

Curso Superior em Tecnologia em Radiologia

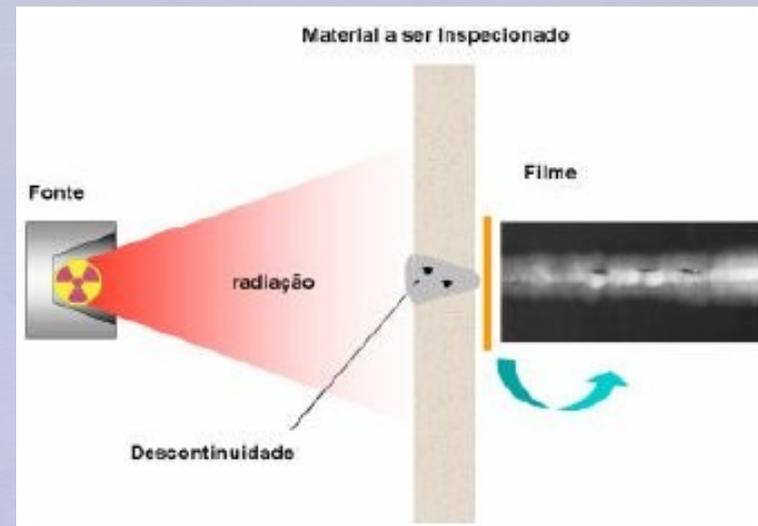
Professor: Luciano Santa Rita
<http://www.lucianosantarita.pro.br>
tecnologo@lucianosantarita.pro.br

Sumário

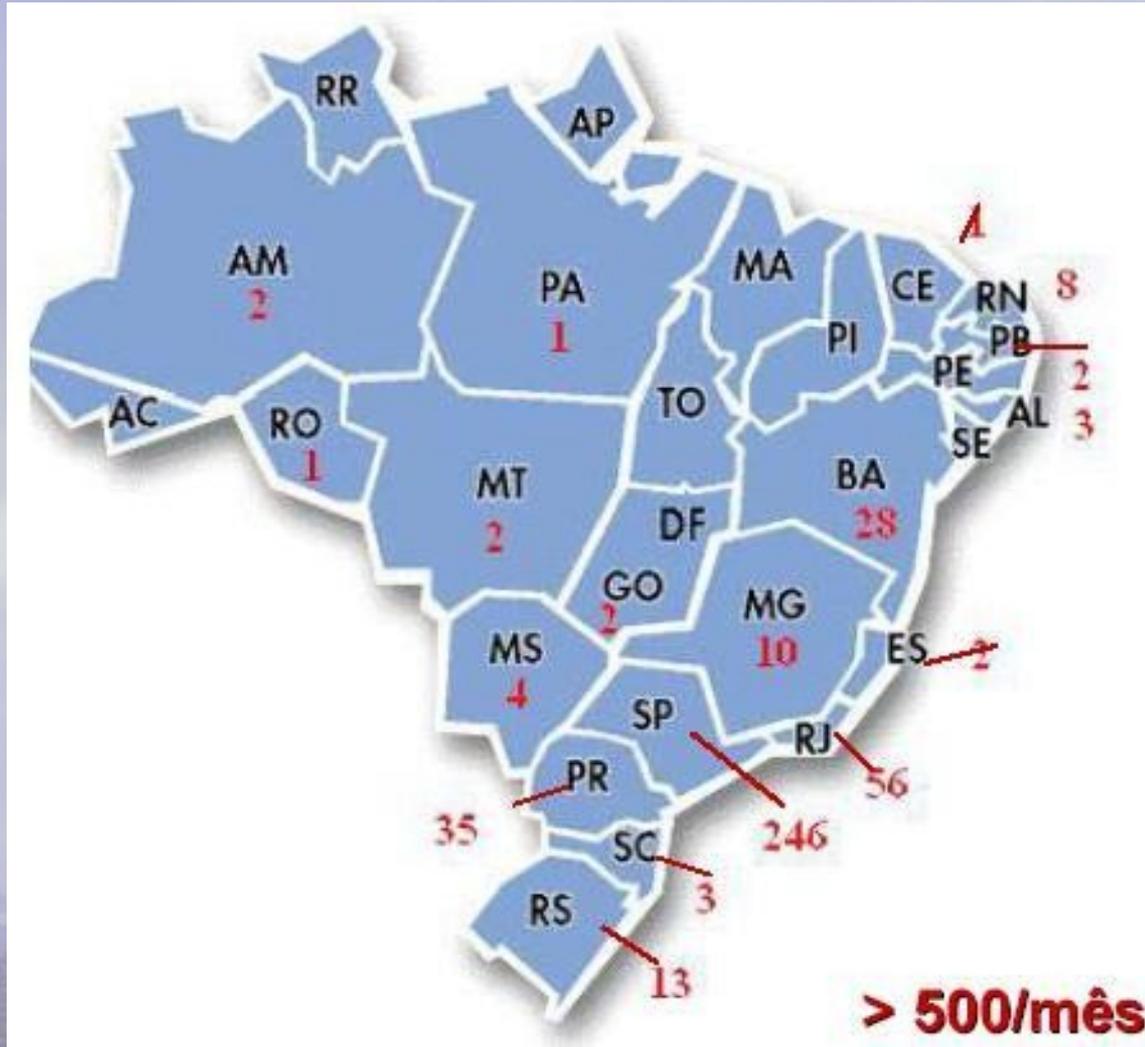
- Radiologia Industrial
 - Uso das radiações ionizantes em END
 - Irradiação de materiais
 - Reatores Nucleares
- Ultra-som na Indústria
 - Histórico
 - Física do ultra-som
 - Uso do ultra-som em END

A importância da Radiologia Industrial como Ferramenta da Qualidade e Segurança

- A Radiologia industrial é 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.
- A radiografia desempenha um papel importante na comprovação da qualidade da peça ou componente em conformidade com os requisitos das normas, especificações e códigos de fabricação.

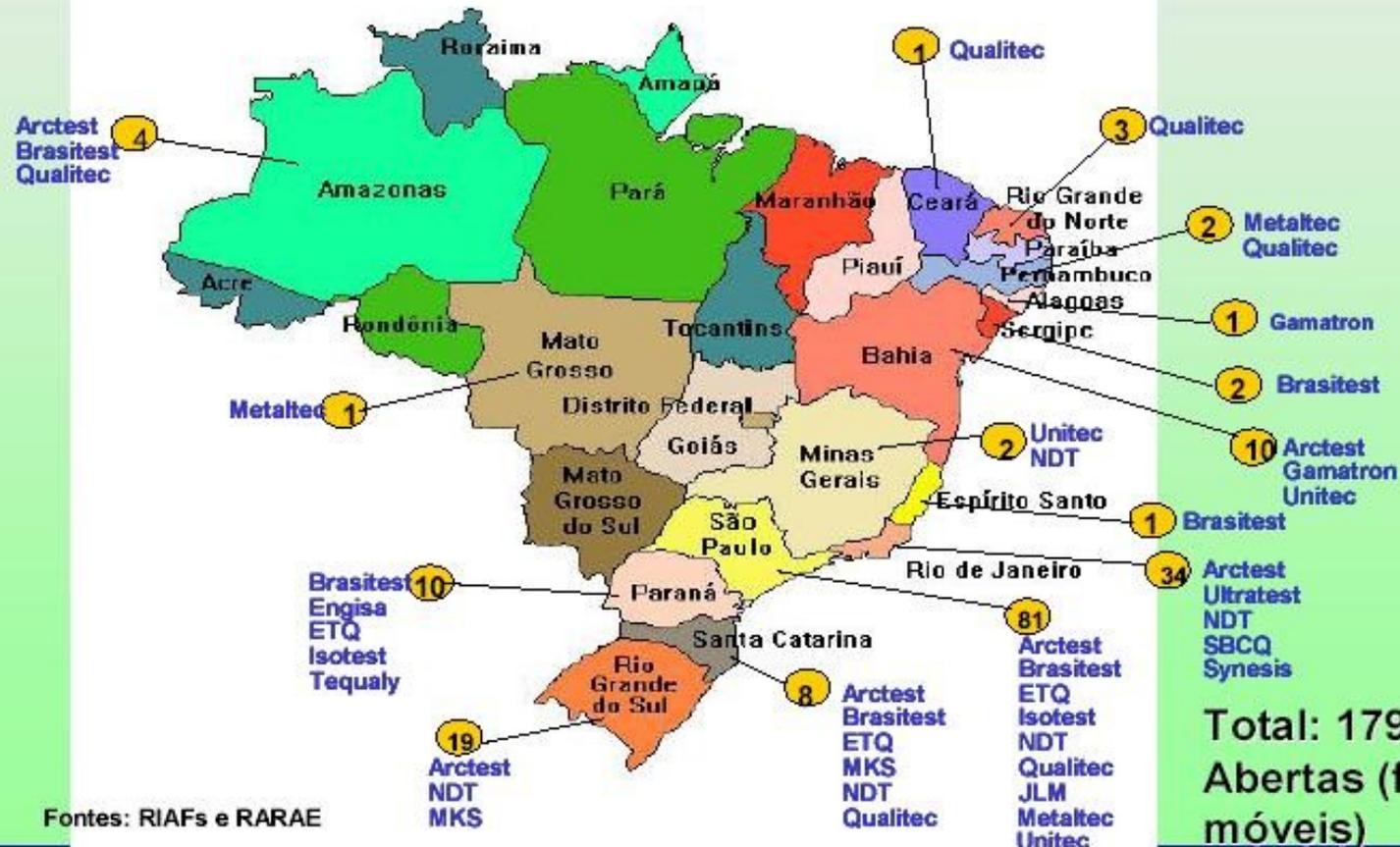


A importância da Radiologia Industrial como Ferramenta da Qualidade e Segurança



A importância da Radiologia Industrial como Ferramenta da Qualidade e Segurança

INSTALAÇÕES ABERTAS DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL NO PAÍS



Total: 179 Instalações Abertas (frentes móveis)

Fontes: RIAFs e RARAE

Imagem radiográfica: Uso Industrial

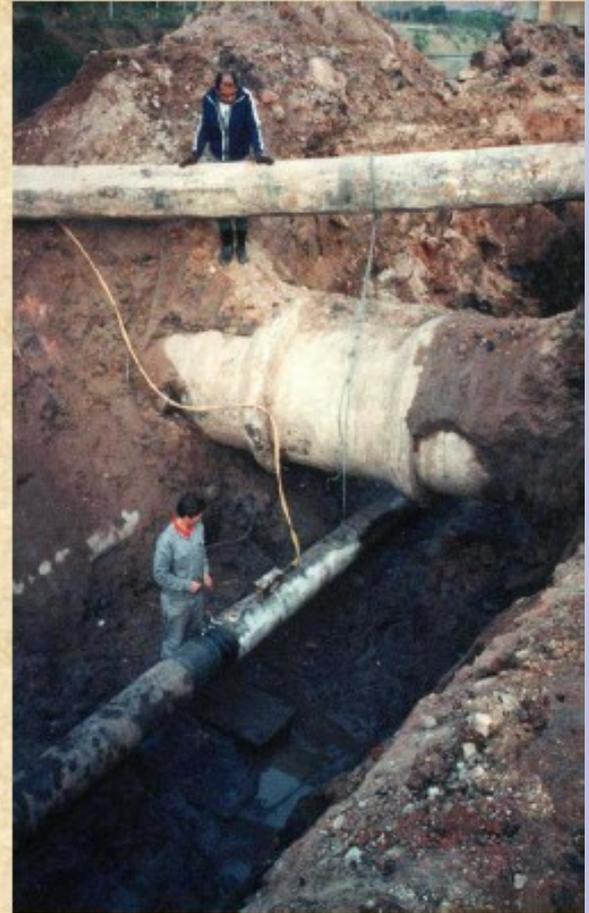


Imagem radiográfica: Uso Industrial

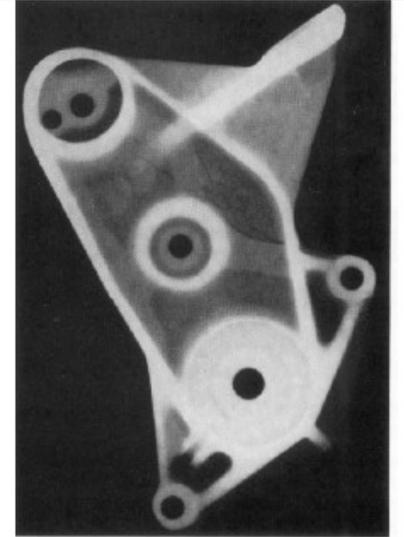
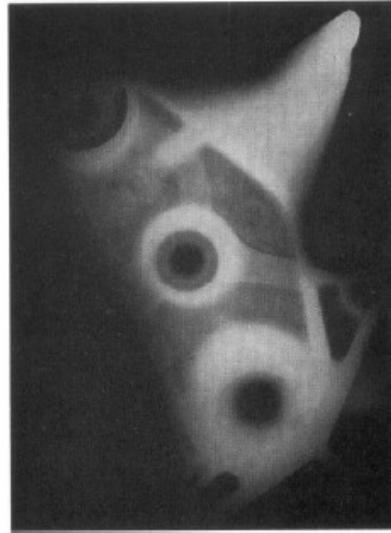


Ensaio Radiográfico da Turbina de um avião



Inspeção radiográfica de soldas em tubos

Imagem radiográfica: Uso Industrial



Radiografia sem telas intensificadoras

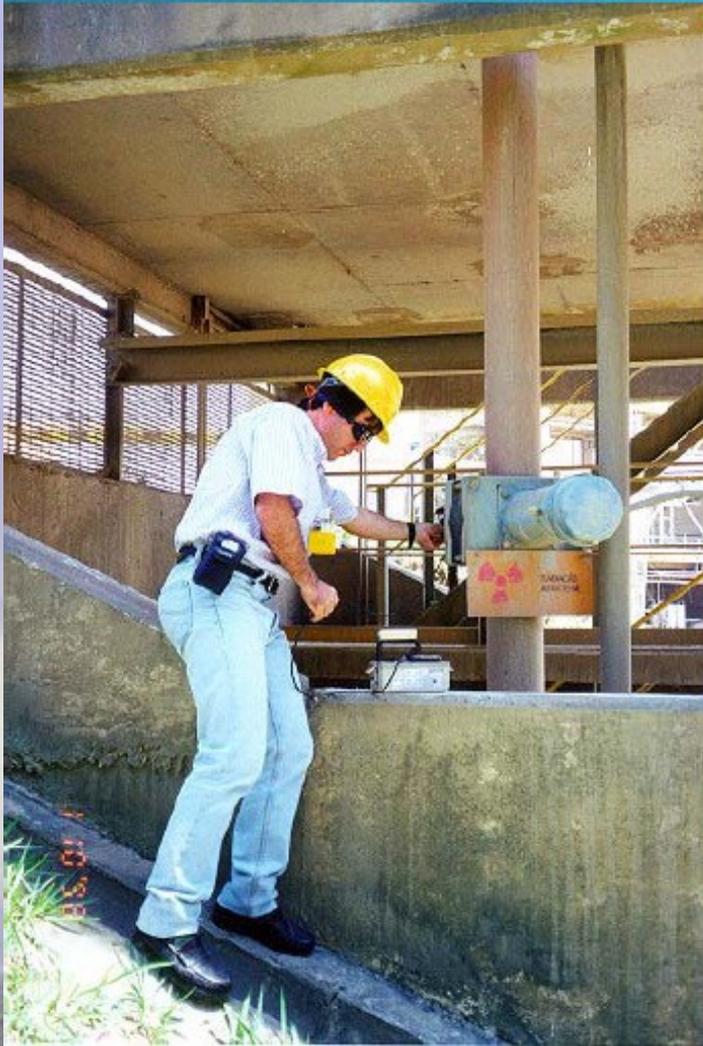
Radiografia com telas intensificadoras

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



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

Equipamentos para Medição de Nível e Controle de Espessuras e Densidades



Monitoração
dos medidores
nucleares



Outras aplicações

Radiografia Submarina

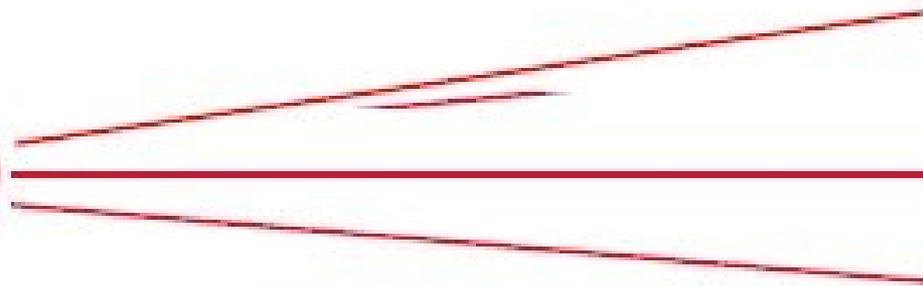


Controle das radiações ionizantes aplicado a industria

- Tempo, distância e blindagem;
- Sinalização;
- Armazenamento e transporte;
- Cálculo de taxa de dose;
- Classificação de áreas; e
- Métodos de detecção das radiações.

Tempo, distância e blindagem

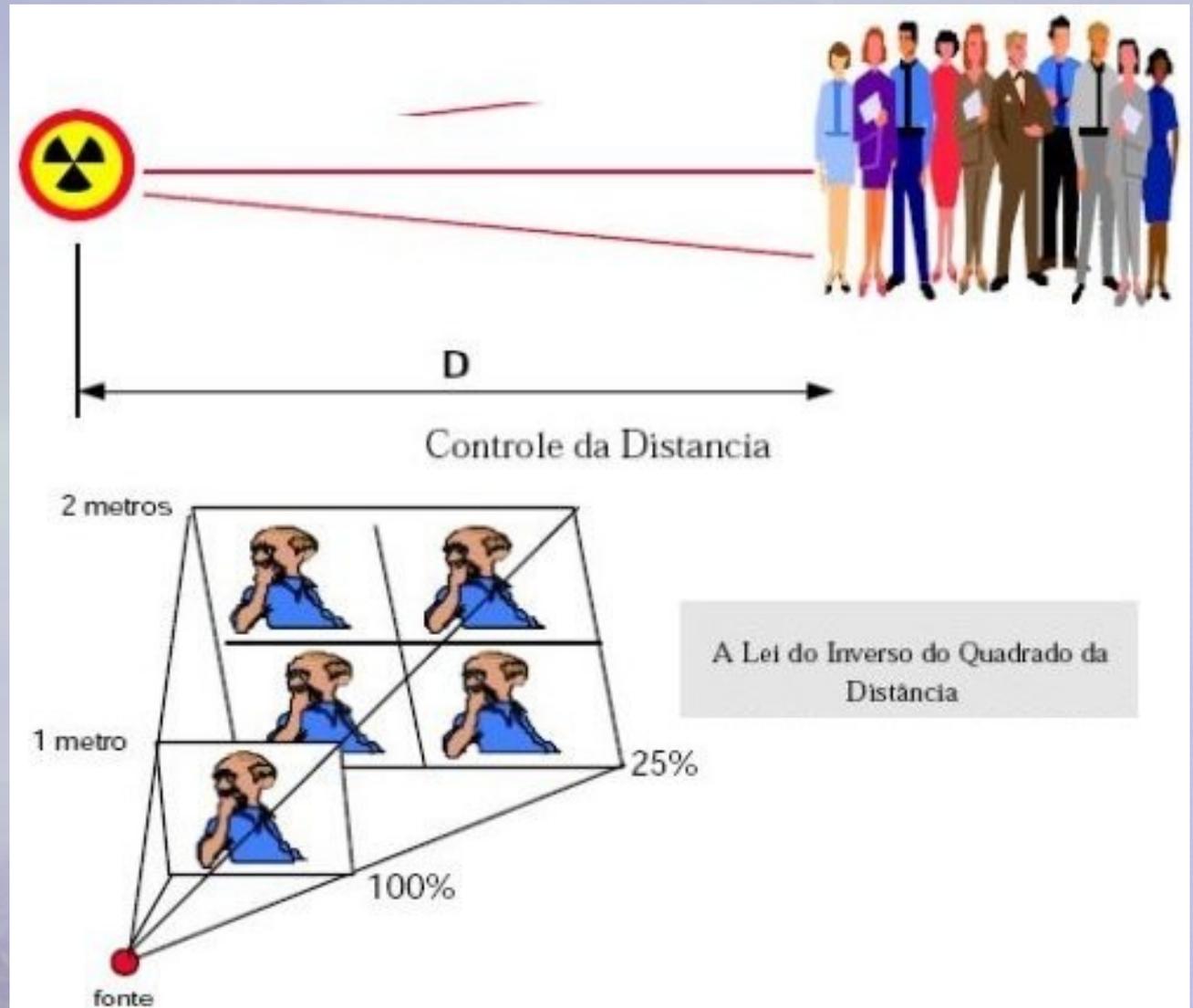
- Tempo



Controle do Tempo de Exposição

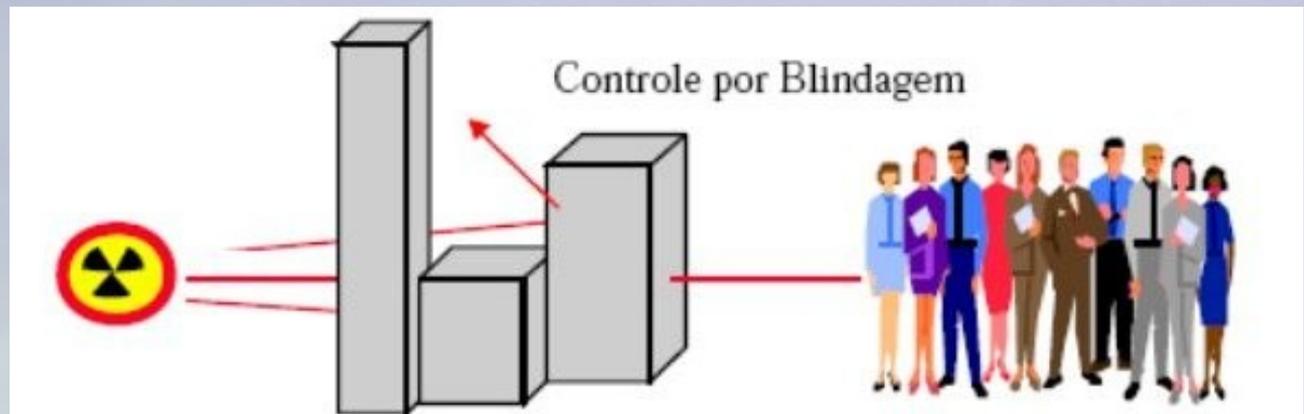
Tempo, distância e blindagem

- Distância



Tempo, distância e blindagem

- Blindagem



Espessura de Proteção para Raios-X

Tipo de Radiação	Feixe Primário + Secundário (Para aparelhos Raios-X direcional)					
Dose / semana	1 mSv (100 mRem)					
Tipo do Aparelho kV / mA	a 2 metros		a 4 metros		a 8 metros	
	chumbo mm	concreto mm	chumbo mm	concreto mm	chumbo mm	concreto mm
150 / 10	3,7	305	3,1	260	2,5	220
150 / 10 (PC)	4,6	350	3,8	300	3,1	250
200 / 10 a 14	6	400	5	350	4	300
300 / 10 (PC)	19	500	15,6	440	12,2	380
320 / 14	21,2	520	17,7	460	14,2	400

Sinalização



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

Armazenamento e transporte

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 1. O veículo que transporta o irradiador contendo a fonte radioativa está em boas condições de conservação e sinalizado com rótulos e painéis de segurança nas laterais e na traseira?



Armazenamento e transporte

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 2. O veículo que transporta o irradiador contendo a fonte radioativa dispõe dos seguintes equipamentos de emergência: cordas, blindagens, pinças de no mínimo 1 metro de comprimento, recipientes de chumbo, sinais luminosos e placas de sinalização?
 3. O veículo que transporta o irradiador contendo a fonte radioativa tem a seguinte documentação da carga: ficha e envelope de emergência, ficha de monitoração da carga e do veículo e da declaração do expedidor?

Este envelope contém informações importantes.

Leia-o cuidadosamente antes de iniciar sua viagem.

No caso de emergência, acione o serviço de emergência.
Avise a polícia e os bombeiros. Telefone o cobrador para seu ponto de contato na polícia telefônica para o 224 - 542-2487

Documentos que acompanham o transporte

- Declaração de emergência de materiais radioativos
- Ficha de emergência
- Diário

Telefones de emergência

DEPTO. AERONÁUTICA (224) 211-1100
CORPO DE BOMBEIROS (224) 542-2487
POLÍCIA FEDERAL (224) 542-2487
DEPARTAMENTO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA (224) 542-2487
PR-SAC (224) 542-2487
DEPTO. DE TRANSPORTES (224) 542-2487
FEDERAL (224) 542-2487
DEPTO. DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA (224) 542-2487

Transportador:

Outras providências necessárias

- Fazer a área afetada circular
- Colocar o local de acidente
- Eliminar ou manter longe todos os tipos de ignição, luzes, dispositivos, materiais inflamáveis, etc.
- Pessoas desobedeçam ao número máximo de pessoas de emergência de um acidente radiológico e não se aproxime
- Cargas imediatamente ao transportador ou embarcador de qualidade, no tempo de emergência e emergência

Armazenamento e transporte

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 4. O irradiador contendo a fonte radioativa é acondicionado em caixa metálica fixada no veículo, mantida trancada e contendo o símbolo internacional de radiação e sinalizada com os dizeres "**Material radioativo deve ser manipulado somente por pessoas que receberam treinamento adequado**"; Nome da firma; telefone para contato?



Armazenamento e transporte

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos
 5. Os dados das placas de identificação da fonte e do irradiador estão legíveis e há correspondência entre as informações contidas nestas placas com os dados correspondentes contidos no relatório de vistoria?



