

Radiologia Industrial



Prof. Luciano Santa Rita - MSc

www.lucianosantarita.pro.br

tecnologo@lucianosantarita.pro.br

Conteúdo programático

- Introdução a radiologia industrial
- Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria
- Certificação profissional
- Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia
- Acidentes radiológicos com gamagrafia
- Técnica de exposição radiográfica por equipamentos de raios X
- Registro radiográfico e qualidade de imagem
- Fontes de Nêutrons (Neutronografia)
- Tecnologia de escâneres
- Medidores Nucleares
- Plano de radioproteção
- Espectrometria gama, Pesquisa, NORM e TENORM
- Transporte de material radioativo

Introdução a Radiologia Industrial



654

Área Industrial

- Irradiação por Equipamento Gerador de Radiação (12)
- Irradiação por Fonte (6)
- Medidores Nucleares - Controle de Processos (467)
- Medidores Nucleares - Sistemas Portáteis (18)
- Perfilagem de Poços (11)
- Radiografia Industrial (85)
- Técnicas Analíticas (53)
- Traçadores Radioativos Industriais (2)

467

85

365

Aplicações de Segurança Pública

- Inspeção Corporal (148)

Área de Pesquisa

- Laboratório de Pesquisa (217)

Área de Comércio

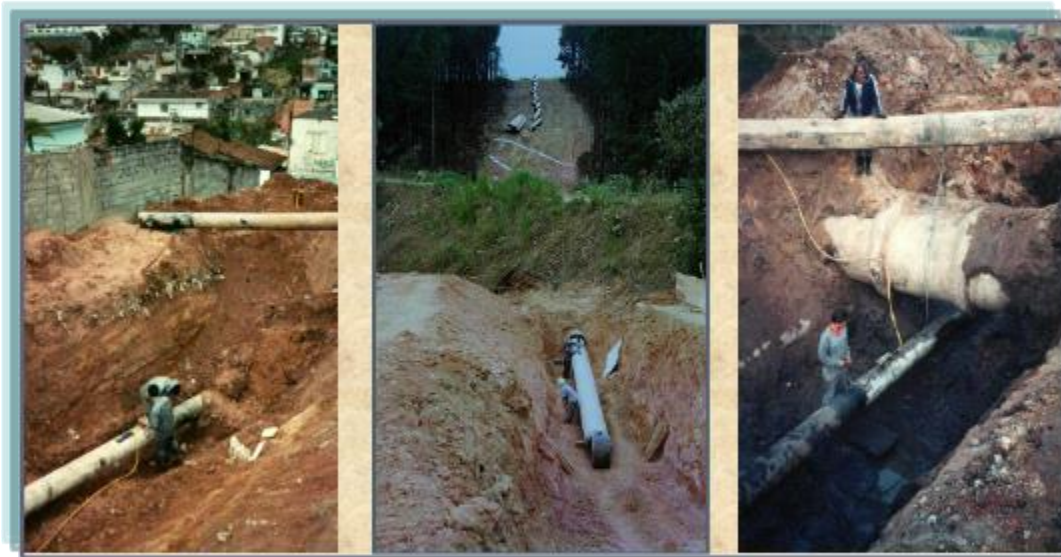
- Armazenamento de Fontes (1)
- Distribuição de Dispositivo com Fonte Incorporada Selada (9)
- Distribuição de Equipamentos Geradores de Radiação (5)
- Distribuição de Fontes (1)

56

Área de Serviços

- Desmontagem de Para-Raios (1)
- Inspeção de Bagagem e Contêineres (56)
- Laboratório de Calibração de Instrumentos (4)
- Laboratório de Monitoração Individual (5)
- Manutenção de Equipamentos Emissores (26)

Introdução a radiologia industrial



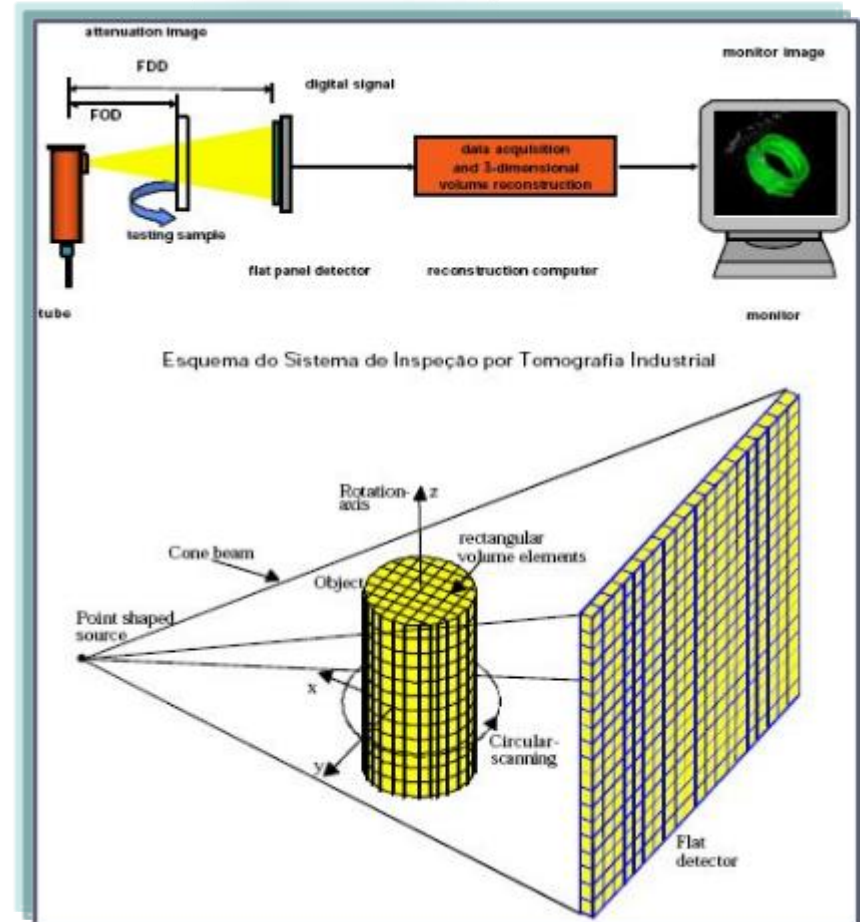
END por gamagrafia

Introdução a radiologia industrial



Medidores Nuclearres

Introdução a radiologia industrial



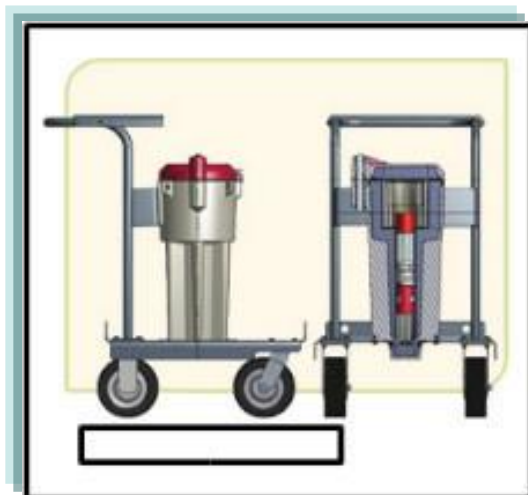
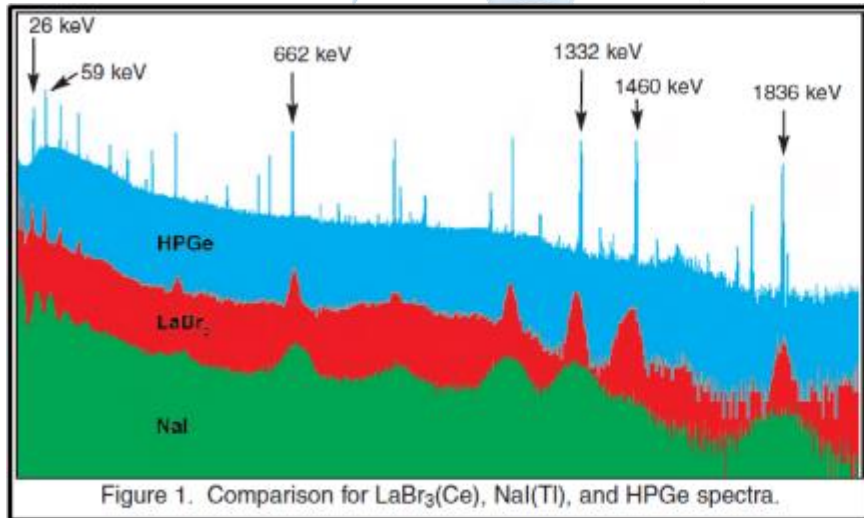
END por raios X

Introdução a radiologia industrial



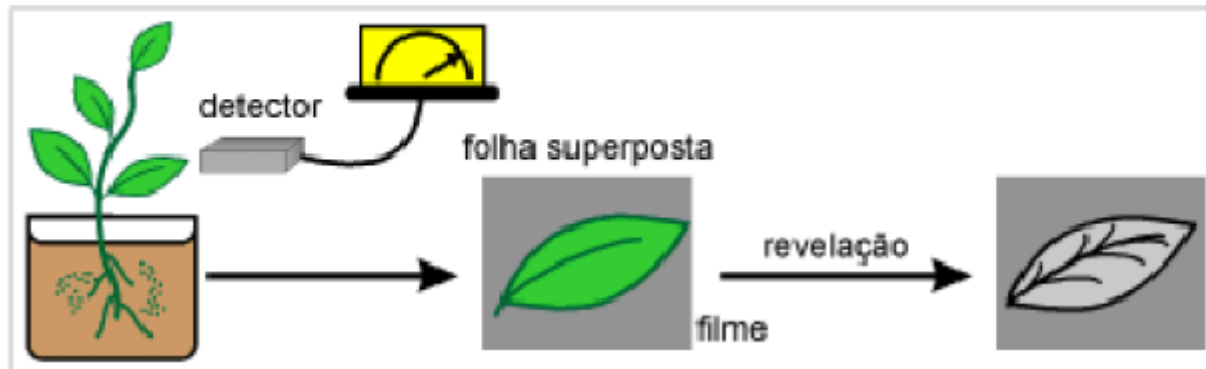
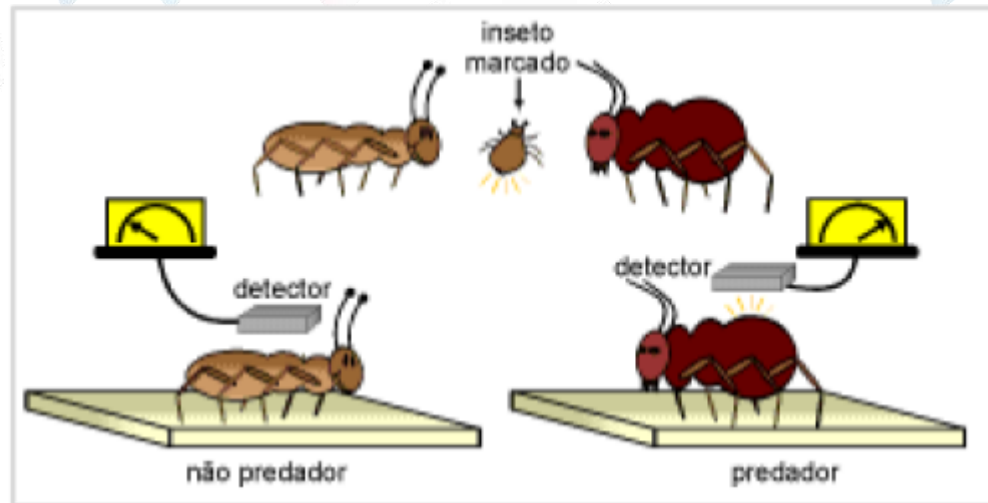
Escâneres

Introdução a radiologia industrial



Caracterização de matrizes orgânicas inorgânicas (Pesquisa)

Introdução a radiologia industrial



Radiotraçadores

Introdução a radiologia industrial



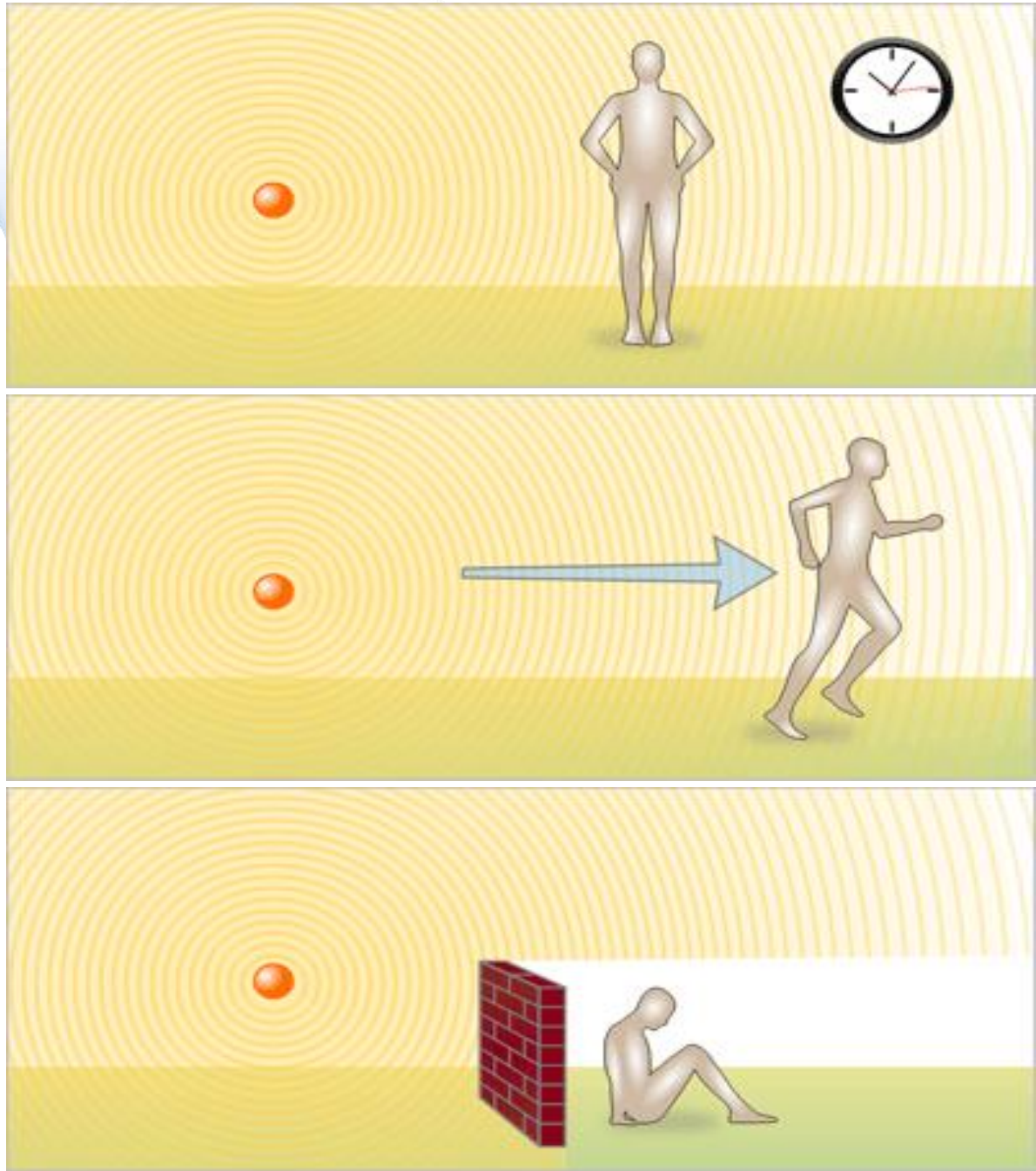
Transporte de material radioativo,
manutenção e segurança radiológica

Controle das radiações ionizantes aplicado a indústria

- ① Tempo, blindagem e distância
- ① Sinalização
- ① Cálculo de taxa de dose/exposição
- ① Classificação de áreas
- ① Métodos de detecção das radiações ionizantes



Tempo, blindagem e distância



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

Sinalização - Exemplo

- 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 $25\mu\text{Sv/h}$?

