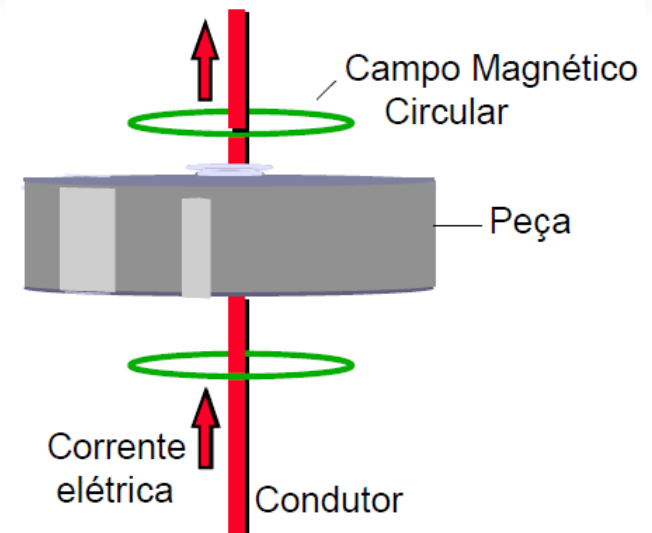




Métodos de magnetização



Longitudinal



Circular

- **Multidirecional** - método em que simultaneamente são aplicados dois ou mais campos magnéticos tanto pelo método longitudinal como pelo método circular.



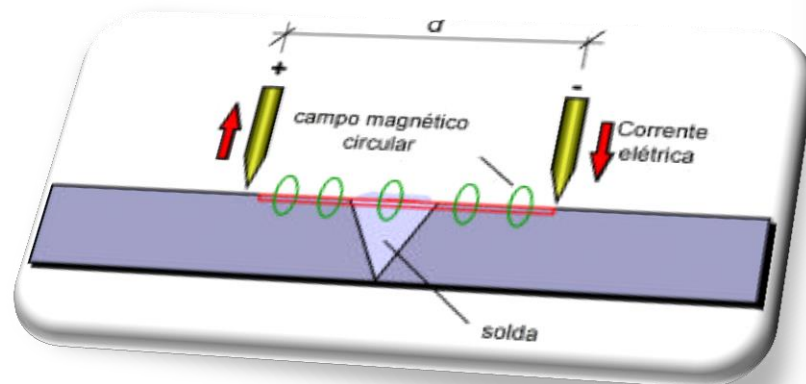
Técnicas de magnetização

- ***Indução de campo***

- ☐ Bobina
- ☐ Yoke ou loque
- ☐ Condutor central

- ***Passagem de corrente***

- ☐ Eletrodo
- ☐ Contato direto

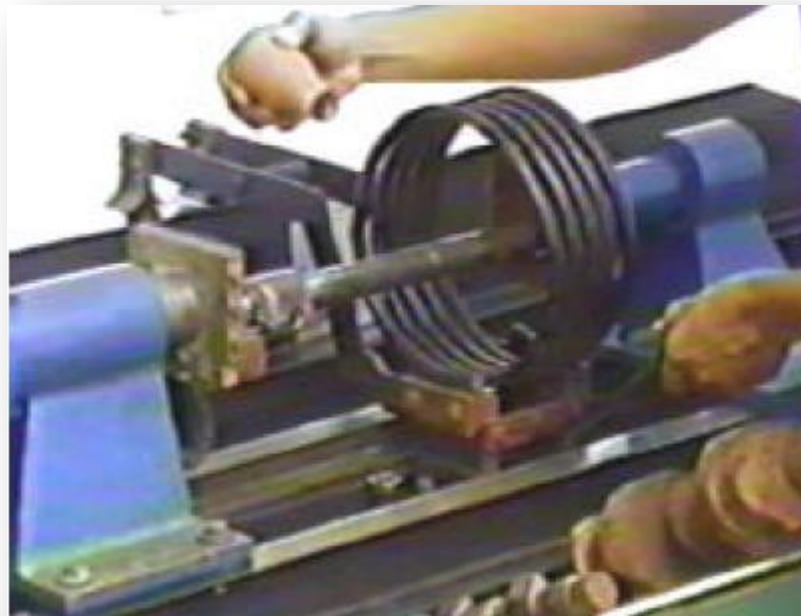




Técnicas de magnetização

- **Indução de campo**

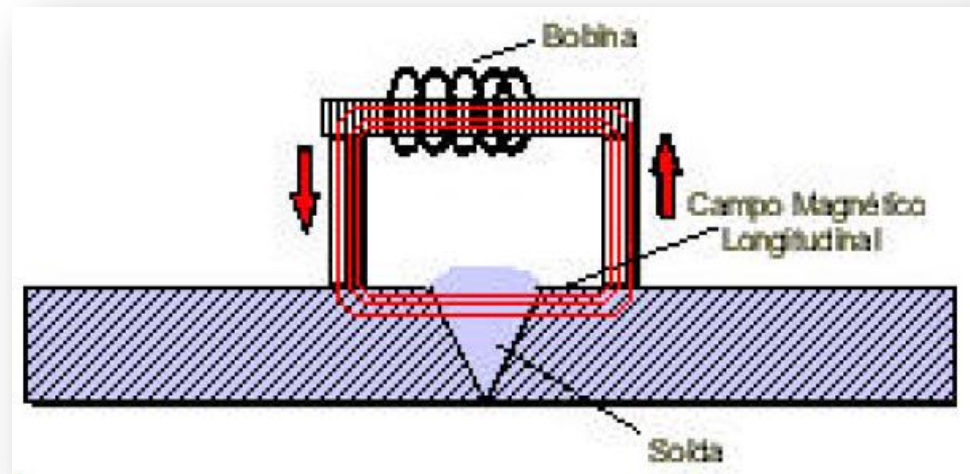
- **Bobina** - A peça é colocada no interior de uma bobina, ocorrendo um campo longitudinal na peça.





Técnicas de magnetização

- **Indução de campo**
 - **Yoke ou loque**





Técnicas de magnetização

- **Indução de campo**
 - **Condutor central**



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")



Técnicas de magnetização

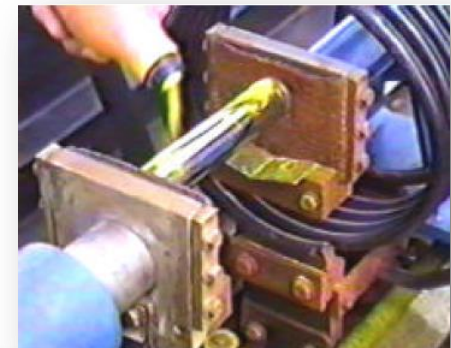
- ***Passagem de corrente***

- ☐ ***Eletrodo*** - permitem a passagem de corrente elétrica pela peça. O campo magnético criado é circular.



- ***Passagem de corrente***

- ☐ ***Contato direto*** - O campo magnético criado é circular.





Partícula magnética

Resumo dos Métodos e Técnicas de Magnetização

MÉTODO	TÉCNICAS DE MAGNETIZAÇÃO	
Longitudinal	Indução de Campo	Bobina (solenóide) Yoke Ímã permanente
Circular	Passagens de Corrente elétrica	Eletrodos (pontas) Contato Direto (placas)
	Indução de Campo	Condutor central • Barra • Cabo Enrolado
Multidirecional	Indução e/ou passagem de Corrente elétrica	Combinação das Técnicas de campo Longitudinal com o Circular



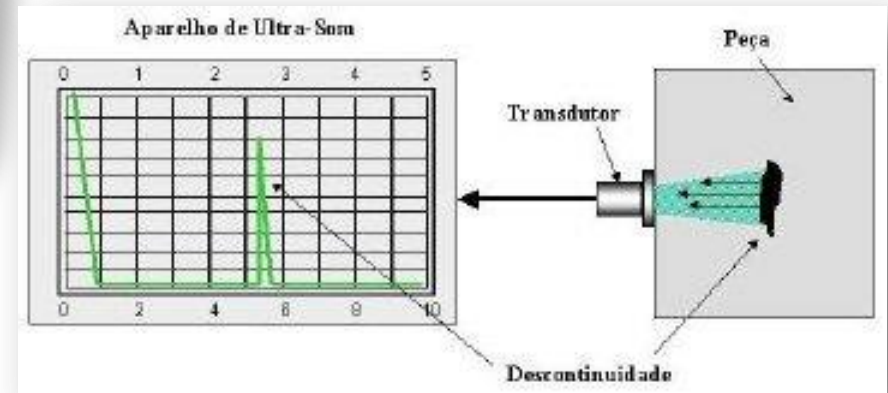
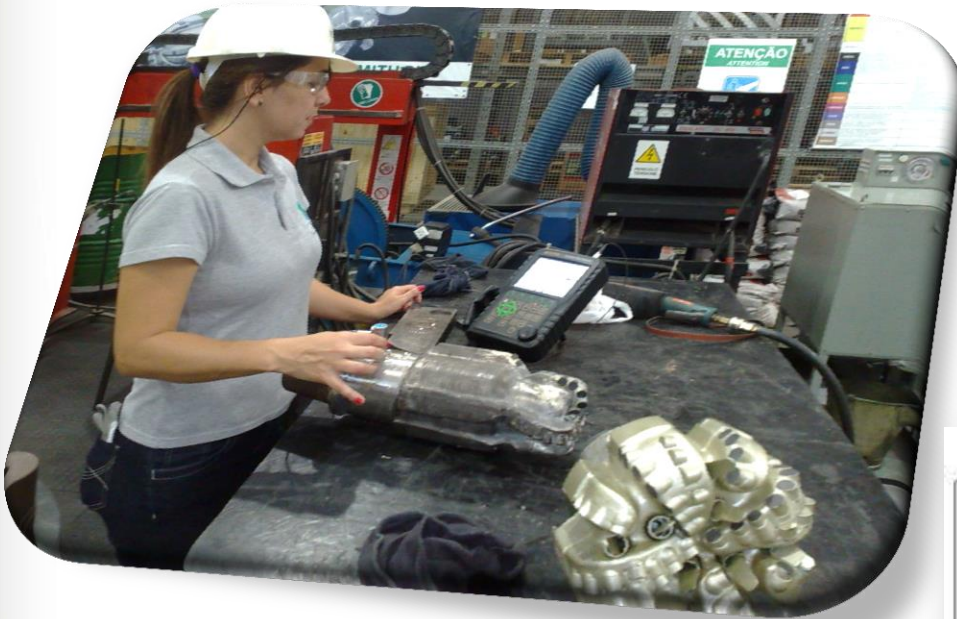
Partícula magnética - Resumo

- É utilizado na localização de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos. Pode ser aplicado tanto em peças acabadas quanto semiacabadas e durante as etapas de fabricação.





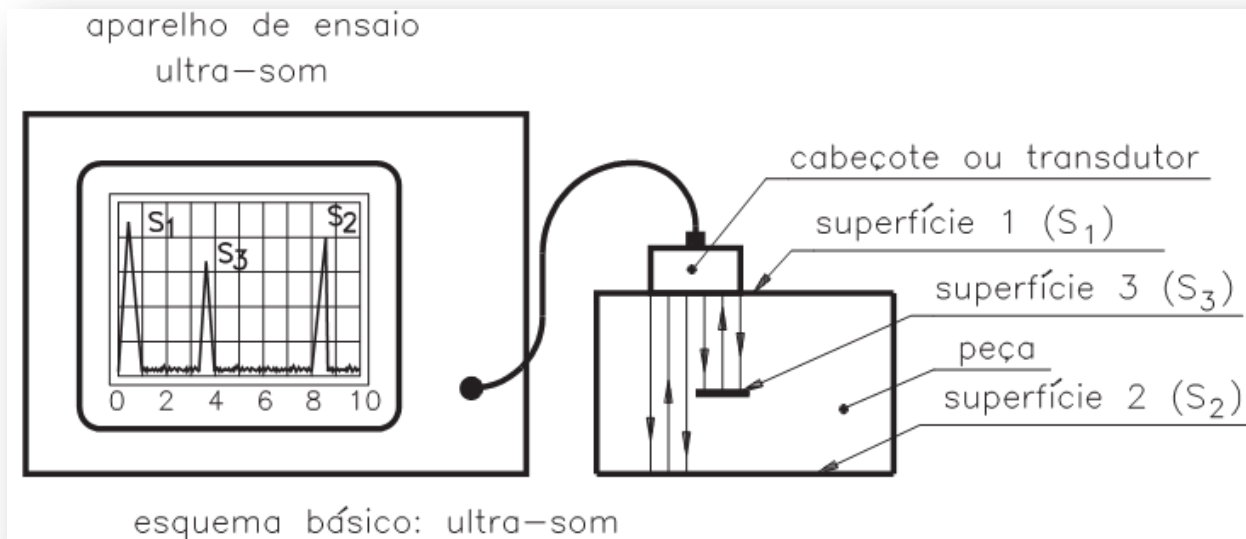
Ultrassom





Princípios do método

- Assim como uma onda sonora, reflete ao incidir num anteparo, a onda ultra-sônica ao percorrer um meio elástico, refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna. Através de aparelhos, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.





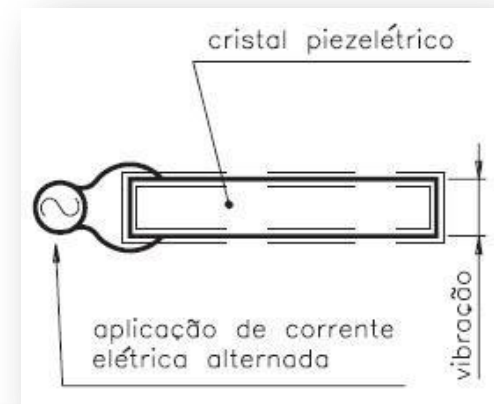
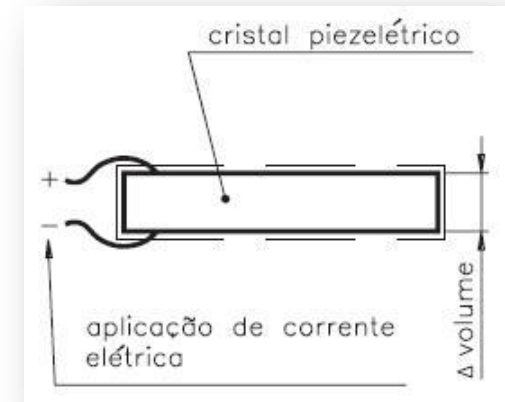
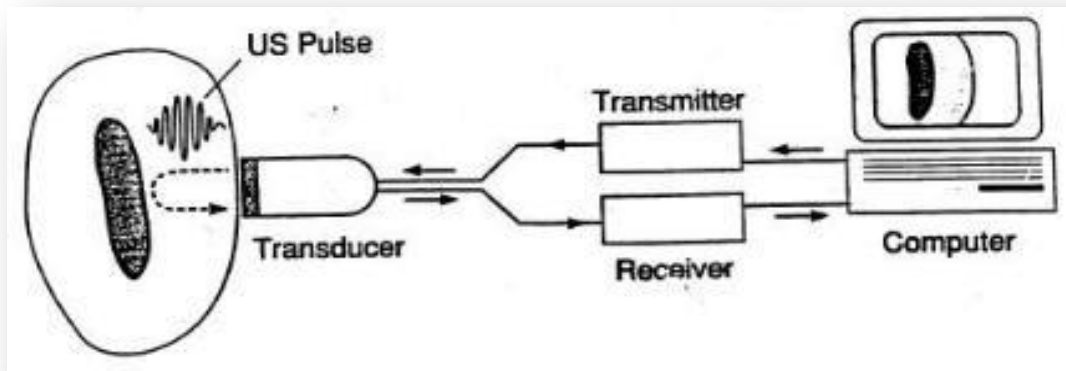
Física do ultrassom

- Qualquer som é resultado da propagação de vibrações mecânicas através de um meio material, *carregando energia e não matéria*.
- Essas ondas, ao atingir o ouvido produzem uma sensação sonora.
- O aparelho de audição do ser humano é sensível somente a sons com frequência entre 20 e 20000Hz. Ondas mecânicas longitudinais com frequência abaixo de 20Hz são chamadas *infrassom* e acima de 20000Hz, *ultrassom*.