Armazenamento e transporte

- Recomendações para verificação do transporte de materiais radioativos

6. O irradiador tem relatório de vistoria dentro do **prazo de validade** (12 meses)?

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
SÃO PAULO

RELATÓRIO DE VISTORIA CNEN/SP: 071/00

Os equipamentos de radiografia industrial (irradiador e acessórios), discriminado no presente documento, foram vistoriados conforme abaixo descrito:

1 - ENGATES (X) ADEQUADO () INADEQUADO
2 - TELECOMANDO (X) ADEQUADO () INADEQUADO
3 - CONDUITE DO CABO GUIA (X) ADEQUADO () INADEQUADO
4 - IRRADIADOR

ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO (X) BOM () MAU
SISTEMA DE TRAVAGEM (X) ADEQUADO () INADEQUADO
BLINDAGEM (X) ADEQUADO () INADEQUADO
SINALIZAÇÃO (X) ADEQUADO () INADEQUADO

IDENTIFICAÇÃO DO IRRADIADOR:

EMPRESA :
CONTEÚDO MÁXIMO :
FABRICANTE :
MODELO : III-PP N. SÉRIE: 321
N. DO CERTIFICADO DE APROVAÇÃO DO PROJETO :
ACESSÓRIOS APRESENTADOS: CABO DE COMANDO E TUBO GUIA
NÚMERO DO ACESSÓRIO : VP-03
FONTE N. : IRS 3402

IRRADIADOR EM CONDIÇÕES DE RECEBER FONTE: (X) SIM () NÃO

OBS.: 1 - ESTES EQUIPAMENTOS DEVERÃO SER VISTORIADOS OBRIGATORIAMENTE NO PRAZO MÁXIMO DE 12 (DOZE) MESES A PARTIR DA PRESENTE DATA OU EM CADA RETIRADA DE FONTE.

OBS.: 2 -

SUPERVISOR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA RES. P/ PRODUÇÃO DE FONTES SELADAS DATA: 05/06/2000

ATENÇÃO: CABE AO SUPERVISOR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA ESTABELEÇER OS PROCEDIMENTOS NECESSÁRIOS E IMPLEMENTAR A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS RADIOGRÁFICOS, DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA E DE MONITORAÇÃO.

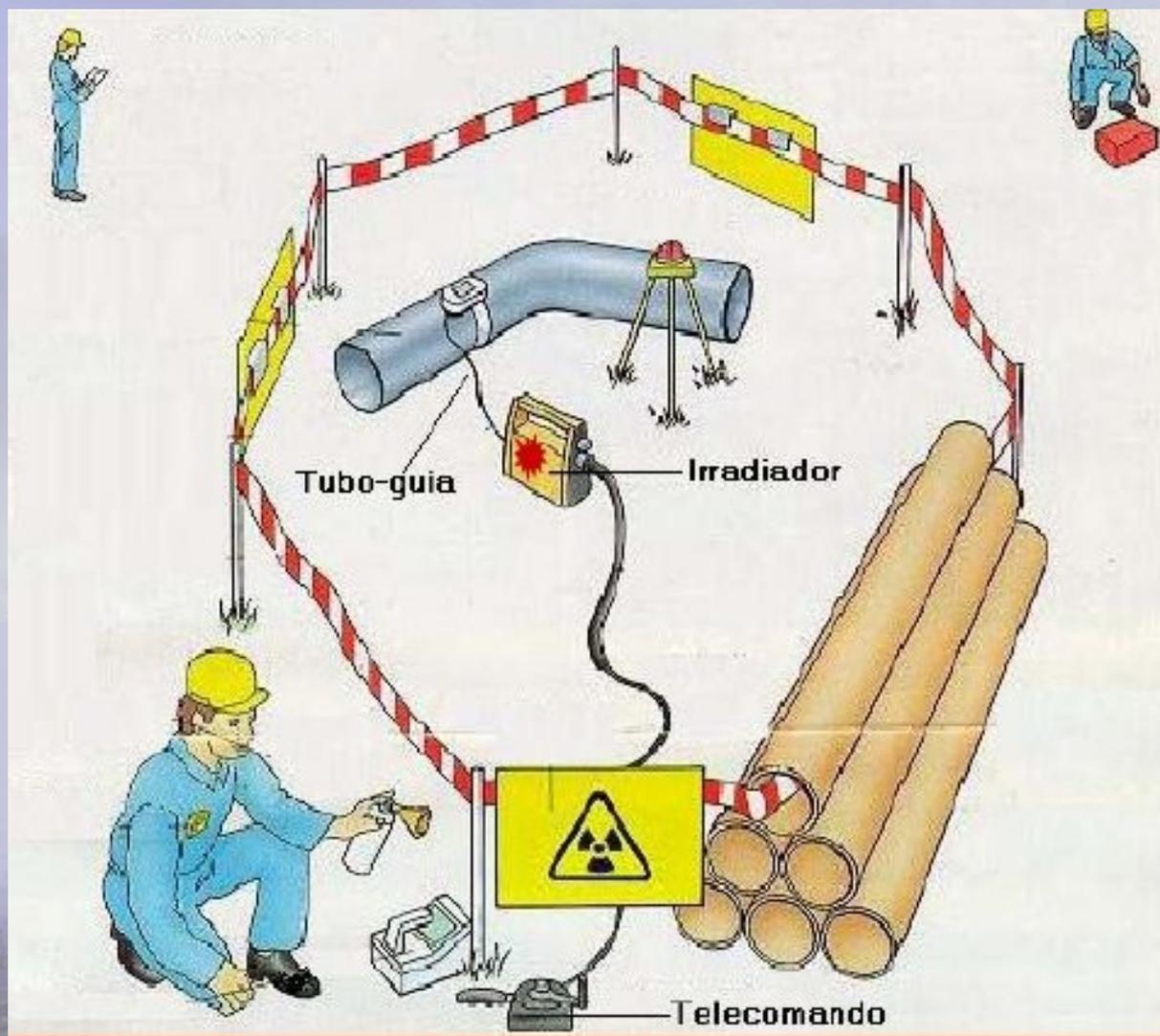
Armazenamento e transporte

1. 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 1m) = IT x 10 \rightarrow 10 x 10 = 100uSv/h

$$(I_0) / (I) = d^2 / d_0^2 \rightarrow (100) / (25) = d^2 / (1)^2 \rightarrow d^2 = 4 \rightarrow \underline{d = 2m.}$$

Cálculo da taxa de dose



Cálculo da taxa de dose

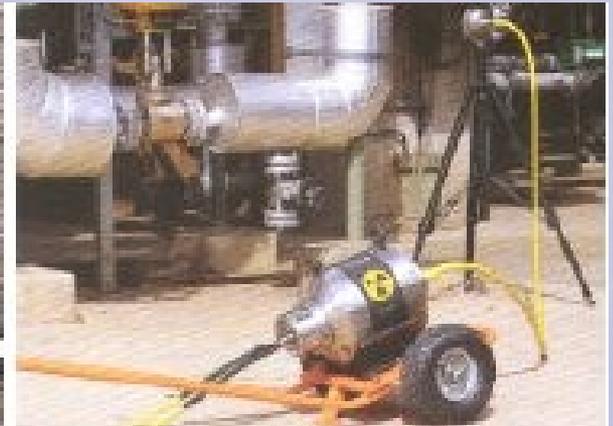
- Relação entre Taxa de Dose e Atividade da fonte

$$\dot{D} = \Gamma \cdot \frac{A}{d^2}$$

- \dot{D} = taxa de dose em mSv/h;
- A = atividade da fonte em GBq;
- d = distância entre fonte e ponto de medição, em metros;
- Γ = constante para taxa de dose em (mSv . m²) / (h . GBq)

Cálculo da taxa de dose

- *Constante de taxa de exposição e dose (Γ) de fontes usadas em gamagrafia*



Se-75 :

$0,053 \text{ mSv.m}^2/\text{h.GBq}$

Ir-192 :

$0,13 \text{ mSv.m}^2/\text{h.GBq}$

Co-60 :

$0,351 \text{ mSv.m}^2/\text{h.GBq}$

Cálculo da taxa de dose

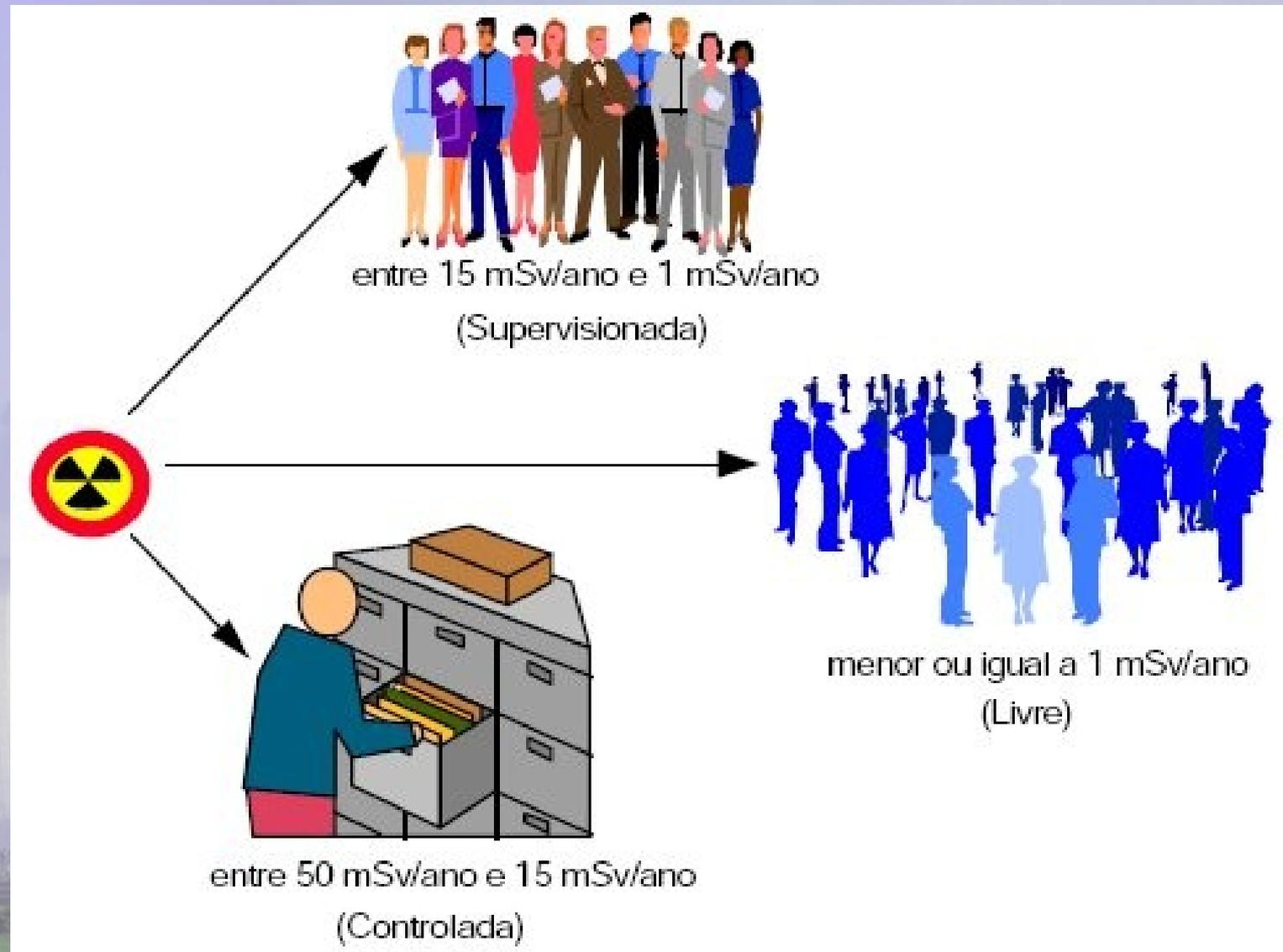
- O Uma fonte de Ir-192 com atividade de 24Ci será utilizada na realização de END para a aferição de juntas soldadas. A que distância a taxa de dose será reduzida para 1mSv / h ?(Sabendo que para o Ir – 192: $\Gamma = 0,13 \text{ mSv.m}^2/\text{h.GBq}$)

Resposta: $D = \Gamma \times A / d^2 \rightarrow 1 = 0,13 \times (24 \times 37) / d^2 \rightarrow d^2 = 115,44 \rightarrow d = 11,74\text{m}$

Cálculo da taxa de dose

1. Qual será a taxa de dose efetiva a 5 m de distância de uma fonte de Ir-192 com atividade de 400 GBq que está sendo utilizada na realização de END em um duto?
2. Uma fonte de Ir-192 com atividade de 1250 GBq será utilizada na realização de END para a aferição de juntas soldadas. A que distância a taxa de dose será reduzida para 4 mSv / h ?
3. Qual a dose efetiva em **mSv**, recebida por um grupo de trabalhadores expostos durante 2 horas às radiações devido a uma fonte de Ir - 192 com 222 GBq de atividade , numa distância de 4 metros ?

Classificação de áreas



Classificação de áreas

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)
 - *Área controlada*:
 - Os titulares devem:
 - a) sinalizar** a área com o **símbolo internacional de radiação ionizante**, bem como ter instruções pertinentes nos pontos de acesso e em outros locais apropriados no interior dessas áreas;
 - b) implementar** as medidas de proteção ocupacional estabelecidas no **Plano de Proteção Radiológica** e procedimentos apropriados a essas áreas;
 - c) restringir** o acesso por meio de procedimentos administrativos e por meio de barreiras físicas. O grau de restrição deve ser adequado as exposições esperadas;

Classificação de áreas

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)

- *Área controlada:*

- Os titulares devem:

- d)manter* disponível nas entradas dessas áreas, conforme apropriado, equipamento e vestimenta de proteção e instrumento de monitoração; e

- e)manter* disponível nas saídas dessas áreas, quando apropriado:

- i. instrumentação para monitoração de contaminação de pele e de vestimenta;*

- ii.instrumentação para monitoração da contaminação de qualquer objeto ou substância sendo retirada da área;*

- iii.meios para descontaminação, como chuveiro ou pia; e*

- iv.local adequado para coleta de equipamentos e vestimentas de proteção contaminados.*

Classificação de áreas

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)
 - *Área supervisionada:*
 - Deve ser classificada como área supervisionada **qualquer área sob vigilância** não classificada como controlada, mas onde as **condições** de exposição ocupacional necessitam ser **mantidas** sob **supervisão**.
 - Os titulares devem:
 - a) delimitar** as áreas por meios apropriados;
 - b) colocar** sinalização nos pontos de acesso; e
 - c) rever** periodicamente as condições para determinar qualquer necessidade de adoção de novas medidas de proteção e segurança .

Classificação de áreas

- Classificação de áreas (PR-3.01/004)
 - *Fora das áreas* designadas como **controladas** ou **supervisionadas**, a taxa de dose e o risco de contaminação por materiais radioativos devem ser baixos o suficiente para assegurar que, em condições normais, o nível de proteção para aqueles que trabalham no local seja comparável com o nível de proteção requerido para **exposições do público**.
 - Tais áreas são denominadas **áreas livres**, do ponto de vista de proteção radiológica ocupacional.

Classificação de áreas

- Restrição de dose (PR-3.01/004)
 - *Nível de registro:*
 - monitoração individual mensal de IOE deve ser igual ou inferior a **0,20 mSv** para dose **efetiva**.
 - *Nível de investigação*
 - monitoração individual de IOE deve ser, para dose **efetiva**, 6 mSv por ano ou **1 mSv** em qualquer mês.
 - dose equivalente para mãos e pés é de 150 mSv por ano ou 20 mSv em qualquer mês.
 - dose equivalente para cristalino é 50 mSv por ano ou 6 mSv em qualquer mês.

Classificação de áreas

1. Um IOE atuando com atividades de gamagrafia , teve registrado no relatório de dose nos meses de julho, agosto e setembro os seguintes valores de dose efetiva: 0,4mSv, 3mSv e 4mSv. Nos meses anteriores do corrente ano os relatórios não registraram dose. Pergunta-se:

- Algum nível de restrição de dose foi atingido? **Resposta: Sim. No mês de julho: nível de registro (acima de 0,2mSv/mês); nos meses de agosto e setembro: nível de registro e investigação (acima de 1mSv/mês).**
- Caso a dose efetiva seja mantida na média dos meses de agosto e setembro o limite anual será alcançado? **Resposta: Dose_{média} = (3+4)/2 = 3,5mSv → Não.**
- Qual a taxa de dose efetiva por hora do IOE no mês de setembro? **Resposta: Setembro = 3mSv/mês ou 0,75mSv/semana (Dose_{semana} = 3 / 4 → 0,75); Dose_{hora} = 0,75 / 40 → Dose_{hora} = 0,01875mSv/h ou 18,75uSv/h**
- Caso a dose efetiva do mês de outubro tenha novo aumento existirá a necessidade de intervenção nos procedimentos do IOE? **Resposta: Sim. Pois para haver intervenção é necessário uma dose superior a 4mSv por mês.**

Classificação de áreas

2. No ano de 2007 os relatórios de dose do supervisor de radioproteção, tecnólogo em radiologia, de uma empresa que realiza END por gamagrafia, registraram uma dose efetiva anual de 30mSv. Pergunta-se:

a) Qual a taxa média de dose mensal do supervisor?

Resposta: $Dose_{semana} = 30 / 50 \rightarrow Dose_{semana} = 0,6mSv$; $Dose_{mês} = 0,6 \times 4 \rightarrow Dose_{mês} = 2,4mSv$

b) Baseado no valor de dose obtida na letra (a), algum nível de restrição de dose foi alcançado? Qual? **Resposta: Sim. nível de registro e investigação (acima de 1mSv/mês).**

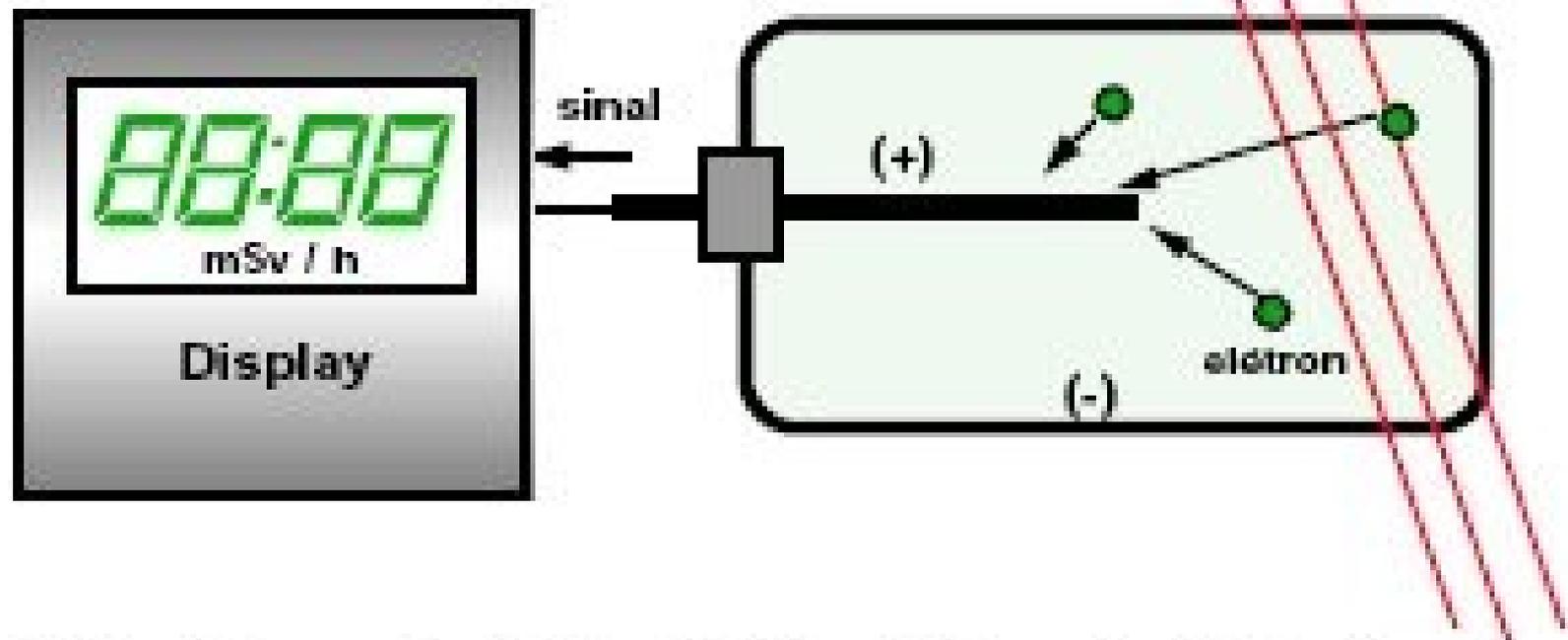
c) Qual a taxa média de dose por hora do supervisor?

Resposta: $Dose_{hora} = 0,6 / 40 \rightarrow Dose_{hora} = 0,015mSv/h$ ou $15uSv/h$;

d) O limite de dose anual foi ultrapassado? **Resposta: Não. O limite de dose anual é de 50mSv, somente a média ponderada anual foi ultrapassada.**

Métodos de detecção das radiações

Raios X ou Gama



Detetor Gasoso tipo Geiger Muller e Câmara de Ionização

Métodos de detecção das radiações

- Detector de radiação ionizante
 - É um **dispositivo** que, colocado em um meio onde exista um campo de radiação, é **capaz** de **indicar** a sua **presença**.
 - Existem **diversos processos** pelos quais diferentes radiações podem interagir com o meio material utilizado para medir ou indicar características dessas radiações.
 - Entre esse **processos** os mais utilizados são os que envolvem a **geração** de **cargas elétricas**, a geração de **luz**, a **sensibilidade** de **películas** fotográficas, a **criação** de **traços** (buracos) no material, a geração de **calor** e alterações da dinâmica de certos **processos químicos**.
 - Normalmente a detecção da radiação é **obtida** através do elemento ou **material sensível** à radiação (o detector) e um **sistema** que **transforma** esses **efeitos** em um valor relacionado a uma **grandeza** de **medição** dessa radiação.

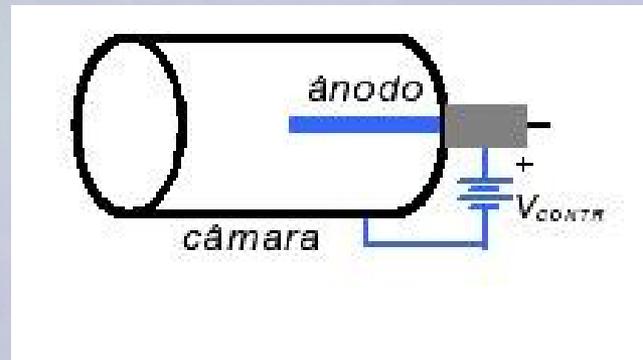
Métodos de detecção das radiações

- Monitores de radiação
 - É um detector **construído** e **adaptado** para radiações e finalidades **específicas associado** a uma **eletrônica** originando instrumentos de medição imediata da radiação, apresentando as seguintes propriedades regidas pela norma ISO 4037-1:
 - *Limite de detecção adequado;*
 - *Precisão;*
 - *Reprodutibilidade*
 - *Repetitividade;*
 - *Baixa dependência energética;*
 - *Baixa dependência direcional;*
 - *Baixa dependência de fatores ambientais.*



Métodos de detecção das radiações

- Detecção utilizando detectores à gás
 - Câmara metálica (cheia de gás), que faz papel do cátodo, e um fio positivamente polarizado, que serve de ânodo.



- A radiação ionizante gera pares de íons que são coletados no filamento central e uma corrente elétrica ou pulso é gerado e medido por um circuito externo.

Métodos de detecção das radiações

- Detector à gás – tipo Geiger-Müller (GM)
 - Os detectores Geiger-Müller (GM) foram introduzidos em **1928** e em função de sua simplicidade, baixo custo, e facilidade de operação e manutenção, são utilizados até hoje;
 - Apesar de versáteis na detecção de diferentes tipos de radiação, **não** permitem a **discriminação** de sua energia e conseqüentemente não identificam material radioativo;
 - São **utilizados** para detecção de radiação **gama** e **raios X** e também de **partículas carregadas** (α e β) com tanto que o detector possua **janelas** com **material fino**, permitindo a passagem destas radiações;
 - Os detectores **GM** podem ser utilizados para **estimar** grandezas como dose e exposição, **utilizando artifícios** de instrumentação e metrologia.

Métodos de detecção das radiações

- Detectores Geiger Müller

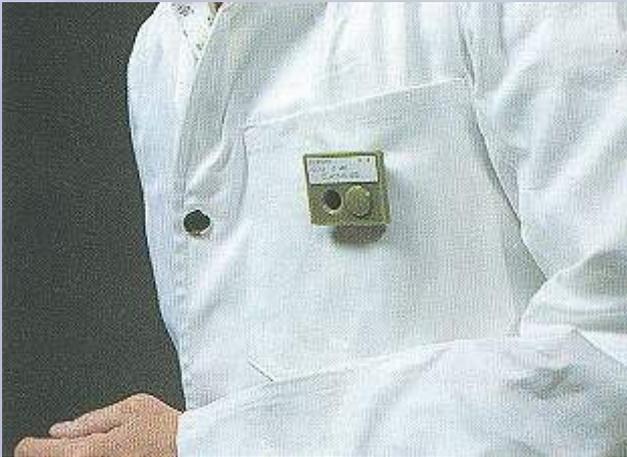


Métodos de detecção das radiações

- Detecção utilizando dosímetros
 - Dosímetros são monitores de radiação que reproduzem dose efetiva ou equivalente;
 - Baseiam-se em materiais que a radiação induz alterações físicas ou químicas (filme dosimétrico, TLD), que posteriormente serão medidas através de um determinado processo;
 - Podem ser **classificados** como de **leitura indireta**, acumulam os efeitos da interação da radiação para posterior leitura (ex.: TLD, filmes dosimétricos) ou de **leitura direta** que possibilitam a visualização imediata das interações ocorridas (ex.: caneta dosimétrica e dosímetros eletrônicos).