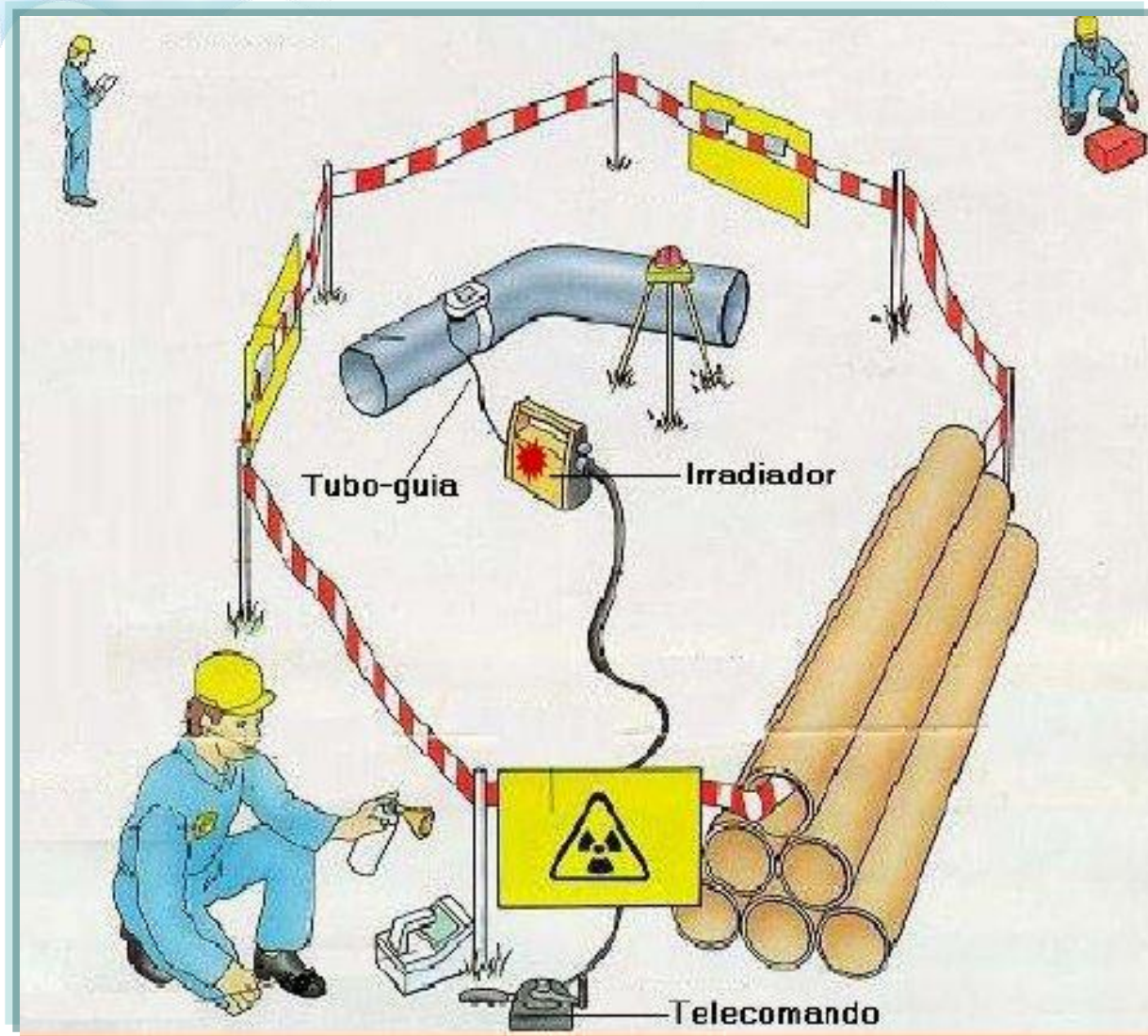
Resposta:

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

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



Cálculo de taxa de dose / exposição



Cálculo de taxa de dose

- Dose pode ser associada à atividade gama de uma fonte, pela expressão:

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

- Γ = constante de exposição de uma fonte pontual (Gamão);
- A = atividade da fonte radioativa;
- t = tempo de exposição;
- d = distância até a fonte.
- Esta relação vale para as seguintes condições:
 - a fonte é suficientemente pequena (puntiforme), de modo que a fluência de fótons varie com o inverso do quadrado da distância;
 - a atenuação na camada de ar intermediária entre a fonte e o ponto de medição é desprezível ou corrigida pelo fator de atenuação;
 - somente fótons provenientes da fonte contribuem para o ponto de medição, ou seja, que não haja espalhamento nos materiais circunvizinhos.

Cálculo de taxa de exposição

- Exposição pode ser associada à atividade gama de uma fonte, pela expressão:

$$X = \Gamma \cdot \frac{A \cdot t}{d^2}$$

- Γ = constante de exposição de uma fonte pontual (Gamão);
- A = atividade da fonte radioativa;
- t = tempo de exposição;
- d = distância até a fonte.
- Esta relação vale para as seguintes condições:
 - a fonte é suficientemente pequena (puntiforme), de modo que a fluência de fótons varie com o inverso do quadrado da distância;
 - a atenuação na camada de ar intermediária entre a fonte e o ponto de medição é desprezível ou corrigida pelo fator de atenuação;
 - somente fótons provenientes da fonte contribuem para o ponto de medição, ou seja, que não haja espalhamento nos materiais circunvizinhos.

Fator gama ou gamão (Γ)

Radionuclídeo	Γ (R.m ² /h.Ci)	Radionuclídeo	Γ (R.m ² /h.Ci)
¹³¹ I	0,22	⁷⁵ Se	0,15
¹²⁵ I	0,07	⁶⁰ Co	1,32
^{99m} Tc	0,12	²⁴ Na	1,84
¹⁹² Ir	0,48	¹⁹⁸ Au	0,23
²²⁶ Ra	0,83	¹²⁴ Sb	0,98
¹³⁷ Cs	0,33	⁵⁴ MN	0,47

Radionuclídeo	Γ (mSv.m ² /h.GBq)	Radionuclídeo	Γ (mSv.m ² /h.GBq)
¹³¹ I	5,2x10 ⁻²	⁷⁵ Se	3,6x10 ⁻²
¹²⁵ I	1,6x10 ⁻²	⁶⁰ Co	3,13x10 ⁻¹
^{99m} Tc	2,8x10 ⁻²	²⁴ Na	4,36x10 ⁻¹
¹⁹² Ir	1,1x10 ⁻¹	¹⁹⁸ Au	5,4x10 ⁻²
²²⁶ Ra	2,0x10 ⁻¹	¹²⁴ Sb	2,3x10 ⁻¹
¹³⁷ Cs	7,8x10 ⁻²	⁵⁴ MN	1,1x10 ⁻¹

Cálculo de taxa de dose / exposição

- 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?



Cálculo de taxa de dose / exposição

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

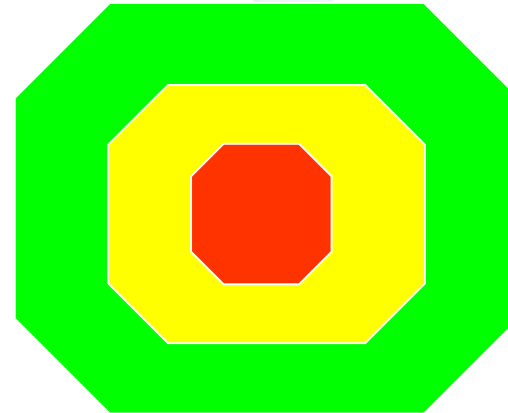
- O sistema de classificação de áreas é proposto para auxiliar o controle das exposições ocupacionais. Considera a designação dos locais de trabalho em dois tipos de áreas: áreas controladas e áreas supervisionadas.
- A definição dessas áreas deve levar em conta o discernimento e a experiência operacional. Em locais onde a possibilidade de contaminação por materiais radioativos é remota, as áreas podem ser, algumas vezes, definidas em termos da taxa de dose em seus contornos. O uso de fontes móveis demanda alguma flexibilidade na definição dessas áreas.
- As áreas devem ser classificadas sempre que houver previsão de exposição ocupacional e definidas claramente no Plano de Proteção Radiológica (PPR). Essa classificação deve ser revista, sempre que necessário, em função do modo de operação ou de qualquer modificação que possa alterar as condições de exposição normal ou potencial.

Classificação de áreas

- **Área controlada** - área sujeita a regras especiais de proteção e segurança, com a finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais.
- **Área supervisionada** - área para a qual as condições de exposição ocupacional são mantidas sob supervisão, mesmo que medidas de proteção e segurança específicas não sejam normalmente necessárias.
- **Área livre** - qualquer área que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada.

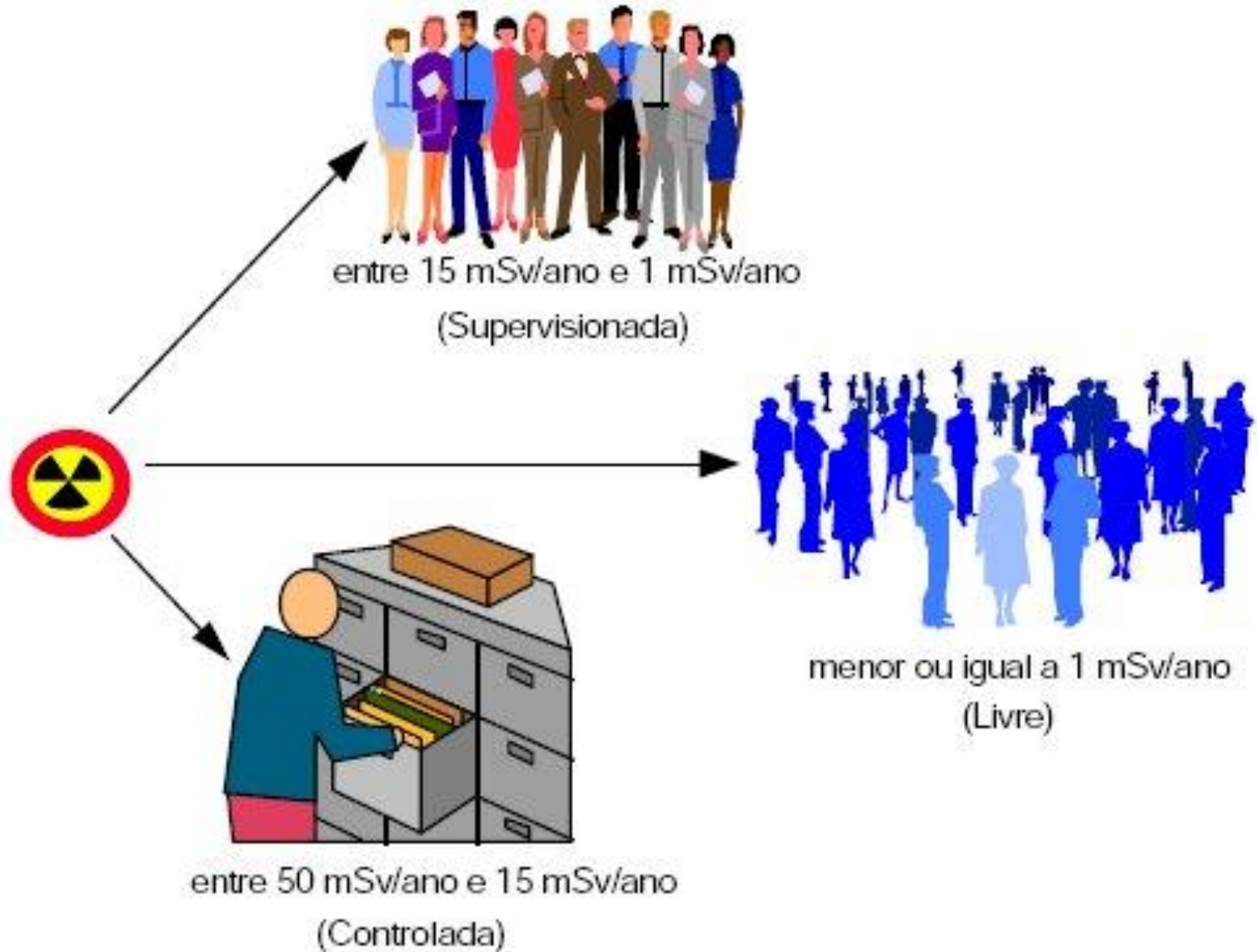
Classificação de áreas

-  *Área livre*
-  *Área supervisionada*
-  *Área controlada*



- Deve ser classificada como *área livre* qualquer área da instalação que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada.
- Em condições normais de operação, a dose para indivíduos nas áreas livres não deve ultrapassar o limite previsto para indivíduos do público, isto é, 1 mSv/ano ou fração proporcional ao tempo de permanência na área.

Classificação de áreas - Níveis de ação



Métodos de detecção das radiações ionizantes

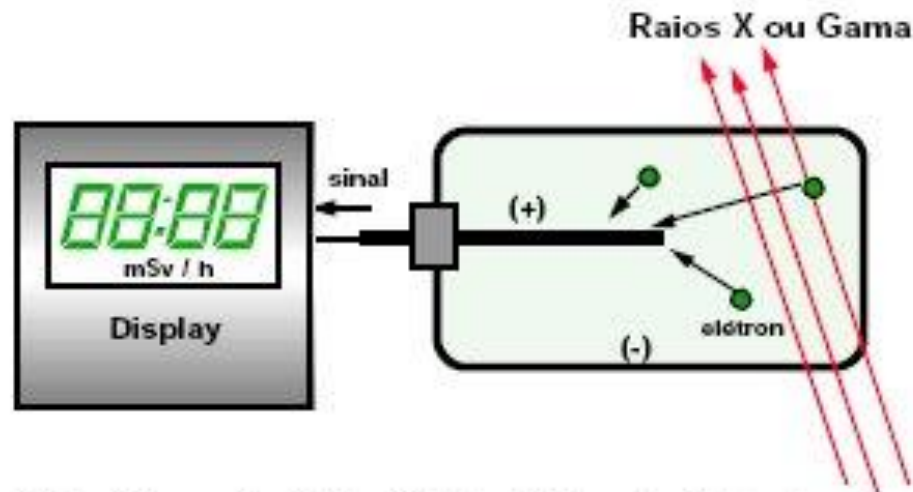


À gás

Câmara de ionização

Contador proporcional

Geiger - Müller



Detetor Gasoso tipo Geiger Muller e Câmara de Ionização

Métodos de detecção das radiações ionizantes

- Devido ao baixo custo desse detector, grande sensibilidade às partículas eletricamente carregadas, versatilidade nas formas, dimensões e janelas, pulsos elétricos altos são largamente utilizados como monitores de áreas de trabalho, monitores de contaminação em laboratórios, e até monitores portáteis ou de bolso para o controle individual das radiações.