Física do ultrassom

- São ondas sonoras com frequências situadas acima do limite audível para o ser humano (*acima de 20 KHz*). Normalmente as frequências ultrassônicas entre 0,5 e 25 MHz são usadas para aplicações industriais.
- As ondas ultrassônicas são geradas por transdutores construídos a partir de materiais *piezoelétricos*.





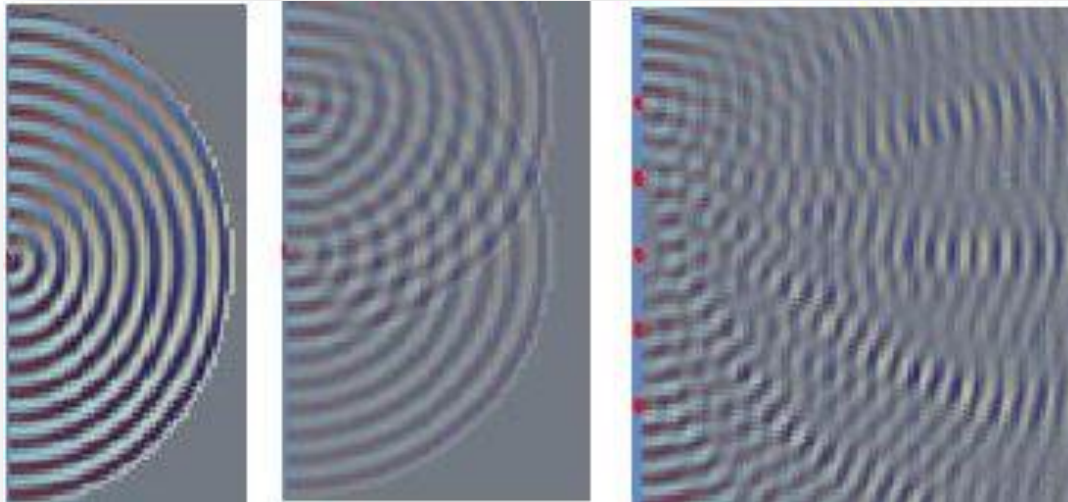
Física do ultrassom

- A impedância acústica está relacionada com a resistência ou dificuldade do meio a passagem do som;
- Quando o feixe sonoro atravessa uma interface entre dois meios com a mesma impedância acústica, não há reflexão e a onda é toda transmitida ao segundo meio;
- É a diferença de *impedância acústica* entre dois meios que define a quantidade de reflexão na interface, possibilitando sua identificação;
- Uma camada de ar entre o transdutor e a superfície da peça impede que as vibrações mecânicas produzidas pelo transdutor se propague para a peça em função da impedância acústica elevada que é formada;
- Por esta razão, deve-se usar um líquido que minimize a impedância, permitindo a passagem das vibrações para a peça. Tais líquidos, são denominados *líquidos acoplantes*.



Física do ultrassom

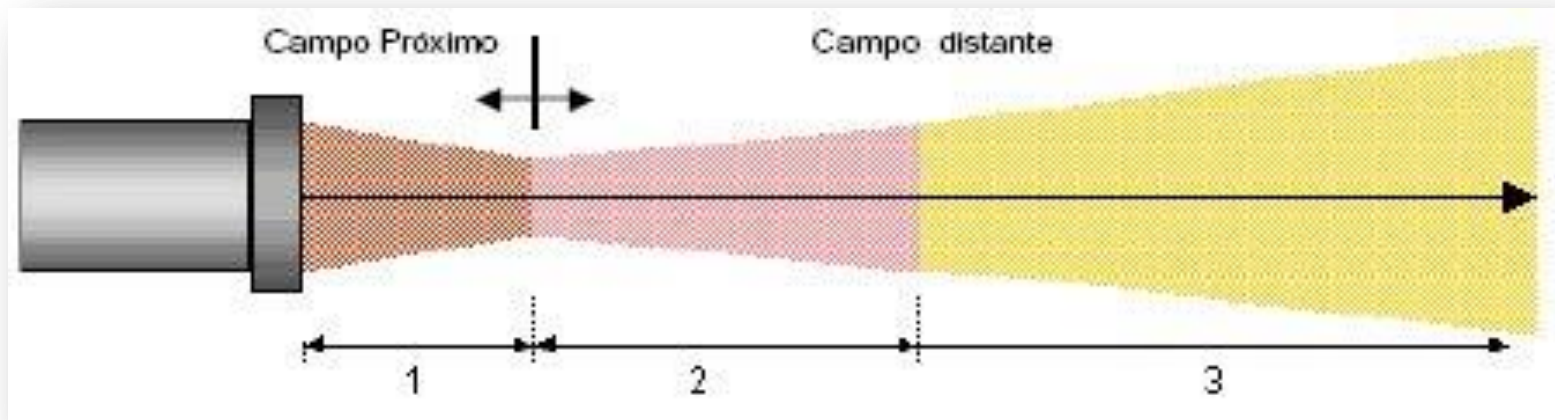
- Campo próximo ou zona morta ou Zona de Fresnel
 - Nas proximidades do cristal existe uma interferência ondulatória muito grande entre as ondas. A medida que nos afastamos do cristal, as interferências diminuem e desaparecem, tornando uma só frente de onda.





Física do ultrassom

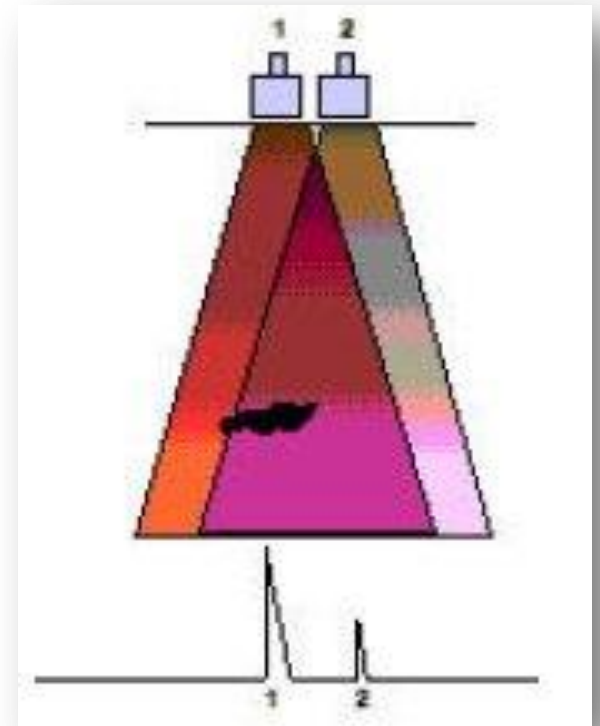
- Campo longínquo ou distante ou Zona de Fraunhofer
 - ❑ Região vem a seguir ao campo próximo, onde qualquer descontinuidade compatível com o comprimento de onda pode ser detectada.





Física do ultrassom

- Divergência é o fenômeno físico responsável pela perda de parte da intensidade ou energia da onda sônica a medida que nos afastamos da fonte emissora das vibrações acústicas (redução da intensidade do feixe).





O que é um transdutor?



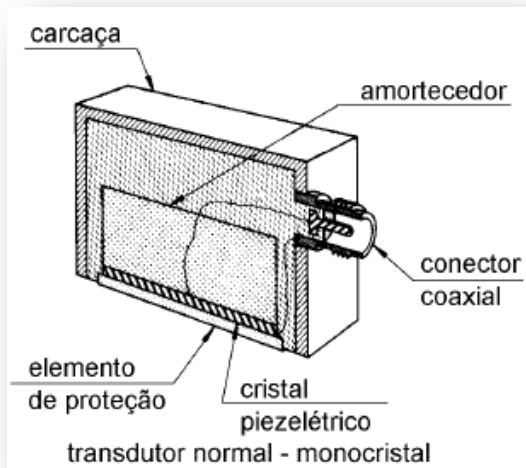
- Transdutor, também conhecido como cabeçote, é todo dispositivo que converte um tipo de energia em outro. No ensaio de ultrassom, os transdutores, compostos por materiais piezelétricos, são necessários para converter energia elétrica em energia mecânica de vibração (ultrassom) e vice-versa.
- No ensaio por ultrassom, eles são subdivididos em categorias:
 - ❑ quanto ao **ângulo de emissão/recepção** do ultrassom e
 - ❑ quanto à **função** (emissor ou receptor ou emissor/receptor).





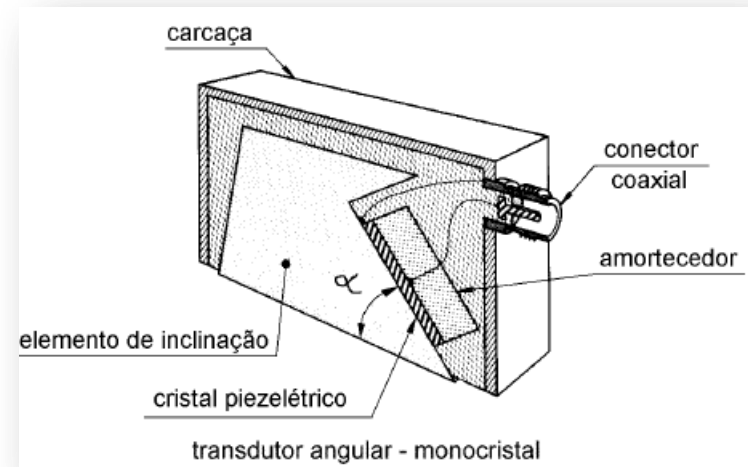
Tipos de transdutor

- Quanto ao ângulo de emissão/recepção do ultrassom os transdutores podem ser:



Normais:

Emitem e/ou recebem o ultrassom perpendicularmente à sua superfície.



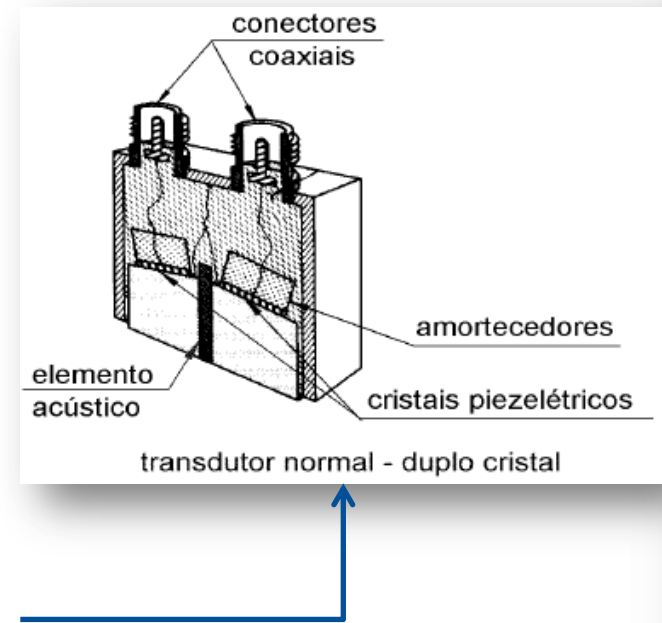
Angulares:

Emitem e/ou recebem o ultrassom obliquamente à sua superfície.



Tipos de transdutor

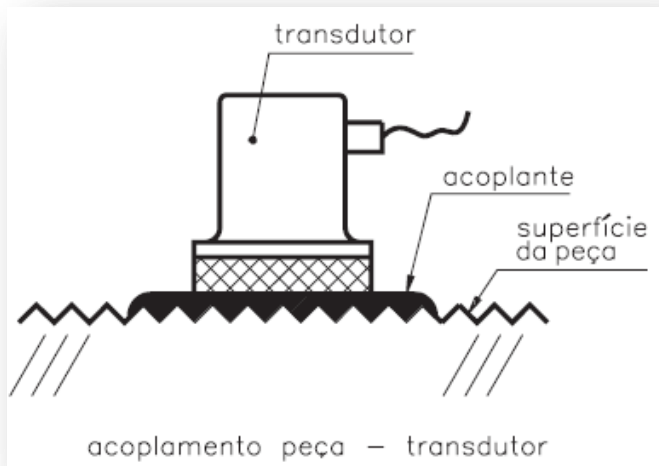
- Quanto à função, os transdutores podem ser:
 - ❑ **Monocrystal:** possuem apenas um cristal piezelétrico. Há três modalidades:
 - ❖ só emissor de ondas ultrassônicas;
 - ❖ só receptor de ondas ultrassônicas (este tipo deve trabalhar junto com o primeiro);
 - ❖ emissor e receptor de ondas ultrassônicas (o mesmo cristal emite e recebe os ecos ultrassônicos de maneira sincronizada).
 - ❑ **Duplo cristal:** o mesmo transdutor possui um cristal para recepção e outro para emissão do ultrassom.





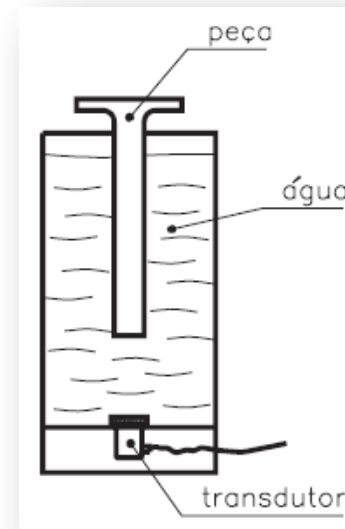
Método de ensaio

- Quanto ao tipo de acoplamento, o ensaio por ultrassom pode ser classificado em dois grupos:



Ensaio por contato direto:

O acoplante é colocado em pequena quantidade entre a peça e o cabeçote, formando uma película.