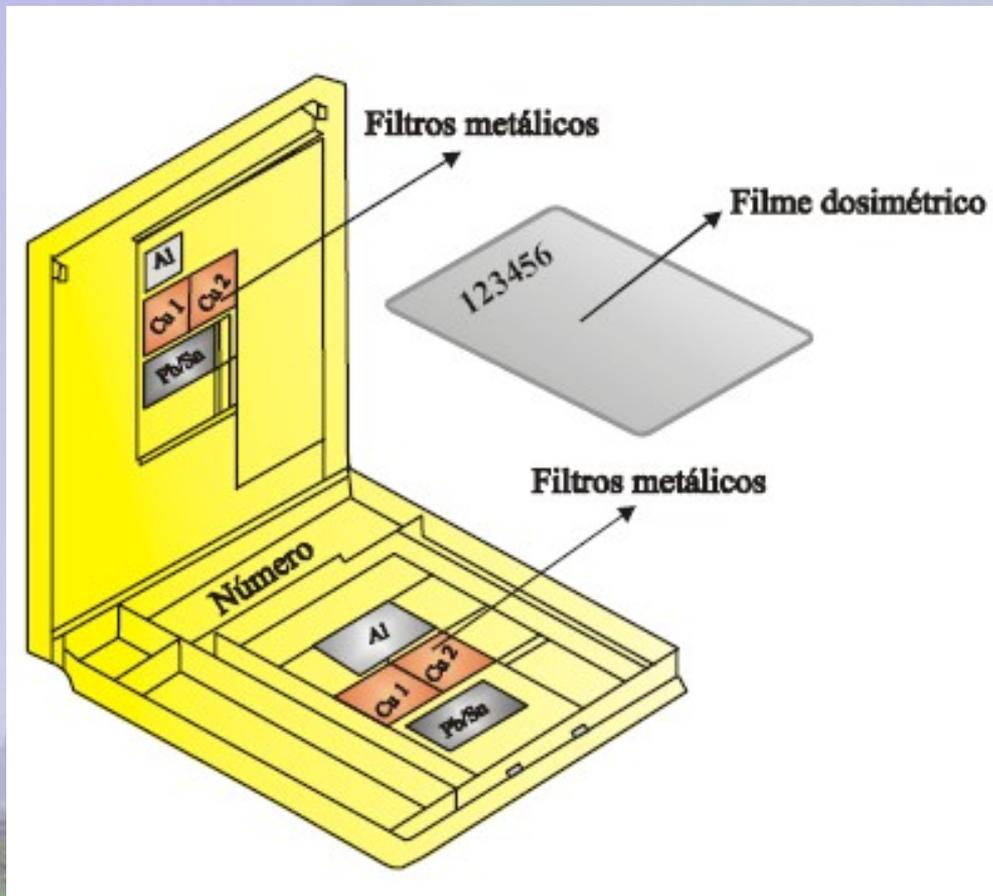
Métodos de detecção das radiações

- Dosímetros de leitura indireta – TLD



Métodos de detecção das radiações

- Dosímetros de leitura indireta – Filme dosimétrico



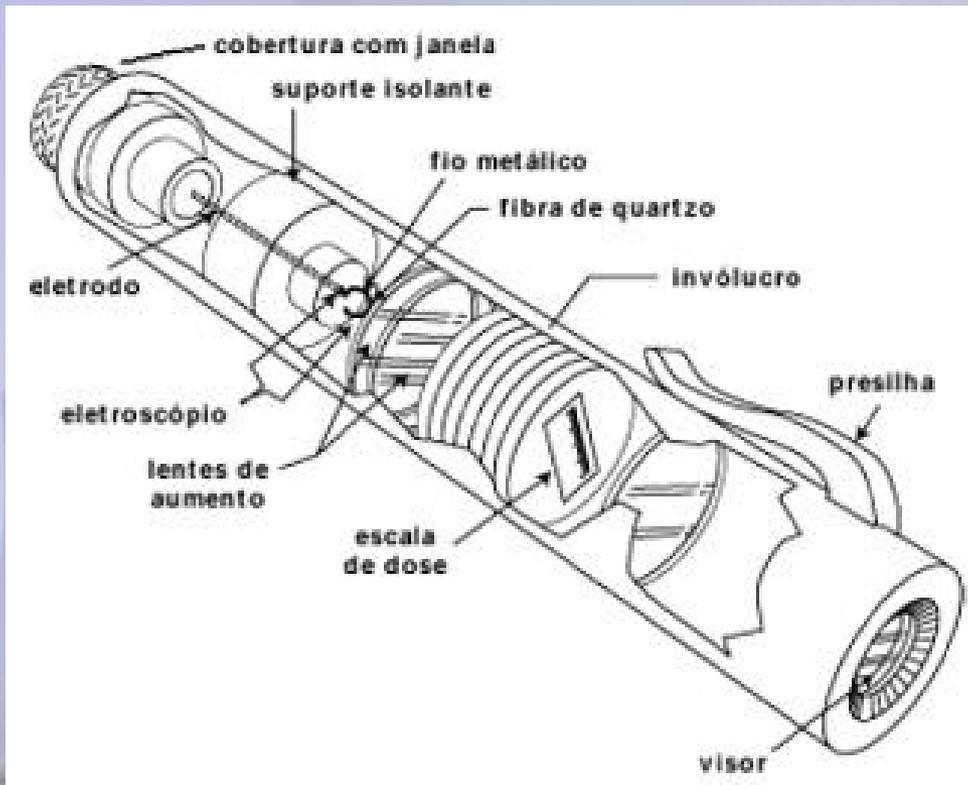
Métodos de detecção das radiações

- Dosímetros de leitura direta – Eletrônico



Métodos de detecção das radiações

- Dosímetros de leitura direta – Caneta dosimétrica



END - Gamagrafia

- Equipamentos emissores de raios gama;
- Fontes e utilização;
- Técnica de exposição Radiográfica;
- Curvas de exposição para Gamagrafia; e
- Emergência com irradiadores de gamagrafia.

Equipamentos emissores de raios gama - Irradiadores

- Os irradiadores compõe-se, basicamente, de três componentes fundamentais:
 - Uma blindagem,
 - uma fonte radioativa e
 - um dispositivo para expor a fonte.



Se-75 :

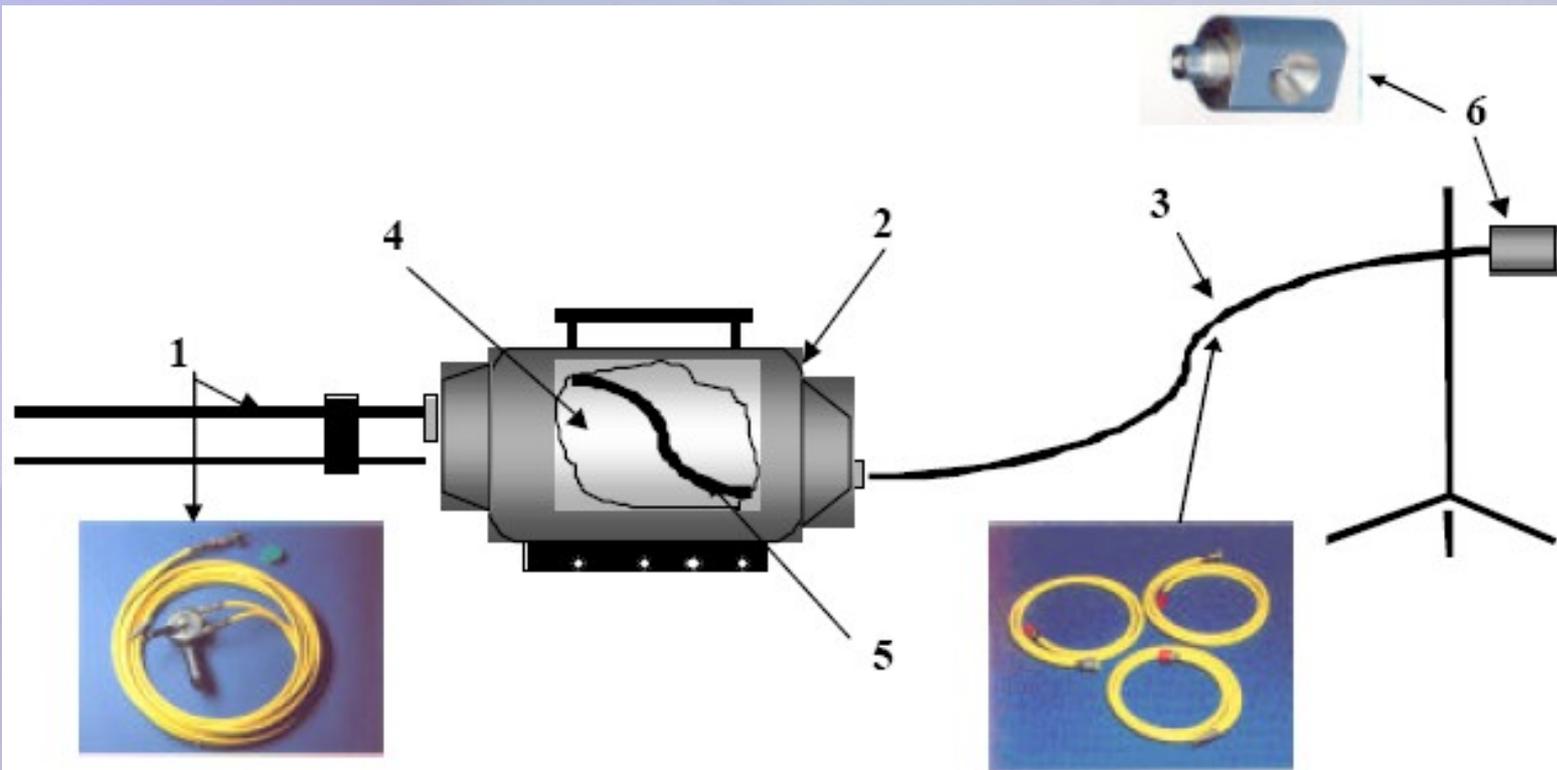


Ir-192 :



Co-60 :

Equipamentos emissores de raios gama - Irradiadores

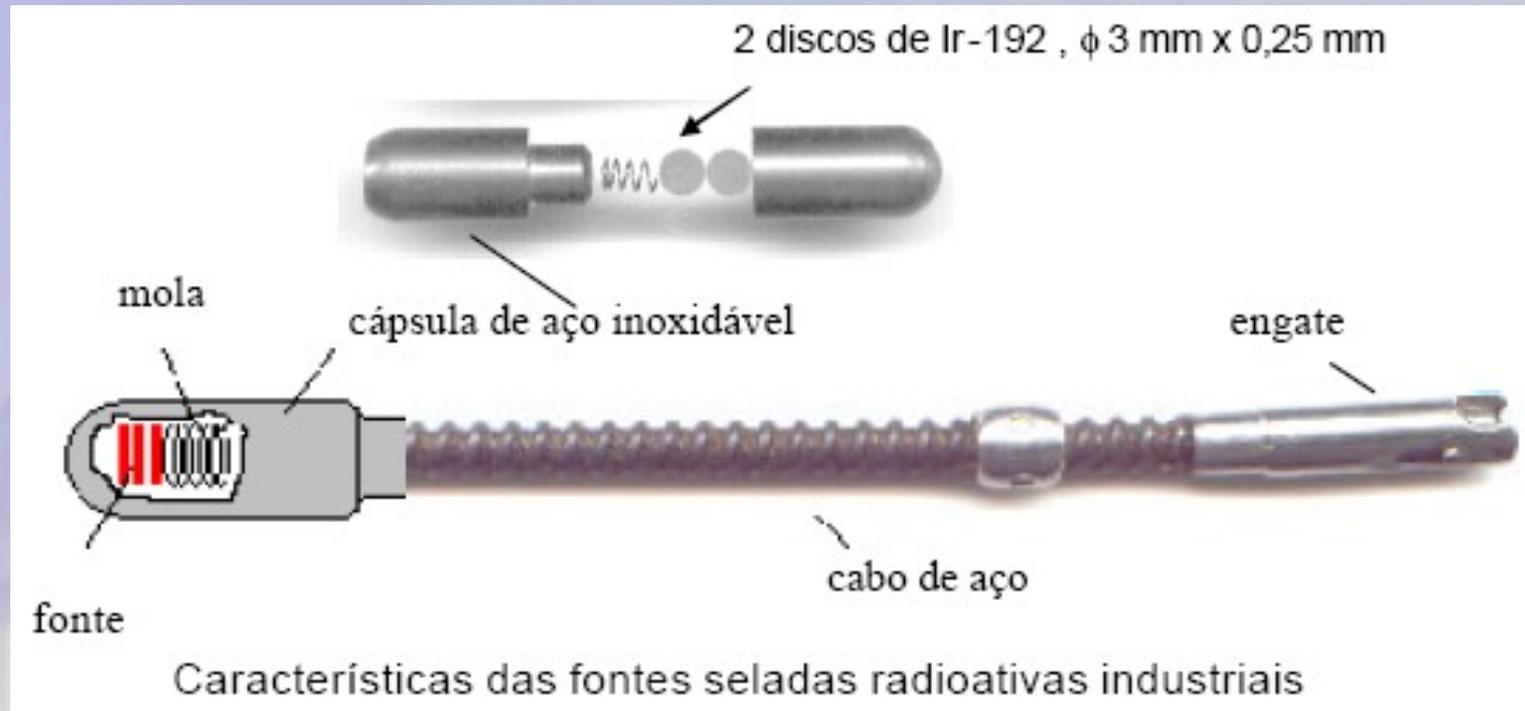


1 = Cabo de Comando ou tele-comando
2 = Irradiador
3 = Tubo Guia (flexível)

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

Esquema do Equipamento para Gamagrafia Industrial

Irradiadores - Fontes e utilização



Se-75 :

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

Ir-192 :

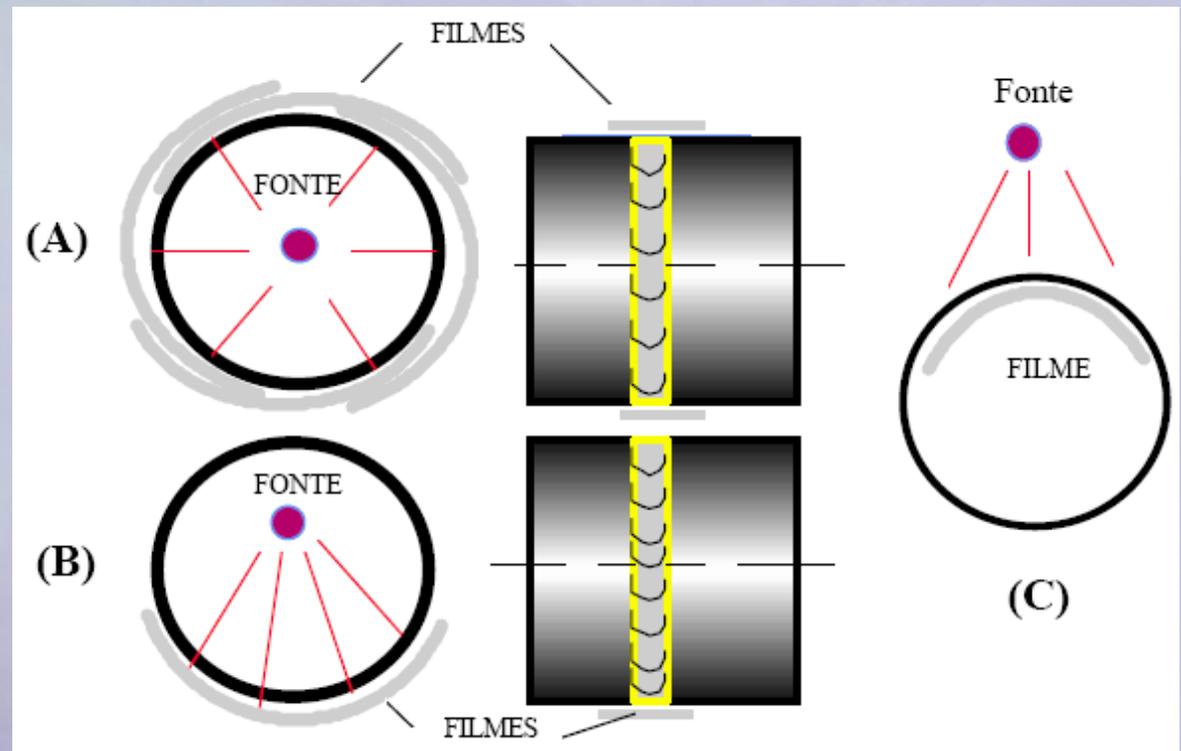
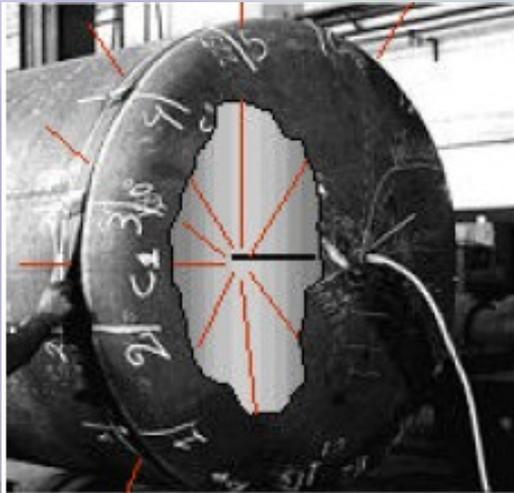
- Faixa de utilização mais efetiva = 10 a 40 mm de aço.

Co-60 :

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

Irradiadores - Técnicas de Exposição Radiográfica

- *Técnica de Parede Simples – PSVS*
 - É a principal técnica utilizada na inspeção radiográfica, é assim chamada pois no arranjo entre a fonte de radiação, peça e filme, somente a seção da peça que está próxima ao filme será inspecionada e a projeção será em apenas uma espessura do material.

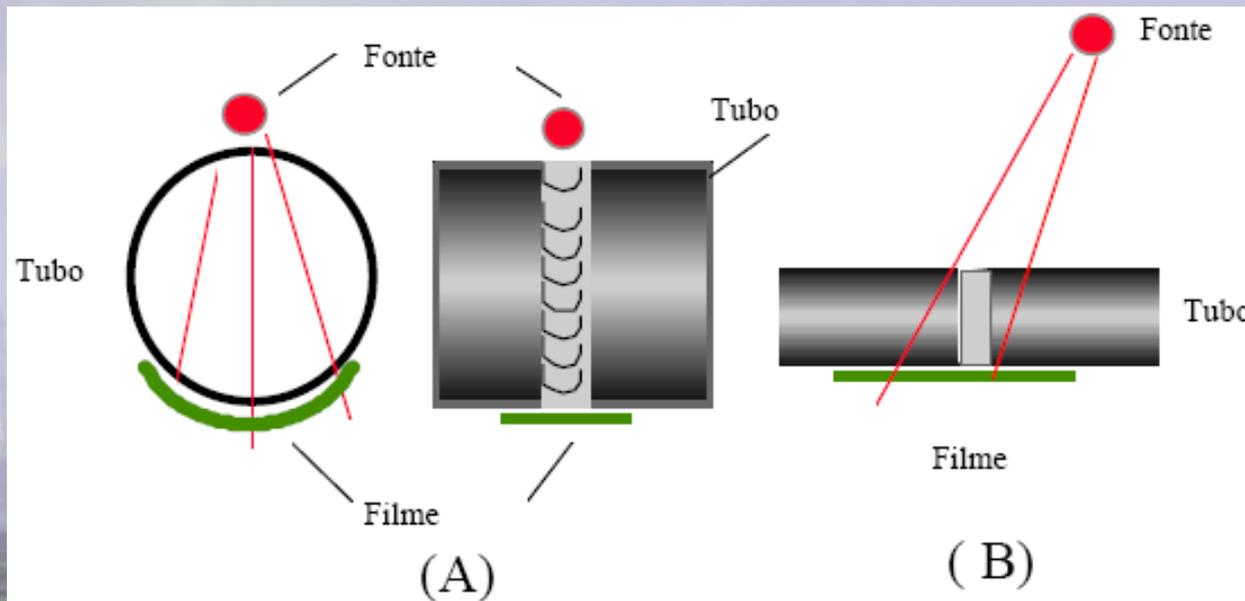


Irradiadores - Técnicas de Exposição Radiográfica

- *Técnica de Parede Dupla*

A) *Vista Simples (PDVS)*: utilizada em inspeções de juntas soldadas, as quais não possuem acesso interno, por exemplo tubulações com diâmetros maiores que 3½ polegadas, vasos fechados, e outros;

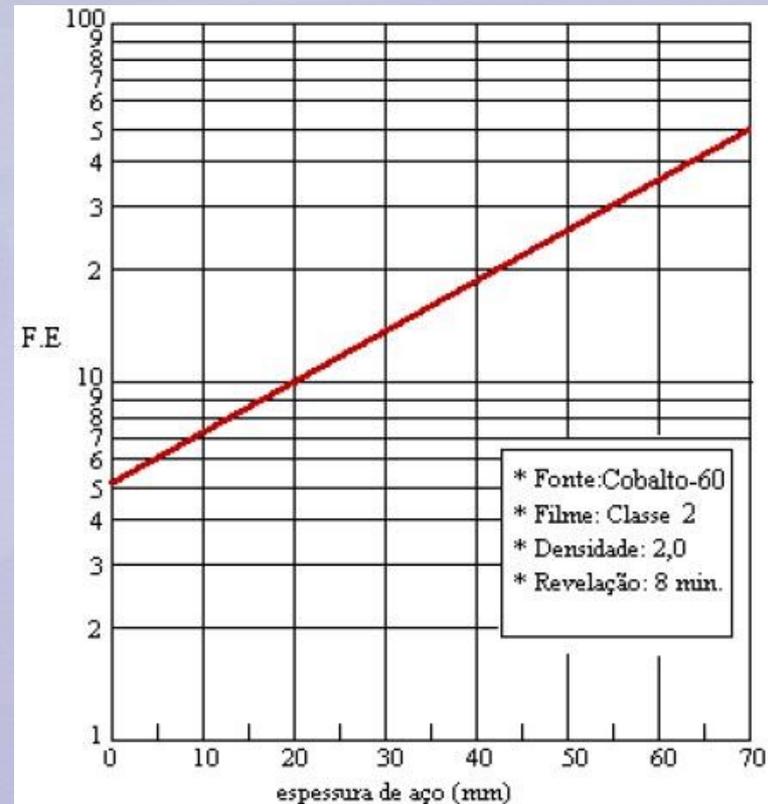
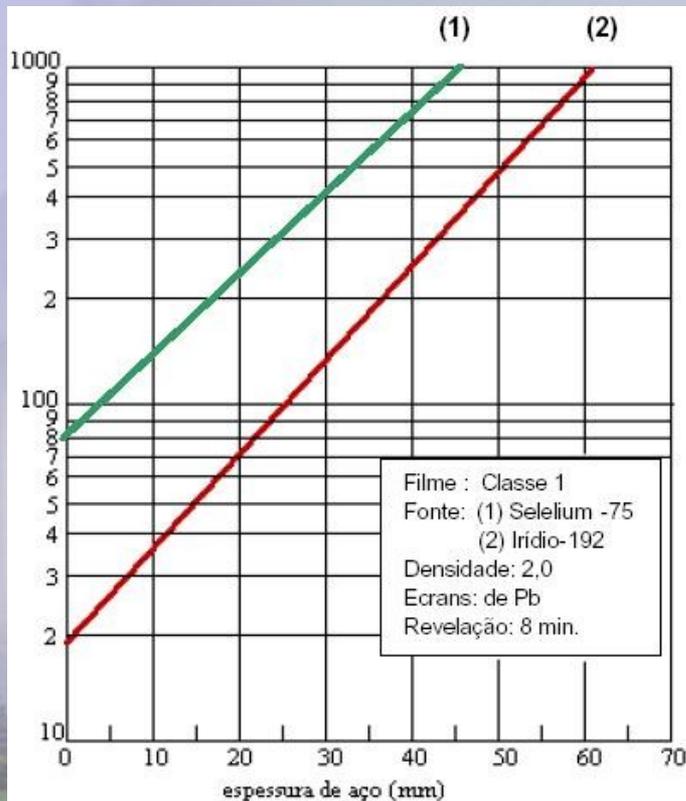
B) *Vista Dupla (PDVD)*: usada para inspeção de juntas soldadas em tubulações com diâmetros menores que 3½ polegadas.



Curvas de Exposição para gamagrafia

Fator de exposição: $FE = \frac{A \times t}{(D_{ff})^2}$

- FE = fator de exposição;
- A = atividade da fonte em milicuries;
- t = tempo de exposição em minutos;
- Dff = distância fonte-filme em centímetros.



Cálculo de exposição para gamagrafia

1. 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 distância fonte-filme é 60 cm?
2. Uma equipe de trabalho realiza um ensaio, por gamagrafia, de uma chapa de aço, com 4,0 cm de espessura. Para este ensaio dispõe-se de uma fonte de Se-75 com atividade 60 Ci e filme Classe 1. Qual a distância necessária para a realização do ensaio ocorra em 22 minutos?

Emergência com irradiadores de gamagrafia

**E QUANDO AS REGRAS DE
SEGURANÇA NÃO SÃO
OBSERVADAS ?**



Emergência com Irradiadores de Gamagrafia

- A fonte está exposta.
 - Falha na conexão do porta-fonte, ou problema no terminal da mangueira;
 - Conector danificado ou sujo ou ainda falta de conexão do cabo;
 - Acidente ou manuseio brusco;
 - A fonte está aparentemente recolhida mas no entanto existe radiação na área;
 - Queda de objeto pesado sobre o tubo guia, deformando-o.
 - Quebra do engate rápido da mangueira do comando.

Emergência com Irradiadores de Gamagrafia

- Para atuar em emergência é necessário ter:
 - Capacitação;
 - Treinamento e
 - Dispor dos meios necessários.