Métodos de detecção das radiações ionizantes

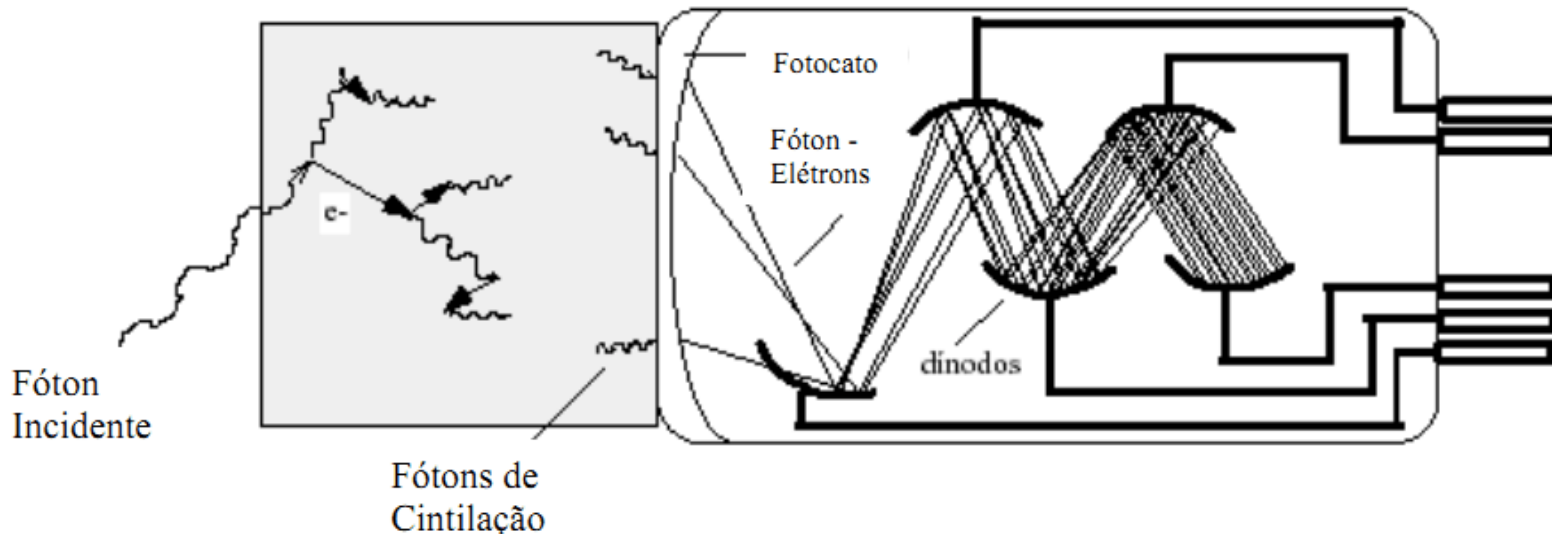


Cintilador

$\left\{ \begin{array}{l} \text{NaI(Tl)} \\ \text{LaBr}_3(\text{Ce}) \end{array} \right.$

Cristal NaI (Tl)

Fotomultiplicadora



Certificação Profissional

- ① **ABENDI** (Associação Brasileira de Ensaios 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.
- ① **CNEN** (Comissão Nacional de Energia Nuclear) - É o órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e licenciam, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil.

Certificação Profissional - CNEN

- Registro de operadores (NN-7.02; mar/2013) - *validade 3 anos*
- Certificação de Supervisores de proteção radiológica (NN-7.01; mai/2016) - *validade 5 anos*

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



[Perguntas Frequentes](#)

[Fale Conosco](#)

[Unidades da CNEN](#)

[PÁGINA INICIAL](#) > [NORMAS](#)



[Quem Somos](#)

[Emergência Radiológica](#)

[Normas](#)

Certificação e Registro de Pessoas

[NN 1.01](#) [Licenciamento de Operadores de Reatores Nucleares \(Resolução CNEN 170/14\)](#)

[retornar](#)

[NN 1.17](#) [Qualificação de Pessoal e Certificação para Ensaio Não-destrutivo em Itens de Instalações Nucleares \(Resolução CNEN 118/11\)](#)

[NN 6.01](#) [Requisitos para o Registro de Pessoas Físicas para o Preparo, Uso e Manuseio Fontes Radioativas \(Resolução CNEN 005/99\)](#)

[NN 7.01](#) [Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica \(Resolução CNEN 194/16\)](#)

[NN 7.02](#) [Registro de Operadores de Radiografia Industrial \(Resolução CNEN 144/13\)](#)

Registro de operadores - NN-7.02

Requisitos para Operador de Radiografia Industrial I:

- ❑ ter idade igual ou superior a 18 (dezoito) anos;
- ❑ possuir experiência de, pelo menos, 5 (cinco) meses na atividade de radiografia industrial, comprovada por meio do histórico de dose individual;
- ❑ ter concluído com aproveitamento, há menos de dois anos da data da solicitação do registro, um curso de proteção radiológica específico às atribuições de operador de radiografia industrial, com carga horária mínima de 80 (oitenta) horas, ministrado por SPR certificado pela CNEN, na área de atuação de radiografia industrial, há pelo menos 5 (cinco) anos;
- ❑ possuir experiência operacional, com acompanhamento de, no mínimo, 50 (cinquenta) operações em radiografia industrial utilizando equipamentos emissores de radiação gama ou raios-X, comprovada por meio de formulário assinado pelo SPR da instalação radiativa; e
- ❑ estar em perfeitas condições física e psicológica para atividades em campo.

Requisitos para Operador de Radiografia Industrial II:

- ❑ O candidato a Operador de Radiografia Industrial II deve comprovar experiência de, pelo menos, 06 (seis) meses como Operador I registrado na CNEN.

Registro de operadores - NN-7.02

- Os deveres do Operador de Radiografia Industrial I são:
 - operar com segurança os irradiadores de gamagrafia e aparelhos de raios X para fins de radiografia industrial;
 - zelar pela segurança e proteção física das fontes e dos irradiadores de gamagrafia e aparelhos de raios X para fins de radiografia industrial;
 - utilizar monitores individuais e medidores de radiação de área durante o trabalho com radiação;
 - cumprir os requisitos das resoluções da CNEN e do Plano de Proteção Radiológica da instalação em que estiver trabalhando; e
 - levar imediatamente ao conhecimento do Operador de Radiografia Industrial II ou do Supervisor de Proteção Radiológica quaisquer deficiências observadas nos dispositivos de segurança e de monitoração, bem como quaisquer condições de perigo de que venha a tomar conhecimento.

Registro de operadores - NN-7.02

- Os deveres do Operador de Radiografia Industrial II são:
 - ser o responsável pela segurança e proteção radiológica das operações de radiografia industrial nas frentes de trabalho;
 - operar com segurança os irradiadores de gamagrafia e aparelhos de raios X para fins de radiografia industrial;
 - zelar pela segurança e proteção física das fontes e dos irradiadores de gamagrafia e aparelhos de raios X para fins de radiografia industrial;
 - utilizar monitores individuais e medidores de radiação de área durante o trabalho com radiação;
 - assumir o controle inicial e aplicar as ações previstas nos procedimentos de situações de emergência;
 - cumprir os requisitos das Resoluções da CNEN e do Plano de Proteção Radiológica da instalação em que estiver trabalhando e;
 - levar imediatamente ao conhecimento do Supervisor de Proteção Radiológica quaisquer deficiências observadas nos dispositivos de segurança e de monitoração, bem como quaisquer condições de perigo de que venha a tomar conhecimento.

Certificação de supervisores de proteção radiológica (SPR) - NN-7.01

- As áreas de atuação para as quais a CNEN certifica os SPR são agrupadas por classes I ou II. As áreas de atuação, por classe, e seus respectivos tempos de experiência requeridos no processo de certificação encontram-se relacionados na norma NN-7.01.
- Para obter a certificação, o candidato deve possuir diploma de nível superior de graduação tecnólogo (bacharel, licenciado ou **tecnólogo**), reconhecido pelo Ministério da Educação, nas seguintes áreas do conhecimento:
 - I. ciências exatas e da terra;
 - II. ciências biológicas;
 - III. engenharias;
 - IV. ciências da saúde;
 - V. ciências agrárias; ou
 - VI. ***ciências radiológicas.***
 - ❖ *A formação acadêmica do candidato deve ser compatível com a área de atuação pretendida.*

Certificação de supervisores de proteção radiológica (SPR) - NN-7.01, Áreas de Atuação

Sigla	Áreas de Atuação da Classe I	Tempo de Experiência (h)
I-EI	Usina de Enriquecimento Isotópico	2.000
I-FC	Usina de Fabricação de Elemento Combustível	2.000
I-FQ	Instalação de Processamento Físico e Químico de Materiais Irradiados	2.000
I-MM	Mina e Usina de Beneficiamento Físico e Químico de U e Th	2.000
I-PH	Usina de Produção de UF ₄ e UF ₆	2.000
I-RP	Reator Nuclear de Pesquisa e Unidades Críticas e Subcríticas	300
I-UN	Usina Nucleoelétrica	400 ^[a]
I-PR	Instalação com Acelerador de Partículas para Produção de Radioisótopos	400
I-AI	Instalação com Acelerador para Fins Industriais ou Inspeção de Cargas	400
I-GP	Instalação Industrial de Grande Porte com Irradiador de Cobalto	400
I-IR	Instalação de Gamagrafia Industrial e ou de Radiografia Industrial com Equipamentos Geradores de Raios X (V > 600 kV)	300
I-RF	Instalação de Radiofarmácia Industrial ou Centralizada	400
I-RT	Instalação de Radioterapia	350
I-SC	Instalação de Calibração de Instrumentos com Fontes de Radiação	300
I-MI	Mina e Usina de Beneficiamento Físico, Químico e Metalúrgico de Minérios Com U ou Th Associados	300
I-DR	Depósito Intermediário ou Depósito Final de Rejeitos Radioativos: Gerência de Rejeitos	300

Certificação de supervisores de proteção radiológica (SPR) - NN-7.01, Áreas de Atuação

Sigla	Áreas de Atuação da Classe II	Tempo de Experiência (h)
II-FM	Instalação na Área de Medicina Nuclear	200
II-MN	Instalação com Medidor Nuclear Fixo ou Móvel	100
II-PP	Instalação com Serviço de Perfilagem de Poços	200
II-RI	Instalação de Radiografia Industrial com Equipamentos Geradores de Raios X ($V \leq 600$ kV)	200
II-TI	Instalação com Serviço com Traçador Radioativo Industrial	100
II-DI	Depósito Inicial de Rejeitos Radiativos da Classe 2 ^[b] : Gerência de Rejeitos	200
II-TR	Serviço de Transporte de Material Radioativo	100

[a] horas efetivas em área controlada

[b] conforme a classificação estabelecida na Norma CNEN NN 8.01 Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação

Certificação de supervisores de proteção radiológica (SPR) - NN-7.01

- Os **deveres** dos supervisores de proteção radiológica são:
 - manter sob controle, em conformidade com requisitos de normas específicas e condições autorizadas pela CNEN: as fontes de radiação; a liberação de efluentes e os rejeitos radioativos; as condições de proteção radiológica dos indivíduos ocupacionalmente expostos e do público; as áreas supervisionadas e controladas; e os equipamentos de proteção radiológica e monitoração da radiação;
 - manter o titular da instalação informado sobre eventos relevantes relativos à segurança e proteção radiológica;
 - comunicar imediatamente ao titular da instalação a ocorrência de irregularidades constatadas com fontes de radiação e as ações necessárias para garantir a proteção radiológica da instalação ou do serviço, em cumprimento às normas da CNEN, bem como manter registro dessa comunicação;
 - treinar, orientar e avaliar o desempenho dos indivíduos ocupacionalmente expostos, sob o ponto de vista de segurança nuclear ou radiológica e proteção radiológica;

Certificação de supervisores de proteção radiológica (SPR) - NN-7.01

- ② Os *deveres* dos supervisores de proteção radiológica são (cont.):
 - ❑ atuar em situações de emergência nuclear ou radiológica, de acordo com o previsto no plano de emergência, investigando e implementando as ações corretivas e preventivas aplicáveis;
 - ❑ estabelecer por escrito, manter atualizado e verificar a aplicação do plano de proteção radiológica da instalação, bem como dos planos e procedimentos para o uso, manuseio, acondicionamento, transporte e armazenamento de fontes de radiação;
 - ❑ estabelecer, avaliar e manter atualizados e disponíveis para verificação os registros e indicadores referentes ao serviço de proteção radiológica da instalação;
 - ❑ manter-se atualizado sobre conceitos e tecnologias relacionados à segurança nuclear ou radiológica, à proteção radiológica e aos regulamentos aplicáveis; e
 - ❑ comunicar à CNEN, no prazo máximo de trinta dias, seu desligamento de qualquer instalação ou serviço de transporte ou demais serviços onde atue como supervisor de proteção radiológica.

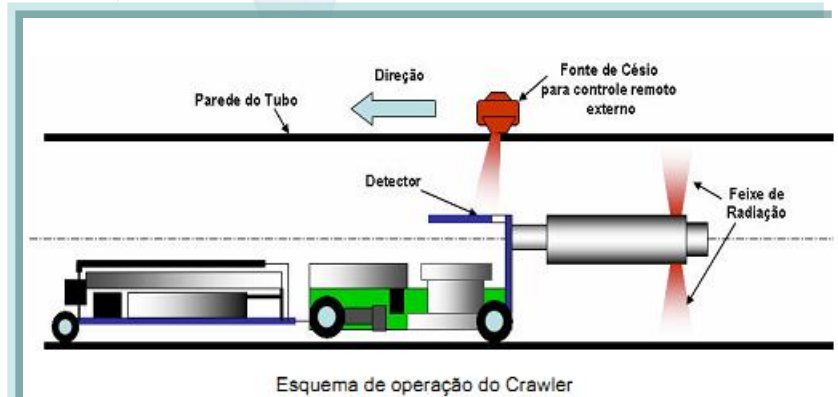
Certificação de supervisores de proteção radiológica (SPR) - NN-7.01

- ② O **exame de certificação** é constituído por provas, conforme é especificado a seguir. As provas têm carácter eliminatório e seus programas são apresentados no Manual do Candidato, disponível no portal da CNEN na internet: www.cnen.gov.br.
- ② Para candidatos a supervisor de proteção radiológica nas **áreas de atuação da Classe I**, o exame para certificação compreende as seguintes provas:
 - I. Prova 1: prova escrita sobre aspectos gerais de proteção radiológica e segurança nuclear e radiológica;
 - II. Prova 2: prova escrita sobre licenciamento, proteção radiológica e segurança nuclear e radiológica, abrangendo tópicos da área de atuação específica; e
 - III. Prova 3: prova de conhecimentos práticos, podendo ser escrita ou oral, abrangendo assuntos específicos as áreas de atuação.

Certificação de supervisores de proteção radiológica (SPR) - NN-7.01

- ④ Para candidatos a supervisor de proteção radiológica nas **áreas de atuação da Classe II**, o exame para certificação compreende as seguintes provas:
 - I. Prova 1: prova escrita sobre aspectos gerais de proteção radiológica e segurança nuclear e radiológica;
 - II. Prova 2: prova escrita sobre licenciamento, segurança radiológica e proteção radiológica, abrangendo tópicos da área de atuação específica.
- ④ São considerados **aprovados no exame de certificação** os candidatos que obtiverem, numa escala de 0 (zero) a 10 (dez), nota igual ou superior a 7,0 (sete) em cada uma das provas. A cada ano, só poderá realizar a prova específica o candidato que for aprovado na prova geral correspondente daquele mesmo ano.

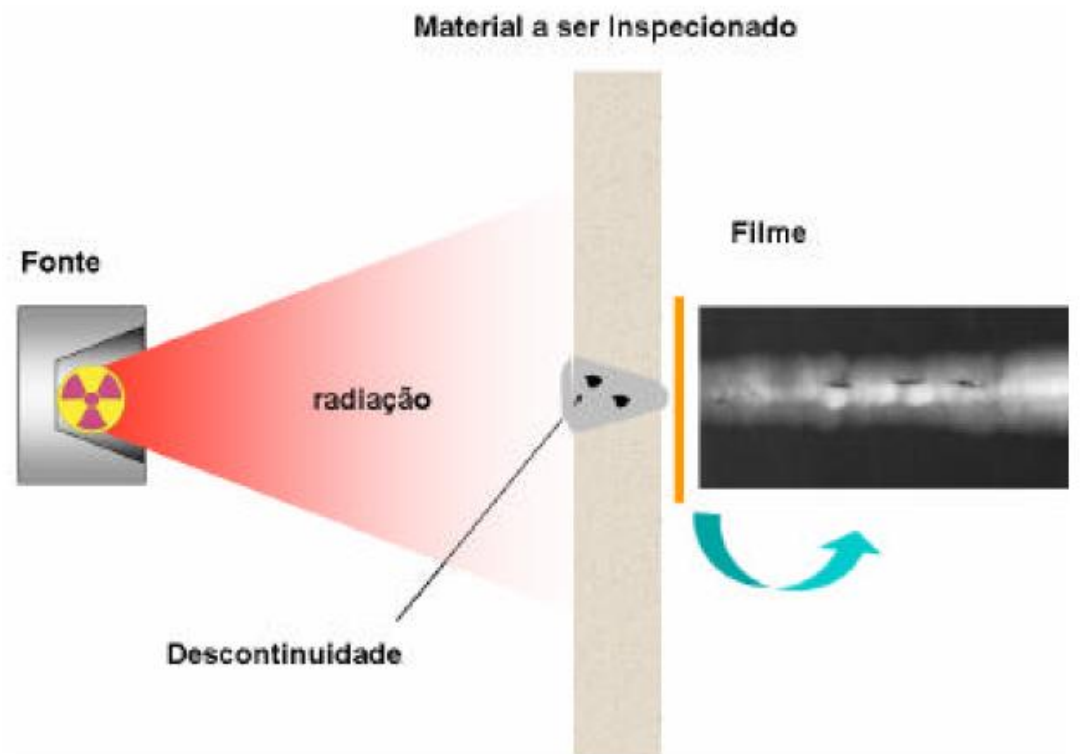
Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia



Crawler sendo testado antes de operar dentro da tubulação
Foto extraída do website: <http://www.sievert.in/Weprovide/crawler.html>

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

- Método que pode detectar com alta sensibilidade descontinuidades com poucos milímetros de extensão, possibilitando comprovação da qualidade da peça ou componente em conformidade com os requisitos das normas, especificações e códigos de fabricação. Utilizado em diversos seguimentos da indústria.