Ensaio por imersão:

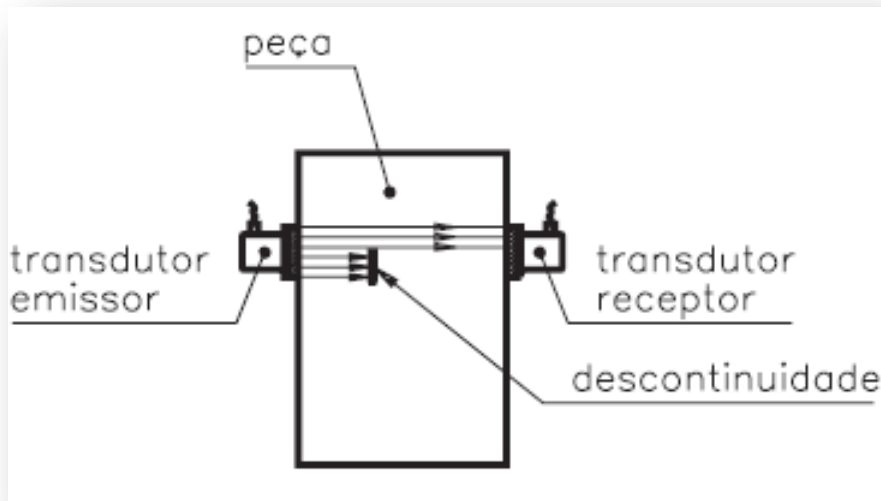
a peça e o cabeçote são mergulhados num líquido, geralmente água, obtendo-se um acoplamento perfeito.



Técnicas de ensaio

- Pelo tipo de transdutor utilizado, podemos classificar o ensaio por ultrassom em quatro técnicas: por transparência, por pulso eco, por duplo cristal e por transdutores angulares.

Técnica de transparência



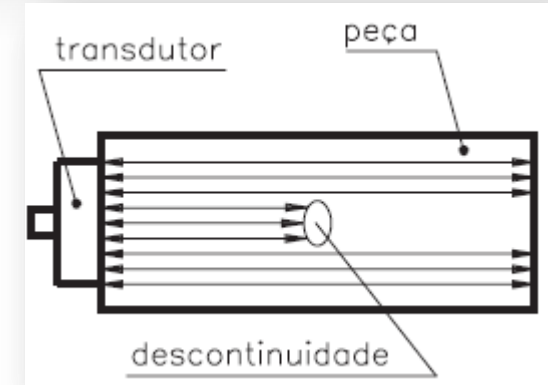
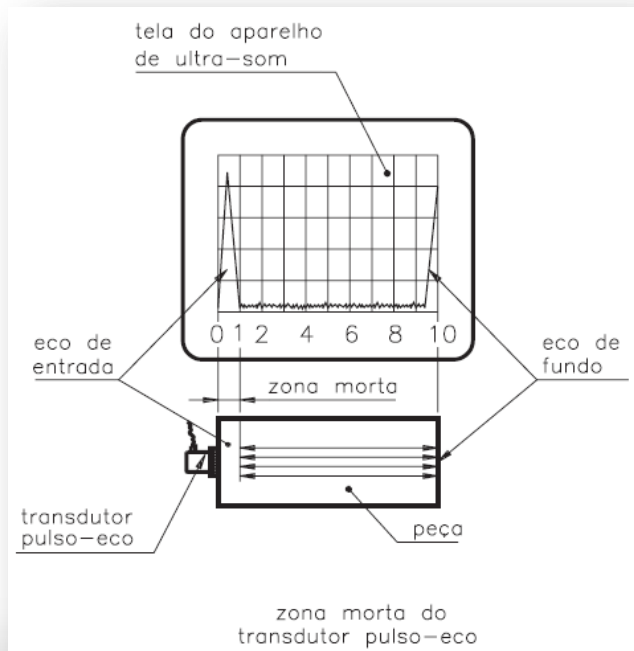
- ❑ Havendo descontinuidades, o receptor recebe uma porcentagem inferior ao sinal emitido.
- ❑ Esta técnica é mais indicada para processos automáticos que envolvem grandes produções.
- ❑ Ela não é apropriada para processos de medições manuais.



Técnicas de ensaio

Técnica por pulso eco

- Nos ensaios por ultrassom em processos manuais, geralmente usamos os transdutores do tipo monocristal, emissor e receptor (pulso eco), pela facilidade de manuseio e de operação.



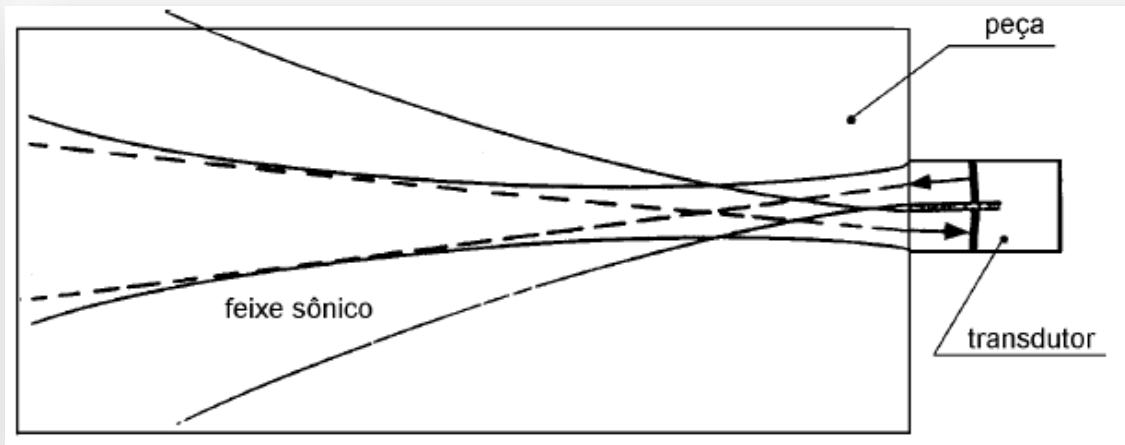
- ❑ É fácil entender que, se o pulso emissor bater numa descontinuidade muito próxima da superfície, haverá um eco retornando, antes de terminar a emissão.
- ❑ Neste caso, o sinal da descontinuidade não é percebido.



Técnicas de ensaio

Técnica de duplo cristal

- Para ensaiar peças com pouca espessura, nas quais se espera encontrar descontinuidades próximas à superfície, os transdutores pulso eco não são adequados, neste caso, usamos outro tipo de transdutor - o transmissor e receptor (TR), por duplo cristal. A zona morta ou de Fresnel, neste caso, é menor.



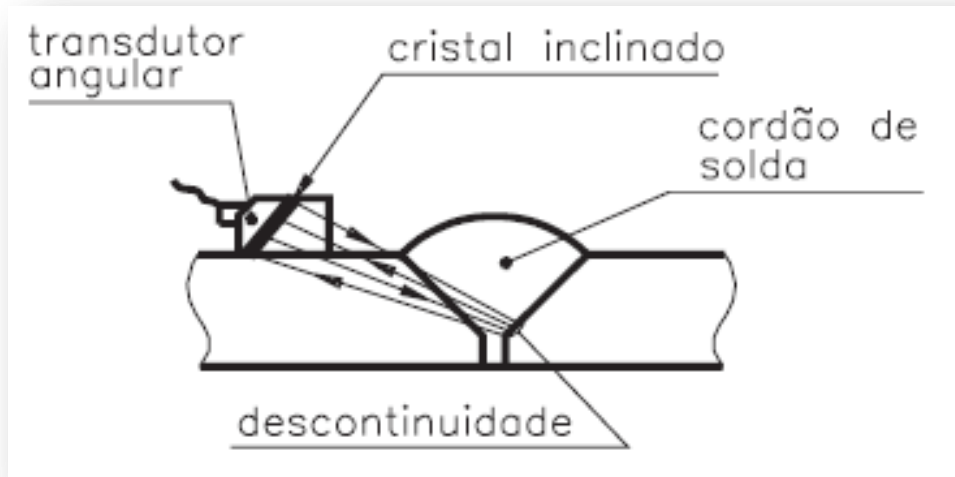
- Os transdutores TR são usados frequentemente para verificar dimensões de materiais e detectar, localizar e avaliar falhas subsuperficiais.



Técnicas de ensaio

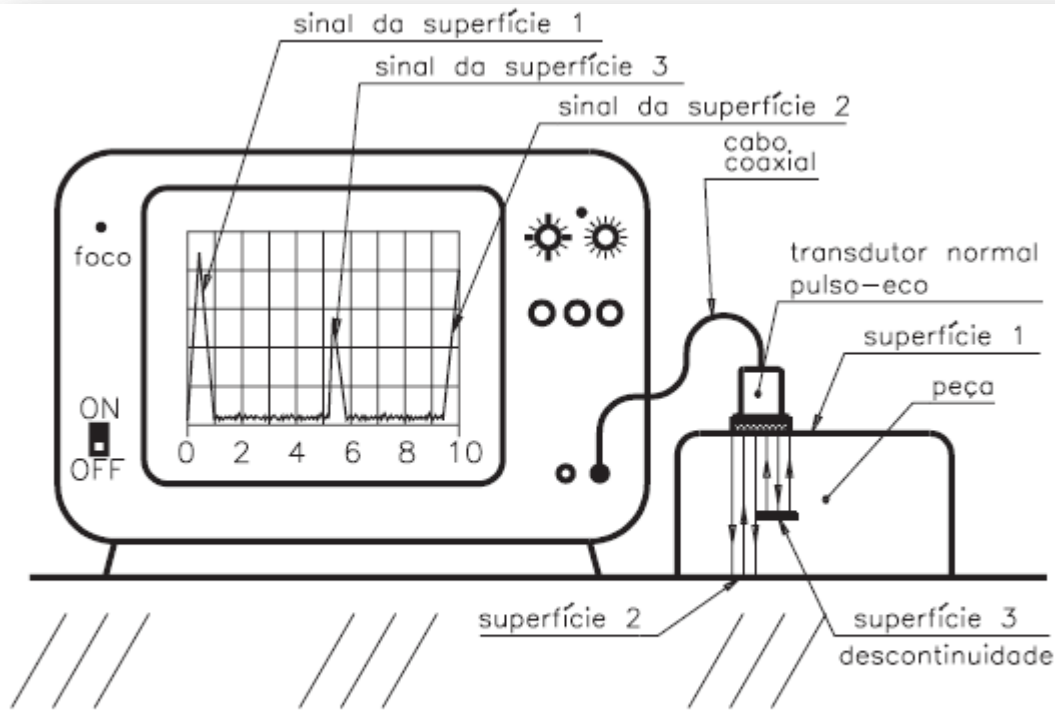
Técnica com transdutores angulares

- Imagine a colocação de qualquer dos transdutores vistos anteriormente sobre um cordão de solda. Não teríamos acoplamento suficiente para o ensaio. Neste caso, usamos os transdutores angulares, que possibilitam um acoplamento perfeito e a detecção das descontinuidades.





Ultrassom - Resumo



esquema básico da resposta obtida no ensaio de ultra-som





Gamagrafia e Raios X



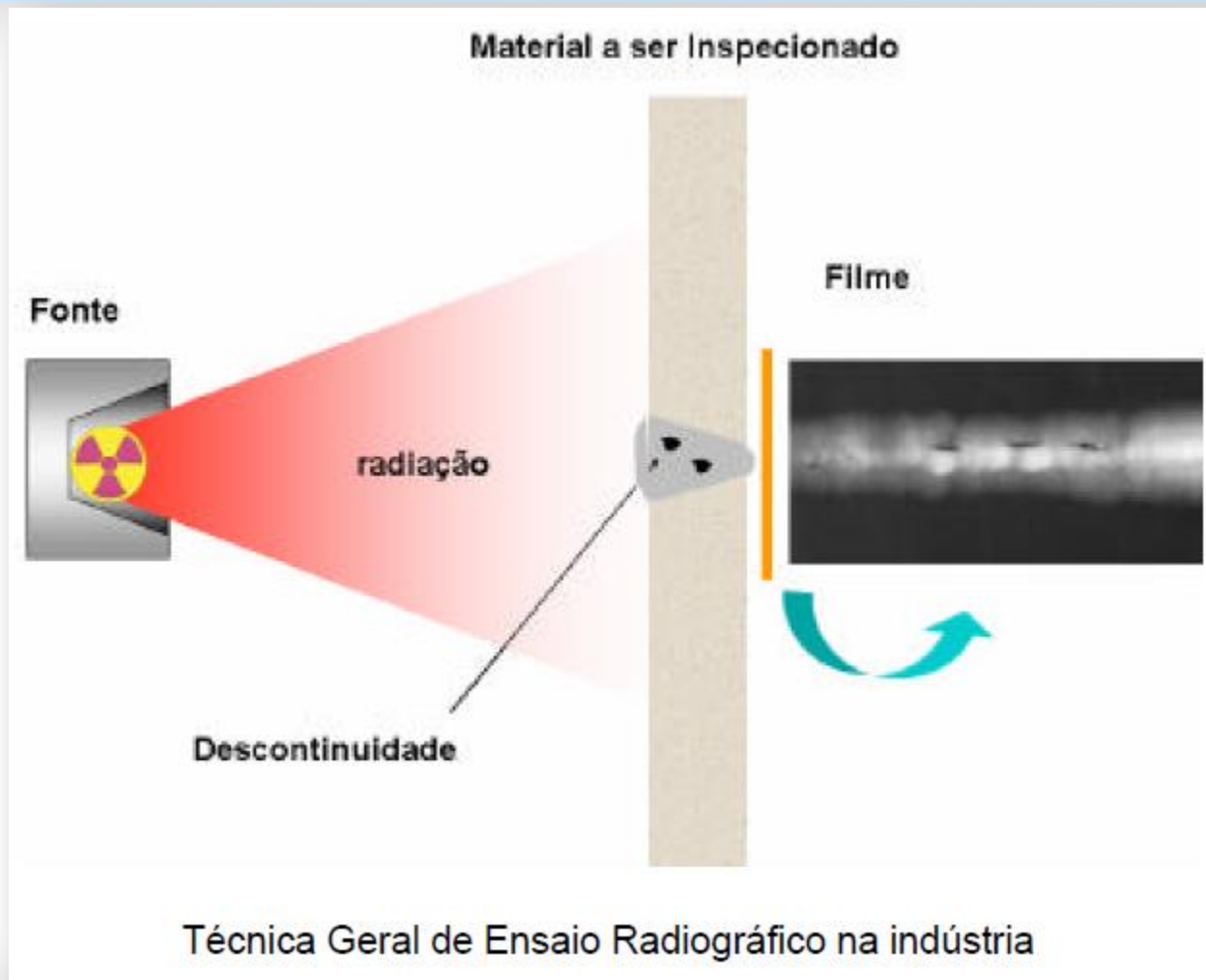


Princípios do método

- São um poderoso método que pode detectar com alta sensibilidade descontinuidades com poucos milímetros de extensão.
- Usados nas indústrias de petróleo e petroquímica, nuclear, alimentícia, farmacêutica, inspeção em soldas e fundidos, e ainda na indústria bélica para inspeção de explosivos, armamento e mísseis.
- Desempenham um papel importante na comprovação da qualidade da peça ou componente em conformidade com os requisitos das normas, especificações e códigos de fabricação.