Emergência com Irradiadores de Gamagrafia

- Acidente radiológico
 - ***Desvio inesperado significativo das condições normais*** de projeto, de ***atividade***, ou de ***operação*** ou manutenção de instalação radioativa que, a partir de um determinado momento, ***foge ao controle do planejado*** e pretendido, demandando medidas especiais para a retomada de sua normalidade, e que possa ***resultar em exposição de pessoas a radiação ionizante, acima dos limites estabelecidos pela CNEN***, e em danos ao meio ambiente e a propriedade.

Emergência com Irradiadores de Gamagrafia

- Causas comuns de acidente radiológico
 - Perda ou manipulação inadequada da fonte;
 - Desconsiderar sistemas de segurança;
 - Falhas no uso de instrumentos de vigilância;
 - Capacitação e/ou procedimentos inadequados;
 - Programas de proteção radiológica inadequados;
 - Controle de qualidade ou supervisão inadequada;
 - Fatores humanos.

Acidentes radiológicos com gamagrafia

- Yanango (Peru): Gamagrafia (02/99)
- Cochabamba (Bolivia) - Gamagrafia (06/02)

Acidente radiológico: Yanango

IAEA - 2000 (pub1101)

- *Um severo acidente radiológico ocorreu na hidrelétrica de Yanango em 20 de fevereiro de 1999, quando um trabalhador (soldador) colocou uma fonte de Ir-192 de gamagrafia em seu bolso e permaneceu com a mesma por várias horas houve necessidade de amputação e também foram expostos (com menor dose) sua esposa e filhos.*

Acidente radiológico: Yanango

IAEA - 2000 (pub1101)



Photo 1. Source pigtail ready for connecting to drive cable.



Photo 2. Source pigtail connected to drive cable.

Accidente radiológico: Yanango

IAEA - 2000 (pub1101)

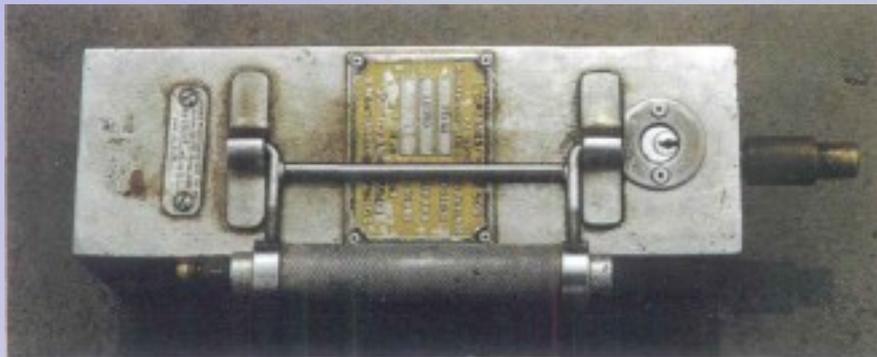


Photo 3. Radiography camera showing labels and lock.



Photo 4. Source pigtail.

Accidente radiológico: Yanango

IAEA - 2000 (pub1101)



Photo 5. Blistering lesion surrounded with large inflammatory halo on the mid-upper line of the rear surface of the right thigh (22 February 1999).



Photo 6. Profile of the blister (4 cm x 1.5 cm x 1 cm) at the junction of the thigh and the buttock (23 February 1999).

Accidente radiológico: Yanango

IAEA - 2000 (pub1101)

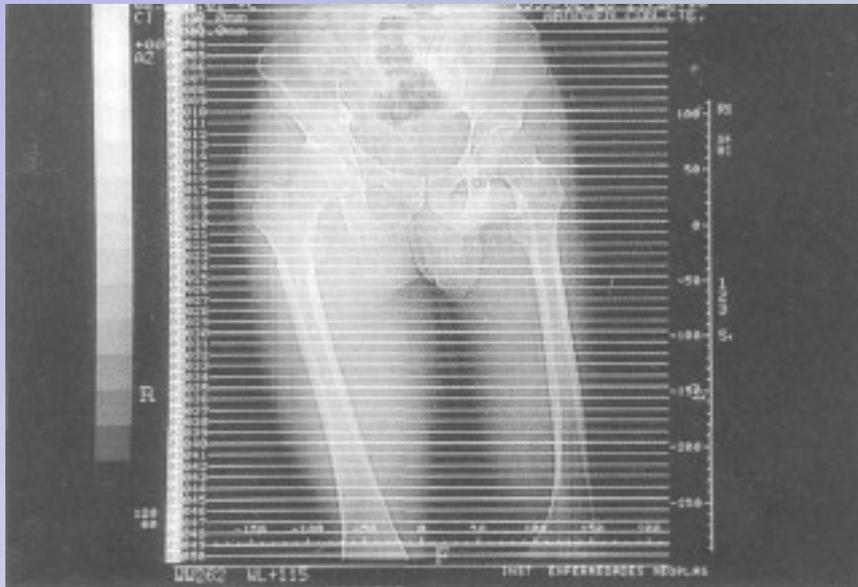


Photo 7. CT scan showing a significant increase of the volume of the right thigh (26 February 1999).

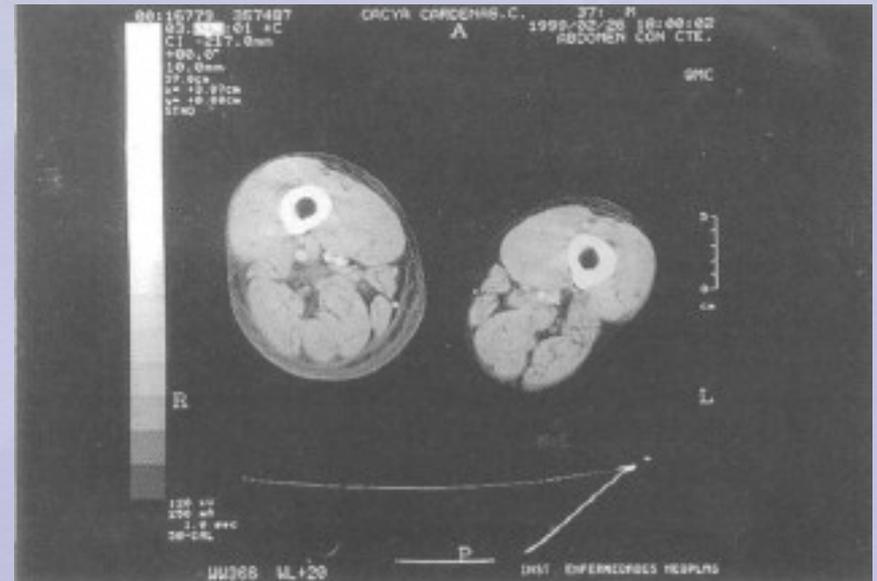


Photo 8. Horizontal section of both thighs by MRI demonstrating the magnitude of the oedema of the right thigh (26 February 1999).

Acidente radiológico: Yanango

IAEA - 2000 (pub1101)



Photo 9. Extended superficial erosion surrounded by a large dusky inflammatory area in the rear surface of the right thigh (1 March 1999).



Photo 10. Hyperpigmented reaction of the lesion. The lesion edges are well defined, and the skin is peeling off in some areas surrounding the central lesion (15 March 1999).

Acidente radiológico: Yanango

IAEA - 2000 (pub1101)



Photo 12. Blistering of the right hand palmar surface of the 2nd, 3rd, 4th and 5th fingers (13 April 1999).



Photo 13. Local radiation injury (erythema and dry desquamation) in the inferior external part of the right leg (20 April 1999).

Accidente radiológico: Yanango

IAEA – 2000 (pub1101)



Photo 16. The upper rear part of the left thigh is swollen with foci of dry desquamation, the ulcerated perineum is superinfected; ulceration at the medial edge of the surgical treatment above the right pelvis (18 October 1999).



Photo 17. Severely superinfected large ulceronecrotic lesions spreading to the whole perineum (14 December 1999).

Acidente radiológico: Cochabamba

IAEA - 2004 (pub1199)

- *Um severo acidente radiológico ocorreu em Cochabamba-Bolívia em abril de 2002, quando um irradiador de Ir-192 de gamagrafia defeituoso (fonte no tubo guia) foi enviado de volta La Paz no guarda malas de um onibus comercial expondo passageiros do ônibus a doses entre 0,23Gy e 0,42Gy.*

Accidente radiológico: Cochabamba

IAEA - 2004 (pub1199)



FIG. 2. Industrial radiography container involved in the accident in Cochabamba.

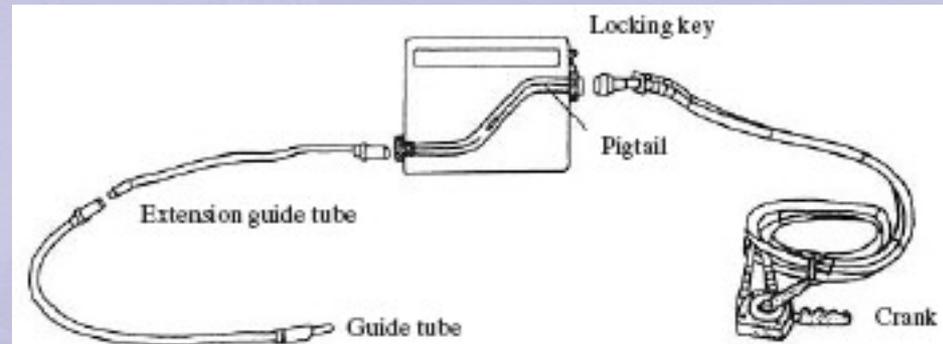


FIG. 3. Schematic view of the remote exposure container and ancillary equipment involved in the accident in Cochabamba.

Acidente radiológico: Cochabamba

IAEA - 2004 (pub1199)



FIG. 9. Overpack for the source container.



FIG. 10. Industrial radiography equipment prepared for transport in the bus.

Acidente radiológico: Cochabamba

IAEA - 2004 (pub1199)

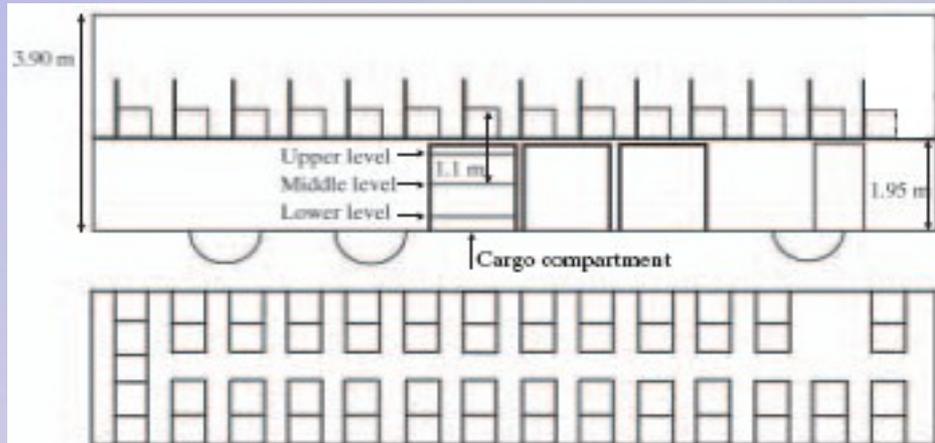


FIG. 11. Plan and elevation views of the bus in which the radiography equipment was transported.



FIG. 18. Reconstruction by the IAEA of the circumstances of the accident. In the foreground is the radiography equipment with its guide tube unwound up to the cargo compartment of the bus.

Emergência com Irradiadores de Gamagrafia

PERDA DA EXPECTATIVA DE VIDA

((Estudo com população norte americana 1979)

) Causa	Redução (dias)	Causa	Redução (dias)
Ser solteiro	3.500	Alcoolismo	130
Fumante, sexo masculino	2.500	Diabetes	95
Doenças cardíacas	2.100	Acidentes no trabalho	74
Ser solteira	1.600	<u>Trabalhar com radiação</u>	<u>40</u>
Obeso, 30% acima do normal	1.300	Acidentes com armas de fogo	11
Trabalhar em minas de carvão	1.100	Radiação natural	8
Câncer	980	Raio X para fins médicos	6
Fumante, sexo feminino	800	Café	6
Hemorragia cerebral	520	Anticoncepcional oral	5
Acidentes com veículos	207		

Fonte: <http://web.cena.usp.br/apostilas/SPR/Radioproteção-Aula04-2004.pdf>

Emergência com irradiadores de gamagrafia

- ***IRD / CNEN - Tel.: (21) 9218 – 6602***

Setor de Pronto Atendimento a Emergências, Proteção Radiológica e Segurança do Trabalho

END – Radiografia Industrial

- Produção dos raios X;
- Equipamentos de raios X para uso industrial;
- Curvas de exposição para radiografia; e
- Aceleradores lineares.

Equipamentos de Raios X para Uso Industrial



Raios X Industrial, de até 300 kV



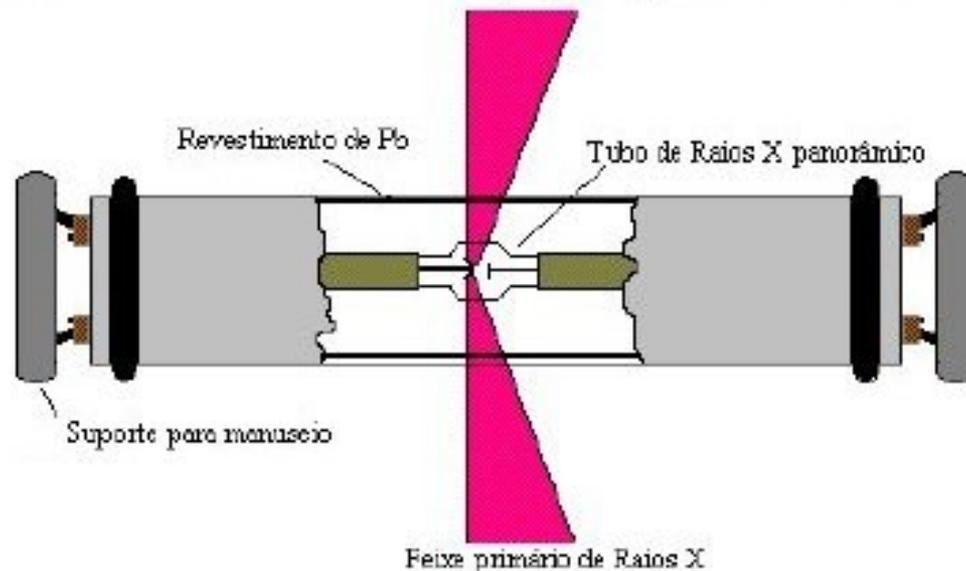
Inspeção radiográfica de soldas em tubos

Tensão

Faixa de Espessura

150 kV
250 kV
400 kV
1 Mev
2 Mev
4 Mev

de 5 até 15 mm
de 5 até 40 mm
de 5 até 65 mm
de 5 até 90 mm
de 5 até 250 mm
de 5 até 300 mm



Curvas de Exposição para radiografia

Relação Tempo x Corrente:

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

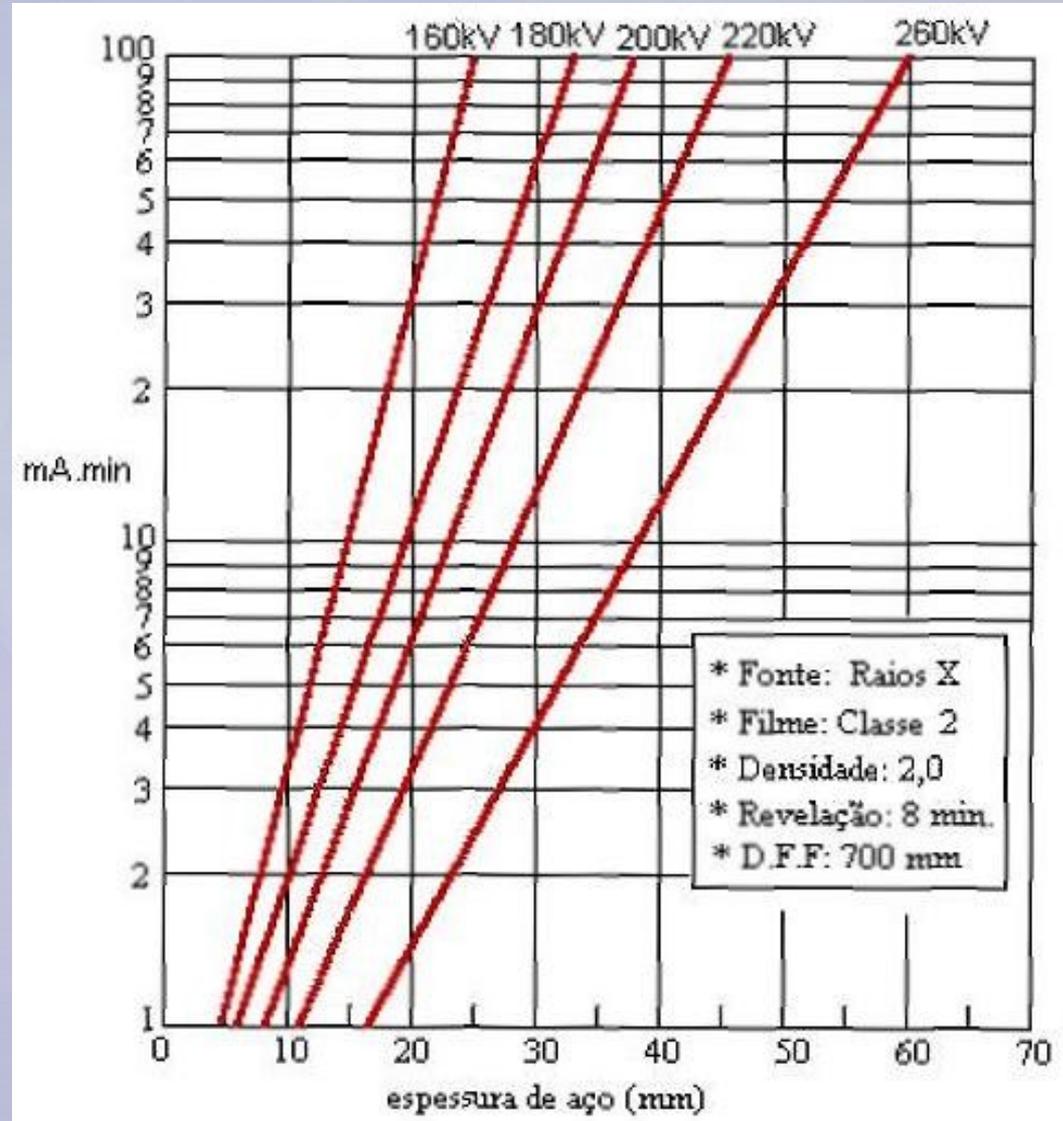
Relação Corrente x Distância:

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

Relação Tempo x Distância:

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

Gráfico 1



Curvas de Exposição para radiografia

Relação Tempo x Corrente:

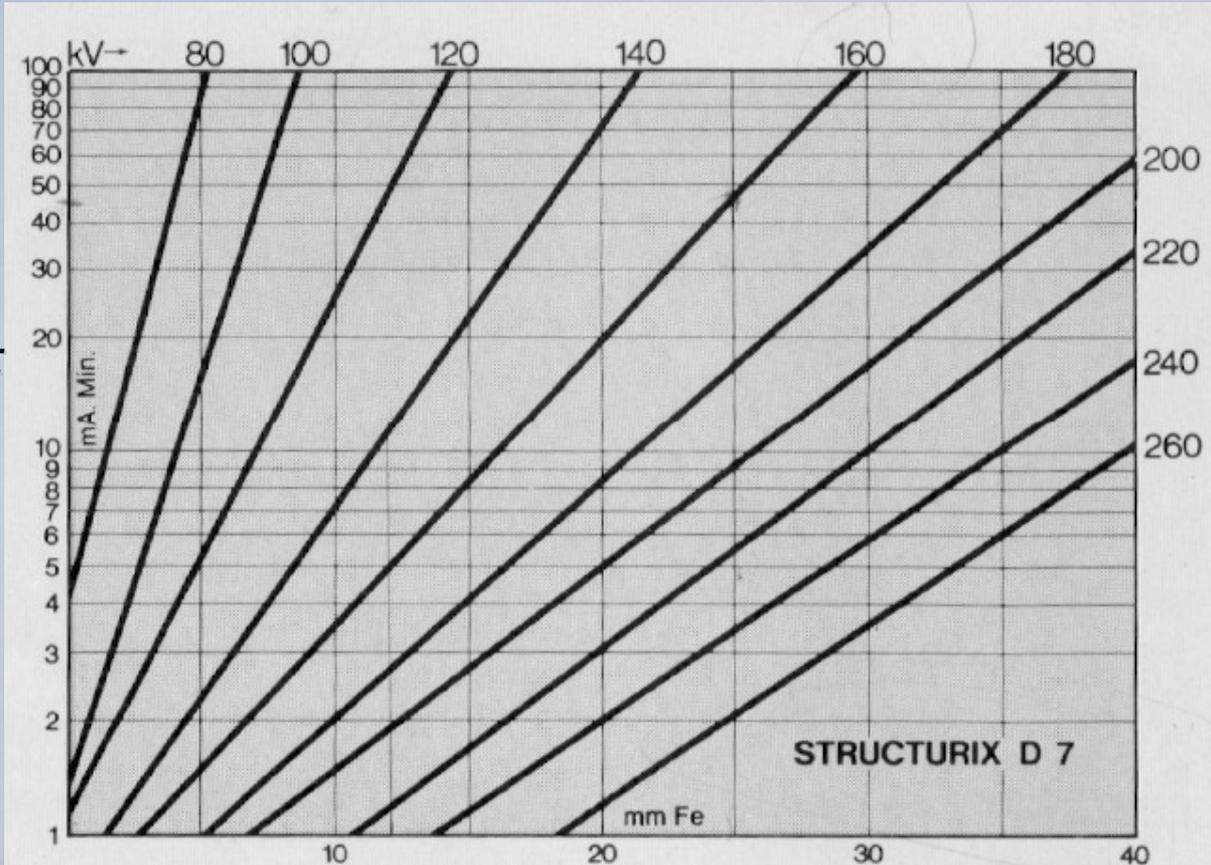
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

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 aços carbono filme AGFA, Tipo D7 (classe 2) , com DFF=700 mm.

Gráfico 2

Cálculo de exposição para radiografia

1. Pretende-se radiografar um duto em aço com 3,0 cm de espessura, utilizando-se 180 kV e 50 mA a 70 cm de distância fonte-filme, utilizando-se filme Classe 2, para obter uma densidade radiográfica de 2,0. Qual o tempo de exposição ? (*gráfico 1*)
2. 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 distância fonte-filme, utilizando-se filme Classe 2, para obter uma densidade radiográfica de 2,0. Mantendo-se o tempo de exposição, qual distância dever utilizada para uma corrente de 12 mA ? (*gráfico 2*)

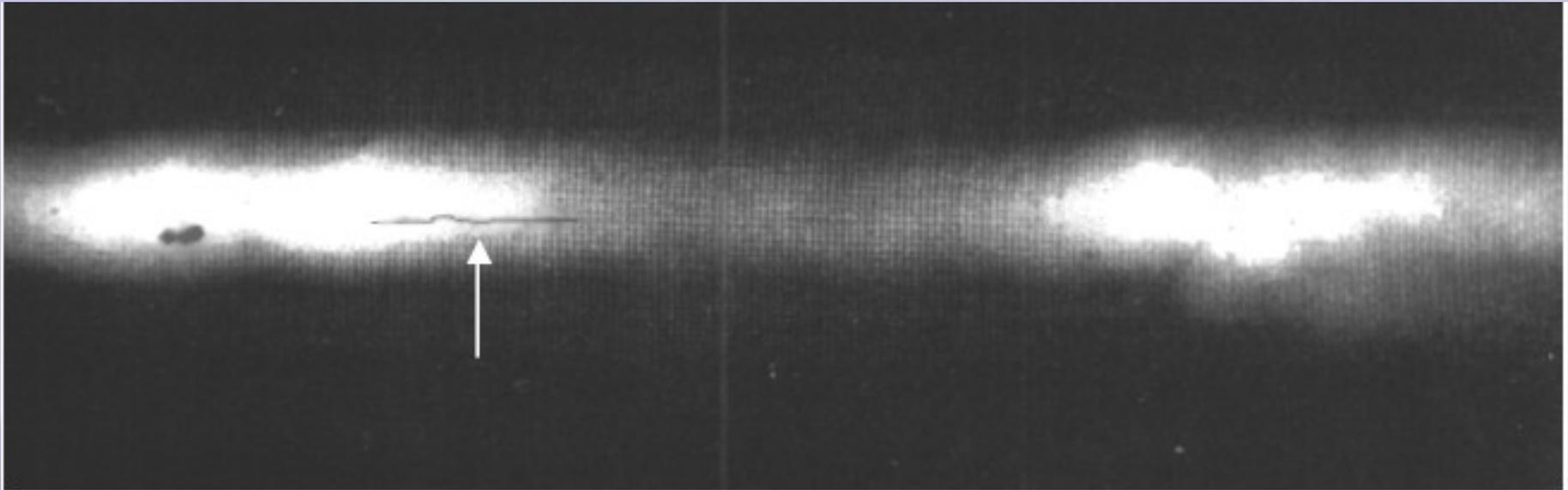
Equipamentos Aceleradores Lineares



Fotos de um acelerador linear, usado para radiografia industrial de peças com espessura de 20 a 300 mm de aço.

END – A Imagem

- Registro radiográfico; e
- Qualidade da imagem.