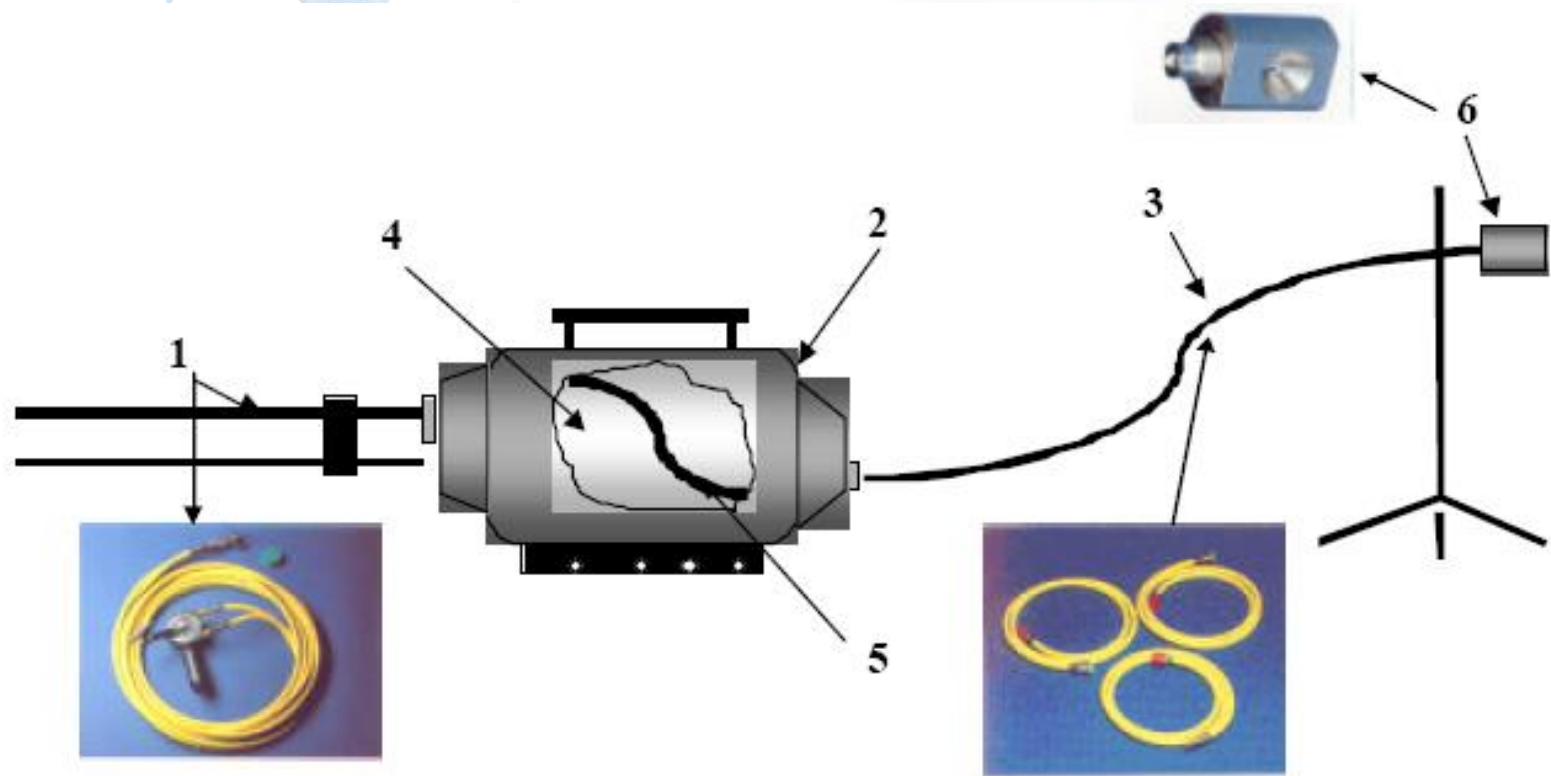


Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia



Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

Irradiadores de gamagrafia - Esquema



1 = Cabo de Comando ou tele-comando

2 = Irradiador

3 = Tubo Guia (flexível)

4 = Blindagem de Urânio Metálico

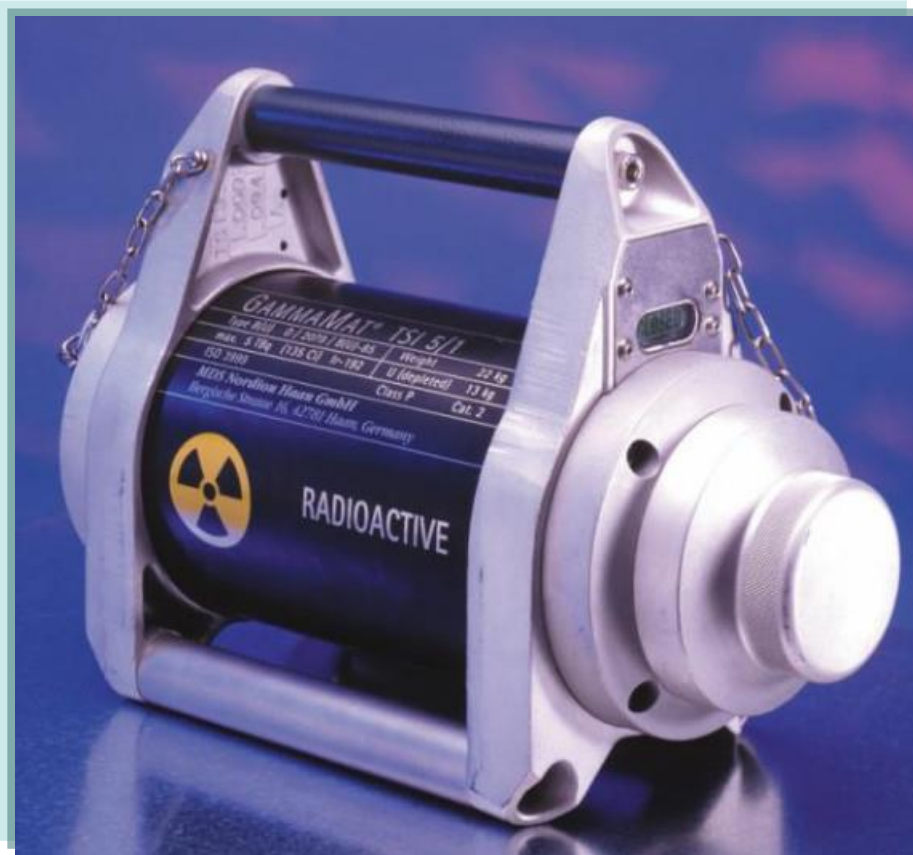
5 = Canal de trânsito da fonte em "S"

6 = Colimador

Esquema do Equipamento para Gamagrafia Industrial

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

● Irradiadores de gamagrafia



- Fonte de ^{192}Ir
- Atividade: 3,0 - 5,0 TBq
- Blindagem de urânio exaurido: 11 - 13 kg
- Peso total: 19 - 22 kg
- Faixa de operação: -40 a +50 °C

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

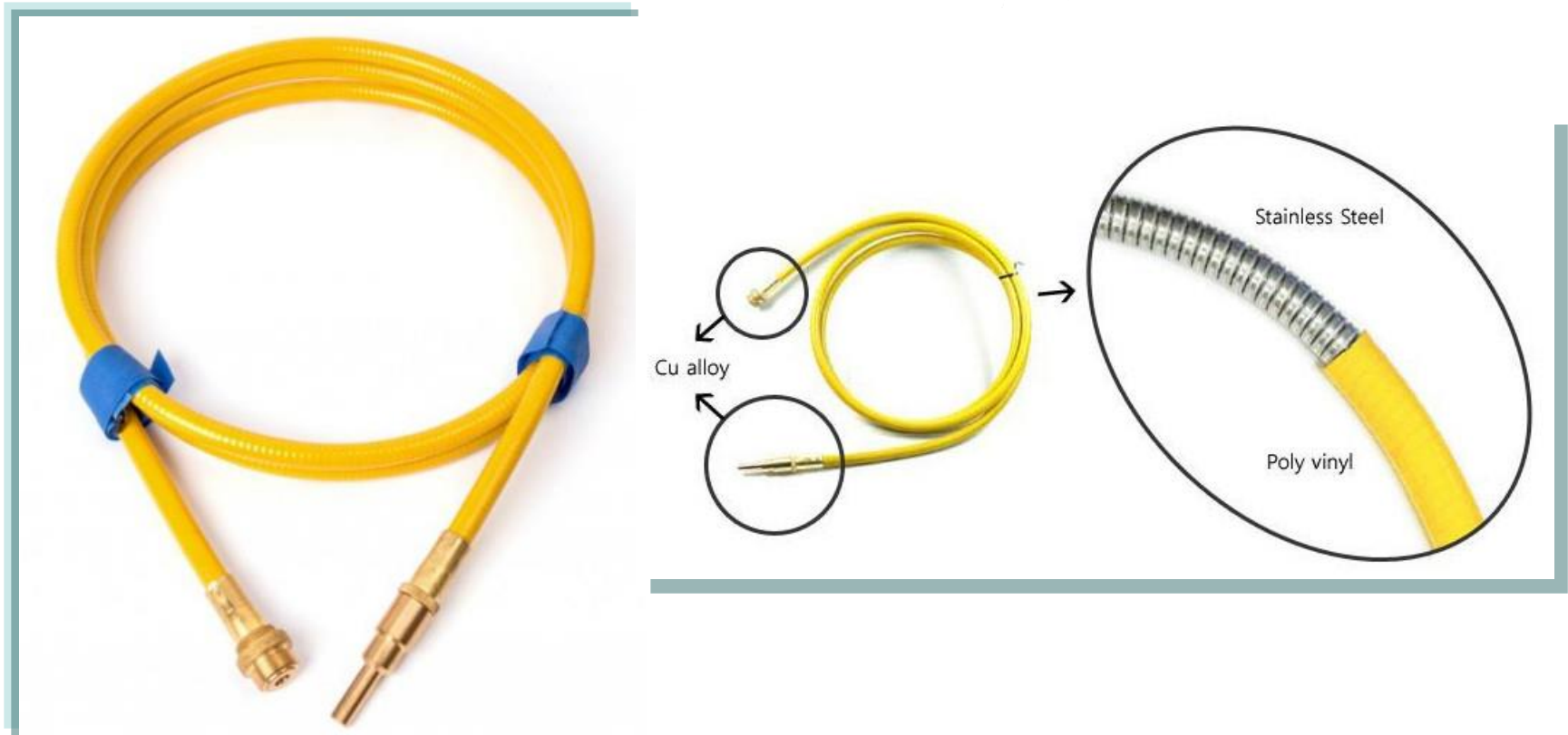
Irradiadores de gamagrafia



- Fonte de ^{75}Se
- Atividade: 3,00 - 4,44 TBq
- Blindagem de urânio exaurido: 2,7 kg
- Peso total: 7,2 kg
- Faixa de operação: -40 a +50 °C

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

- Irradiadores de gamagrafia - componentes (tubo guia)



Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

- Irradiadores de gamagrafia - componentes (cabo comando)



Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

● Irradiadores de gamagrafia - componentes (colimador)



- 5HVL - fator de redução de 20 vezes para ^{192}Ir
- 8HVL - fator de redução de 72 vezes para ^{192}Ir
- Peso: 0,9 - 1,8 kg

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

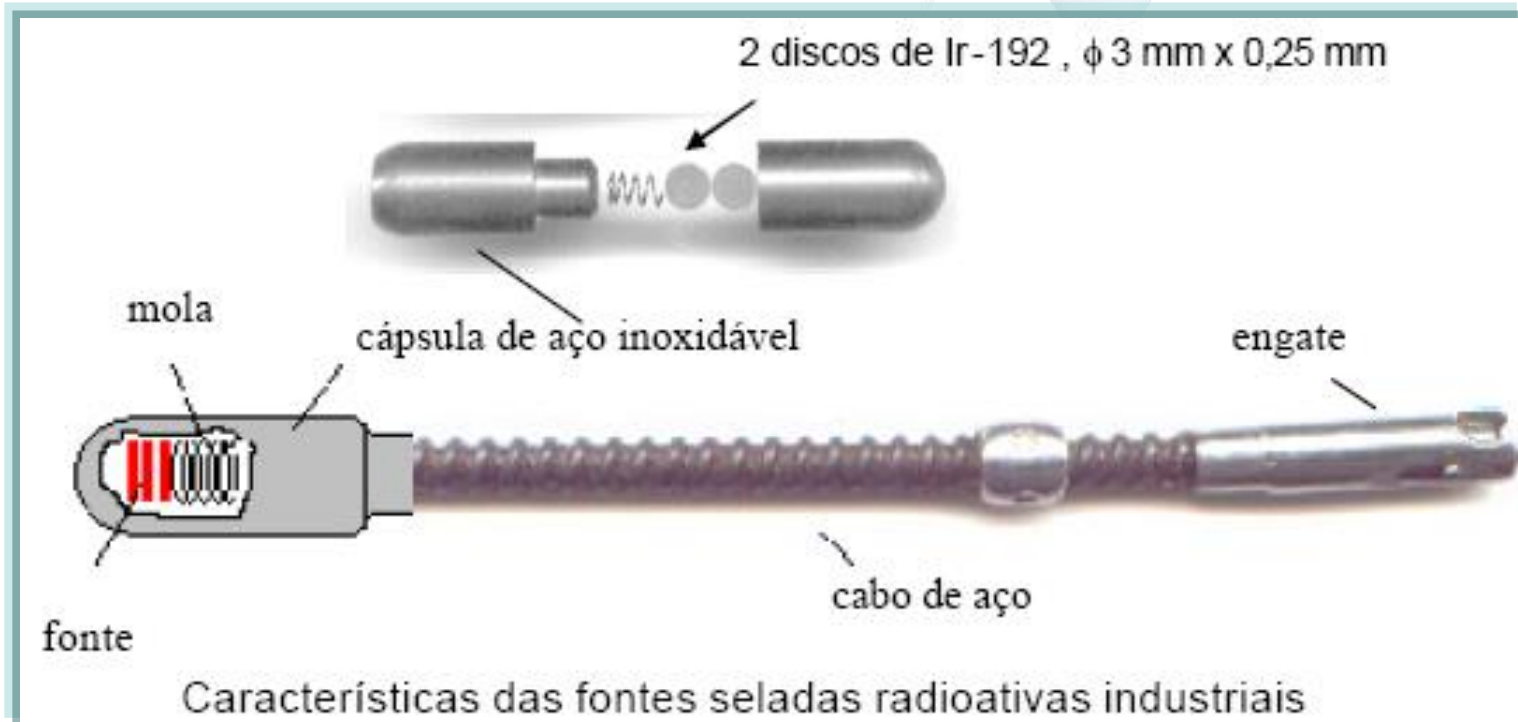
● Categorização de fontes pela AIEA (IAEA -TECDOC-1344)