Princípios do método





Gamagrafia





Radiografia



Ensaio Radiográfico da Turbina de um avião

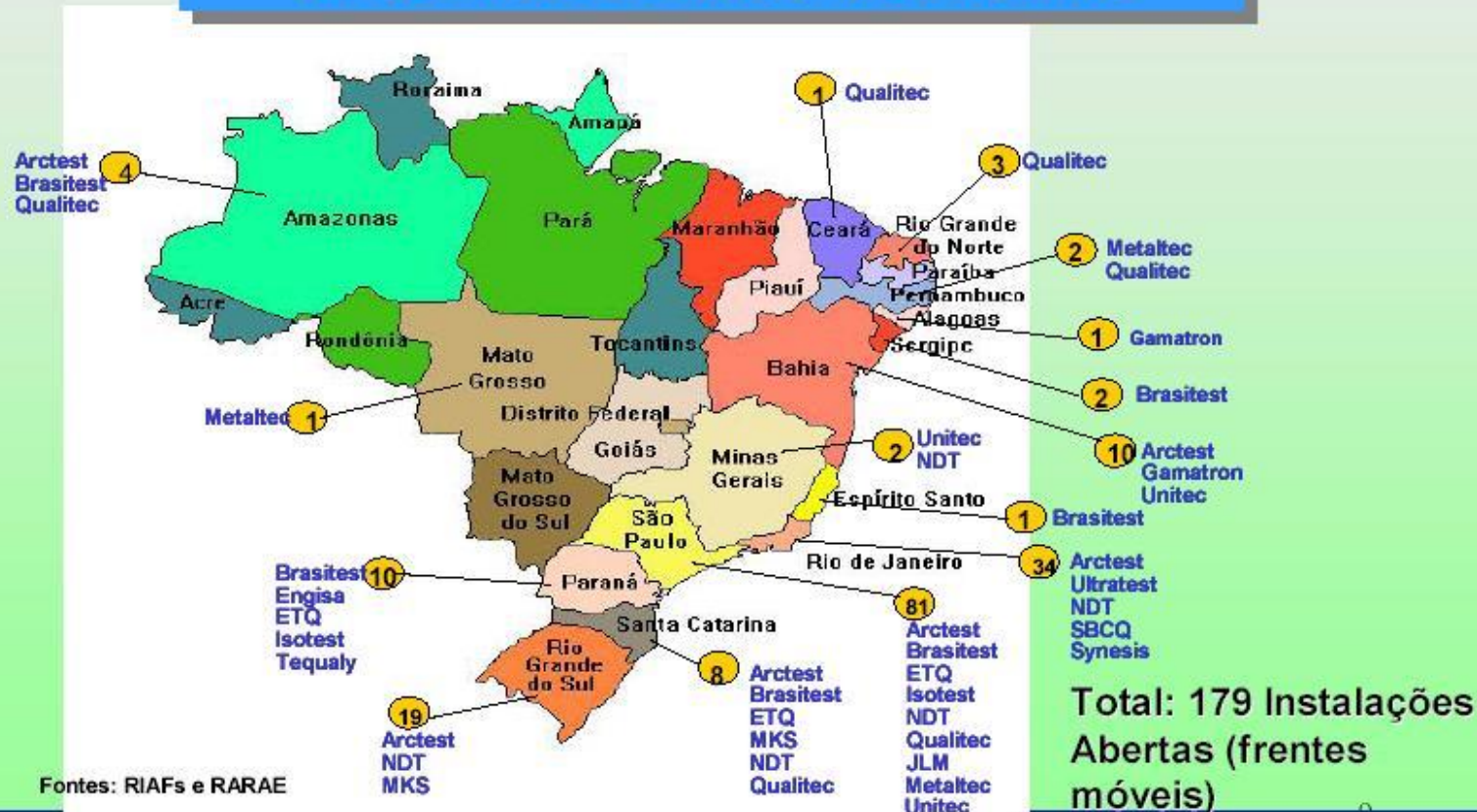


Inspeção radiográfica de soldas em tubos



Gamagrafia

INSTALAÇÕES ABERTAS DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL NO PAÍS





Transporte da fonte gama



- PERIGO RADIOATIVO
- CONTÉM: Material radioativo deve ser manipulado somente por pessoas que receberam treinamento adequado.
- NOME DA EMPRESA
- TELEFONE PARA CONTACTO





Sinalização de transporte



Rótulo de transporte que deve ser fixada no embalado (container ou irradiador) que identifica o material radioativo, a atividade e o índice de transporte, nas dimensões 10 x 10 cm. O índice de transporte "IT" é a máxima taxa de dose a 1 metro da superfície do container ou blindagem medida em $\mu\text{Sv/h}$ e dividido pelo fator 10. O índice máximo aceitável é de 10.

Categorias de Embalados

Índice de Transporte (IT)	Nível de Radiação Máximo em qualquer ponto da Superfície do Embalado (mSv/h)	Rotulação
0	$\text{NRM} \leq 0,005$	I - Branca
$0 < \text{IT} \leq 1$	$0,005 < \text{NRM} \leq 0,5$	II - Amarela
$1 < \text{IT} \leq 10$	$0,5 < \text{NRM} \leq 2$	III - Amarela



Avaliação de taxa de dose no transporte

- O embalado de uma fonte de Ir-192 está identificado como “Categoria III” e apresenta índice de transporte (IT) igual a 10. A que distância do embalado o IOE estará sujeito a uma taxa de dose de $25\mu\text{Sv/h}$?

Resposta: Taxa de dose a 1 m = IT x 10 $\rightarrow 10 \times 10 = 100\mu\text{Sv/h}$

$$\frac{I_0}{I} = \frac{d^2}{d_0^2} \rightarrow \frac{100}{25} = \frac{d^2}{1^2} \rightarrow d^2 = 4 \rightarrow d = 2 \text{ m}$$



Gamagrafia

Fator gama ou Gamão da fonte gama



^{75}Se



^{192}Ir



^{60}Co

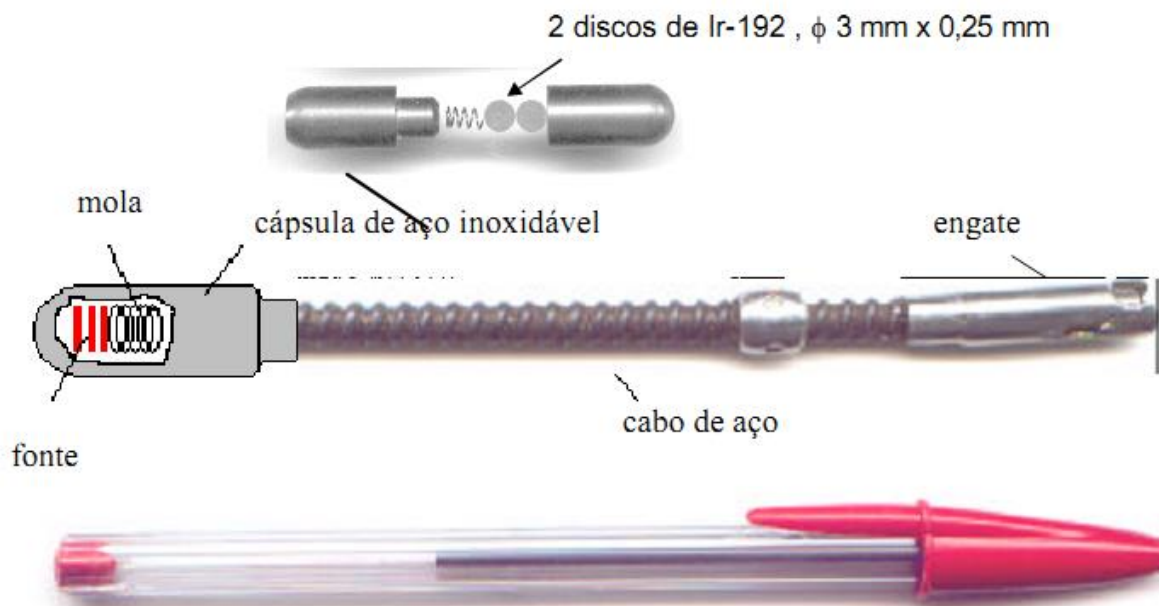
$$\Gamma = 0,0053 \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$$

$$\Gamma = 0,013 \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$$

$$\Gamma = 0,351 \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{h} \cdot \text{GBq}}$$



Gamagrafia



Características das fontes seladas radioativas industriais comparadas com uma caneta BIC.

^{75}Se :

Faixa de utilização mais efetiva = 4 a 30 mm de aço.

^{192}Ir :

Faixa de utilização mais efetiva = 10 a 40 mm de aço.

^{60}Co :

Faixa de utilização mais efetiva = 60 a 200 mm de aço.



Gamagrafia



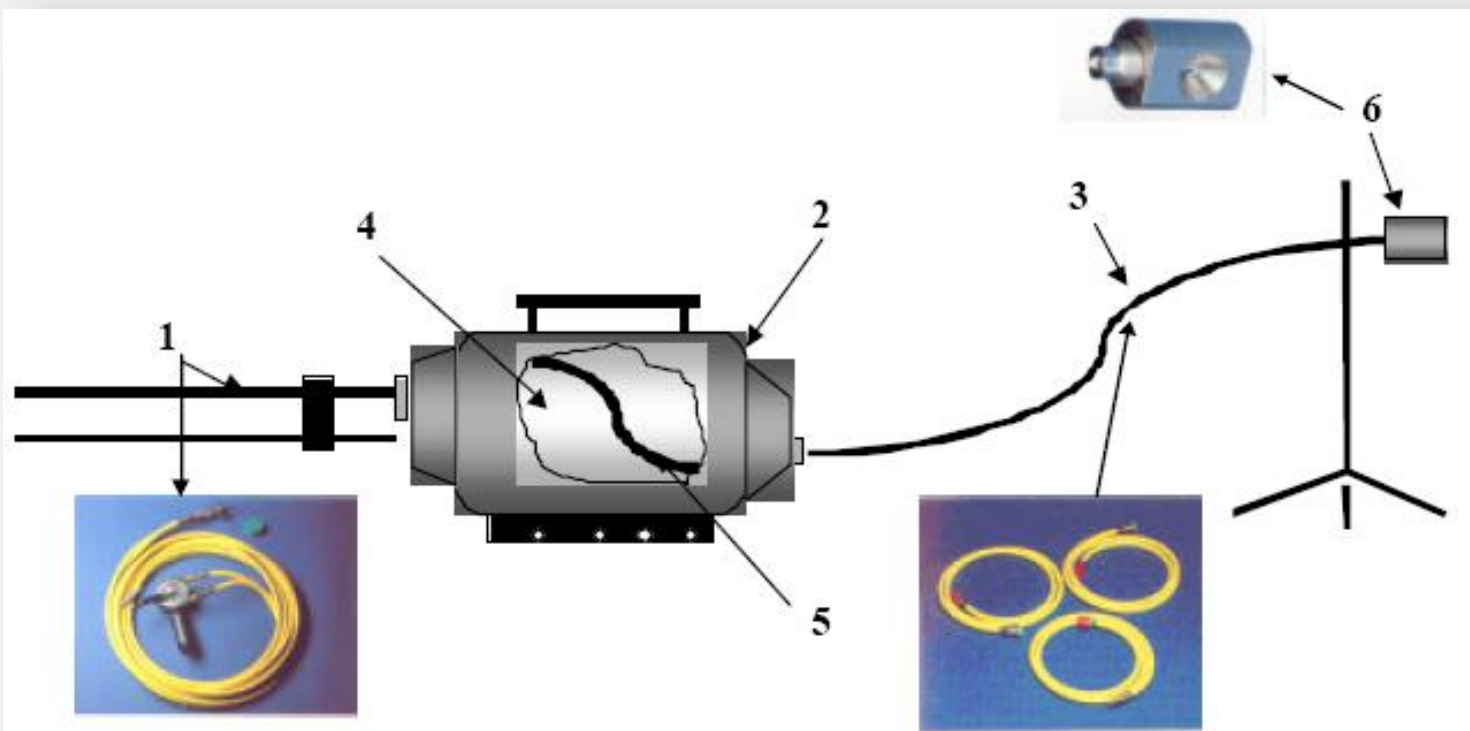
Aparelho para Gamagrafia usando fonte radioativa de Cobalto-60 com atividade máxima de 30 Curies , pesando 122 kg, projetado com tipo de canal reto.