Seção de uma solda contendo poro e uma trinca longitudinal no cordão

Registro Radiográfico

Processamento do manual



1 - Preparação dos Banhos



2 - Medição da Temperatura



3 - Prender dos Filmes



4. Acionamento do Cronômetro



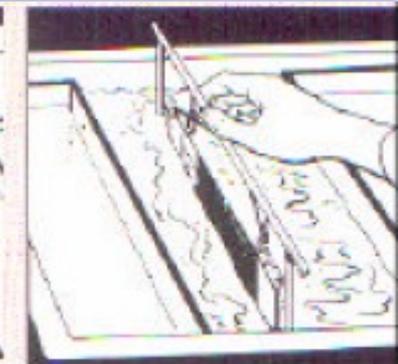
5 – Revelação



6 – Agitar os Filmes



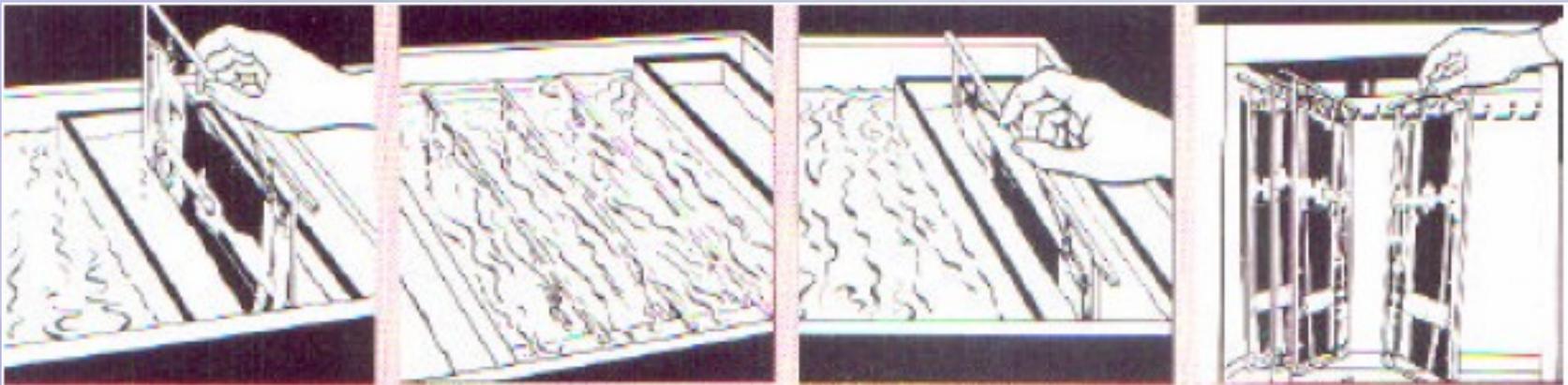
7 – Deixar escorrer



8 – Banho de Parada

Registro Radiográfico

Processamento do manual



9 – Fixação

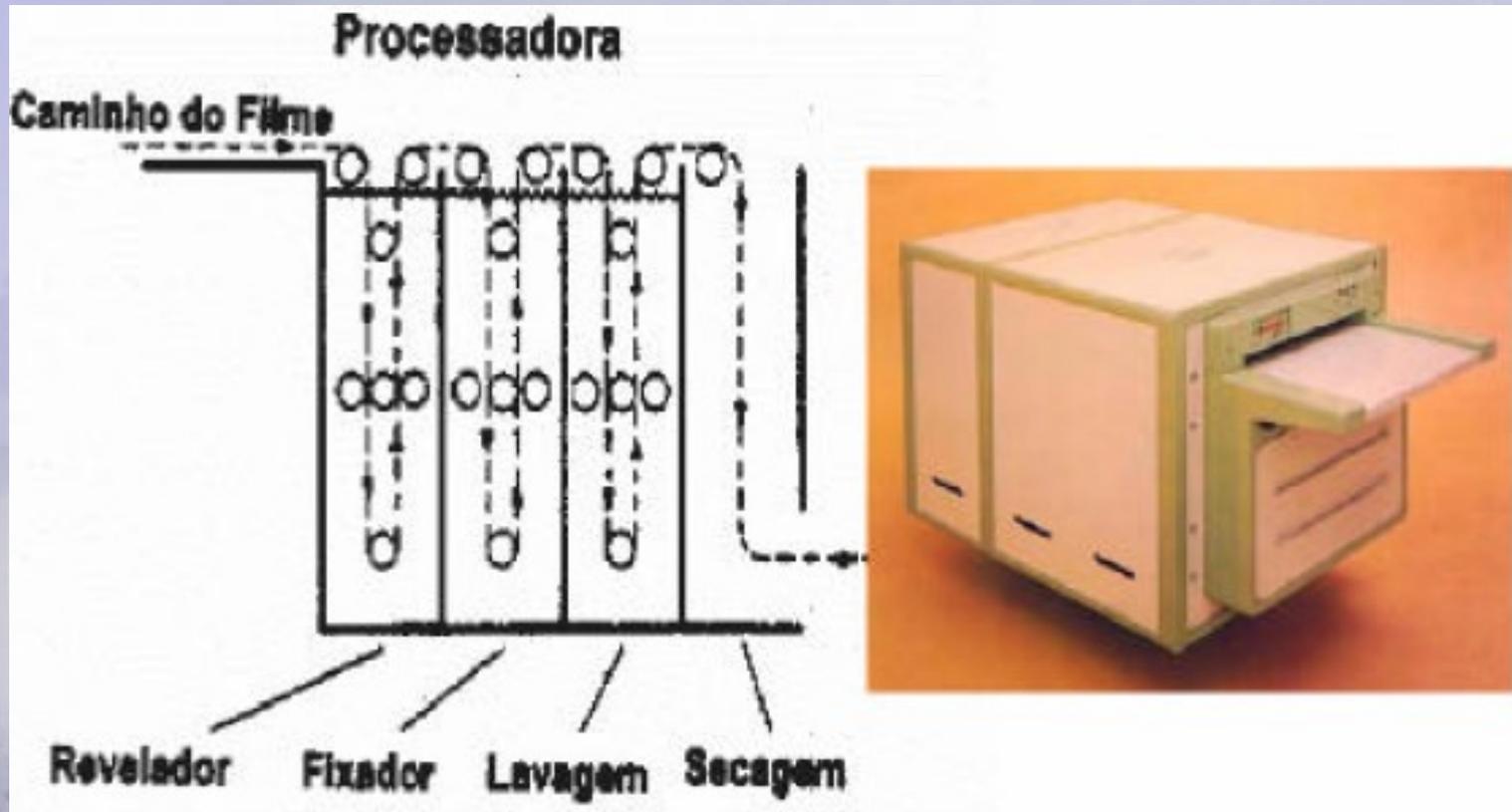
10- Lavagem com água

11- Distensor

12 - Secagem

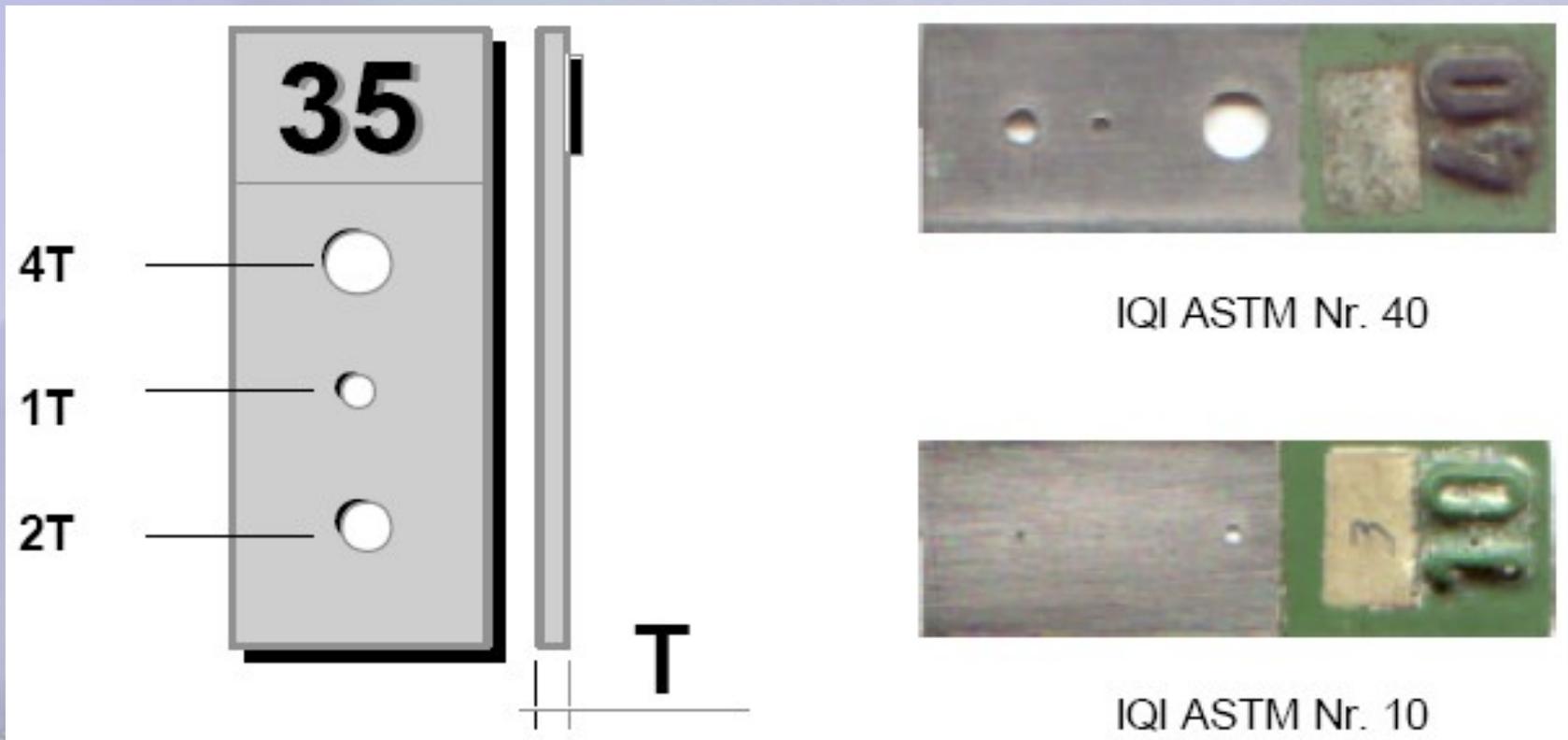
Registro Radiográfico

Processamento automático



Indicadores da Qualidade da Imagem - IQI's

Indicador de qualidade de imagem tipo furos

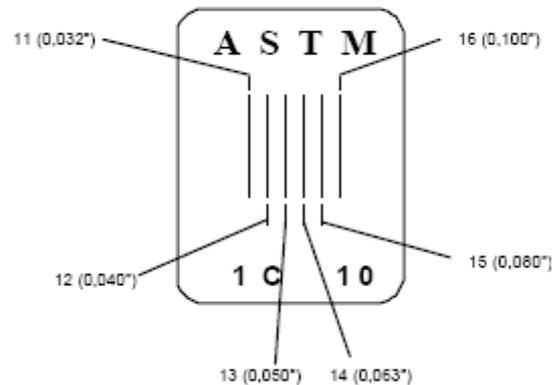


Indicadores da Qualidade da Imagem - IQI's

Indicador de qualidade de imagem tipo fios



IQI tipo fios da norma DIN



IQI's ASME ou ASTM tipo fios

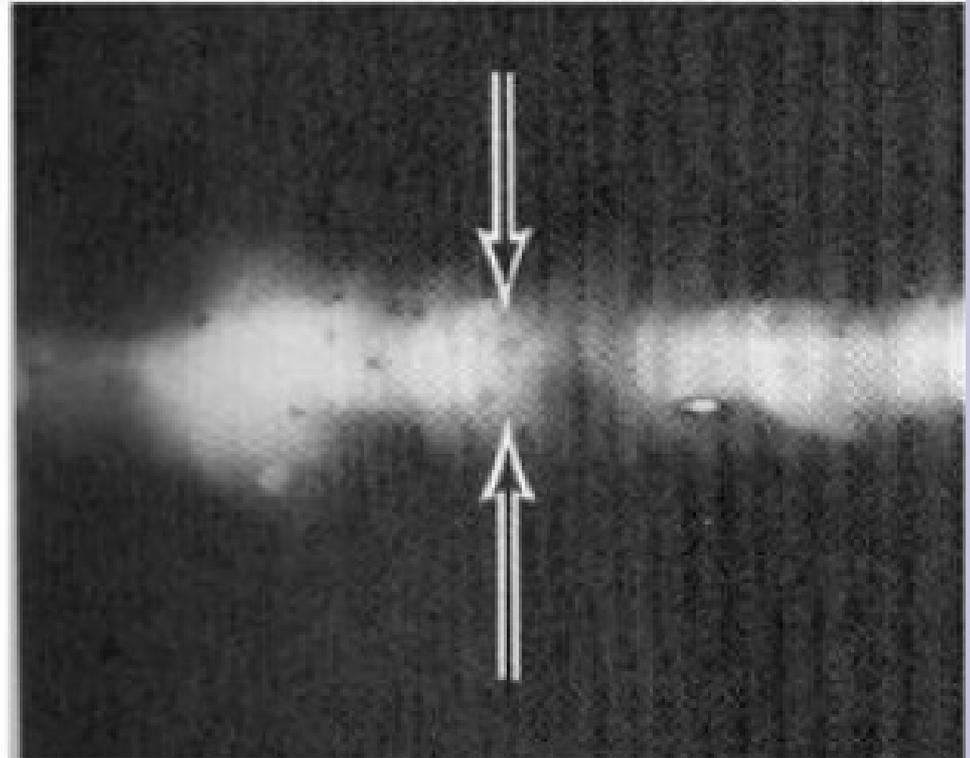
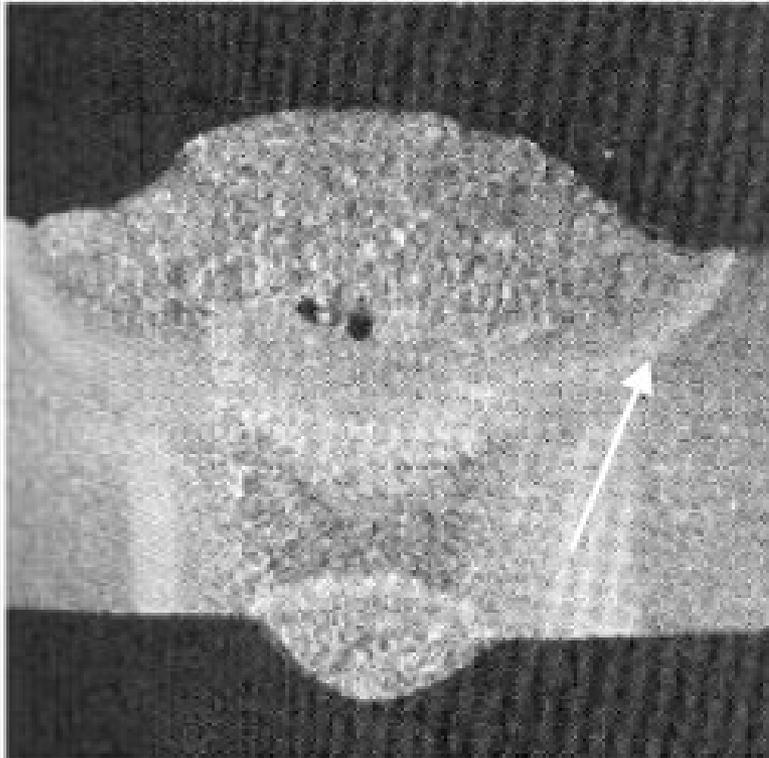
Avaliação da Qualidade da Imagem

- *Identificação do Filme*: data do ensaio, identificação dos soldadores, no caso de juntas soldadas, identificação da peça e local examinado, número da radiografia, identificação do operador e da firma executante;
- *Verificação da Densidade Radiográfica*: faixa de 1,8 até 4,0 para radiografias feitas com Raios X e de 2,0 a 4,0 para Raios Gama, sendo que a faixa mais usual é de 2,0 a 3,5;
- *Defeitos de Processamento do Filme*: manchas, riscos e dobras (artefatos);
- *Análise do IQI*: deve aparecer na radiografia de maneira clara que permita verificar se o IQI está de acordo com a faixa de espessura radiografada e se o tipo de IQI está de acordo com a norma de inspeção, se são visíveis sobre a área de interesse, e se o posicionamento está correto .



Preparação da exposição radiográfica, fixação do IQI tipo fios sobre a solda a ser inspecionada

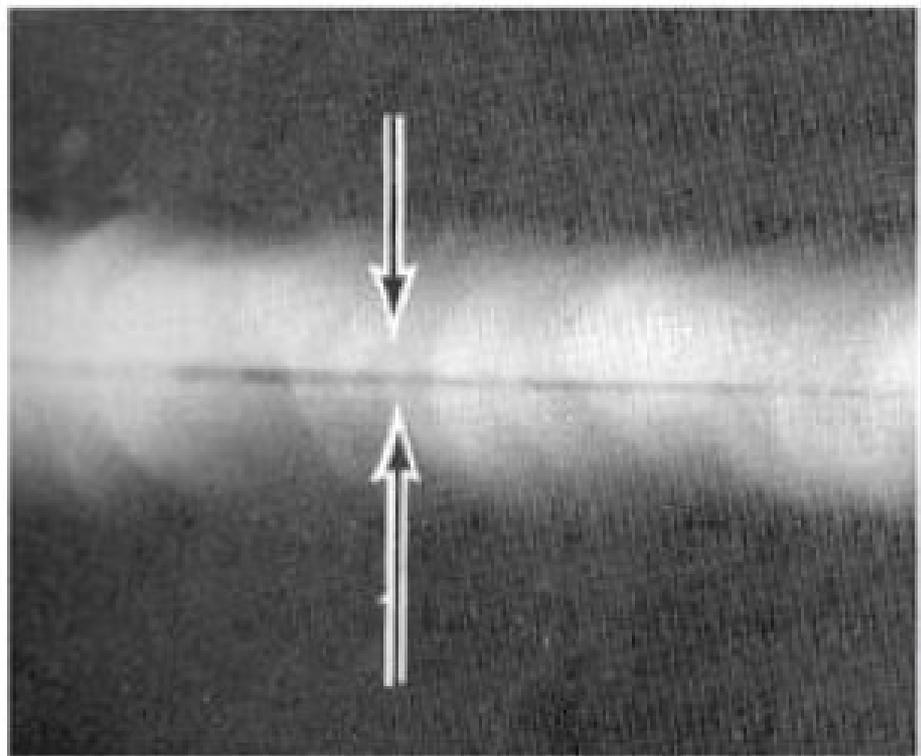
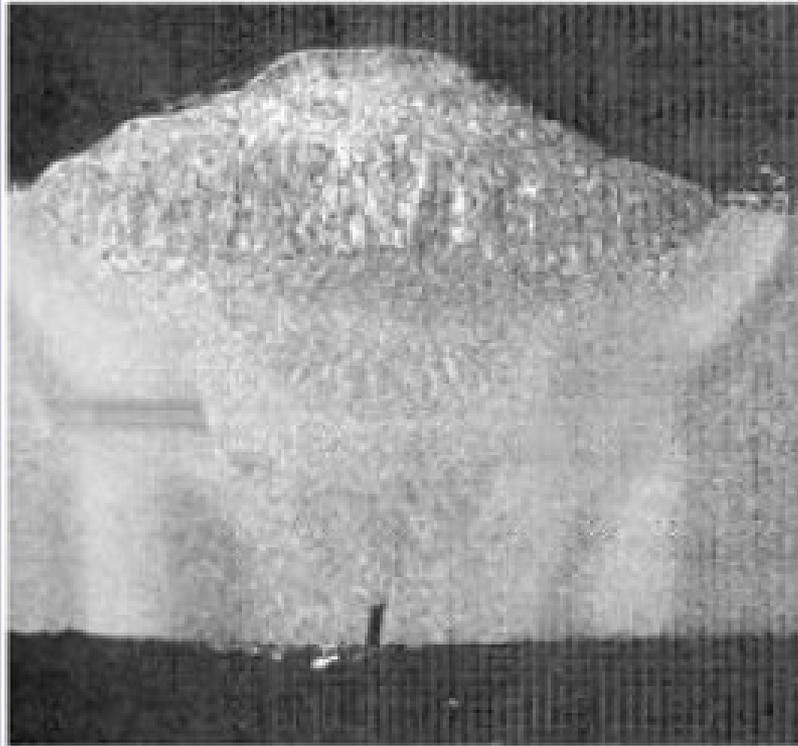
Exemplos de radiografias



Solda contendo porosidade

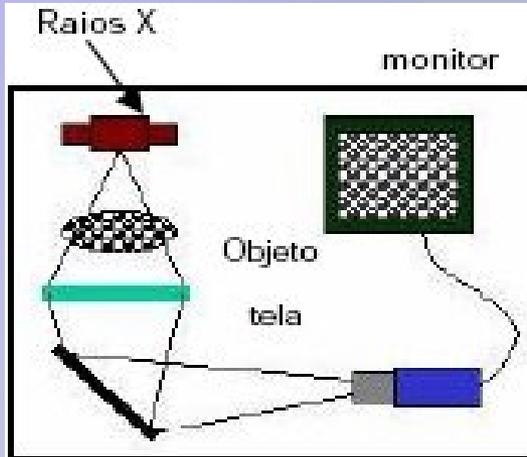
(Fotos extraídas do livro "Nondestructive Testing Handbook - ASNT")

Exemplos de radiografias

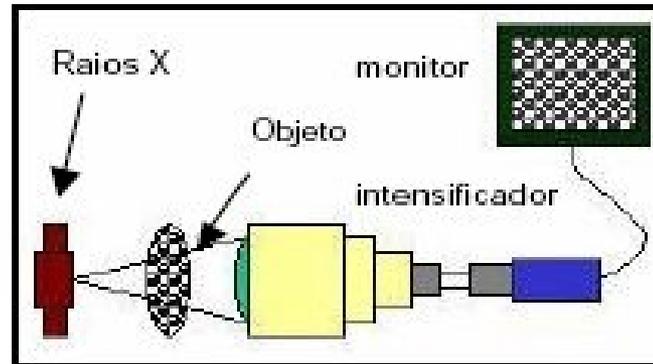


Fotos de uma solda contendo falta de penetração na raiz
(Fotos extraídas do livro "Nondestructive Testing Handbook - ASNT")

END - Outros processos de imagem



Sistema com Tela Fluorescente e Câmera



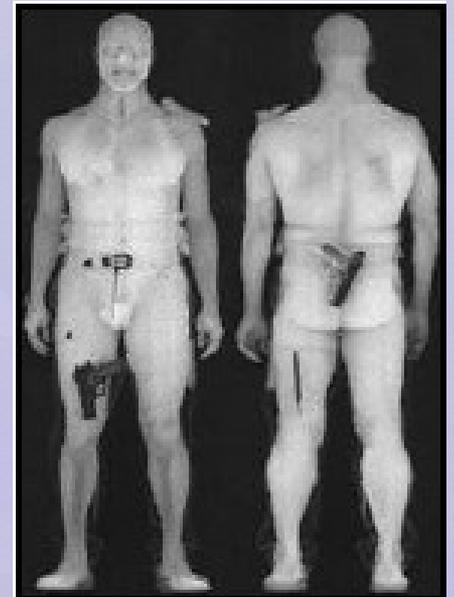
Sistema com uso de Câmera de TV e Intensificador



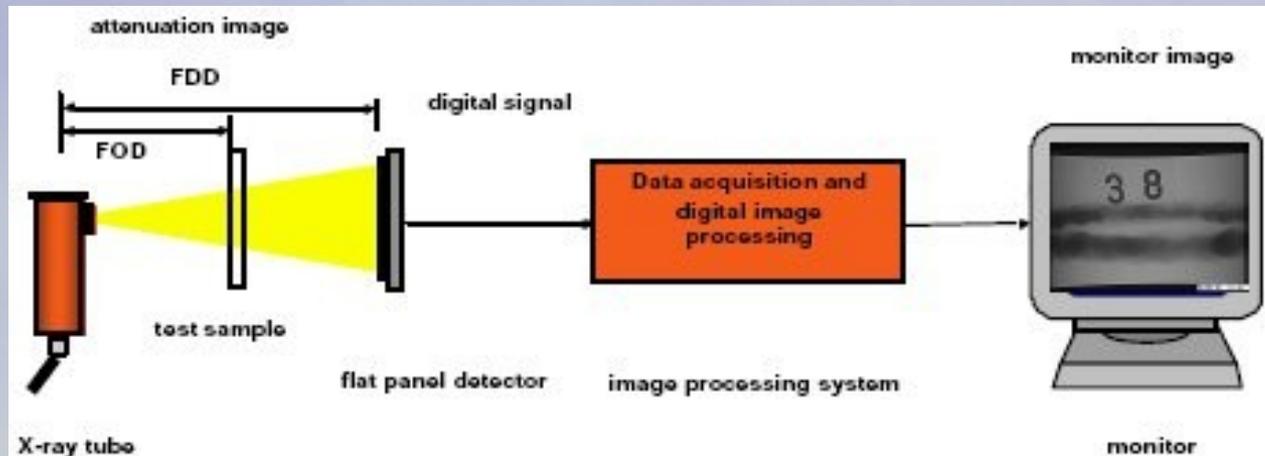
***Radioscopia
Industrial***

END - Outros processos de imagem

- As principais aplicações da Radioscopia industrial:
 - no exame de pequenas peças, com espessura baixa.
 - ◆ rodas de alumínio, pontas de eixo de automotivos, carcaça da direção hidráulica, pneus automotivos;
 - nos aeroportos para verificação de bagagens;
 - inspeção de componentes eletrônicos; e
 - muitas outras aplicações.