Categoria	Fonte	Exemplos	Atividade (TBq)
1	Extremamente perigosa	Radioterapia (^{60}Co)	$4,0 \times 10^3$
2	Muito perigosa	Gamagrafia (^{60}Co , ^{192}Ir e ^{75}Se), Braquiterapia HDR (^{192}Ir e ^{60}Co)	$6,0 \times 10^1 - 1,0 \times 10^2$ $6,0 \times 10^0 - 1,0 \times 10^1$
3	Perigosa	Medidores de nível (^{60}Co e ^{137}Cs)	$5,0 \times 10^0$
4	Provavelmente não perigosa	Medidores de espessura (^{85}Kr e ^{90}Sr), Braquiterapia LDR (^{125}I e ^{198}Au)	$1,0 \times 10^{-1} - 1,0 \times 10^0$ $4,0 \times 10^{-2} - 8,0 \times 10^{-2}$
5	Não perigosa	PET (^{68}Ge)	$3,0 \times 10^{-3}$

- **Categoria 1 (A/D) > 1000**
- **Categoria 2 (A/D) 10,0 - 1000**
- **Categoria 3 (A/D) 1,0 - 10,0**
- **Categoria 4 (A/D) 0,01 - 1,0**
- **Categoria 5 (A/D) < 0,01**

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

Irradiadores de gamagrafia - estrutura da fonte



Se-75 :

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

Ir-192 :

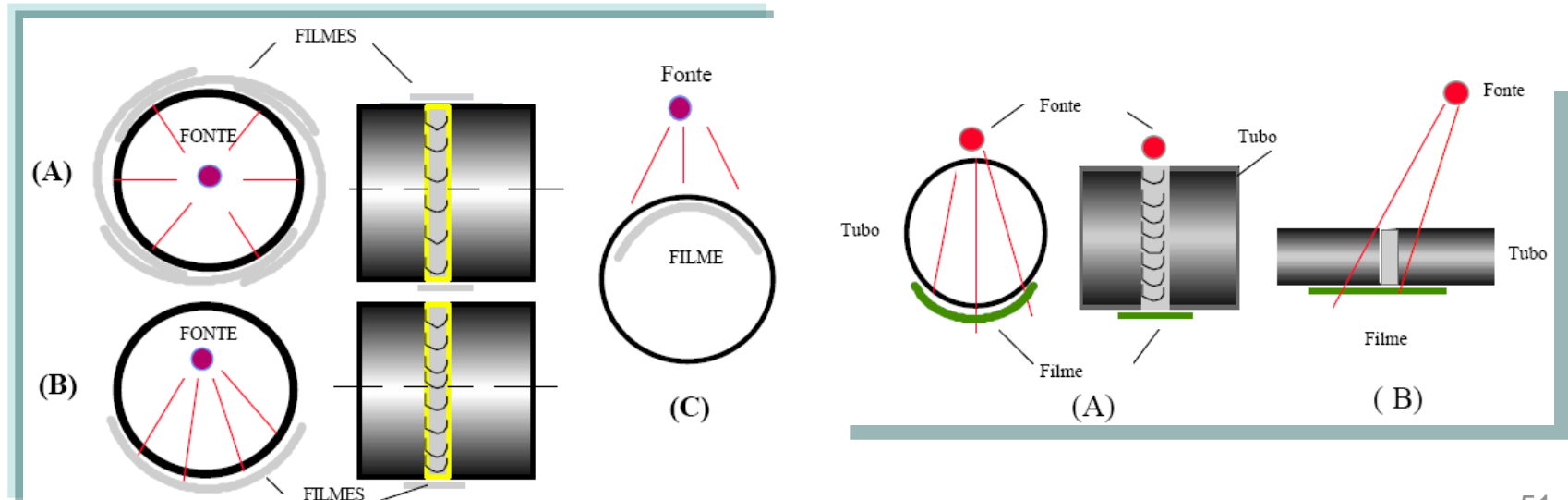
- Faixa de utilização mais efetiva = 10 a 40 mm de aço.

Co-60 :

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

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

- Técnica de Parede Simples - PS-VS
- Técnica de Parede Simples - PS-VS (Panorâmica)
- Técnica de Parede Dupla - PD-VS
- Técnica de Parede Dupla - PD-VD

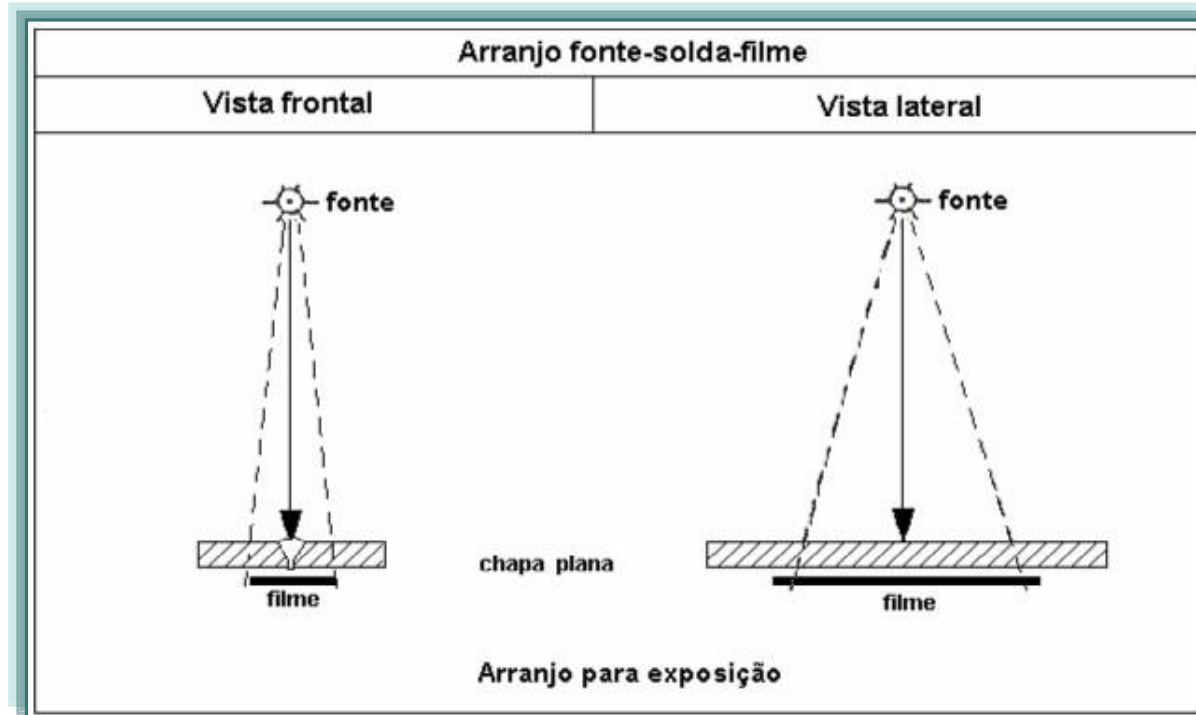


Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

🕒 Técnica de Parede Simples - PS-VS

- ❑ 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.

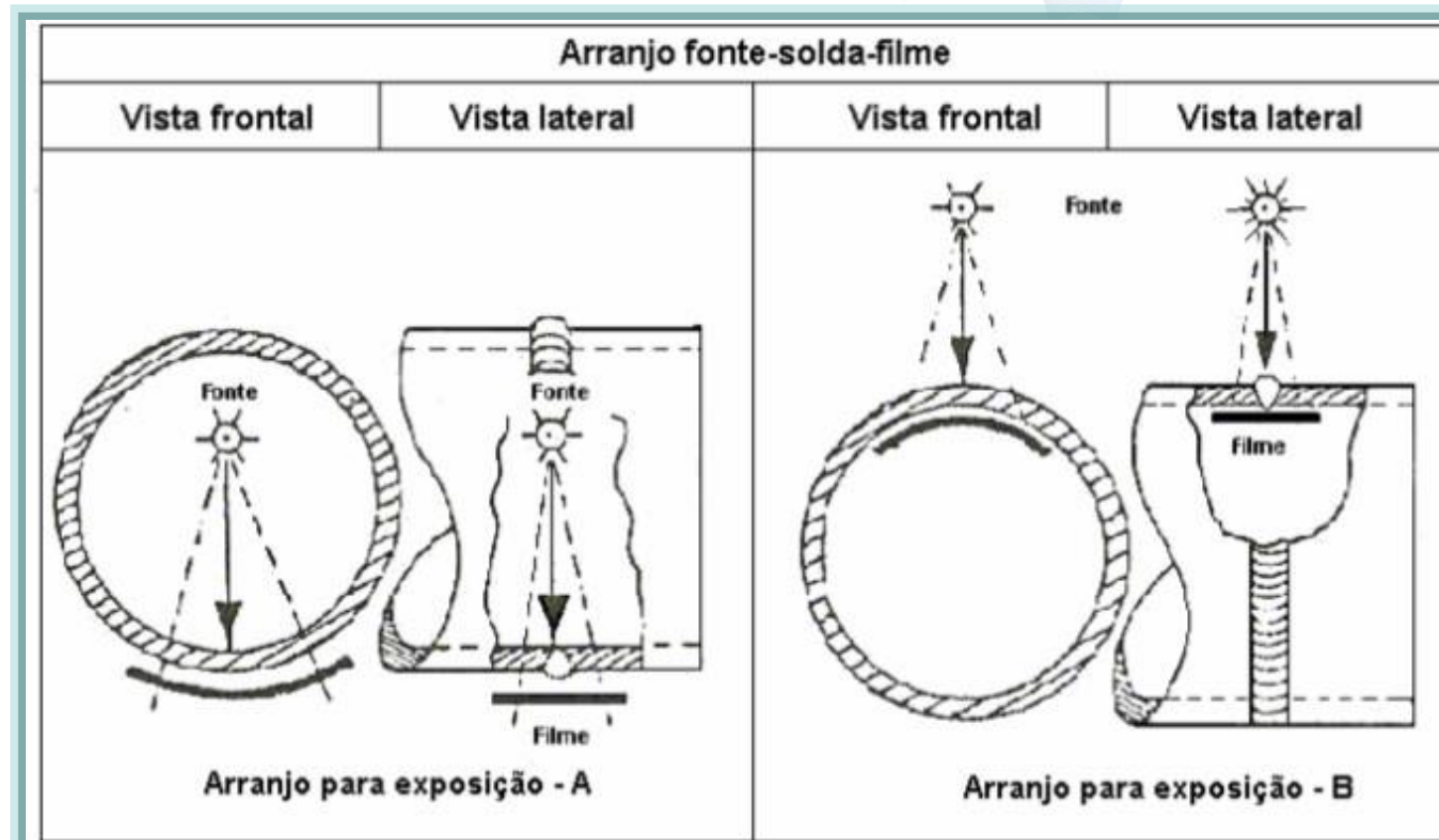
Chapas planas



Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

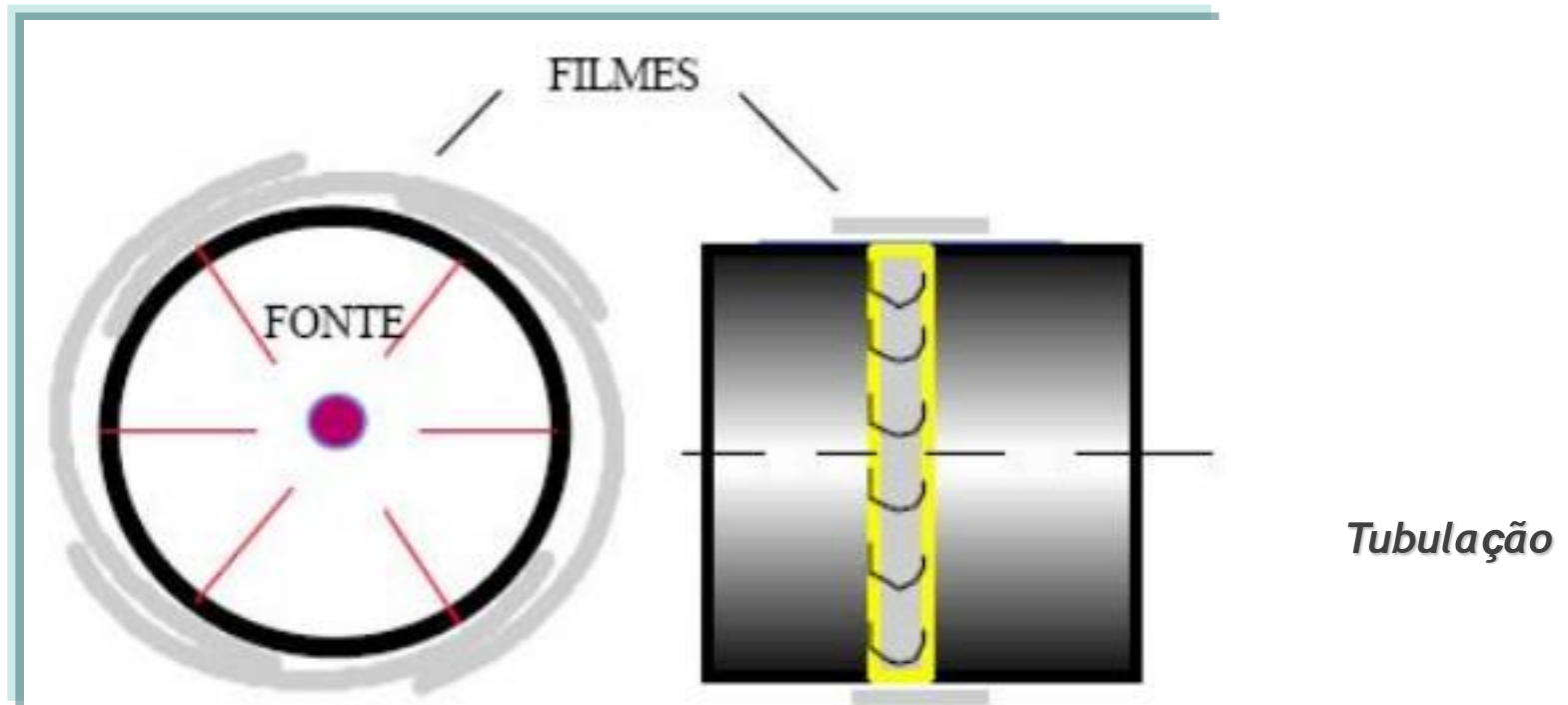
Técnica de Parede Simples - PS-VS

Tubulação



Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

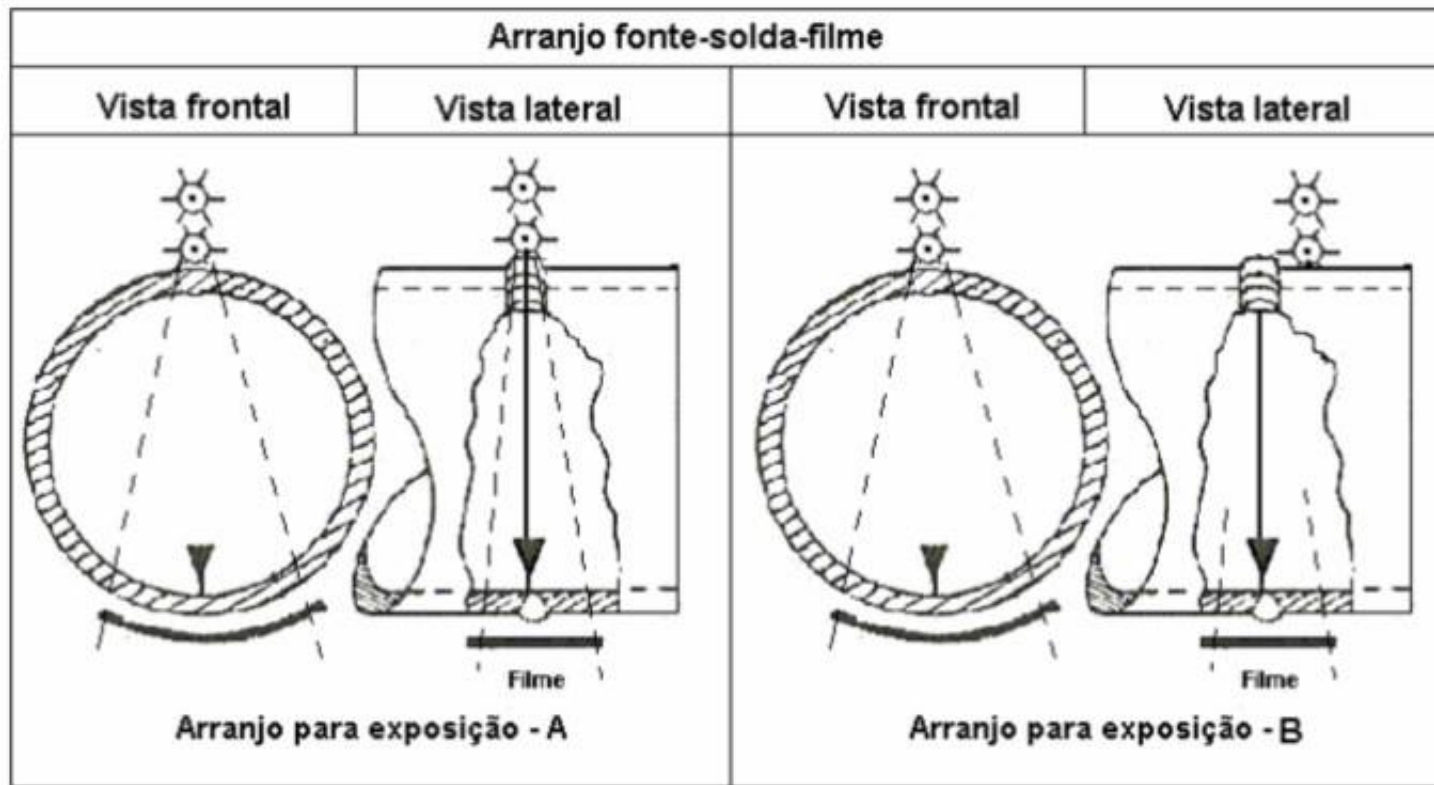
- Técnica de Parede Simples - PS-VS (panorâmica)



Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

🕒 Técnica de Parede Dupla - PD-VS

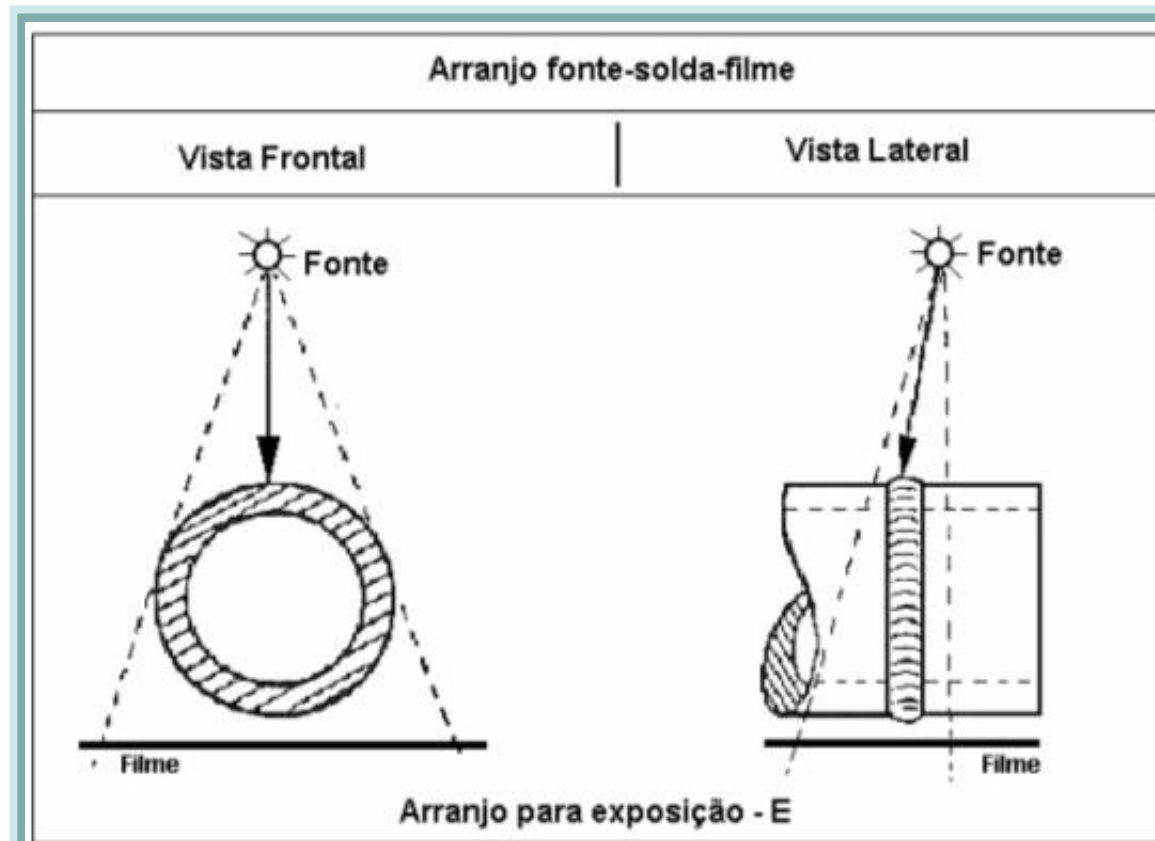
- ❑ Utilizada em inspeções de juntas soldadas, as quais não possuem acesso interno, por exemplo tubulações com diâmetros maiores que 15 mm, vasos fechados, e outros.



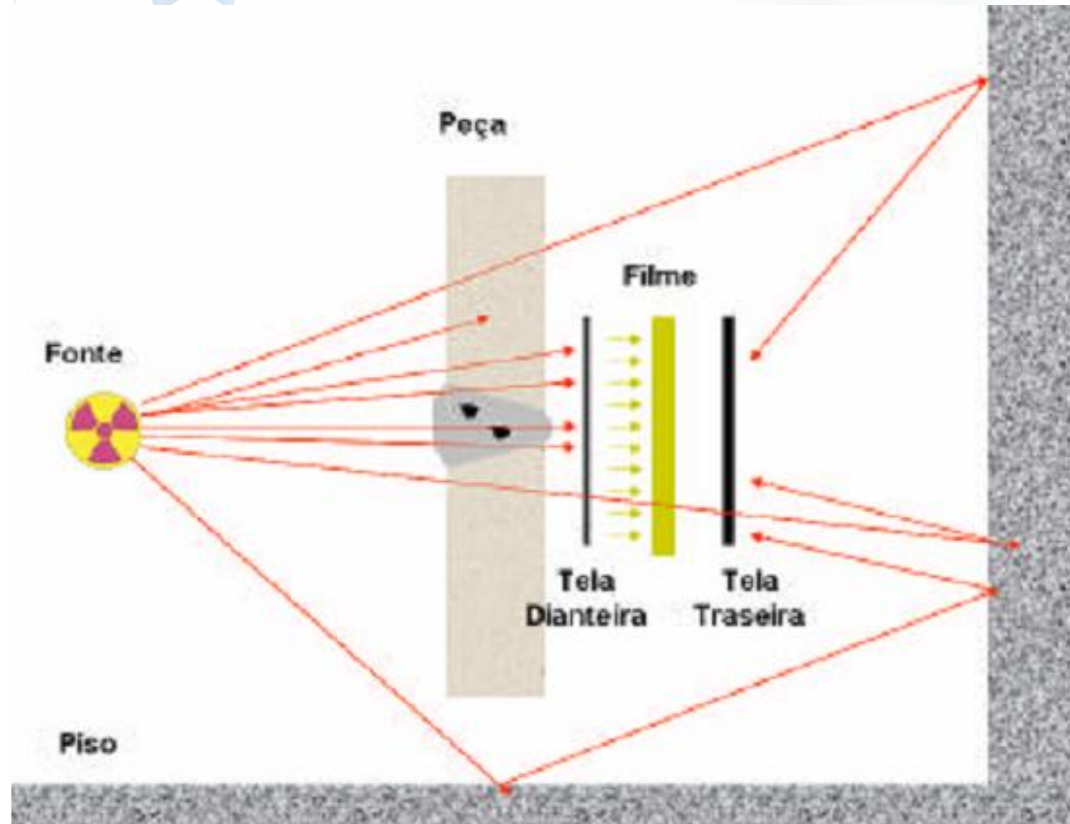
Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

🕒 Técnica de Parede Dupla - PD-VD

- ❑ Usada para inspeção de juntas soldadas em tubulações com diâmetros que na imagem radiográfica a dimensão do eixo menor interno da elipse deve ficar entre 10 e 15 mm.

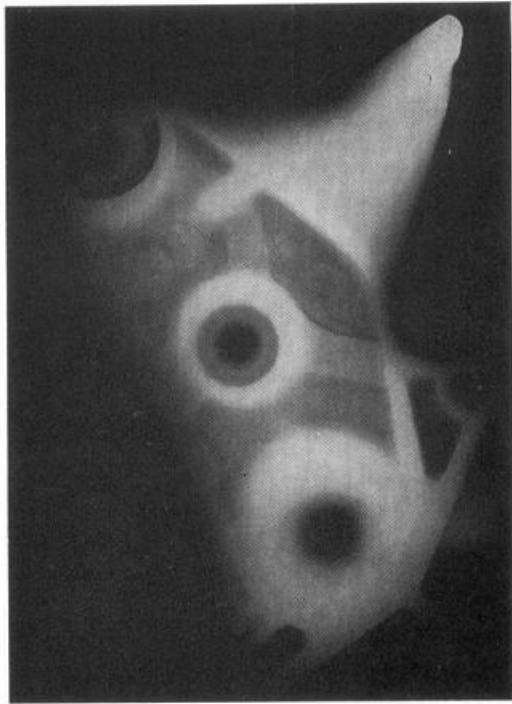


Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia



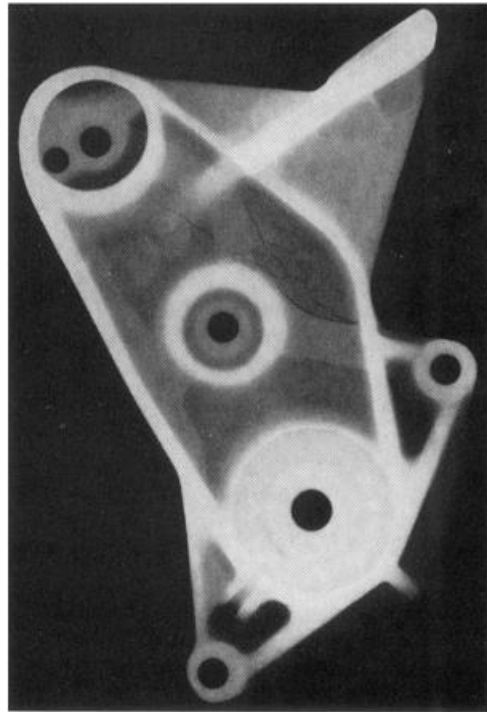
Esquema de exposição mostrando a radiação retroespalhada no piso e parede, que retorna ao filme, que é eliminada pela tela intensificadora traseira.

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia



Radiografia sem telas intensificadoras

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



Radiografia com telas intensificadoras

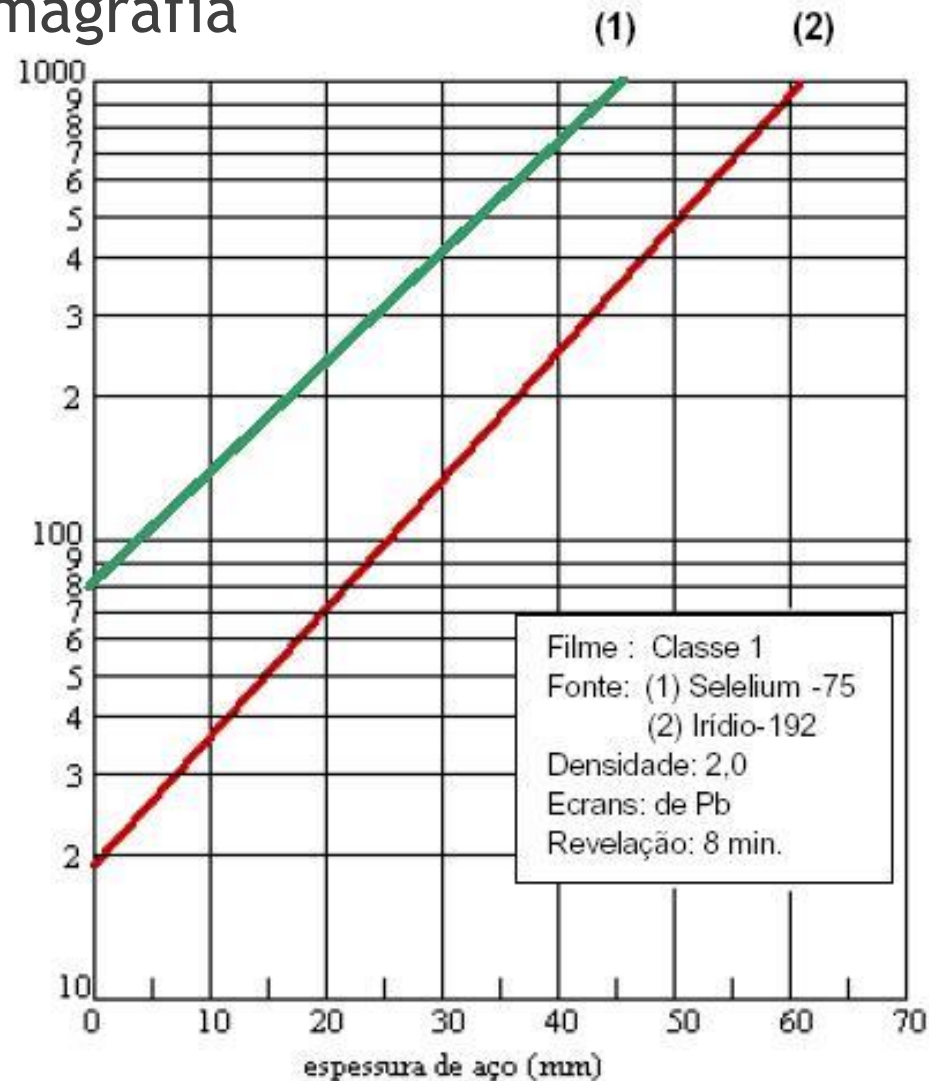


Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

Curva 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.

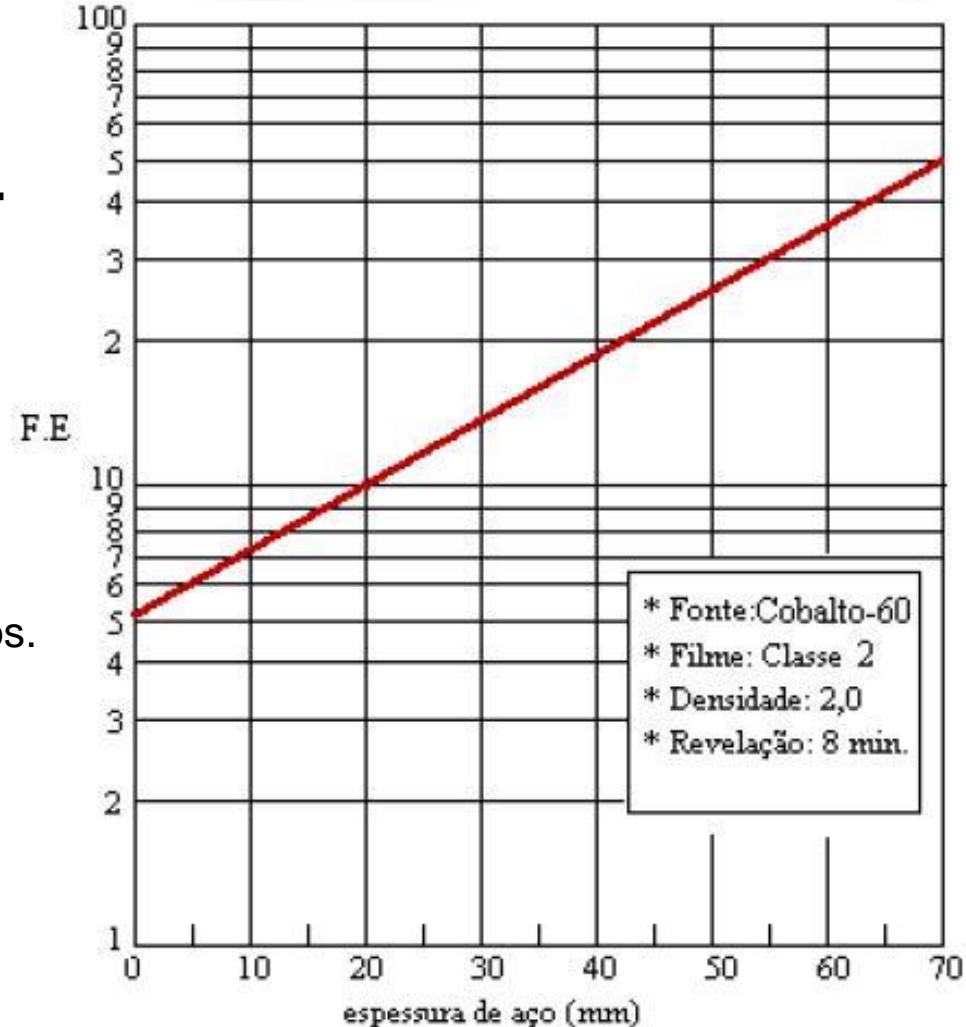


Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

Curva 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.



Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

Exemplo

1. Uma equipe de trabalho realiza um ensaio, por gamagrafia, de uma chapa de aço, com 35,0 mm de espessura. Para este ensaio dispõe-se de uma fonte de ^{75}Se com atividade 50,8 Ci e filme Classe 1. Qual o tempo necessário para a realização do mesmo, sabendo que a distância fonte-filme é 104 cm?

Resposta

no slide 58, a partir do valor da espessura encontre o valor de FE

$$FE = \frac{A \times t}{(D_{ff})^2} \longrightarrow t = \frac{FE \cdot (D_{ff})^2}{A} \longrightarrow t = \frac{600 \cdot (104)^2}{50800}$$

$$t = 128 \text{ minutos}$$

Técnica de exposição radiográfica por gamagrafia

Exercício

1. Uma equipe de trabalho realiza um ensaio, por gamagrafia, de uma chapa de aço, com 45,0 mm de espessura. Para este ensaio dispõe-se de uma fonte de ^{192}Ir com atividade 44,8 Ci e filme Classe 1. Qual o tempo necessário para a realização do mesmo, sabendo que a distância fonte-filme é 74 cm?

Resposta

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

Acidentes radiológicos com gamagrafia

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



Acidentes radiológicos com gamagrafia

🎯 Causas comuns de acidente radiológico

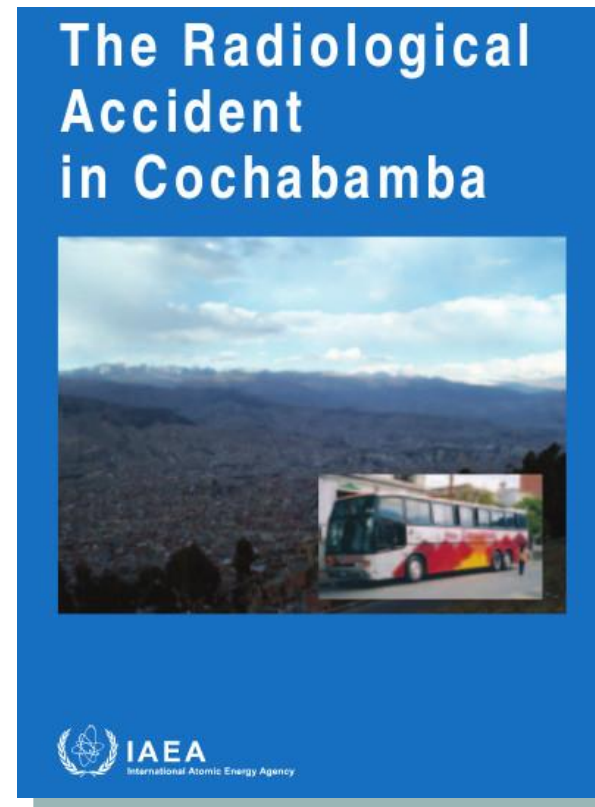
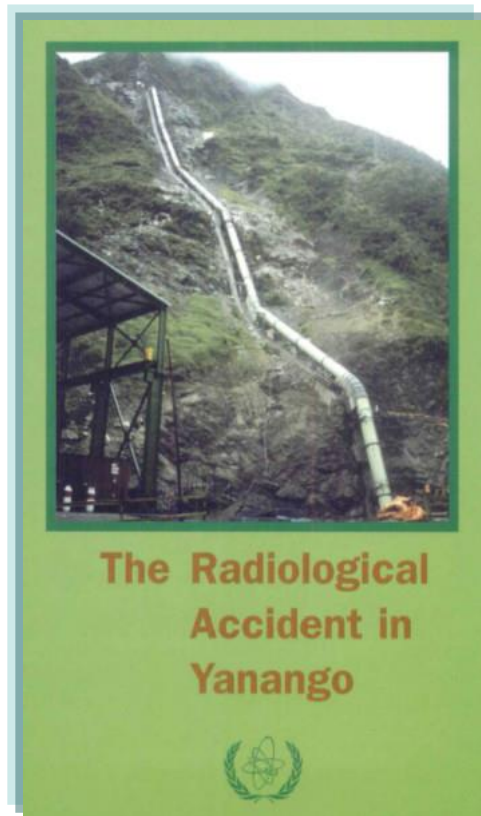
- ❑ Perda ou manipulação inadequada da fonte;
- ❑ Desconsiderar sistemas de segurança;
- ❑ Falhas no uso de instrumentos de vigilância;
- ❑ Capacitação e/ou procedimentos inadequados;
- ❑ Programas de proteção radiológica inadequados;
- ❑ Controle de qualidade ou supervisão inadequada;
- ❑ Fatores humanos.

🎯 Fonte de gamagrafia exposta

- ❑ Falha na conexão do tubo guia ou conector danificado;
- ❑ Fonte aparentemente recolhida, mas taxa de dose incompatível;
- ❑ Queda de objeto sobre tubo guia deformando-o;
- ❑ Quebra de conector do cabo comando.

Acidentes radiológicos com gamagrafia

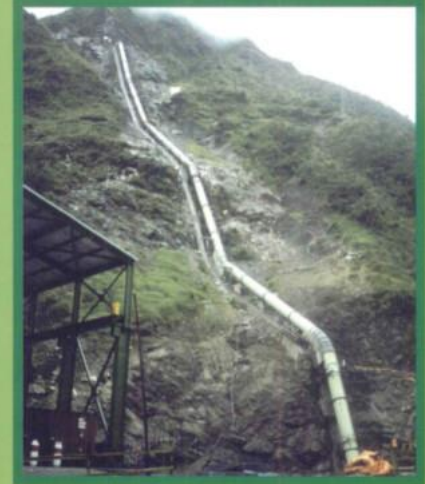
- ① Yamango (Peru) : Fev/1999
- ① Cochabamba (Bolívia) : Jun/2002



Acidentes radiológicos com gamagrafia

Yamango (Peru) : Fev/1999

- 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.



The Radiological Accident in Yanango



Acidentes radiológicos com gamagrafia

Yamango (Peru) : Fev/1999 (IAEA - 2000, pub1101)



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

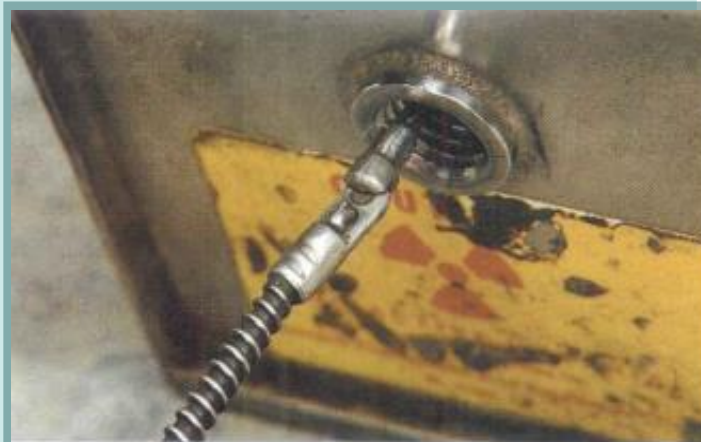


Photo 2. Source pigtail connected to drive cable.

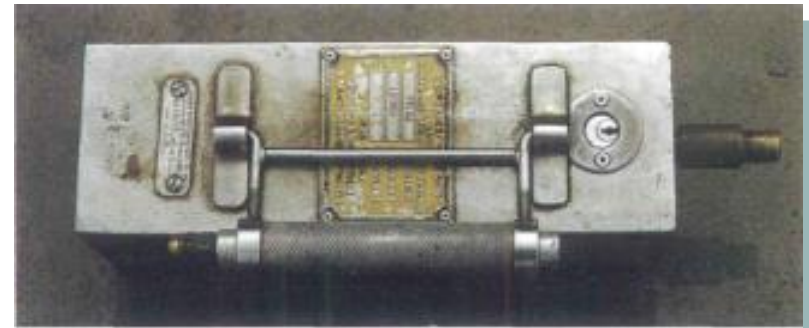


Photo 3. Radiography camera showing labels and lock.



Photo 4. Source pigtail.

Acidentes radiológicos com gamagrafia

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

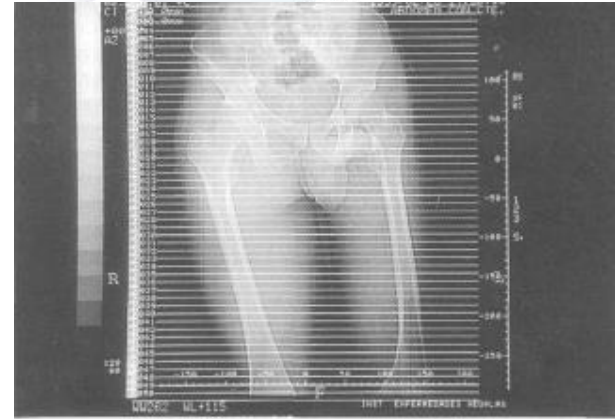


Photo 7. CT scan showing a significant increase of the volume of the right thigh (26 February 1999).

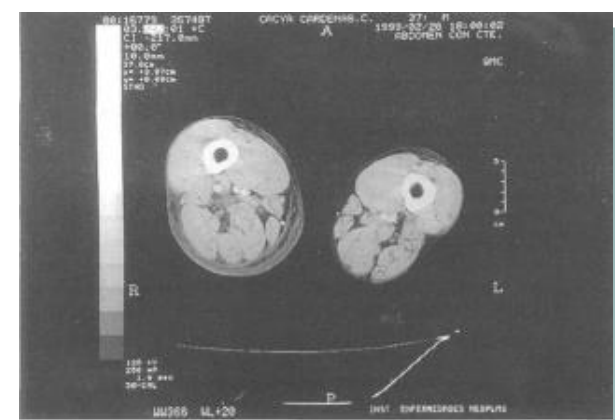


Photo 8. Horizontal section of both thighs by MRI demonstrating the magnitude of the edema of the right thigh (26 February 1999).

Acidentes radiológicos com gamagrafia

② Cochabamba (Bolívia) : Jun/2002

- ❑ Um 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.

The Radiological Accident in Cochabamba



Acidentes radiológicos com gamagrafia

📍 Cochabamba (Bolívia) : Jun/2002 (IAEA - 2004, pub1199)



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



FIG. 9. Overpack for the source container.

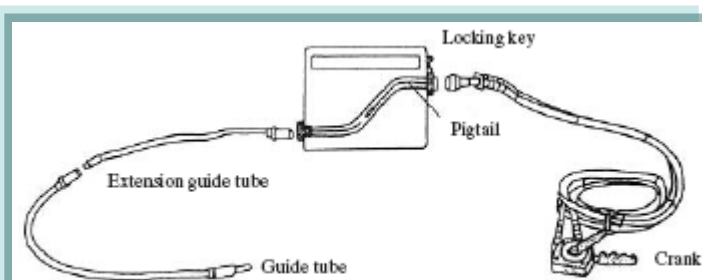


FIG. 3. Schematic view of the remote exposure container and ancillary equipment involved in the accident in Cochabamba.



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

Acidentes radiológicos com gamagrafia

📍 Cochabamba (Bolívia) : Jun/2002 (IAEA - 2004, pub1199)

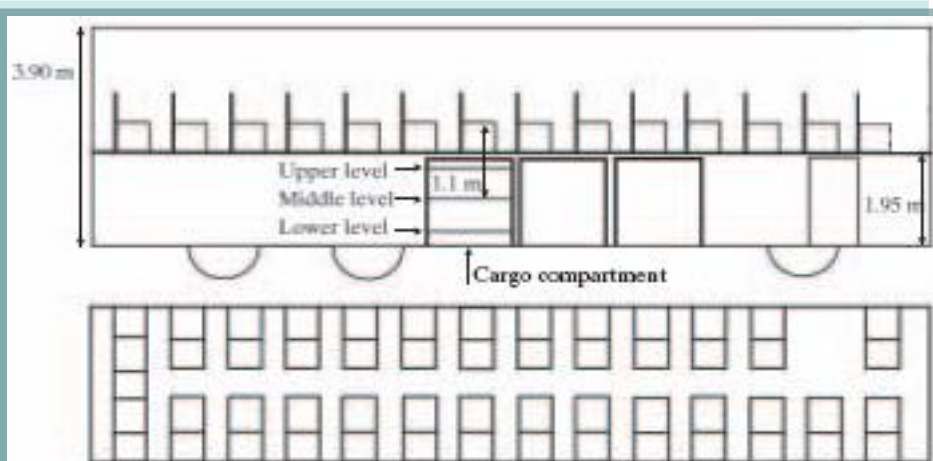


FIG. 11. Plan and elevation views of the bus in which the radiography equipment was transported.



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.

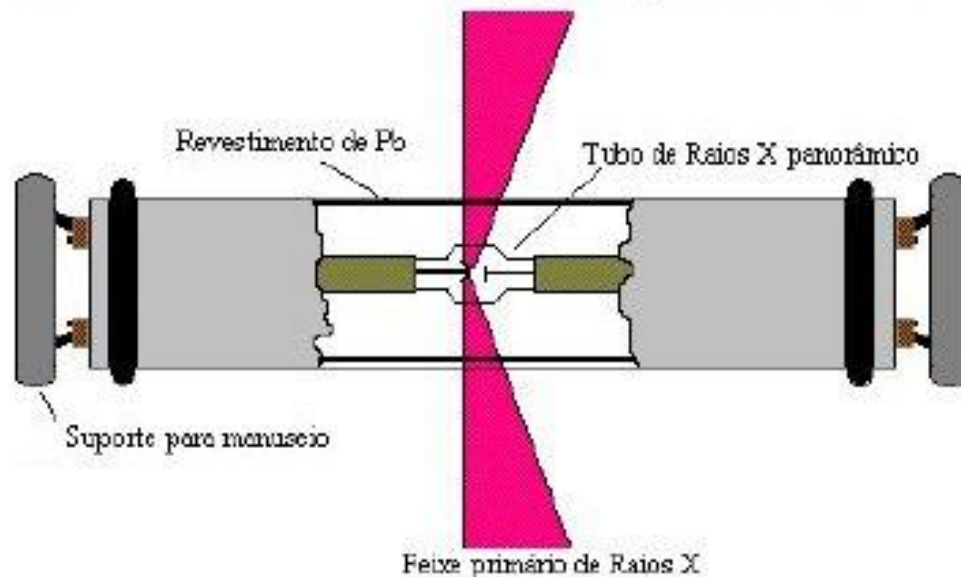
Técnica de exposição radiográfica por equipamento de raios X



Raios X Industrial, de até 300 kV

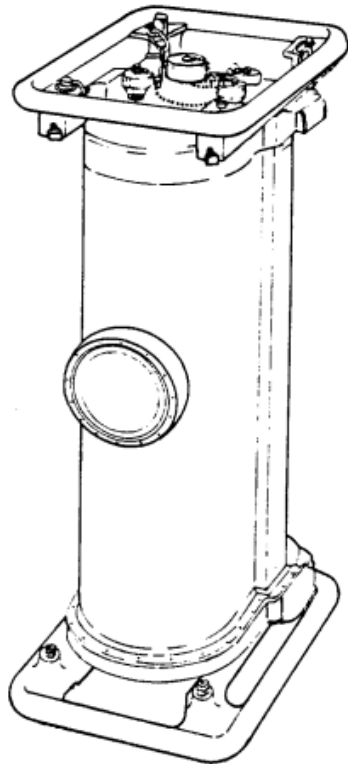
Inspeção radiográfica de soldas em tubos

Tensão	Faixa de Espessura
150 kV	de 5 até 15 mm
250 kV	de 5 até 40 mm
400 kV	de 5 até 65 mm
1 Mev	de 5 até 90 mm
2 Mev	de 5 até 250 mm
4 Mev	de 5 até 300 mm

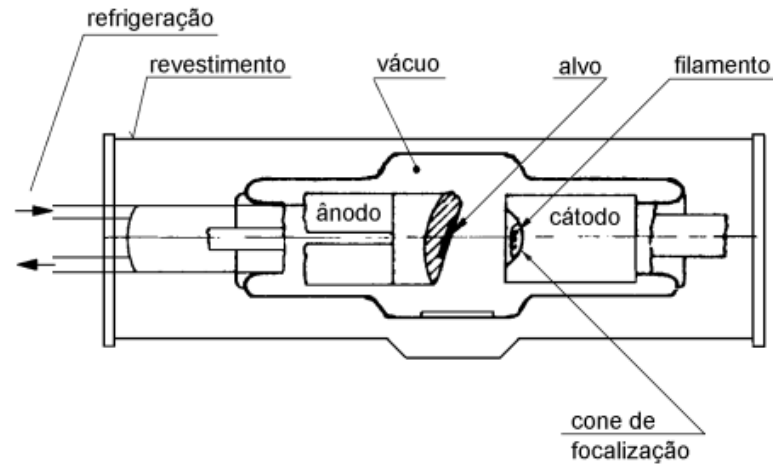


Técnica de exposição radiográfica por equipamento de raios X

Veja agora os principais elementos do tubo de raios X.