Aparelho de gamagrafia industrial projetado para operação com capacidade máxima de 130 Ci de Ir-192. O canal interno de trânsito da fonte é do tipo de canal reto. Peso 30 kg



Gamagrafia



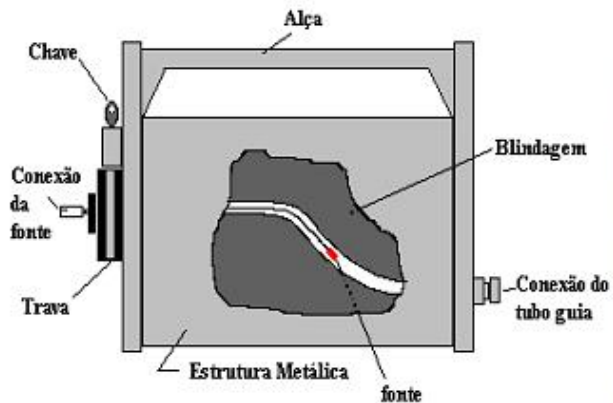
1 = Cabo de Comando ou tele-comando
2 = Irradiador
3 = Tubo Guia (flexível)

4 = Blindagem de Urânio Metálico
5 = Canal de trânsito da fonte em "S"
6 = Colimador

Esquema do Equipamento para Gamagrafia Industrial



Gamagrafia



Irradiador Gama para Radiografia Industrial
Mod. Tech/Ops 660



Operação de conexão da fonte de Ir-192 - Fase 1



Operação de conexão da fonte de Ir-192 - Fase 2



Operação de conexão da fonte de Ir-192 - Fase 3

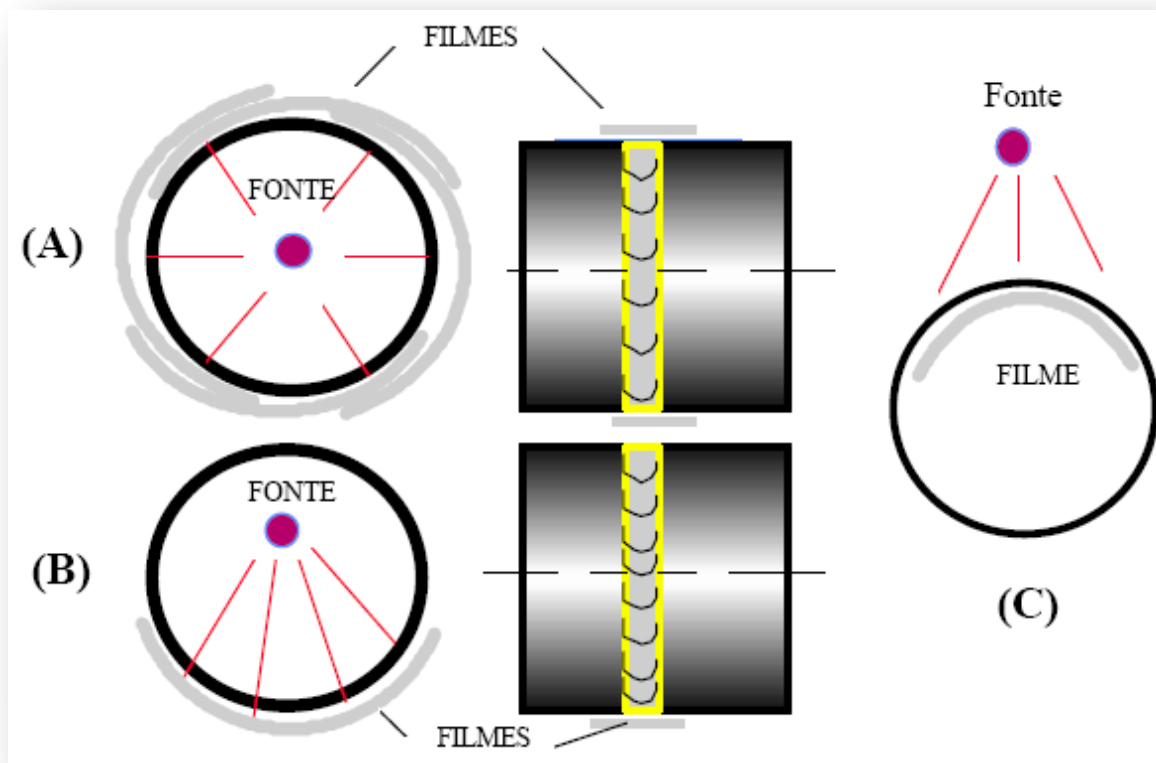
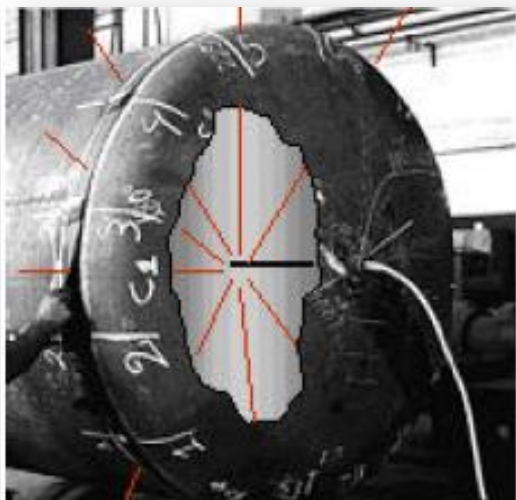


Operação de conexão da fonte de Ir-192 - Fase 4 (final)



Técnicas para END por gamagrafia

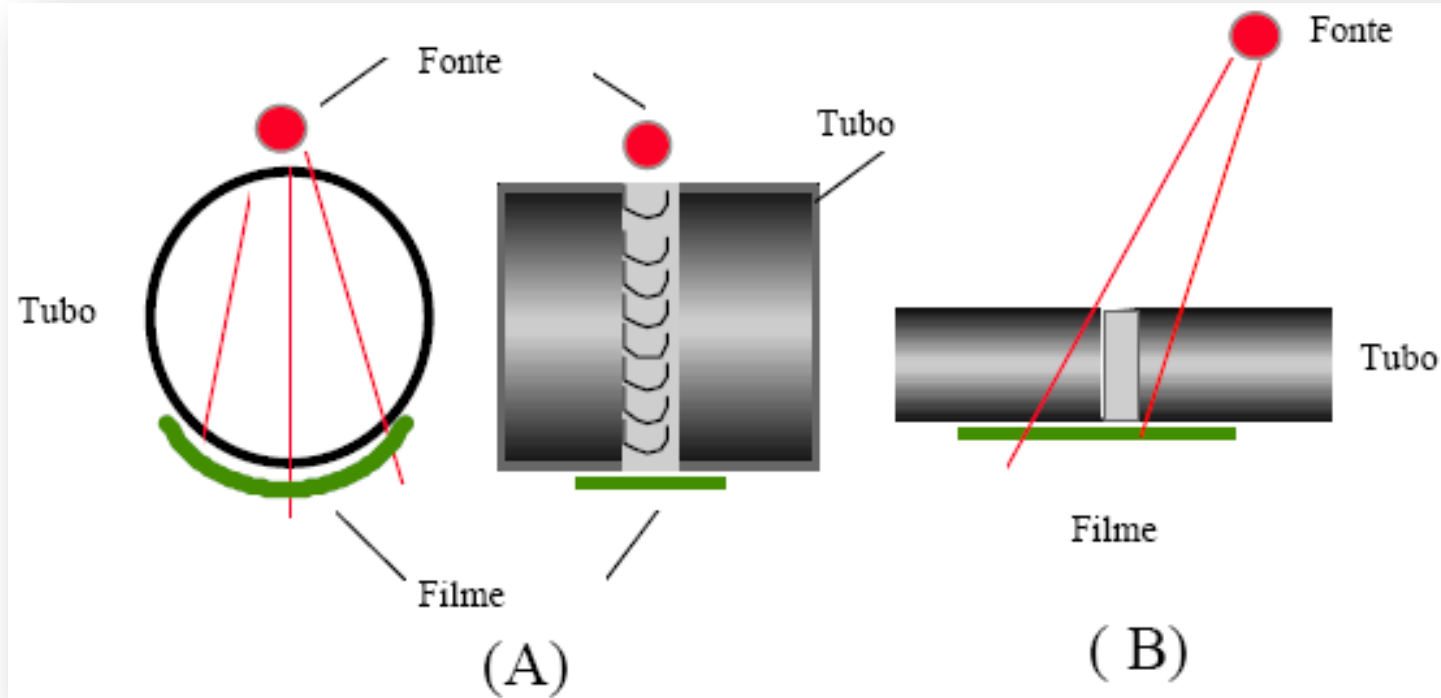
- Parede simples: PSVS e Panorâmica





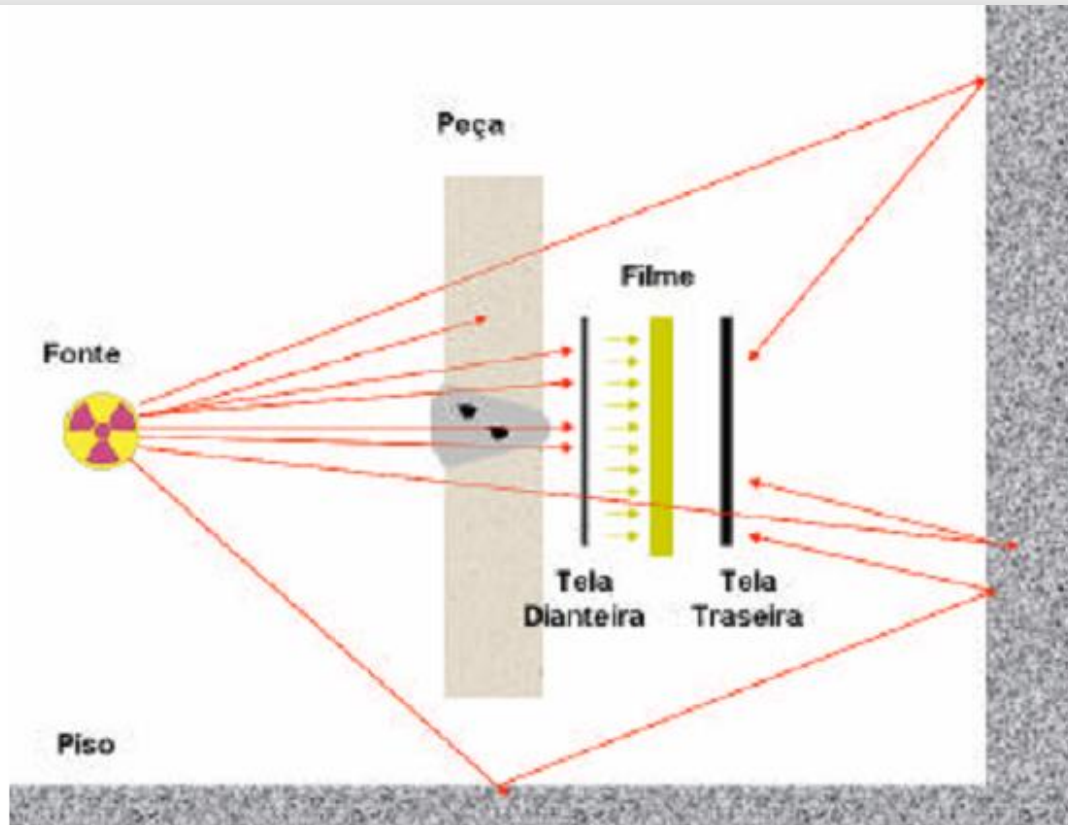
Técnicas para END por gamagrafia

- Parede dupla: PDVS e PDVD





Técnicas para END por gamagrafia



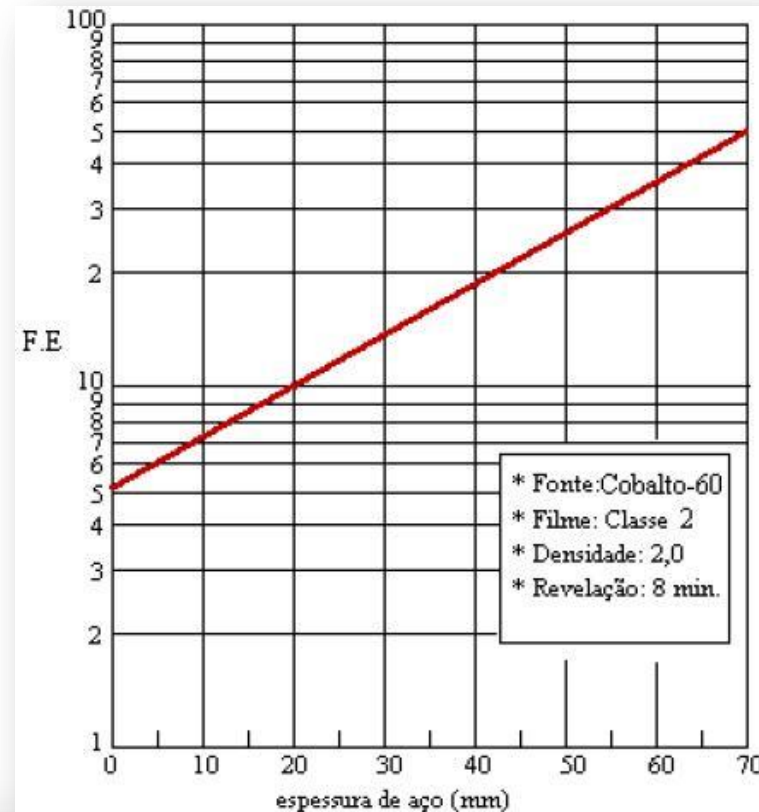
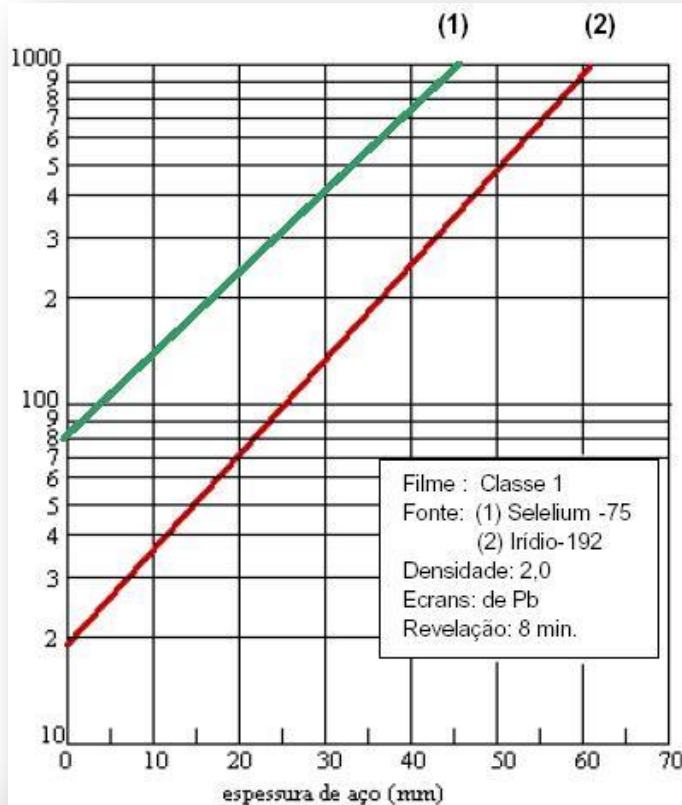
Esquema de exposição mostrando a radiação retroespalhada no piso e parede, que retorna ao filme, que é eliminada pela tela intensificadora traseira.



Curva de exposição para gamagrafia

$$t = \frac{D_{ff}^2 \cdot FE}{A}$$

FE = fator de exposição; A = atividade da fonte (mCi);
t = tempo de exposição (min); D_{ff} = distância fonte - filme (cm).