END - Outros processos de imagem



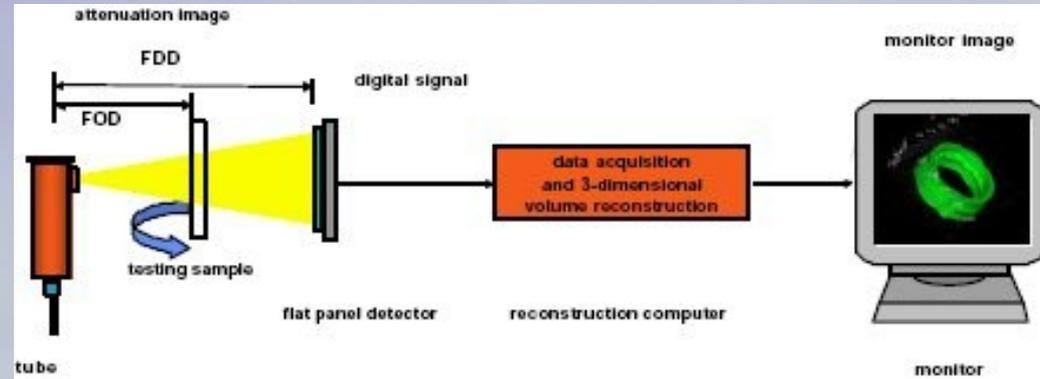
Sistema de Radioscopia usando captura digital da imagem



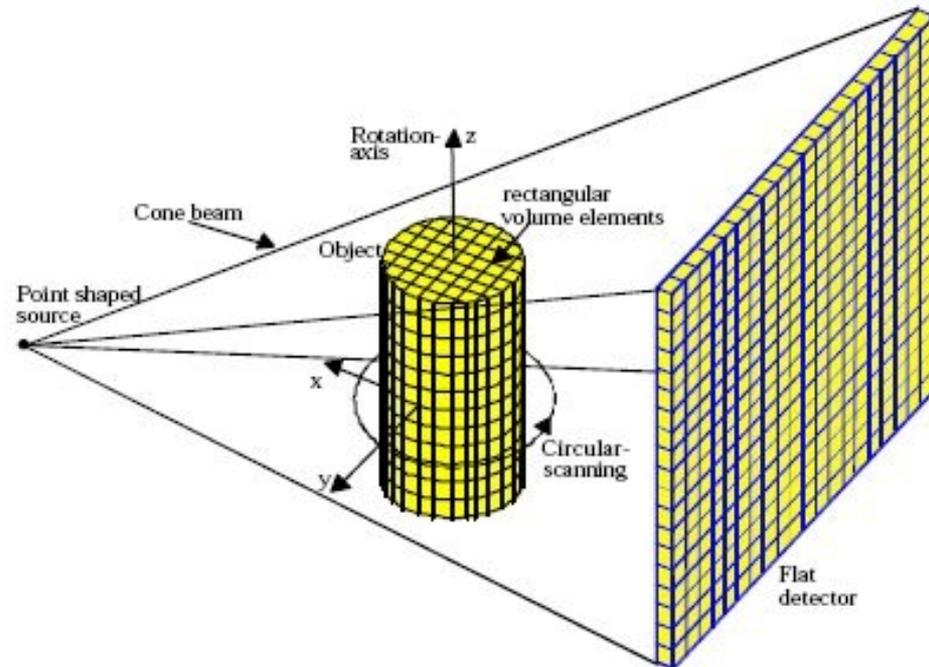
Técnica de radiografia digital em uma solda de tubulação. Na foto do meio, a placa digitalizadora da imagem, gira ao redor da solda, por um guia fixado no tubo.

Radioscopia Industrial

END - Outros processos de imagem



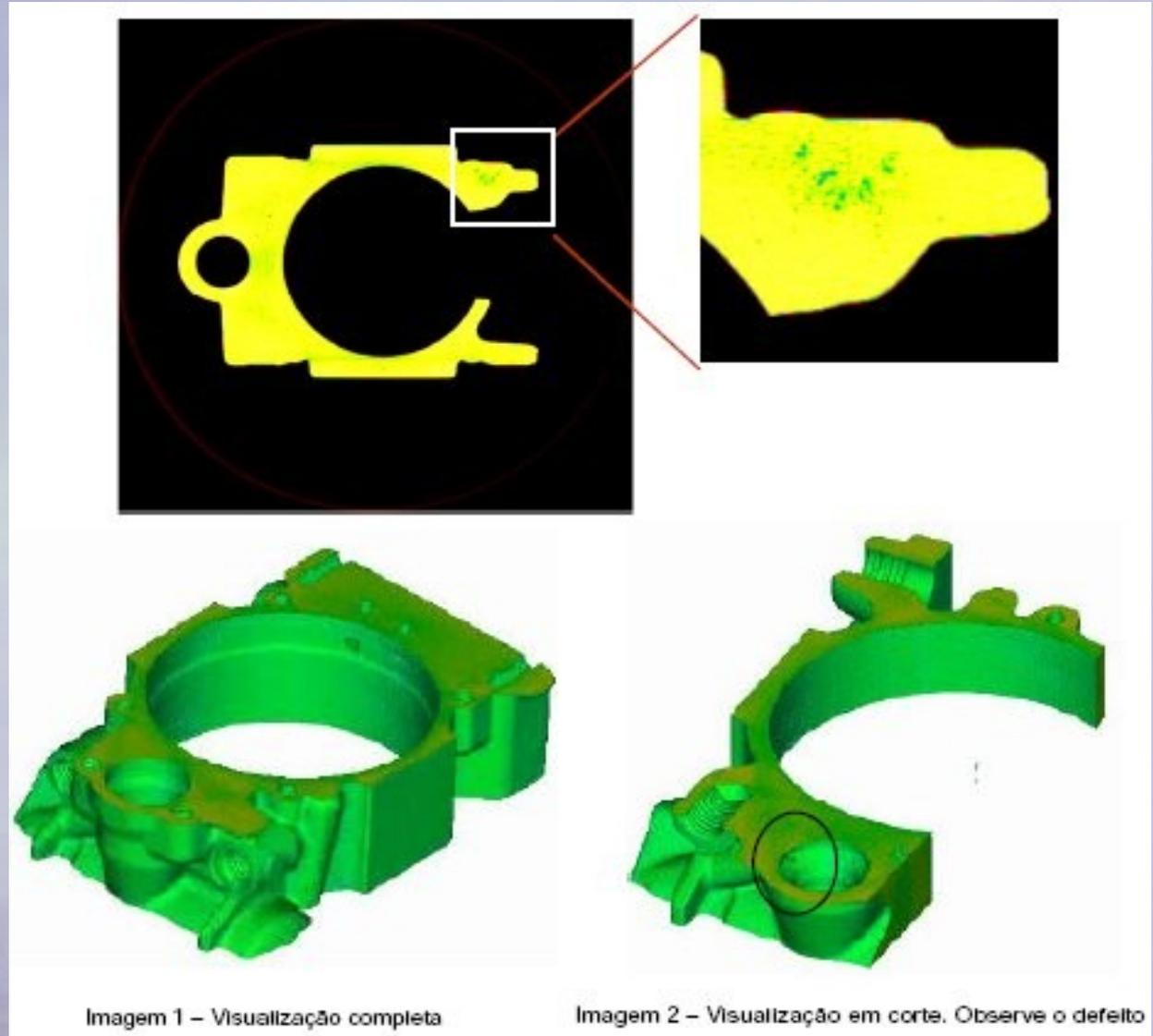
Esquema do Sistema de Inspeção por Tomografia Industrial



Tomografia Industrial

END - Outros processos de imagem

Tomografia Industrial



END - Outros processos de imagem

- Processos de digitalização da imagem:

- *Processo direto (DR)*

- ◆ A energia da radiação é convertida diretamente em sinal elétrico através do detector o que previne perdas e aumenta a eficiência do sistema,

- *Processo (CR) – Radiografia computadorizada*

- ◆ Utiliza uma tela contendo cristais de fósforo fotoestimulado. Um feixe de laser excita o material e luz proporcional é emitida sendo detectada eletronicamente, digitalizada e armazenada na memória do computador na forma de um sinal digital.

- *Outros processos*

- ◆ Tela fluorescente (qualidade da imagem final é similar ao método anterior CR);
- ◆ *Digitalização de filmes* (propicia estudar indicações de descontinuidades presentes na área de interesse e o arquivamento eletrônico).

END - Outros processos de imagem

- Digitalização da imagem radiográfica:

- *Principais vantagens*

- ◆ As placas de captura da imagem permitem uma ampla utilização, possibilitando reutilização imediata;
- ◆ A grande latitude das placas de captura digital permitem a visualização da imagem com menor exposição à radiação, melhorar proteção radiológica da instalação;
- ◆ As placas de captura possuem longa durabilidade e boa proteção mecânica;
- ◆ Os programas de computador para análise da imagem digital, propiciam maior segurança do laudo radiográfico.

O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Finalidade:
 - Redução de contagem microbiana e preservação. *(aprovado pela legislação brasileira desde 1985)*
 - A irradiação é uma técnica eficiente na conservação dos alimentos pois:
 - **reduz** as perdas naturais causadas por processos fisiológicos (brotamento, maturação e envelhecimento);
 - **elimina ou reduz** microorganismos (bactérias – *Salmonella* sp, listeria e outras), parasitas e pragas, sem causar qualquer prejuízo ao alimento;
 - **esteriliza** os produtos em suas próprias embalagens invioladas.



O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Sistema de irradiação comercial

- O processo consiste em submetê-los, já embalados ou a granel, a uma quantidade minuciosamente controlada de radiação ionizante, por um tempo prefixado e com objetivos bem determinados.

- Irradiadores

- Irradiadores são equipamentos que visam fornecer uma dose determinada de radiação ionizante à um material com uma finalidade específica.

- Irradiadores de grande porte:

- Irradiadores gama:
 - ◆ Cobalto 60
 - ◆ Césio 137
- Irradiadores de Feixe de elétrons

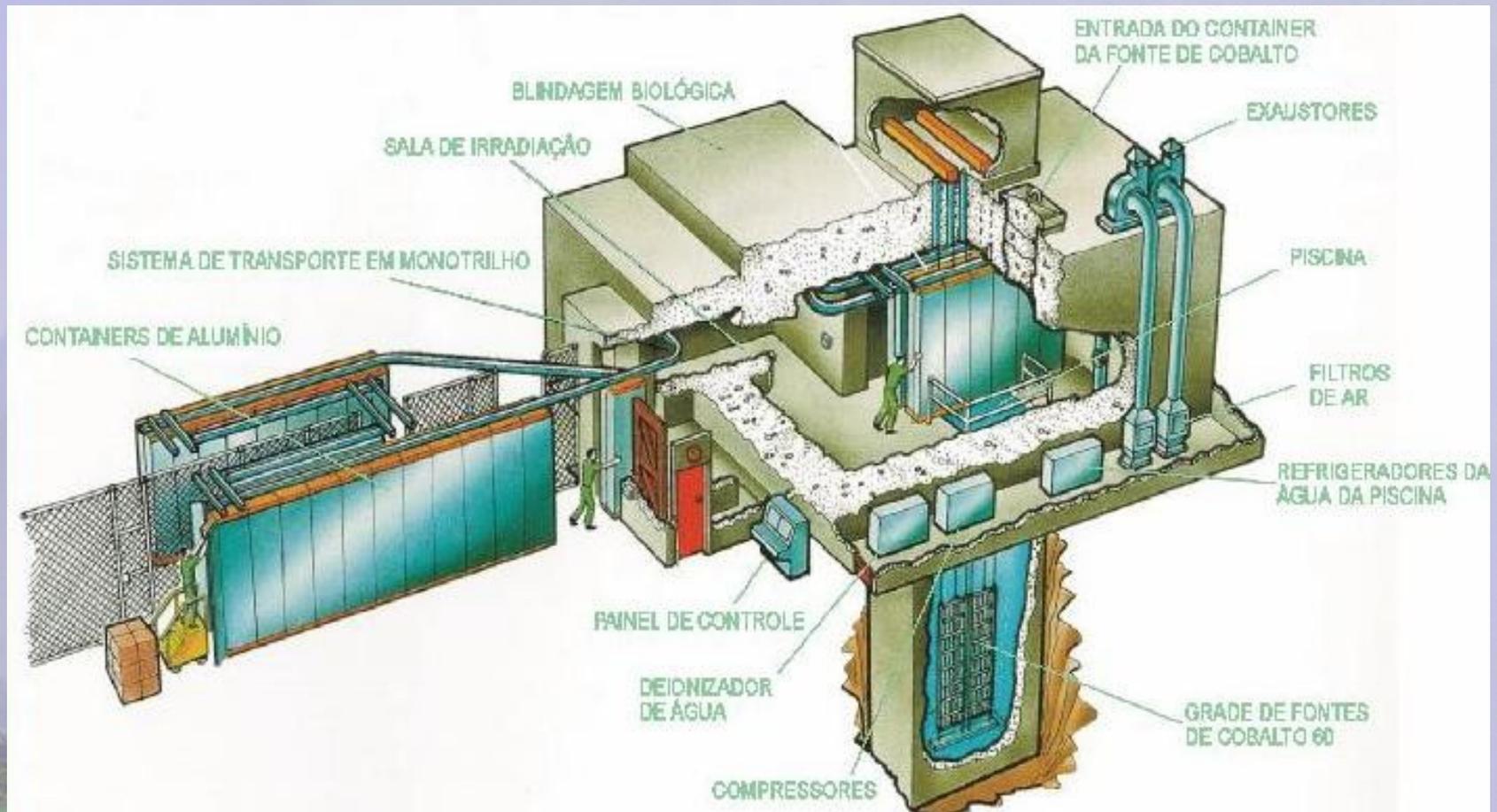


O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Irradiadores de grande porte: radiação gama
 - Cobalto 60
 - ◆ 5,2 anos de meia-vida;
 - ◆ 1,17 e 1,33 MeV (energia gama);
 - ◆ Metálico não solúvel em água;
 - ◆ Produzido em reatores $^{59}\text{Co} + n = ^{60}\text{Co}$;
 - ◆ Monopólio da Nordion (Canadá).
 - Césio 137
 - ◆ 30 anos de meia-vida;
 - ◆ 0,66 MeV (energia gama);
 - ◆ Cloreto solúvel em água;
 - ◆ Produzido em reatores: produto de fissão (reprocessamento);
 - ◆ Disponível em grandes quantidades(USA).
 - *Associado ao “lixo nuclear” e armas.*

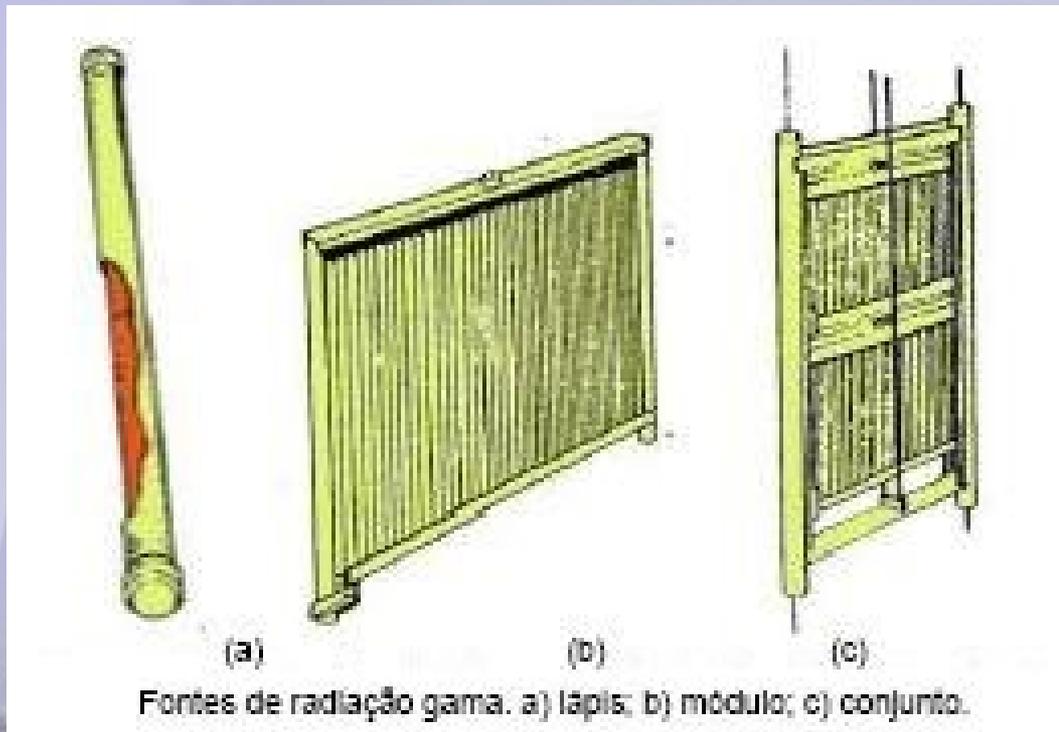
O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Irradiadores de grande porte: radiação gama



O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Irradiadores de grande porte: Fonte



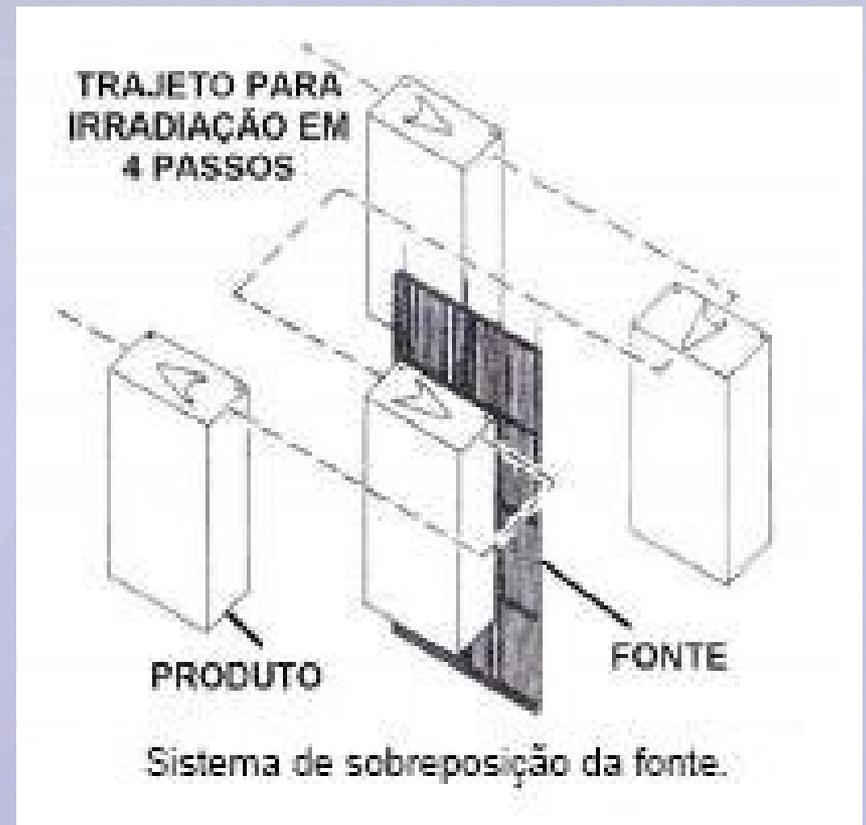
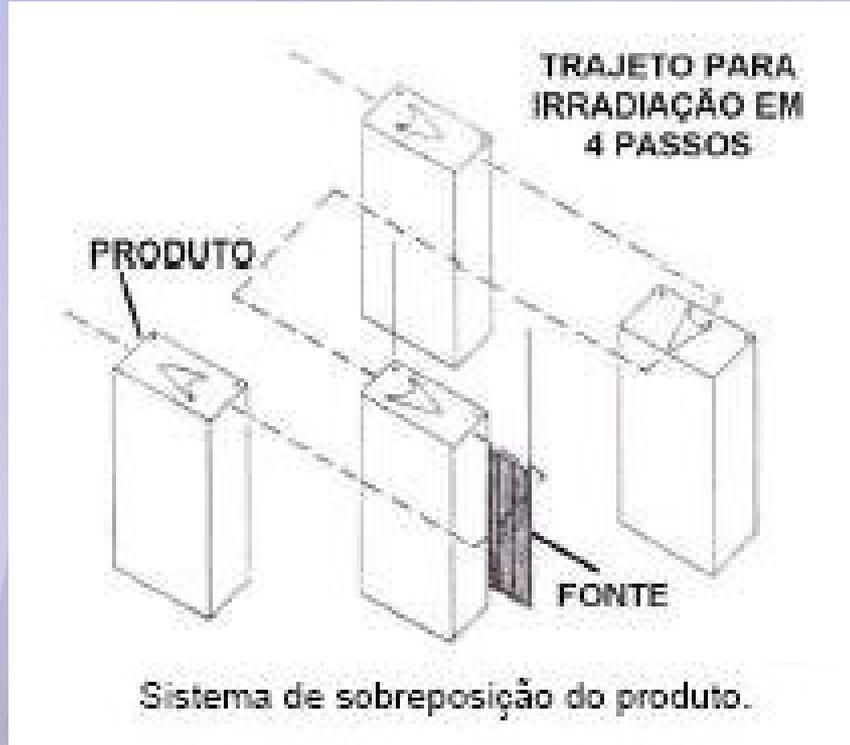
O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Irradiadores de grande porte: Fonte



O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Irradiadores de grande porte: Fonte



O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Irradiadores de grande porte: Feixe de elétrons
 - Grandes avanços tecnológicos nos últimos anos;
 - Até 10 MeV de energia;
 - Menos penetrante;
 - Liga/desliga: consumo de eletricidade;
 - Não requer manuseio, transporte e estocagem de material radioativo.

O tratamento dos alimentos para sua preservação

- Irradiadores de grande porte:
Feixe de elétrons



O tratamento dos alimentos para sua preservação



- Métodos de irradiação

- **Radurização:** *usa doses baixas (0,25 a 1 kGy)*

- ◆ inibe brotamentos (batata, cebola, alho, etc);
- ◆ retarda o período de maturação (frutas) e de deterioração fúngica de frutas e hortaliças (morango, tomate, etc);
- ◆ controla a infestação por insetos e ácaros (cereais, farinhas, frutas, etc).

- **Radicação (ou radiopasteurização):** *usa doses intermediárias (1 a 10 kGy)*

- ◆ pasteuriza sucos;
- ◆ retarda a deterioração de carnes frescas,

- **Radapertização (ou esterilização comercial):** *usa doses elevadas (10 a 70 kGy)*

- ◆ esteriliza carnes, dietas e outros produtos processados.

O tratamento dos alimentos para sua preservação

Níveis de dose e tratamento dos principais alimentos



Tipo de Alimento	Dose Absorvida (kGy)	Resultado e Efeitos da Irradiação
Carne, Frango, Peixe, Marisco, Alguns vegetais	20 a 70	Esterilização. Os produtos tratados podem ser armazenados à temperatura ambiente
Especiarias	8 a 30	Reduz a contagem de microorganismos e destrói insetos, substituindo produtos químicos
Carne , Frango e Peixe	1 a 10	Retarda a deterioração, mata alguns tipos de bactérias patogênicas (salmonella)
Morangos e outras frutas	1 a 4	Aumenta o tempo de prateleira, retarda o aparecimento de mofo
Grãos, frutas e vegetais	0,1 a 1	Mata insetos e evita sua reprodução, podendo substituir parcialmente os fumigantes
Banana, abacate, manga, mamão, e outras frutas não cítricas	0,25 a 0,35	Retarda a maturação
Carne de porco	0,08 a 0,15	Inativa a bactéria Trichinella
Batata, cebola e alho	0,05 a 0,15	Inibe o brotamento

O Efeitos da Exposição dos Alimentos à Radiação com Alta Dose

- As radiações quebram as ligações químicas para formar moléculas de vida curta e instáveis, denominadas radicais livres;
- Algumas dessas moléculas do alimento, combinam-se formando moléculas denominadas produtos radiolíticos:
 - irradiação de carne pode produzir benzeno;
 - irradiação de alimentos ricos em carboidrato pode formar formaldeídos;
- *Esse efeito não é limitado ao processo de irradiação, mas também ocorre nos processos de cozimento, pasteurização e outros, formando os produtos radiolíticos;*
- Tais efeitos são dependentes do nível de dose, e *na maioria dos casos são tão pequenos que se confundem com os que se formam naturalmente nos alimentos.*

Reatores nucleares



Reatores nucleares

- Introdução

- Em meados do século XX, a energia nuclear passou a integrar as fontes de energia disponíveis, ***inicialmente*** com propósitos militares e ***depois***, na geração de eletricidade, propulsão naval e produção de radioisótopos, entre tantas outras aplicações.
- ***Energia nuclear*** é a energia liberada durante reações nucleares de fissão ou fusão do núcleo atômico.
- ***Reatores nucleares*** proporcionam ***calor*** para
 - ◆ a geração de eletricidade,
 - ◆ aquecimento doméstico e industrial,
 - ◆ dessalinização e propulsão naval.
 - ◆ Também podem ser adequados a pesquisas e à produção de radioisótopos.

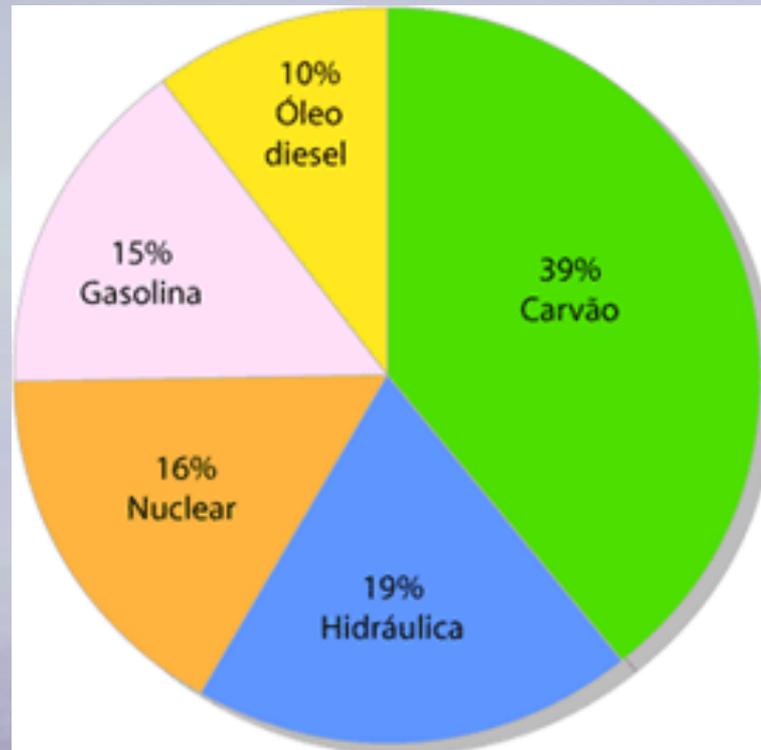
Reatores nucleares

- Introdução

- O **primeiro** reator nuclear em larga escala foi construído em 1944 nos Estados Unidos para a produção de material bélico. O combustível era urânio natural e o moderador, grafite.
- As usinas nucleares fornecem cerca de **16%** da eletricidade do mundo (agosto/2008).
- Na **França** 75% da eletricidade é gerada a partir da energia nuclear, nos **EUA** cerca de 23% da eletricidade total e no **Brasil** menos de 3% da energia gerada tem origem das usinas nucleares de Angra dos Reis.
- Existem mais de **400** usinas nucleares ao redor do mundo, sendo mais de 100 nos EUA.