Curva de exposição para gamagrafia

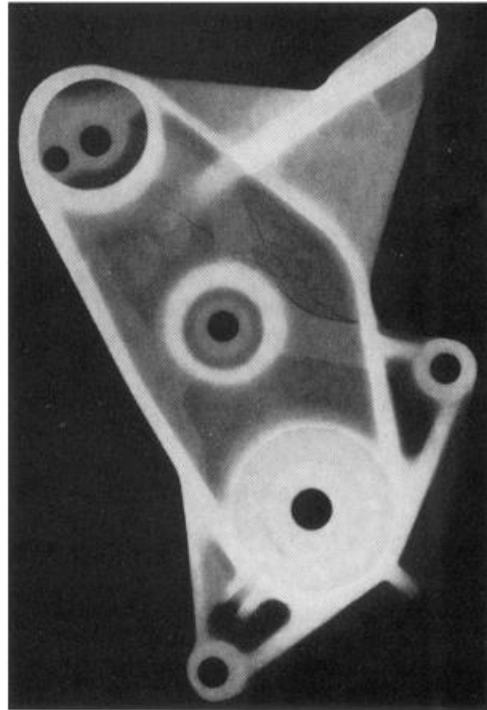
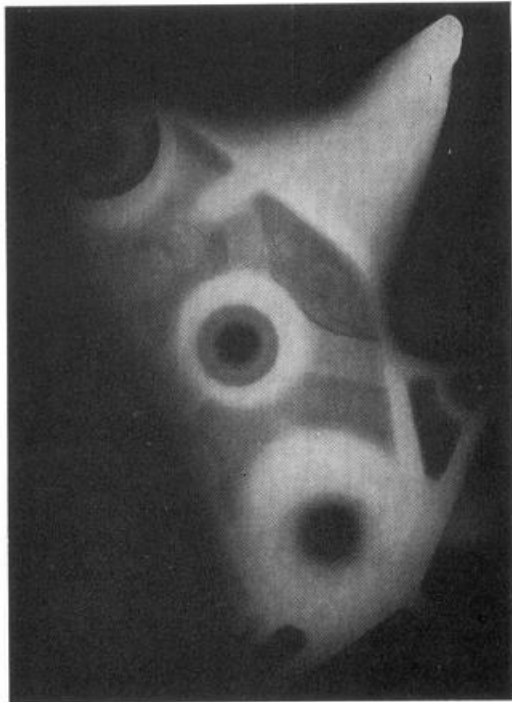
- Uma equipe de trabalho realiza um ensaio, por gamagrafia, de uma chapa de aço, com 3,0 cm de espessura. Para este ensaio dispõe-se de uma fonte de Se-75 com atividade 50 Ci e filme Classe 1. Qual o tempo necessário para a realização do mesmo, sabendo que a distancia fonte-filme e 60 cm?

Resposta: No gráfico do slide 85, para uma chapa de aço com 30 mm o FE = 400.

$$t = \frac{D_{ff}^2 \cdot FE}{A} = \frac{60^2 \cdot 400}{50000} = 28,8 \text{ min}$$



Gamagrafia



Radiografia sem telas intensificadoras

(fotos extraídas do livro Radiografia Industrial – Agfa NDT NV 1989)

Radiografia com telas intensificadoras



Chassis plástico flexível típico industrial tamanho 4,5 x 8,5 polegadas



Gamagrafia digital



Técnica de radiografia digital em uma solda de tubulação. Na foto do meio, a placa digitalizadora da imagem, gira ao redor da solda, por um guia fixado no tubo.



Radiografia



Técnico de uma companhia aérea preparando a inspeção radiográfica da turbina do avião, utilizando um aparelho de Raios X. A inspeção radiográfica das aeronaves em operação é uma ferramenta indispensável para controlar os componentes, e verificar se os mesmos permanecem na mesma condição de fabricação.



Raios X industrial, de até 300 kV
(CONFAB)

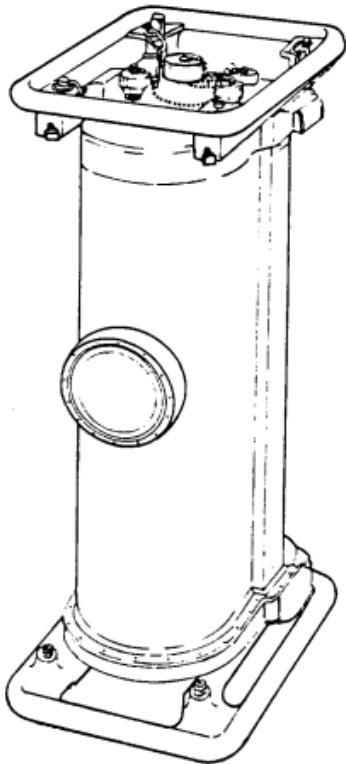


Inspeção radiográfica de soldas em tubos

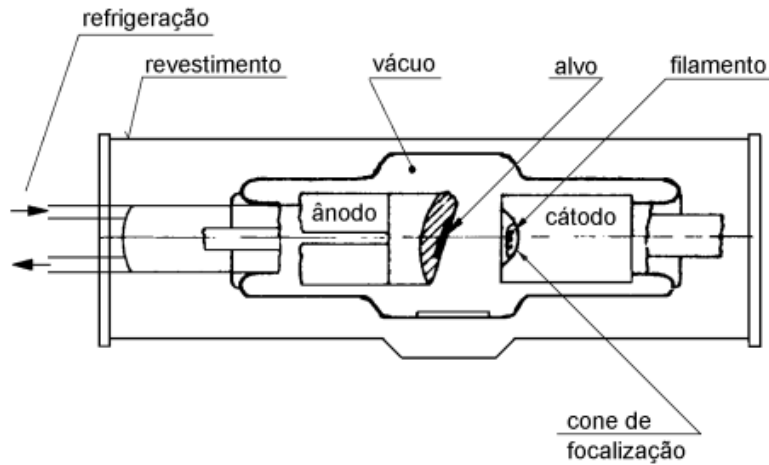


Radiografia

Veja agora os principais elementos do tubo de raios X.



aspecto externo do tubo



elementos principais do tubo de raios-X





Radiografia



Equipamento gerador de radiação ionizante industrial , direcional, pesando 24 kg e a mesa de comando 13 kg , tamanho focal 1,5 mm , com tensão de 20 a 200 kV e corrente de 0,5 a 10 mA.
(extraído do catálogo da Seifert/GE Eresco 200 MF)



Curva de exposição para radiografia

- Relação tempo x corrente

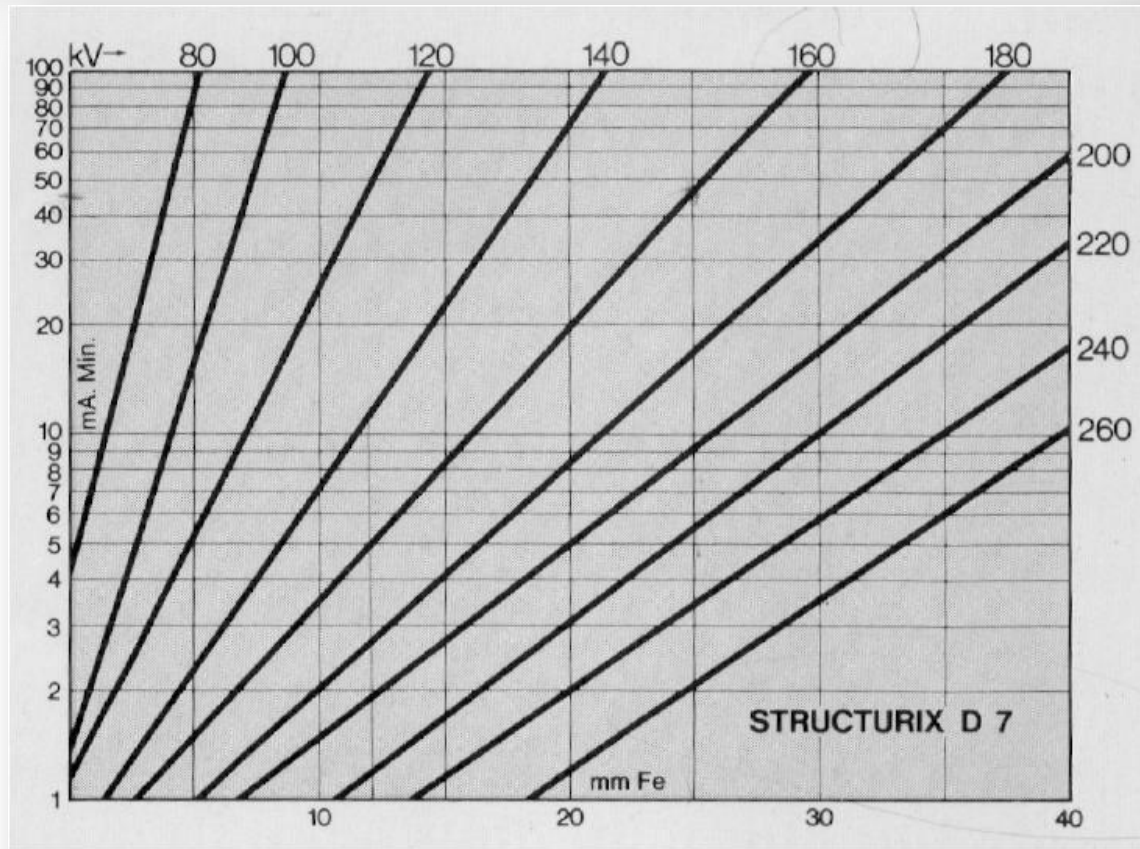
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

- Relação corrente x distância

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}$$

- Relação tempo x distância

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}$$



Exemplo de Curva de Exposição para Raios X , direcional, para aço carbono filme AGFA, Tipo D7 (classe 2) , com DFF=700 mm.



Curva de exposição para radiografia

- Uma seção de um duto em aço com 4,0 cm de espessura, foi radiografada utilizando-se 200 kV e 60 mA a 70 cm de distancia fonte-filme, utilizando-se filme Classe 2, para obter uma densidade radiográfica de 2,0. Mantendo-se o tempo de exposição, qual distancia dever utilizada para uma corrente de 12 mA ?

Resposta: Observando o gráfico do slide 92 a $D_1 = 700$ mm e fazendo uso da relação corrente x distância

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \rightarrow \frac{60}{12} = \frac{700^2}{D_2^2} \rightarrow D_2^2 = 98000 \rightarrow D_2 = 313 \text{ mm}$$



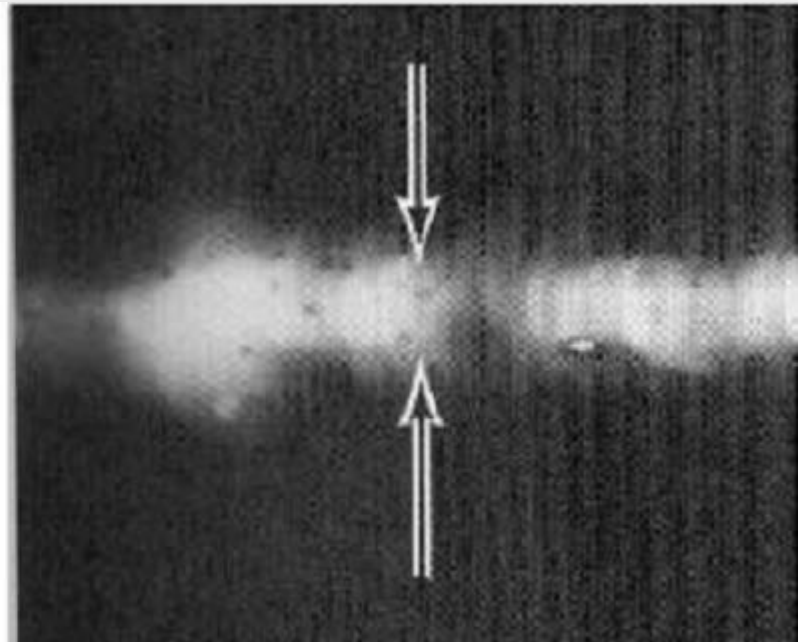
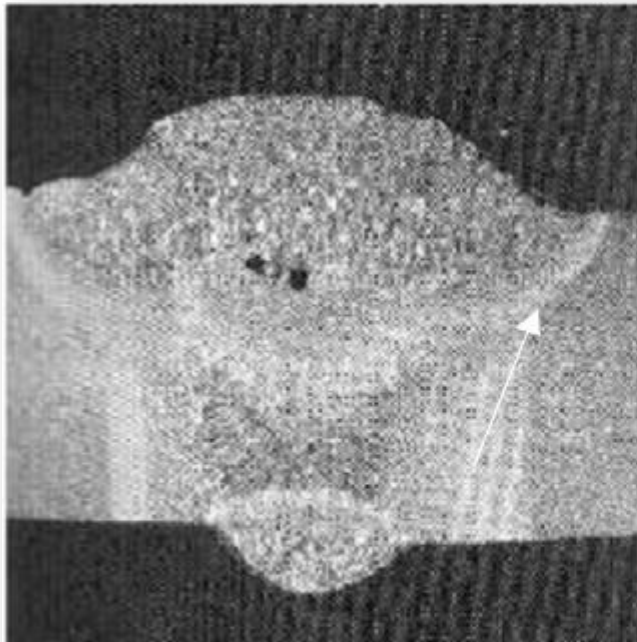
Avaliação de filmes radiográficos

TIPO DE FILME	VELOCIDADE	CONTRASTE	GRANULAÇÃO
1	baixa	muito alto	extra fina
2	média	alto	finha
3	alta	médio	grosseira
4	muito alta	muito alto	várias

GUIA PARA SELEÇÃO DE FILMES DE ACORDO COM ASTM E94 - PARA AÇO					
ESPESSURA DO MATERIAL (mm)	VOLTAGEM APLICADA NO EQUIPAMENTO (kV)				
	50 a 80	80 a 120	120 a 150	150 a 250	250 a 400
0 a 6,3	3	3	3	1	
6,3 a 12,7	4	3	2	2	1
12,7 a 25,4		4	3	2	2
25,4 a 50,8				3	2
50,8 a 101,6				4	4
101,6 a 203,2					4



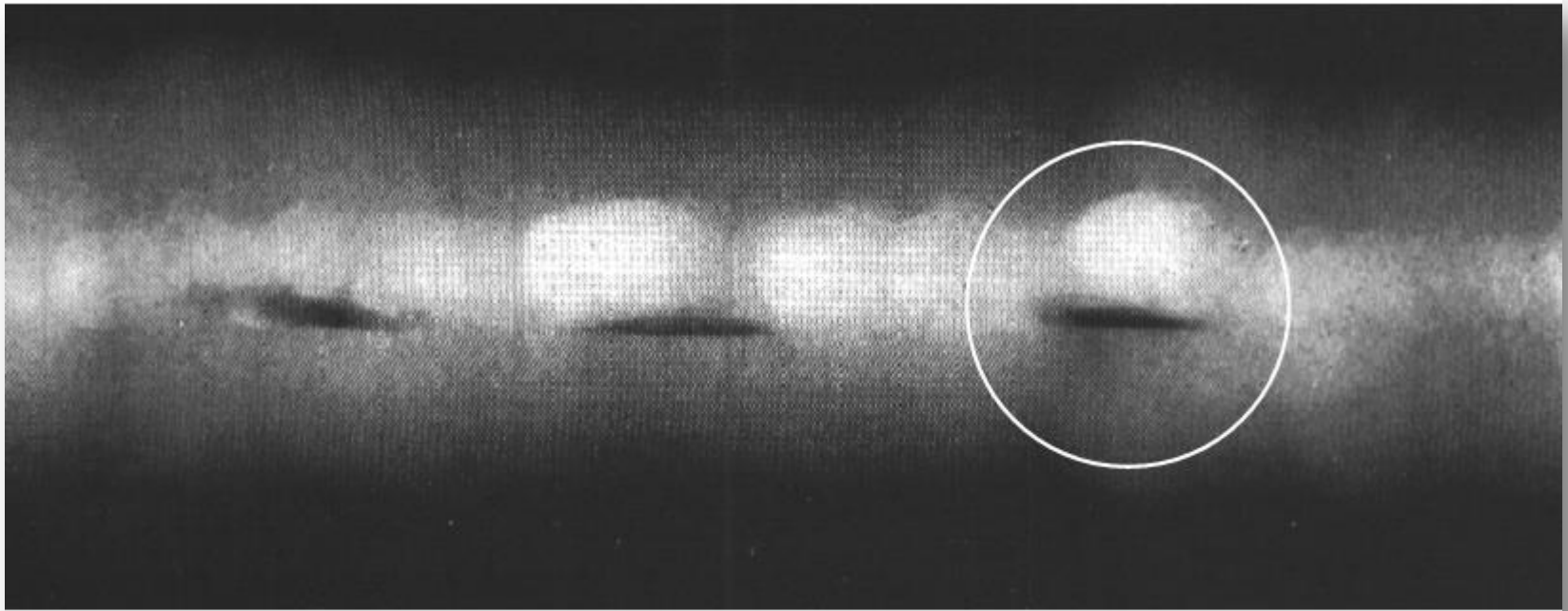
Avaliação de radiografias



Solda contendo porosidade
(Fotos extraídas do livro "Nondestructive Testing Handbook - ASNT")



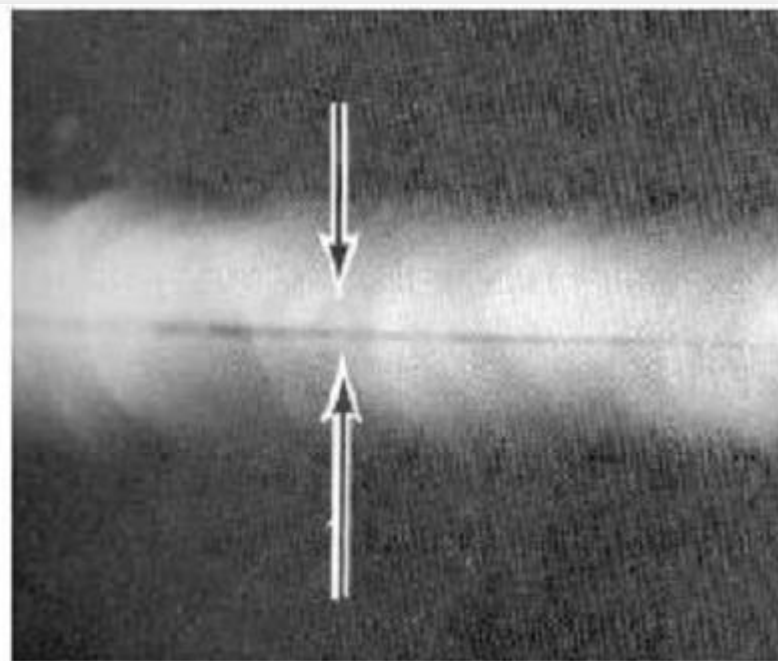
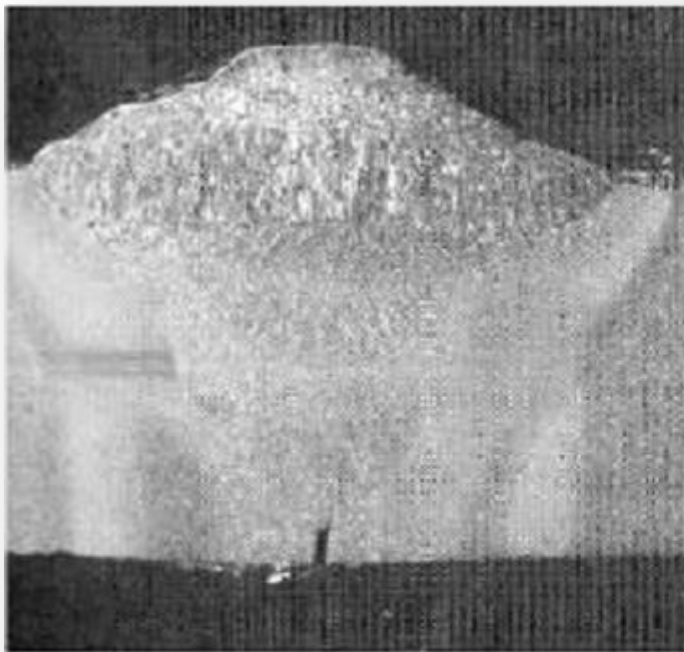
Avaliação de radiografias



Aparência radiográfica de soldas contendo inclusões de escória.



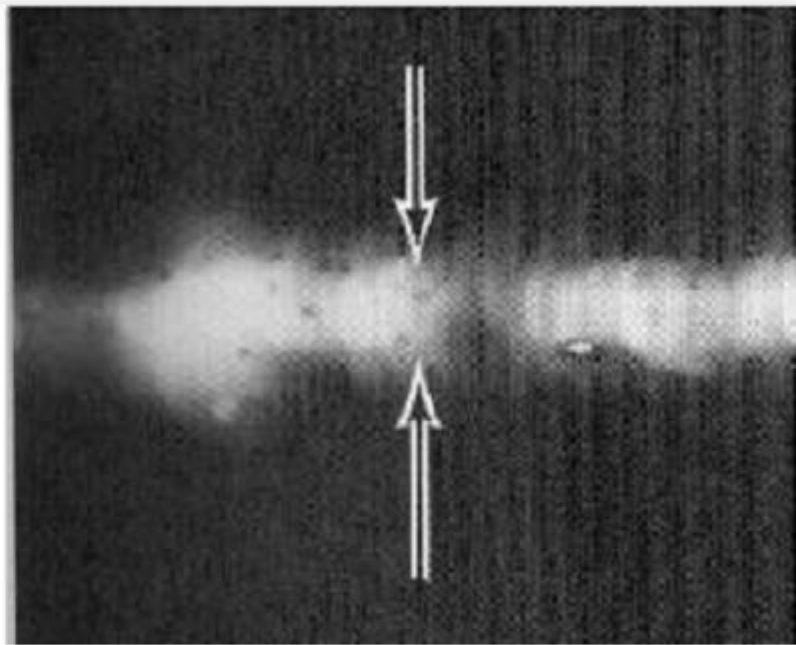
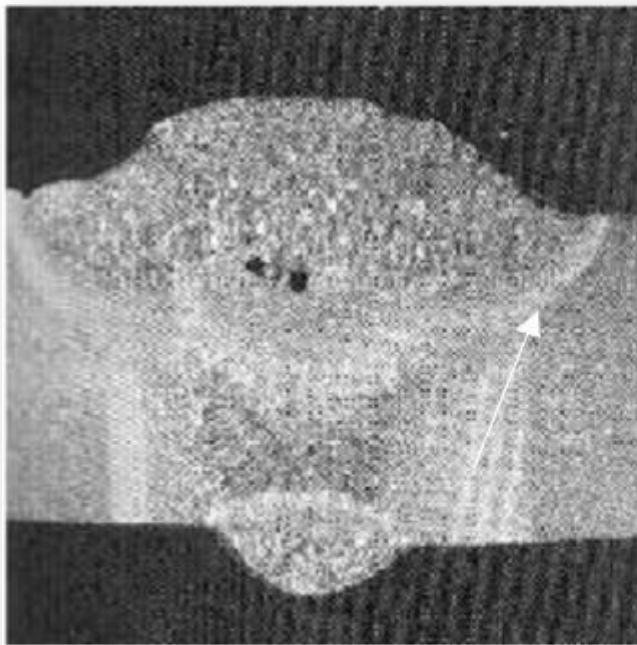
Avaliação de radiografias



Fotos de uma solda contendo falta de penetração na raiz
(Fotos extraídas do livro "Nondestructive Testing Handbook - ASNT")



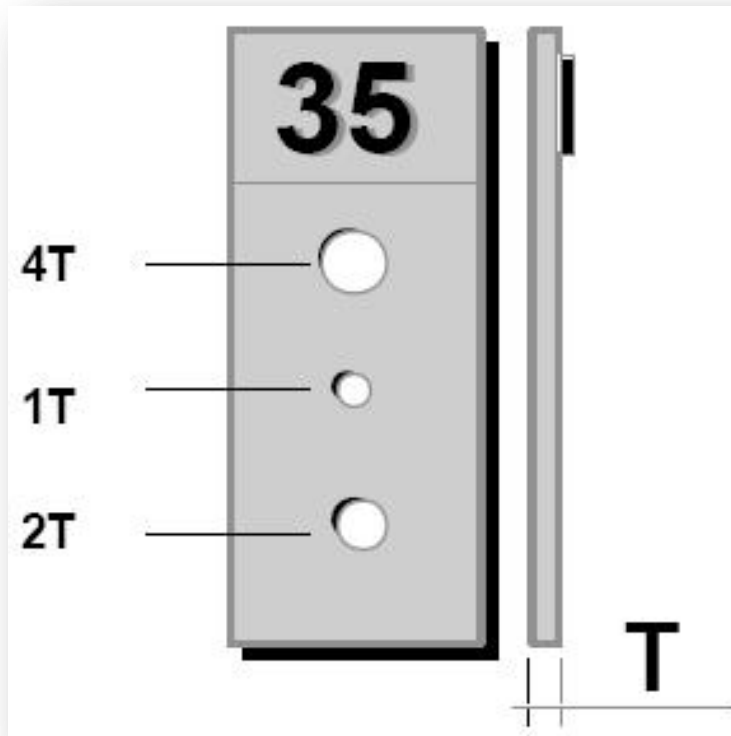
Avaliação de radiografias



Solda contendo porosidade
(Fotos extraídas do livro "Nondestructive Testing Handbook - ASNT")



Indicador de qualidade de imagem (IQI) tipo furos



IQI ASTM Nr. 40



IQI ASTM Nr. 10



END

COMPARAÇÃO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS			
EXAME RADIOGRÁFICO	EXAME POR LÍQUIDO PENETRANTE	EXAME POR PARTÍCULA MAGNÉTICA	EXAME POR ULTRA-SOM
Custo relativamente alto.	Baixo custo.	Baixo custo.	Custo relativamente alto.
Difícil utilização.	Fácil utilização.	Em alguns casos, é de fácil utilização.	Fácil utilização.
Detecta descontinuidade interna no material.	Detecta apenas descontinuidades na superfície do material.	Detecta apenas descontinuidades superficiais ou próximas à superfície.	Detecta descontinuidades internas no material.
Não requer preparo da superfície.	Exige superfície previamente preparada.	Exige superfície previamente preparada.	Exige superfície previamente preparada.
Permite registro permanente das falhas encontradas.	Dificuldade no registro das falhas encontradas.	É difícil manter um registro das falhas encontradas.	Não é possível manter um registro das falhas encontradas.
Pode ser aplicado em qualquer material.	Não pode ser aplicado em materiais porosos.	Só pode ser aplicado em materiais ferromagnéticos.	Dificuldade de aplicação em alguns materiais.
O tempo envolvido no exame é relativamente longo.	Rapidez na execução do exame.	Rapidez na execução do exame.	Rapidez na execução do exame.
Requer grau de conhecimento maior na execução e interpretação dos resultados.	Não requer grande conhecimento para sua execução e para a interpretação dos resultados.	Não requer grande nível de conhecimento para sua execução e para a interpretação dos resultados.	Requer elevado grau de conhecimento para sua execução e para a análise dos resultados.
Não detecta descontinuidades planas perpendiculares à direção da radiação.	Detecta qualquer tipo de descontinuidade, desde que seja aberta à superfície.	Detecta apenas descontinuidades perpendiculares às linhas de força do campo magnético.	Não detecta descontinuidades paralelas à direção do feixe sônico.
Exige medidas de segurança rígidas na sua execução.	Não requer medidas especiais de segurança.	Não requer medidas especiais de segurança.	Não requer medidas especiais de segurança.



Neutrongrafia





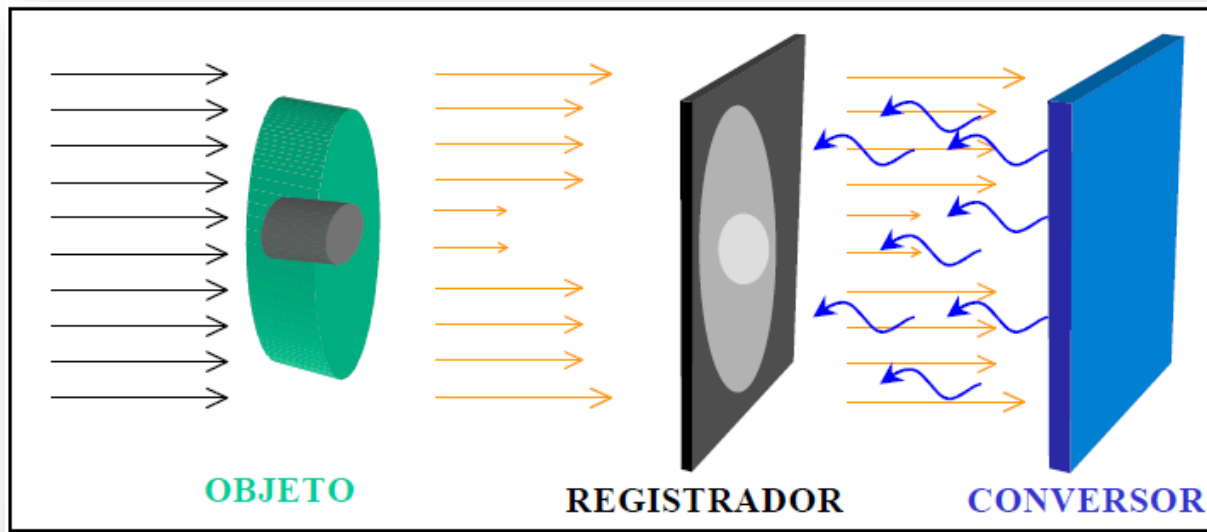
Neutrongrafia

- A neutrongrafia, semelhantemente a outras técnicas radiográficas, consiste em um feixe de radiação (nêutrons, neste caso) que atravessa um dado objeto e sensibiliza um sistema de registro de imagem.
- A forma como nêutrons interagem com a matéria, no entanto, difere totalmente de como fótons X ou gama interagem.
- Enquanto fótons interagem com os elétrons orbitais dos átomos, nêutrons o fazem com os núcleos.
- Como resultado, a radiografia com nêutrons permite revelar materiais mais leves que não atenuam raios X ou gama como, por exemplo, H, B, Be, Li, N, O, etc., além de penetrar materiais muito mais pesados.