Reatores nucleares

- Produção de energia elétrica no mundo



Reatores nucleares

- Dependência da energia nuclear

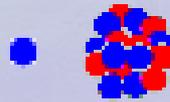
País	Produção por bilhões de KW	Fatia na produção energética dentro do país
Argentina	6,7	6,2 %
Armênia	2,35	43,5 %
Bélgica	46	54 %
Brasil	11,7	2,8 %
Bulgária	13,7	32 %
Canadá	88,2	14,7 %
China	59,3	1,9 %
República Tcheca	24,6	30,3%
Finlândia	22,5	29%
França	420,1	77%
Alemanha	133,2	26%
Hungria	13,9	37%
Índia	15,8	2,5%
Japão	267	27,5%
Coréia do Sul	136,6	35,3%
Lituânia	9,1	64,4%
México	9,95	4,6%
Holanda	4	4,1%
Paquistão	2,3	2,34%
Romênia	7,1	13%
Rússia	148	16%
Eslováquia	14,2	54%
Eslovênia	5,4	42%
África do Sul	12,6	5,5%
Espanha	52,7	17,4%
Suécia	64,3	46%
Suíça	26,5	43%
Ucrânia	87,2	48%
Reino Unido	57,5	15%
Estados Unidos	806,6	19,4%

Reatores nucleares

- Reatores nucleares são instalações que utilizam a reação nuclear de **fissão** em cadeia, de forma controlada, para a produção de energia ou de fluxo de nêutrons.
- **Fissão nuclear** - é a quebra de um núcleo atômico pesado e instável através de bombardeamento desse núcleo com nêutrons moderados, originando dois núcleos atômicos médios, mais 2 ou 3 nêutrons e uma quantidade de energia enorme ($\pm 200\text{MeV}$).

Reatores nucleares

- *Fissão nuclear*



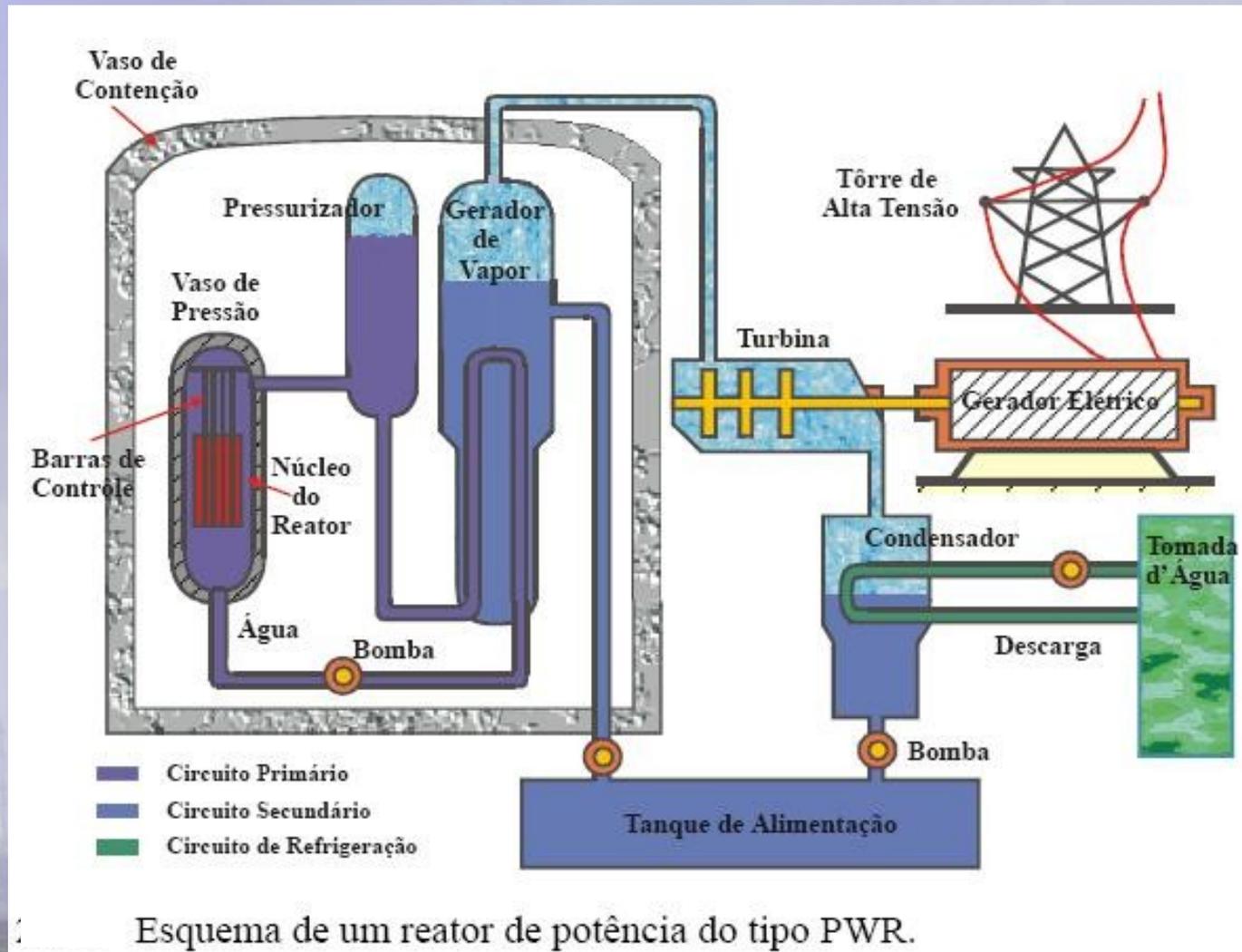
Reatores nucleares de potência

- Reatores de potência são instalações que utilizam a energia nuclear para a produção de calor, que é então transformado em energia elétrica.
- Existem diferentes projetos de reatores de potência, que criam condições para a realização da reação em cadeia, seu controle e a transmissão do calor gerado para um sistema que movimentava uma turbina a vapor, que é o dispositivo gerador da energia elétrica.
- Os reatores de potência utilizados no Brasil são do tipo PWR (Pressurized Water Reactor) e utilizam urânio enriquecido e água leve sob pressão como meio de retirada do calor produzido.

Reatores nucleares de potência

- Os principais componentes do reator PWR são:
 - O **vaso** do **reator**, onde fica o núcleo do combustível;
 - O **sistema primário** de refrigeração, que é o sistema onde circula a água que está em contato com o núcleo;
 - O **pressurizador**, componente do sistema primário que tem a função de permitir o adequado controle da pressão;
 - O **sistema secundário**, que é o circuito onde circula a água que recebe o calor do circuito primário e é transformada em vapor para a movimentação da turbina;
 - O **gerador de vapor**, que é o equipamento onde se dá a troca de calor entre o sistema secundário e o sistema primário, através da interpenetração de suas tubulações, sem haver troca de água entre eles;
 - O **sistema terciário** responsável em resfriar a água do sistema secundário.

Reatores nucleares de potência (PWR)

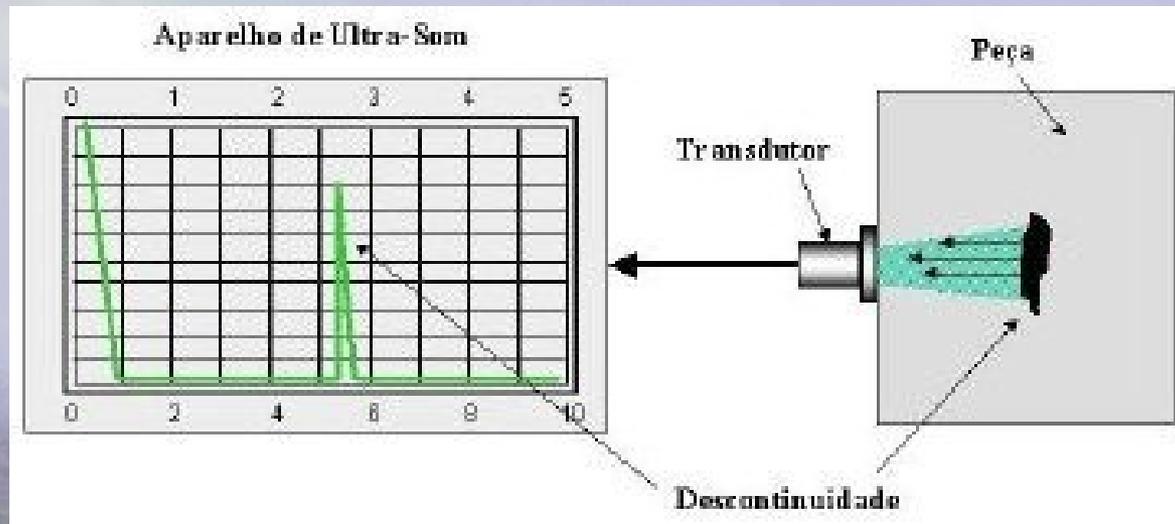


Ultra-som na Industria

- Histórico
- Física do ultra-som;
- Uso do ultra-som em END.

Introdução: Ultra-som

- Princípios básicos 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 a este meio considerado. Através de aparelhos, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.



Histórico

- 1794 - Lazzaro Spallanzini demonstrou que os morcegos se orientavam mais pela audição que pela visão para localizar obstáculos e presas;
- 1880 - Jacques e Pierre Curie descrevem a piezoeletricidade, características físicas de alguns cristais;
- 1912 - Langevin desenvolveu um aparelho capaz de medir a profundidade do mar, atualmente conhecido como SONAR (Sound Navigation And Ranging);

Histórico

- 1971 – Kossof introduziu a escala de cinza na imagem, onde diversos níveis de intensidade de ecos são representados por diferentes tons de cinza na tela;
- Anos 80 e 90 - a ultra-sonografia foi impulsionada pelo desenvolvimento tecnológico que transformou este método num importante instrumento de investigação diagnóstica e para ensaios.

Física do ultra-som

O que são ondas sonoras?

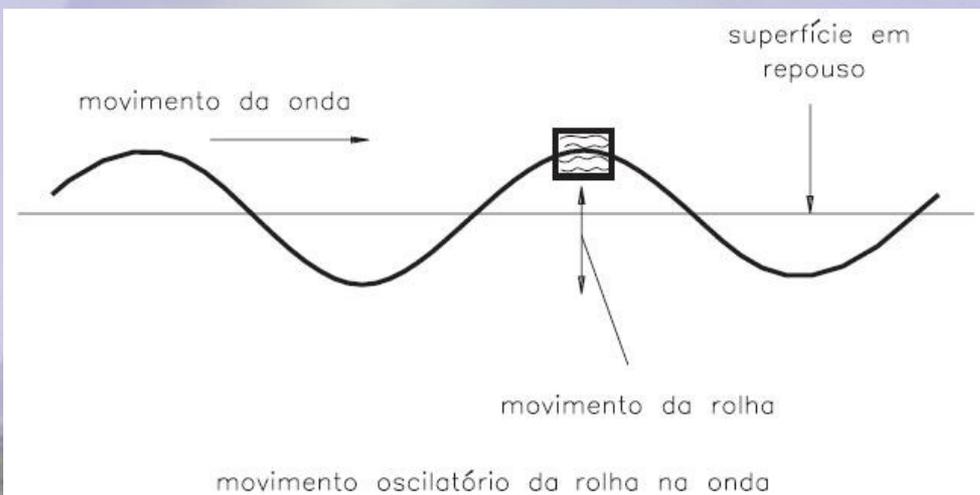
- São ondas mecânicas, longitudinais que podem se propagar em sólidos, líquidos e gases.

Ondas? Mecânicas? Longitudinais?

O que isto significa??

Física do ultra-som

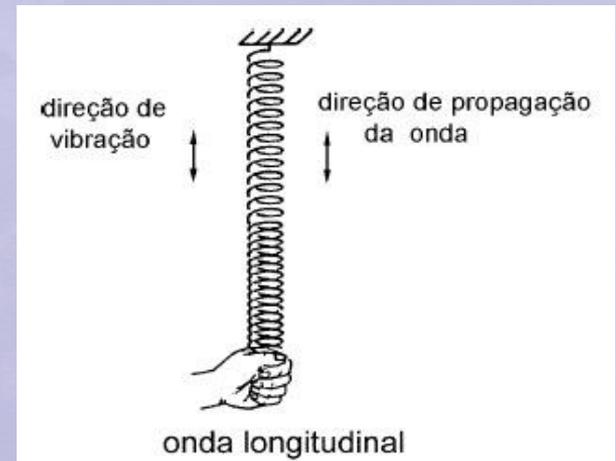
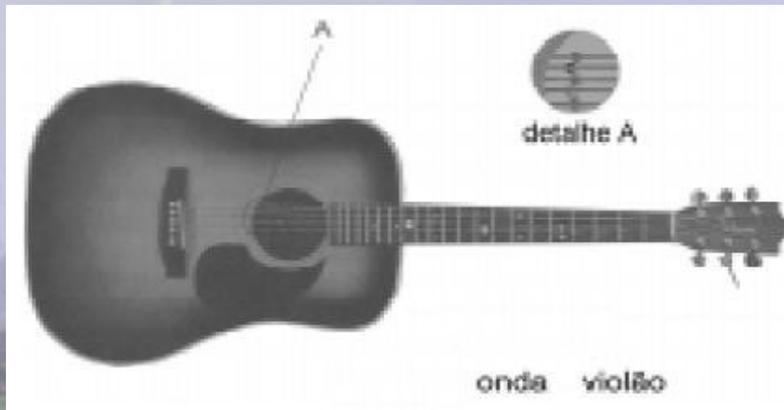
- Se você jogar uma pedra no centro de uma lagoa, no ponto em que a pedra atingir a água ocorrerá uma perturbação, que se propagará em todas as direções da superfície.



- *Onda é uma perturbação que se propaga através de um meio.*
- *Toda onda transmite energia, sem transportar matéria.*

Física do ultra-som

- Quanto à *natureza* podem ser:
 - Mecânicas : necessitam de um meio material para se propagar (ex. som).
 - Eletromagnéticas : não necessitam de um meio material para se propagar (ex. raios X, luz e raios gama).
- Quanto ao *sentido da vibração*, as ondas classificam-se em:
 - Transversais : vibram perpendicularmente à direção de propagação da onda.
 - Longitudinais : as partículas vibram na mesma direção da propagação da onda.

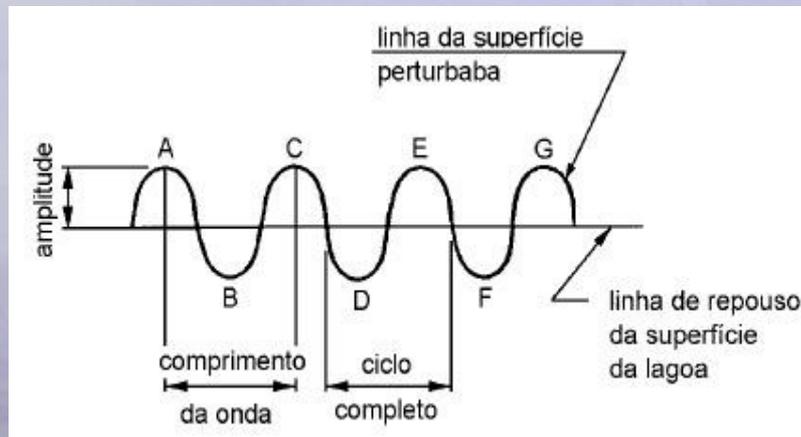


Física do ultra-som

- 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 *infra-som* e acima de 20000Hz, **ultra-som**.

Física do ultra-som

- Crista: são os pontos mais altos da onda (A, C, E, G);
- Vales: são os pontos mais baixos da onda (B, D, F);
- Comprimento: é a distância de uma crista à outra (*ou vale a outro*);
- Amplitude: é a altura da crista;
- Frequência: é o número de ciclos pela unidade de tempo (*Hz*);
- Ciclo (Período): tempo necessário para que o fenômeno se repita;
- Velocidade de propagação: a velocidade de propagação de uma onda é função do meio que ela percorre (som no ar = 330 m/s; tecidos moles: 1540 m/s).

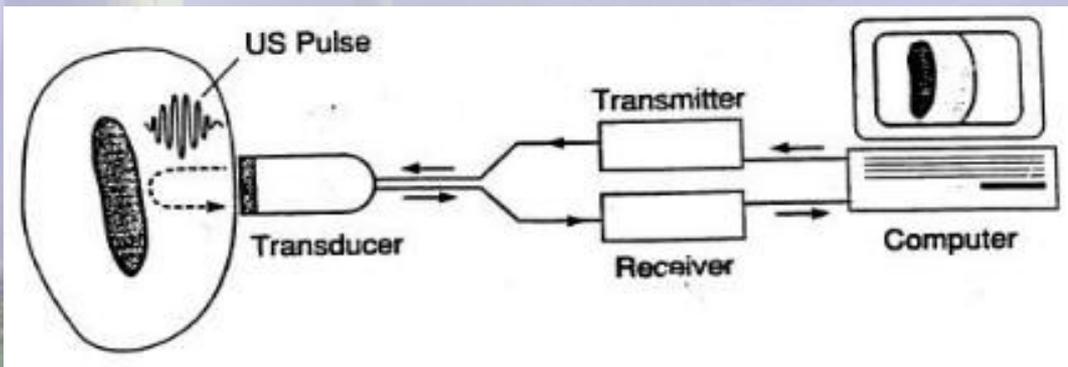
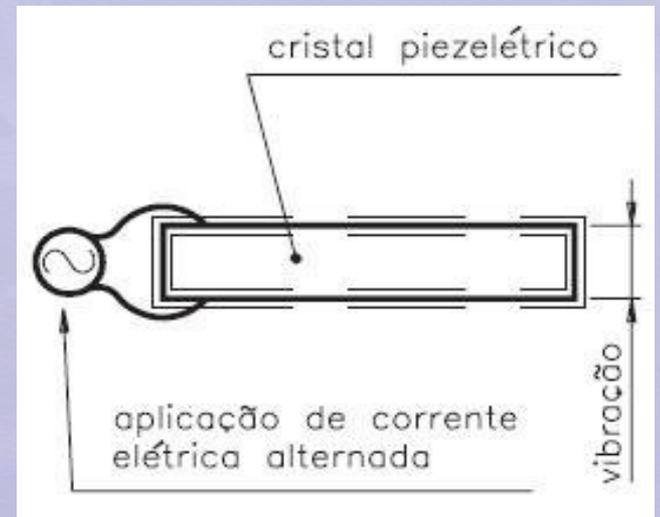
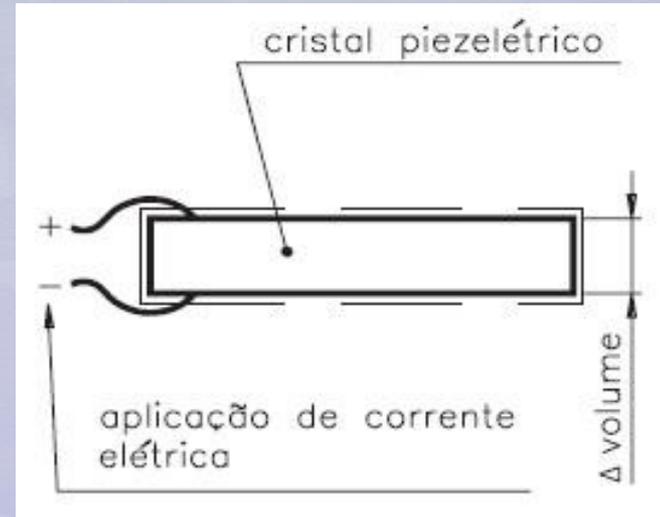


Física do ultra-som

Material	Velocidade m/s
Ar	330
Alumínio	6300
Cobre	4700
Ouro	3200
Aço	5900
Aço inoxidável	5800
Nylon	2600
Óleo(SAE 30)	1700
Água	1480
Prata	3600
Titânio	6100
Níquel	5600
Tungstênio	5200
Magnésio	5.800
Acrílico	2.700
Aço Inoxidável	5.800
Aço Fundido	4.800

Física do ultra-som

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



Física do ultra-som

- 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 ultra-som

Acoplante	Densidade (g/cm ³)	Velocidade da onda long. (m/s)	Impedância Acústica (g/cm ² .s)
Óleo (SAE 30)	0,9	1700	1,5 x 10 ³
Água	1,0	1480	1,48 x 10 ³
Glicerina	1,26	1920	2,4 x 10 ³
Carbox Metil Celulose (15g/l)	1,20	2300	2,76 x 10 ³
Aço	7,8	5.900	46 x 10 ³
Ar ou gas	0,0013	330	0,00043 x 10 ³
Aço inoxidável	7,8	5.800	45,4 x 10 ³
Alumínio	2,7	6.300	17,1 x 10 ³
Acrílico	1,18	2.700	3,1 x 10 ³
Cobre	8,9	4.700	41,6 x 10 ³

Física do ultra-som

- O “Bel” abreviado “B” é uma grandeza que define o nível de intensidade sonora (NIS) que compara as intensidades de dois sons quaisquer;

$$\text{NIS} = \log \frac{I}{I_0} \text{ B}$$

- Onde I e I_0 são medidas em (W/cm^2). Por outro lado, o decibel equivale a 1/10 do Bel e é normalmente utilizado para medidas de NIS;

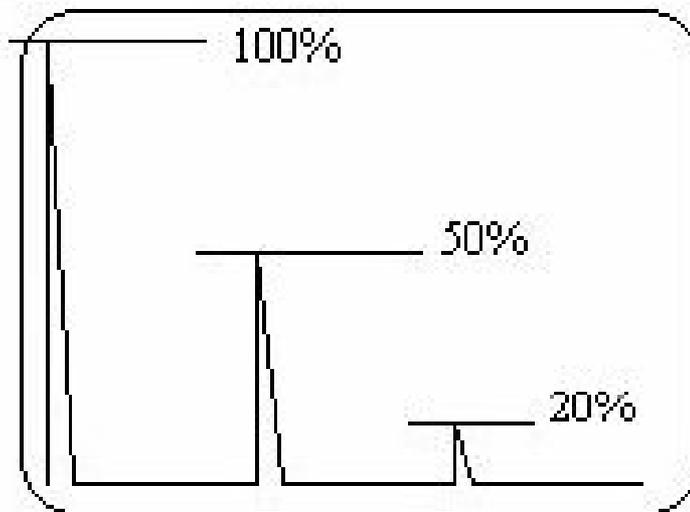
$$\text{NIS} = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB}$$

- Nível de amplitude sonora: comparação entre duas amplitudes de sinais, emitida e recebida pelo transdutor ultra-sônico, ou simplesmente conhecido por “**Ganho**”.

$$\text{NAS} = 20 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

Física do ultra-som

- Exemplo de aplicação:
 - Quais são os ganhos correspondentes a uma queda de 50% e 80% nas amplitudes de dois sinais na tela do aparelho de ultra-som, como mostrado na figura abaixo?



a) para variação de 50%

$$G = 20 \log 0,50 \text{ dB}$$
$$G = -6 \text{ dB}$$

b) para variação de 80 %

$$G = 20 \log 0,20 \text{ dB}$$
$$G = -14 \text{ dB}$$

Física do ultra-som

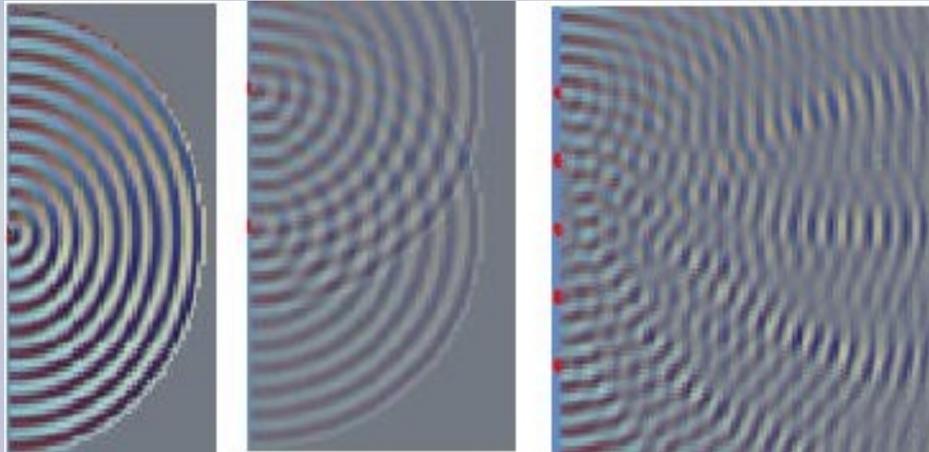
Nível de Intensidade Sonora

	Watts Acústicos	dB	
Avião a jato a 30m	10	130	Limiar de dor
Turbina de avião a 7m	1.0	120	
Trovão	.1	110	Show de rock
Motor de Caminhão	.01	100	
Picos muito fortes de música	.001	90	Música clássica (pp-fff - no palco)
Tráfego (carros) Pesado a 10m	.0001	80	
Média de uma fábrica	.00001	70	Conversa normal
Escritório ruidoso	.000001	60	
Média de um escritório	.0000001	50	Sala silenciosa
Média de uma residência	.00000001	40	
Brisa entre as árvores	.000000001	30	Estúdio de gravação silencioso
	.0000000001	20	
	.00000000001	10	
	.000000000001	0	Limiar de audição

Física do ultra-som

- ***Campo Próximo ou Zona de Fresnel***

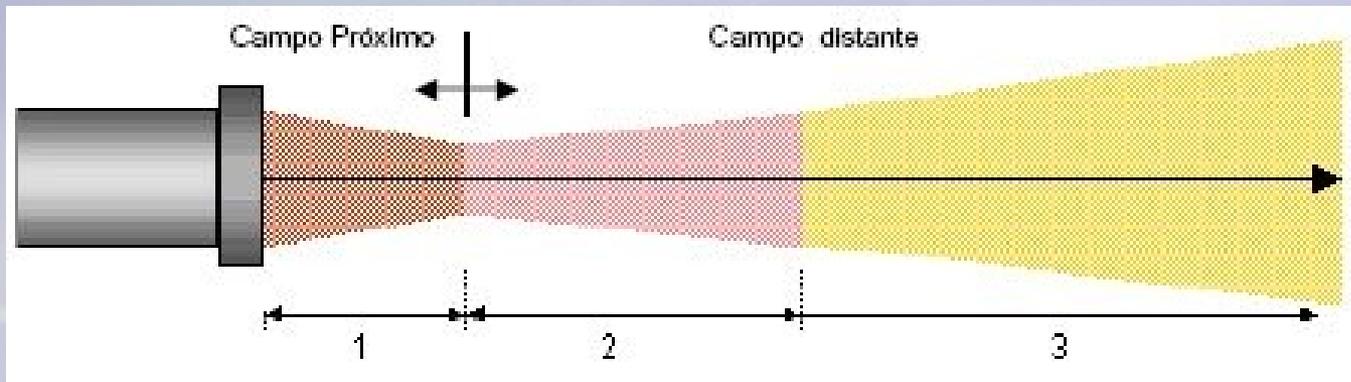
- Imaginemos que o cristal piezelétrico, seja formado por infinitos pontos oscilantes de forma que cada ponto produz ondas que se propagam no meio, desta forma cada ponto do cristal produzirá ondas esféricas no meio de propagação



- 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, tornado uma só frente de onda.