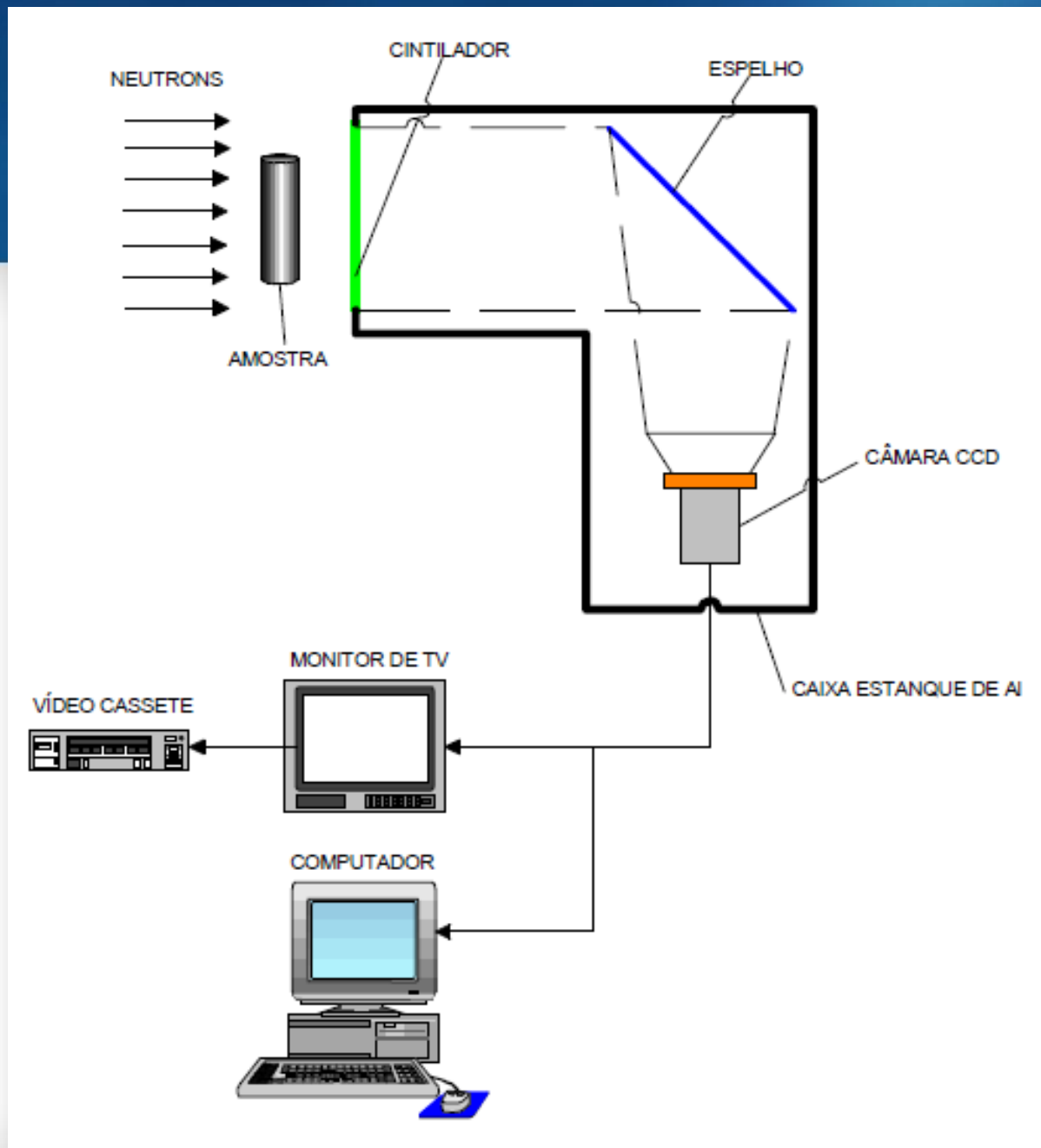
Neutrongrafia

- Um arranjo neutrongráfico experimental básico consiste de uma fonte de nêutrons, um colimador, o objeto a se inspecionar e um detector plano. O objeto é posicionado entre a saída do colimador e um detector, que registra imagem bidimensional (2D) do objeto. Essa imagem contém informações sobre a intensidade do feixe de nêutrons que foi atenuado ao atravessar o objeto, dependendo da composição e estrutura interna dele, conforme se observa no esquema apresentado a seguir.



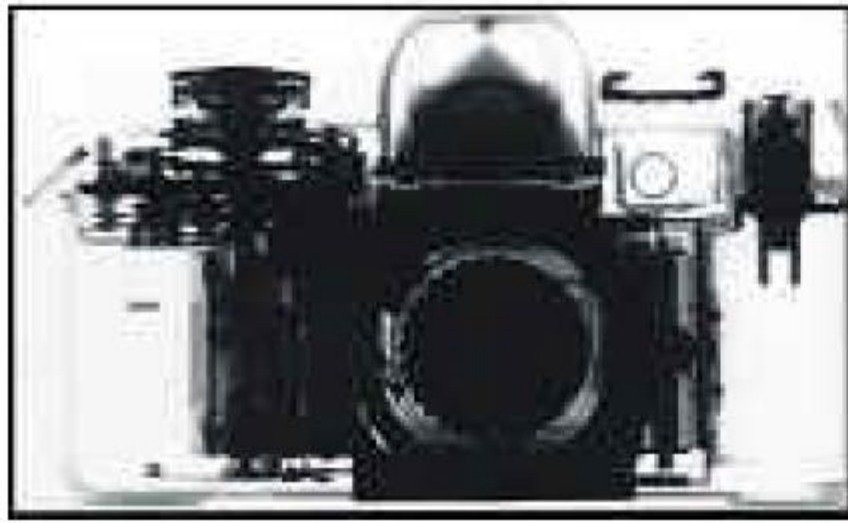


Neutronografia

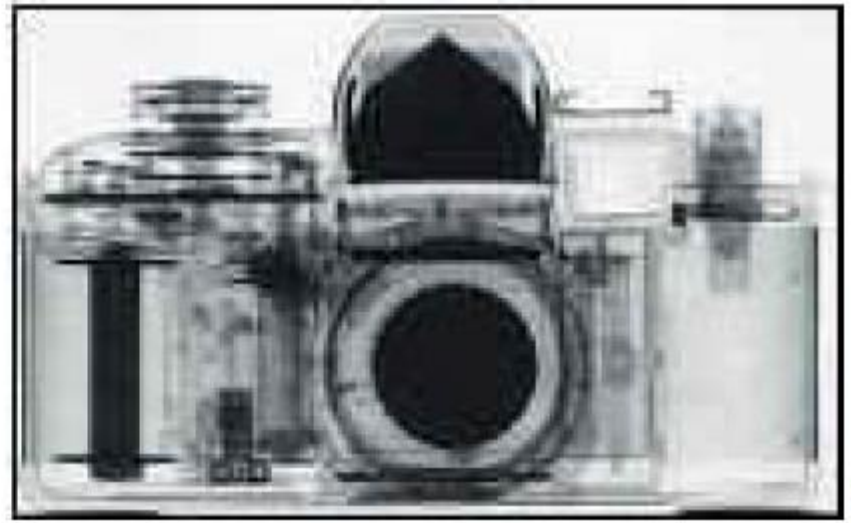




Neutrongrafia x Radiografia



(a)



(b)

Radiografia de uma câmera fotográfica com (a) raios X e com (b) nêutrons.



Certificação profissional



*Associação Brasileira de Ensaios
Não Destrutivos e Inspeção*



CNEC
Comissão Nacional
de Energia Nuclear



Certificação profissional

- ABENDI - Associação Brasileira de Ensaio Não destrutivos e Inspeção;
 - É uma entidade técnico-científica, sem fins lucrativos, de direito privado, fundada em março de 1979, com a finalidade de difundir as técnicas de END e Inspeção.
- CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
 - É o órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e licencia, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil.



Certificação profissional

- Segundo a ABENDI, na área de Ensaio Não Destrutivo (END)
 - Os profissionais são classificados em três níveis crescentes de qualificação e certificação, designados pelos algarismos arábicos 1, 2 e 3.
 - ❖ **Nível 1:** não deve ter a responsabilidade de escolher o método de END ou a técnica de ensaio a ser usada.
 - ❖ **Nível 2:** não deve ter a responsabilidade de escolher o método de END, mas define a técnica de ensaio a ser usada.
 - ❖ **Nível 3:** define o método de END e a técnica de ensaio a ser usada. Supervisiona as obrigações do nível 1 e 2.



Certificação profissional

- Segundo a CNEN, na área de radiografia industrial
 - A empresa deve apresentar a relação do pessoal técnico do Serviço, constituída do seguinte modo:
 - ❖ (dois) supervisores de radioproteção , ou mais de 2 (dois) nos casos julgados necessários pela CNEN;
 - ❖ para cada instalação, 2 (dois) operadores de radiografia, um deles, pelo menos, sendo operador qualificado segundo a norma NN-6.04, podendo o segundo ser, apenas, operador estagiário, maior de 18 anos; e
 - ❖ Com a resolução CNEN 144/2013 a função de RIA passa a ser exercida pelo operador II.



Certificação profissional

- Segundo a CNEN, na área de radiografia industrial
 - Qualificação do Supervisor de Radioproteção do Serviço deve atender aos seguintes requisitos:
 - ❖ Possuir diploma universitário de nível superior de graduação (Bacharel, **Tecnólogo** ou Licenciado ;
 - ❖ ter sido aprovado, com nota final igual ou superior a 7 (sete), em um curso específico para supervisores de radioproteção na área de radiografia industrial, carga horária e programa mínimo aprovados pela CNEN; e
 - ❖ estar de posse da certificação da qualificação de supervisor de radioproteção, específica para a área de radiografia industrial, concedida pela CNEN.



Áreas de atuação do Supervisor de radioproteção (res. 146/2013)

Classe I	
Sigla	Área de Atuação
I-UN	Usina nucleoeletrica
I-RP	Reator nuclear de pesquisa e unidades críticas e subcríticas
I-MM	Mineração e usina de beneficiamento físico e químico de urânio e tório
I-PH	Usina de produção de UF ₄ e UF ₆
I-EI	Usina de enriquecimento isotópico
I-FC	Usina de fabricação de elemento combustível
I-FQ	Instalação para processamento físico e químico de materiais irradiados
I-GP	Irradiador industrial
I-IR	Gamagrafia industrial e radiografia industrial com equipamentos geradores de raios X ($V > 600$ kV)
I-AC	Acelerador de partículas
I-FT	Radioterapia
I-RF	Radiofarmácia industrial
I-GR	Gerência de rejeitos radioativos em depósito intermediário ou final
I-MI	Mineração e beneficiamento físico, químico e metalúrgico de minérios com U ou Th associados



Áreas de atuação do Supervisor de radioproteção (res. 146/2013)

Classe II	
Sigla	Área de Atuação
II-PP	Perfilagem de poços de petróleo
II-RI	Radiografia industrial com equipamentos geradores de raios X ($V \leq 600$ kV)
II-CE	Serviço de calibração de equipamentos com fontes radioativas ou equipamentos geradores de radiação ionizante
II-MN	Medidor nuclear fixo ou móvel
II-FM	Medicina nuclear
II-IS	Irradiador autoblindado intrinsecamente seguro
II-TC	Traçador radioativo industrial
II-TR	Serviço de transporte de material radioativo



Funções para atuação do tecnólogo em radiologia

- Supervisor de radioproteção (SPR)

- Atribuições

- ❖ Assessorar e informar a direção da instalação sobre todos os assuntos relativos à proteção radiológica;
 - ❖ Zelar pelo cumprimento do plano de proteção radiológica aprovado pela CNEN;
 - ❖ Planejar, coordenar, implementar e supervisionar as atividades do serviço de proteção radiológica, de modo a garantir o cumprimento dos requisitos básicos de proteção radiológica;
 - ❖ Coordenar o treinamento, orientar e avaliar o desempenho dos IOE, sob o ponto de vista de proteção radiológica.



Funções para atuação do tecnólogo em radiologia

- Assistente de proteção radiológica (APR)

- Atribuições

- ❖ Aplicar ações corretivas em situações de emergências ou em acidentes sob orientação do Supervisor de Radioproteção;
 - ❖ Assessorar e informar ao Supervisor de Radioproteção sobre todos os assuntos relativos à proteção radiológica;
 - ❖ Efetuar auditorias internas nas frentes de trabalho;
 - ❖ Levar imediatamente, ao conhecimento do Supervisor de Radioproteção, qualquer deficiência observada nos dispositivos de segurança e de monitoração, bem como qualquer condição de perigo de que venha a tomar conhecimento;
 - ❖ Utilizar o medidor de radiação portátil em qualquer trabalho com radiação;
 - ❖ Zelar pelo cumprimento do plano de proteção radiológica aprovado pela CNEN.



Funções para atuação do tecnólogo em radiologia

- Preposto de instalação

- Atribuições

- ❖ Assessorar e informar ao Supervisor de Radioproteção sobre todos os assuntos relativos à proteção radiológica;
 - ❖ Levar imediatamente, ao conhecimento do Supervisor de Radioproteção, qualquer deficiência observada nos dispositivos de segurança e de monitoração, bem como qualquer condição de perigo de que venha a tomar conhecimento;
 - ❖ Manter atualizado os documentos de proteção radiológica da instalação;
 - ❖ Realizar o cálculo de balizamento de área;
 - ❖ Selecionar e distribuir as equipes de trabalho na instalação;
 - ❖ Substituir eventualmente o RIA na frente de trabalho;
 - ❖ Ter a custódia das chaves do local de armazenamento dos irradiadores quando estes permanecerem na Instalação Radiativa;
 - ❖ Verificar as condições de funcionamento dos equipamentos.

Notas de aula:

Ensaaios Não Destrutivos (END)

Prof. Luciano Santa Rita Oliveira

Site: www.lucianosantarita.pro.br

E-mail: tecnologo@lucianosantarita.pro.br