Física do ultra-som

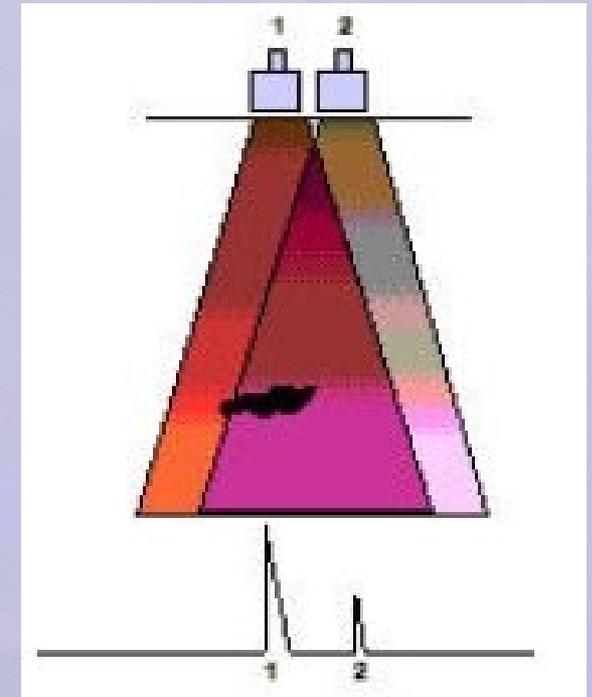
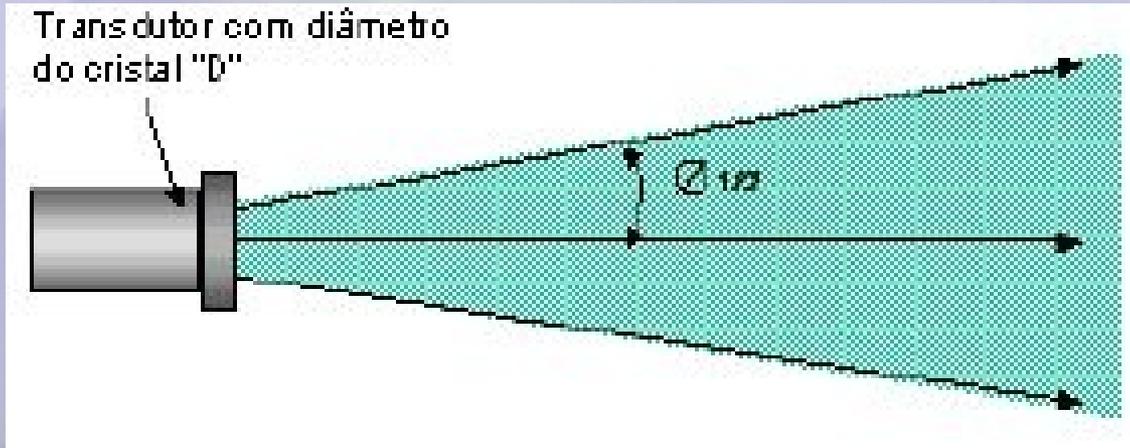
- ***Campo Longínquo ou Distante ou Zona de Fraunhofer***
 - Região que vem a seguir ao campo próximo. A onda sônica diverge igual a luz de uma lanterna em relação ao eixo central e diminui a intensidade com a distância.



- Campo sônico de um transdutor:
 - (1) pequenas discontinuidades são difíceis de serem detectadas (campo próximo);
 - (2) discontinuidades maiores podem ser detectadas; e
 - (3) onde qualquer discontinuidade compatível com o comprimento de onda pode ser detectada.

Física do ultra-som

- 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).

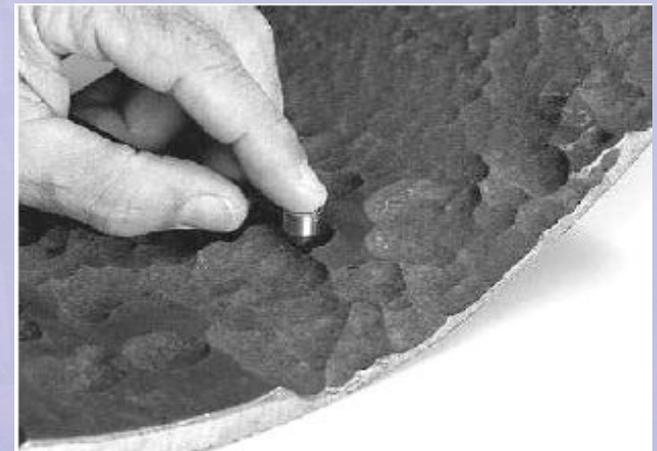
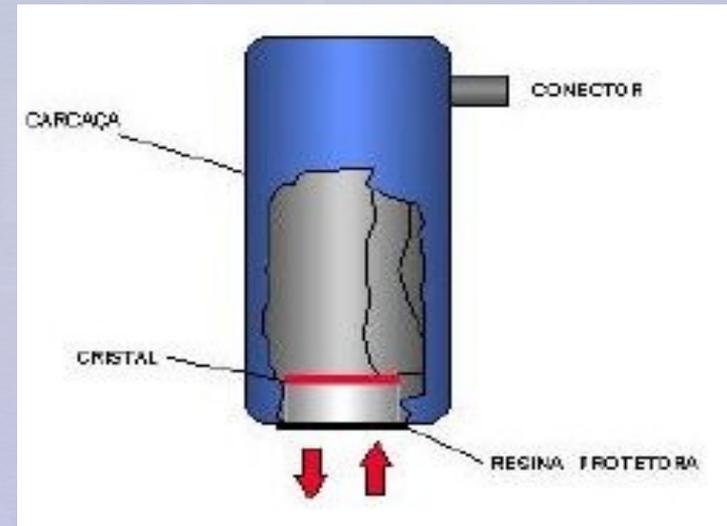


Física do ultra-som

- Materiais piezelétricos são: o quartzo, o sulfato de lítio, o titanato de bário, o metaniobato de chumbo e o zirconato-titanato de chumbo (PTZ).
- Os cristais acima mencionados são montados sobre uma base de suporte (bloco amortecedor) e junto com os eletrodos e a carcaça externa constituem o transdutor. Existem quatro tipos usuais de transdutores:
 - *Reto ou Normal;*
 - *Angular;*
 - *Duplo – cristal;*
 - *Phased Array.*

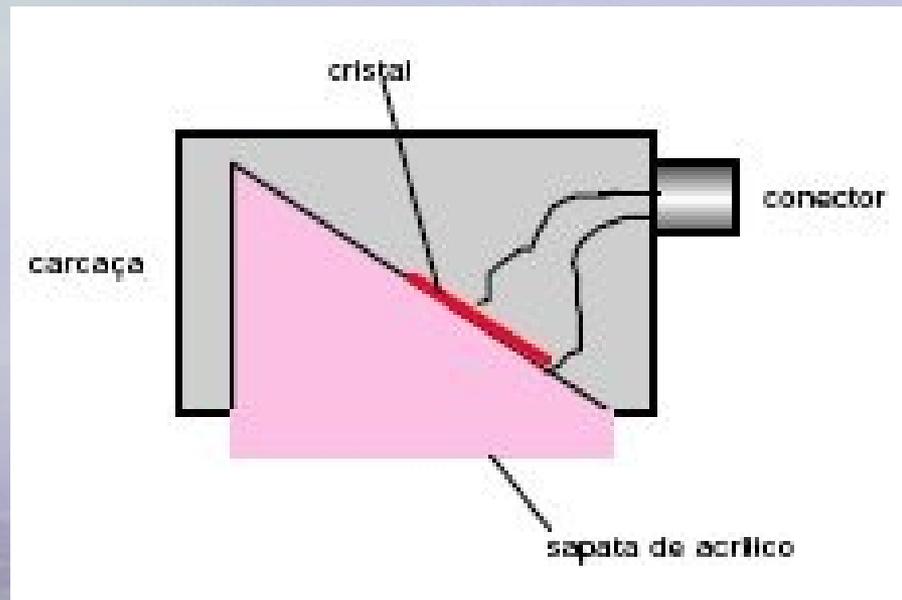
Física do ultra-som

- Tipo Normal: São cabeçotes monocristal geradores de ondas longitudinais perpendiculares a superfície de acoplamento. O transdutor emite um impulso ultra-sônico que atravessa o material a inspecionar e reflete nas interfaces, originando ecos. Estes ecos retornam ao transdutor e geram, no mesmo, o sinal elétrico correspondente.
- *Utilizados na inspeção de peças com superfícies paralelas ou quando se deseja detectar descontinuidade na direção perpendicular à superfície da peça.*



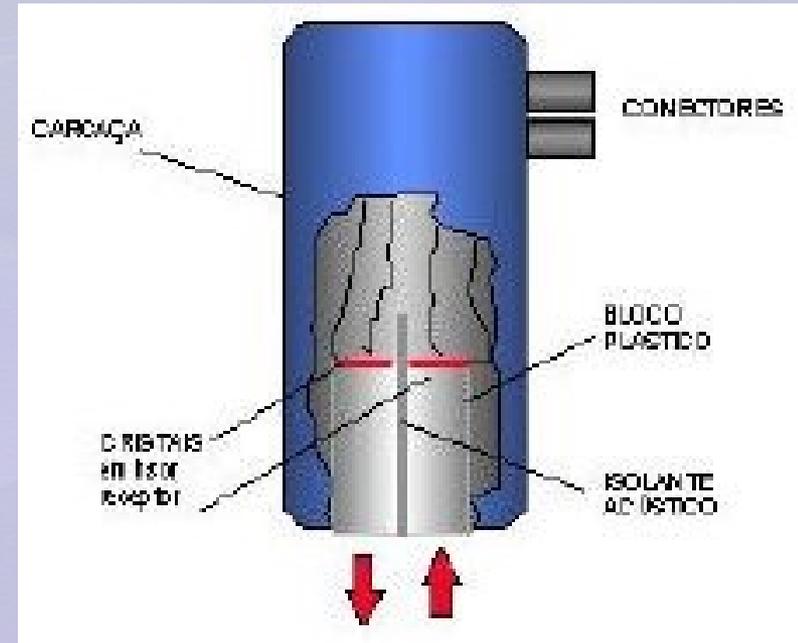
Física do ultra-som

- Tipo Angular: A rigor, diferem dos transdutores retos ou normais pelo fato do cristal formar um determinado ângulo com a superfície do material.
- O transdutor angular é utilizado quando a descontinuidade está orientada perpendicularmente à superfície da peça.



Física do ultra-som

- Tipo Duplo: São utilizados quando se trata de inspecionar ou medir materiais de reduzida espessura, ou quando se deseja detectar discontinuidades logo abaixo da superfície do material. Neste caso o cristal piezelétrico recebe uma “resposta” num espaço de tempo curto após a emissão. Neste transdutor cada um dos cristais funciona somente como emissor ou somente como receptor, separados por um material acústico isolante possibilitando uma resposta clara.

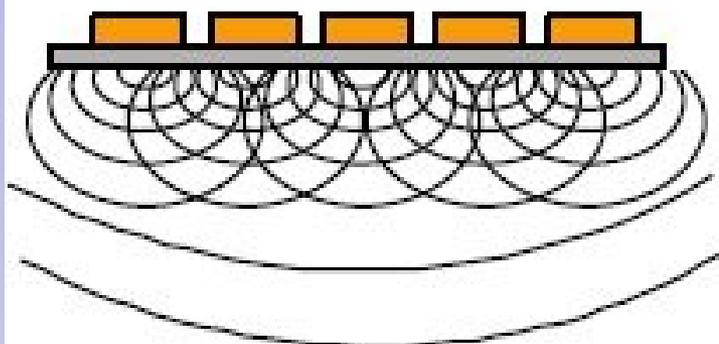


Física do ultra-som

- Phased Array: Os transdutores convencionais dispõem de um único cristal ou no máximo dois, em que o tempo de excitação do cristal é determinado pelo aparelho de ultra-som, sempre realizado de uma mesma forma. Com o avanço da tecnologia dos computadores e com materiais piezocompostos para fabricação de novos cristais, desde os anos 90 é possível num mesmo transdutor operar dezenas de pequenos cristais, cada um ligado à circuitos independentes capazes de controlar o tempo de excitação de cada um destes cristais. O resultado é a modificação do comportamento do feixe sônico emitido pelo conjunto de cristais ou pelo transdutor.

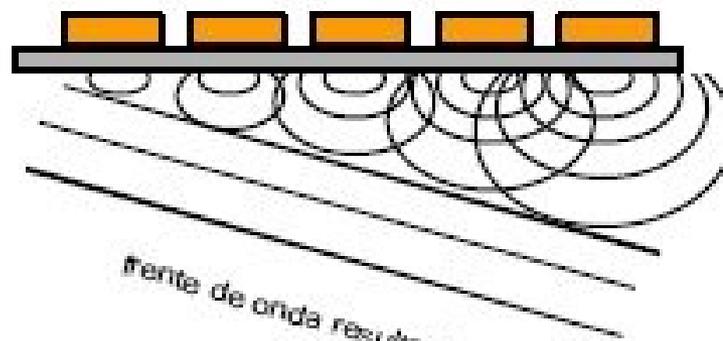
Física do ultra-som

cristais com sinal em fase



frente de onda resultante

cristais com sinal defasado no tempo



frente de onda resultante



Transdutores típico "Phased Array"

Efeitos biológicos do ultra-som

- *Grande número de pesquisas são realizadas para verificar os efeitos biológicos do ultra-som. Os resultados obtidos até agora conduzem à suposição de que **nenhum efeito biológico substancial tem sido verificado com feixe ultra-sônico de intensidade inferior a 100 mW/cm².***
- Os **efeitos térmicos** do ultra-som são decorrentes da energia absorvida e de sua transformação em calor ao atravessar o tecido biológico;
- O ultra-som causa vibrações mecânicas nos tecidos; as partículas são submetidas a ondas de compressão e rarefação. Pequenas cavidades formam-se em fluidos durante a fase de rarefação (*sucção*) e desaparecem na fase de compressão (*pressão*). (**efeito mecânico**)

Efeitos biológicos do ultra-som

- Os ***efeitos químicos*** do ultra-som são resultantes da oxidação, redução e despolimerização. A habilidade do ultra-som em despolimerizar macromoléculas como os polissacarídeos, várias proteínas ou o DNA isoladamente tem sido demonstrada experimentalmente.

Uso do ultra-som em END

- O ensaio por ultra-som, caracteriza-se:
 - Pela detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos;
 - Por visar diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidades.

Uso do ultra-som em END

- *Vantagens* em relação a outros ensaios:
 - A localização, avaliação do tamanho e interpretação das discontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultra-sônico;
 - Alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas discontinuidades internas, como trincas devido a tratamento térmico, fissuras e outros de difícil detecção por ensaio de radiações ionizantes;
 - Não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação.

Uso do ultra-som em END

- *Limitações em relação a outros ensaios:*
 - Requer grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor;
 - O registro permanente do teste não é facilmente obtido;
 - Faixas de espessuras muito finas, constituem uma dificuldade para aplicação do método;
 - Requer o preparo da superfície para sua aplicação.

Uso do ultra-som em END

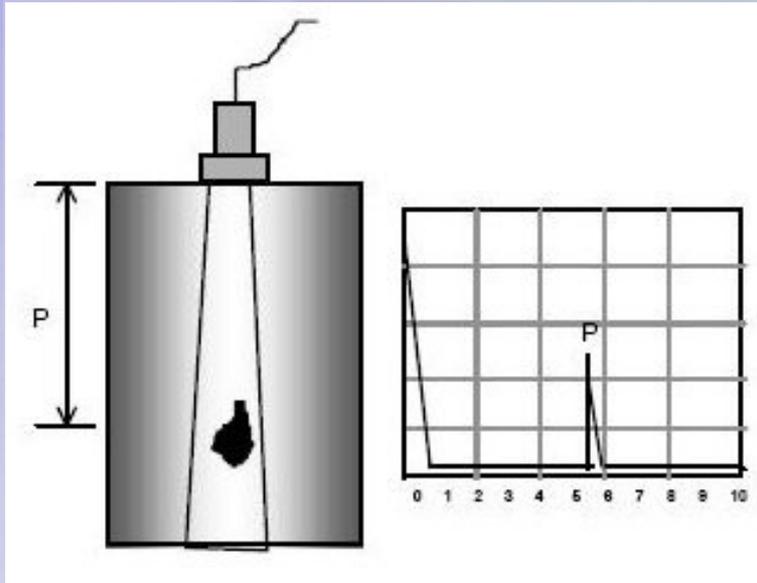
- As áreas de caldeiraria e estruturas marítimas, constituindo ferramenta indispensável para garantia da qualidade em de peças de grandes espessuras e geometria complexa de juntas soldadas;
- Os ensaios são aplicados em aços-carbonos, em menor porcentagem em aços inoxidáveis;
- Materiais não ferrosos são difíceis de serem examinados, e requerem procedimentos especiais.

Uso do ultra-som em END

- A inspeção de materiais por ultra-som pode ser efetuada através de três métodos ou técnicas:
 - *Técnica de Impulso-Eco ou Pulso-Eco;*
 - *Técnica de Transparência;*
 - *Técnica de Imersão.*



Uso do ultra-som em END



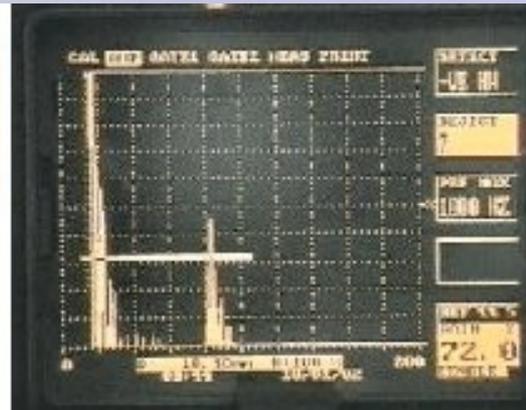
- *Técnica de Impulso-Eco ou Pulso-Eco*

- Somente um transdutor é responsável por emitir e receber as ondas ultra-sônicas que se propagam no material;
- O transdutor é acoplado em somente um lado do material;
- Pode-se verificar a profundidade da descontinuidade, suas dimensões, e localização na peça.

Uso do ultra-som em END

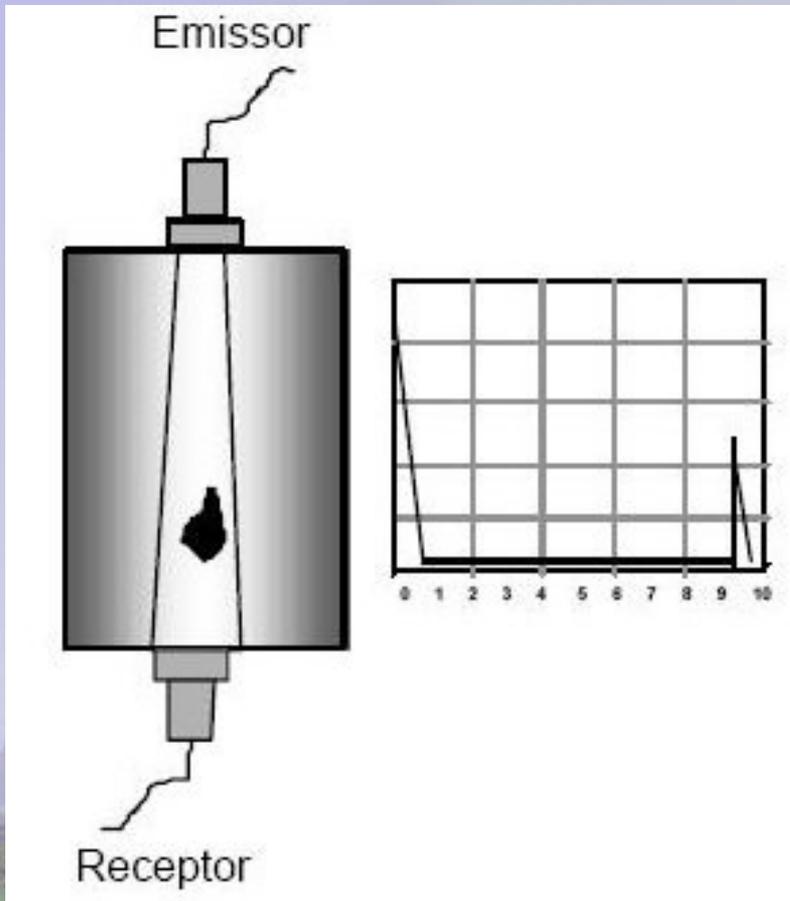
- *Técnica de Impulso-Eco ou Pulso-Eco*

- *Inspeção em fundidos e barras pela técnica pulso-eco por contato direto.*



Uso do ultra-som em END

- *Técnica de Transparência*



- São utilizados dois transdutores separados (nos dois lados da peça), um transmitindo e outro recebendo as ondas ultra-sônicas;
- Não se pode determinar a posição da descontinuidade, sua extensão, ou localização na peça, é somente um ensaio do tipo passa-não passa que estabelece um critério comparativo de avaliação do sinal recebido com uma peça sem descontinuidades;
- Pode ser aplicada para chapas, juntas soldadas, barras.

Uso do ultra-som em END

- *Técnica de Transparência*

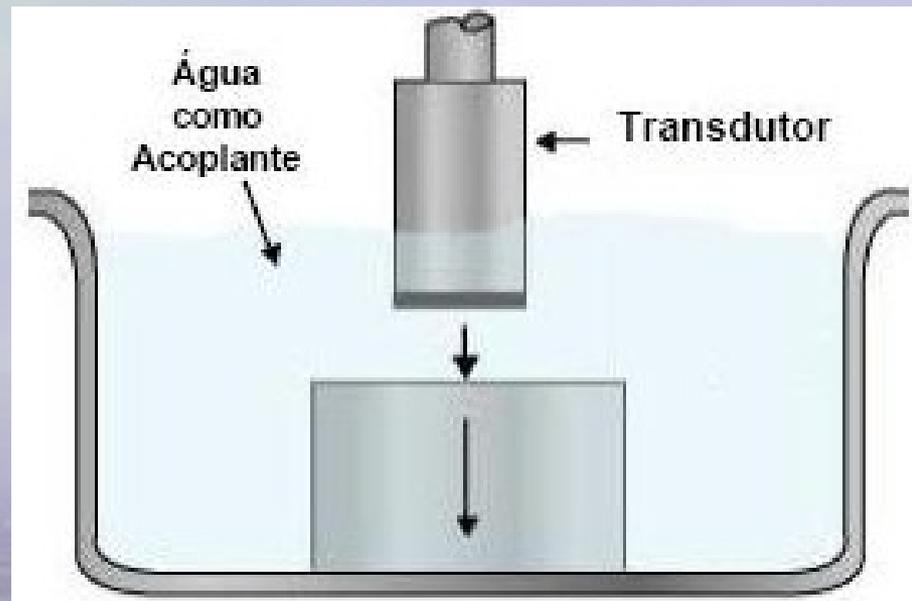
- Sistemas automáticos robotizados de inspeção por transparência usando transdutores com acoplamento por jato de água (water-jet)



Uso do ultra-som em END

- *Técnica de Imersão*

- É empregado um transdutor de imersão à prova d'água;
- O transdutor pode se movimentarem relação a superfície da peça;
- A peça é colocada dentro de um tanque com água, propiciando um acoplamento sempre homogêneo.



Curso Superior em Tecnologia em Radiologia

Unidade Curricular: Radiologia na Indústria

Professor: Luciano Santa Rita

Referência bibliográfica:

- ***TAUHATA, Luiz et al. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos . Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003***
- ***ANDREUCCI, Ricardo. Radiologia Industrial . São Paulo: ABENDE, 2006***
- ***ANDREUCCI, Ricardo. Proteção Radiológica: Aspectos Industriais . São Paulo: ABENDE, 2006***
- ***ANDREUCCI, Ricardo. Ensaios por Ultra-som: Aplicação Industrial . São Paulo: ABENDE, 2006***