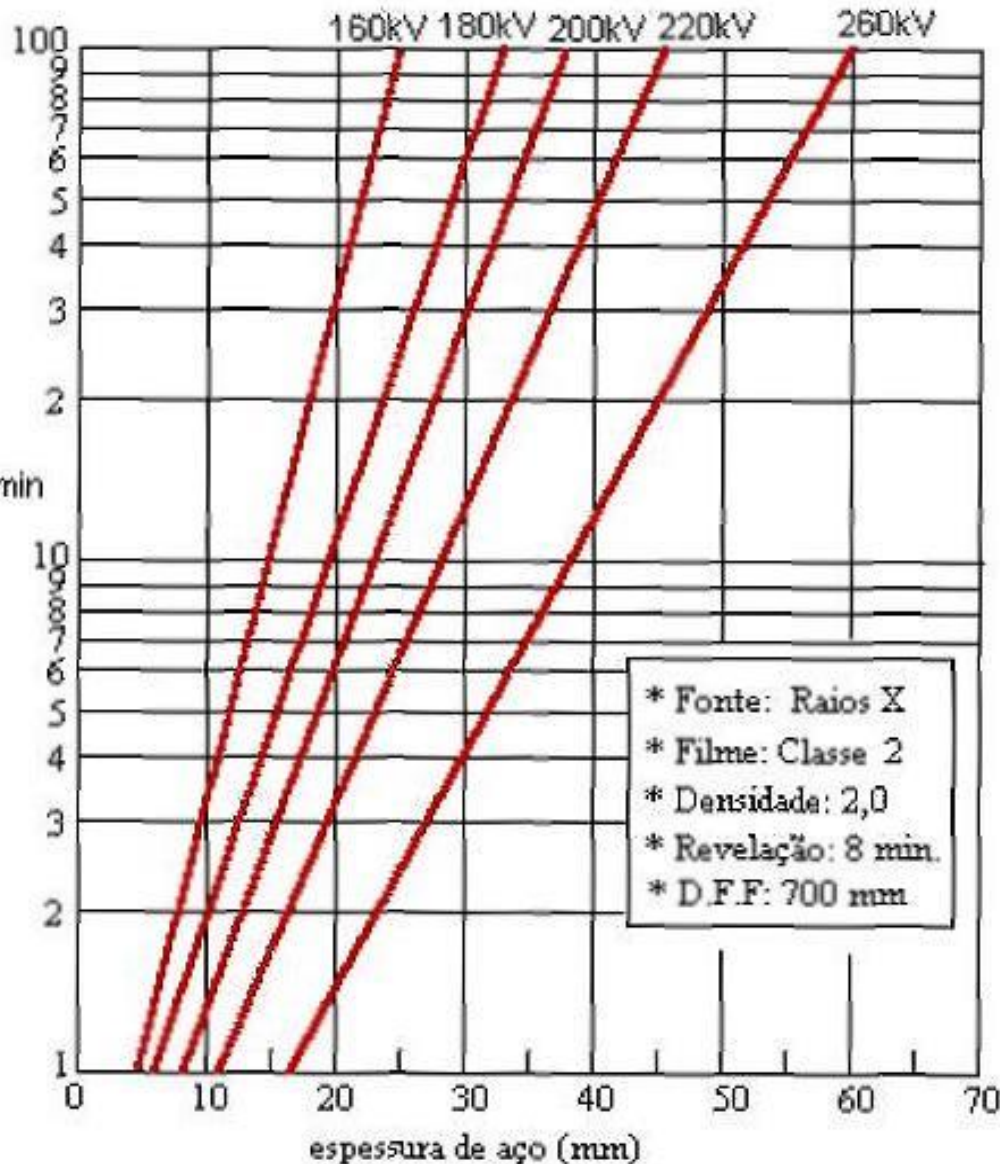
aspecto externo do tubo



elementos principais do tubo de raios-X



Técnica de exposição radiográfica por equipamento de raios X - Gráfico 1



Relação Tempo (T) x Corrente (M)

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

Relação Corrente (M) x Distância D)

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

Relação Tempo(T) x Distância D)

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

Técnica de exposição radiográfica por equipamento de raios X - Gráfico 2

Relação Tempo (T) x Corrente (M)

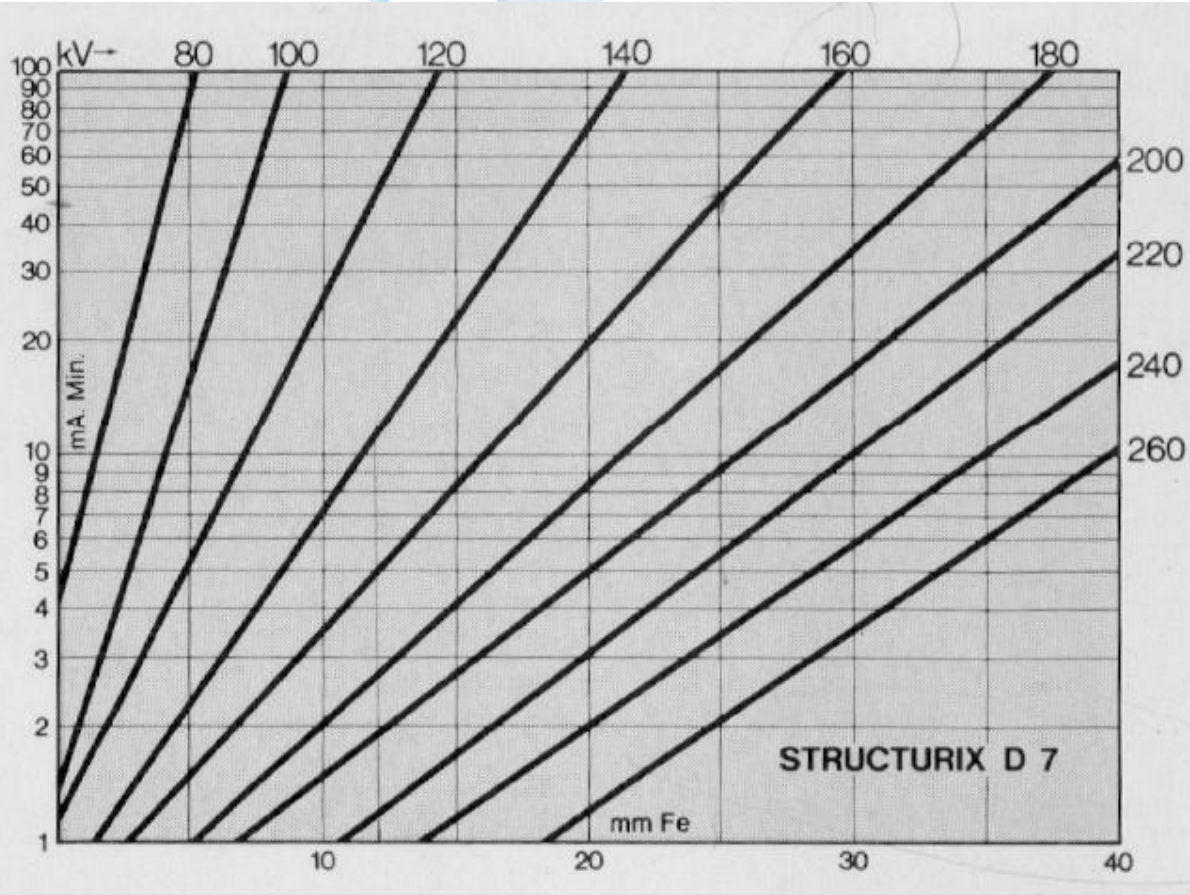
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{M_2}{M_1}$$

Relação Corrente (M) x Distância D)

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

Relação Tempo(T) x Distância D)

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



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

Técnica de exposição radiográfica por equipamento de raios X

Exemplo

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)

Resposta

no slide 72, a partir do valor da espessura e do valor da alta tensão encontre o valor em mA.min

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{M_2}{M_1} \longrightarrow \frac{1}{T_2} = \frac{50}{60} \longrightarrow \boxed{T_2 = 1,2 \text{ min.}}$$

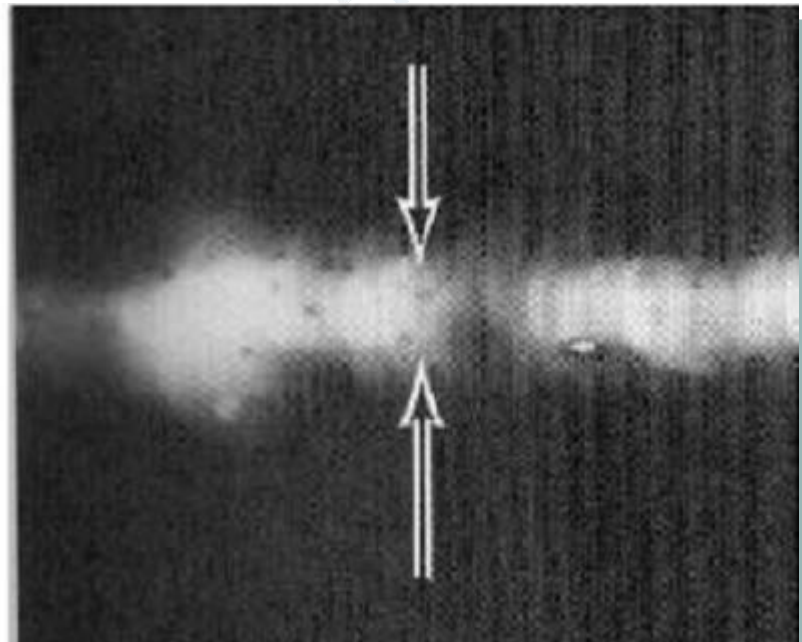
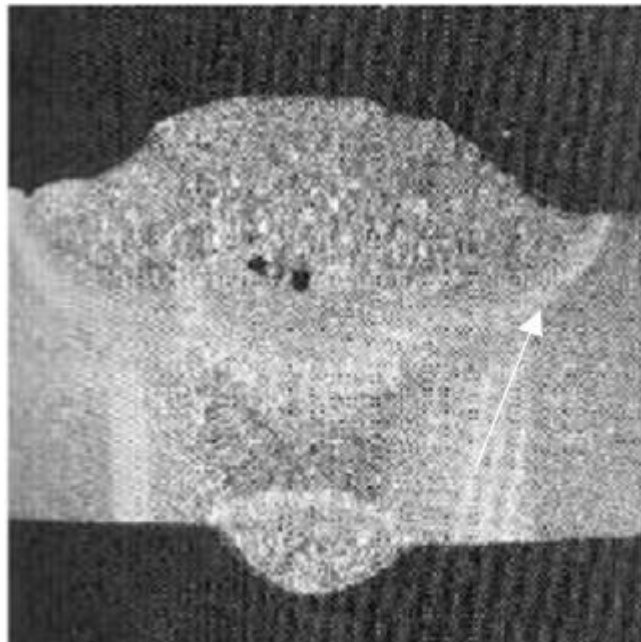
Técnica de exposição radiográfica por equipamento de raios X

Exercício

1. Uma seção de um duto em aço com 4,0 cm de espessura, foi radiografada utilizando-se 200 kV 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)

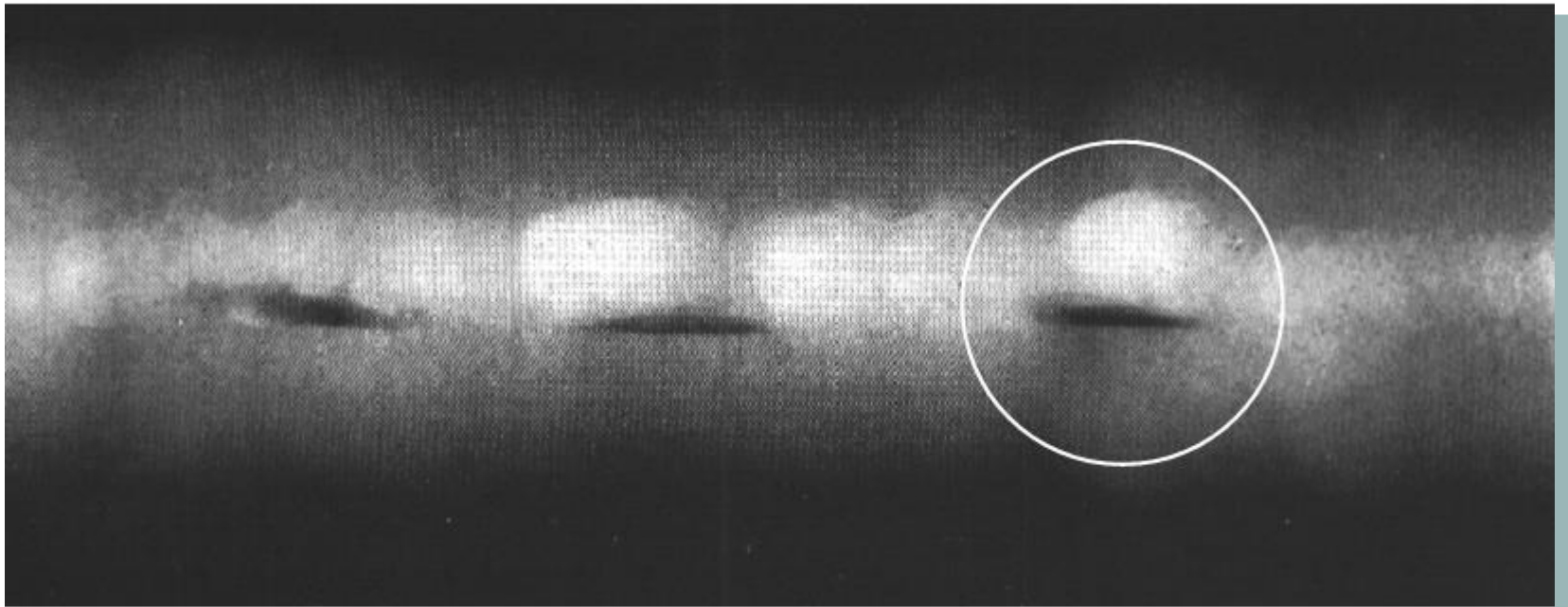
Resposta

Registro radiográfico e qualidade de imagem



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

Registro radiográfico e qualidade de imagem



Aparência radiográfica de soldas contendo inclusões de escória.

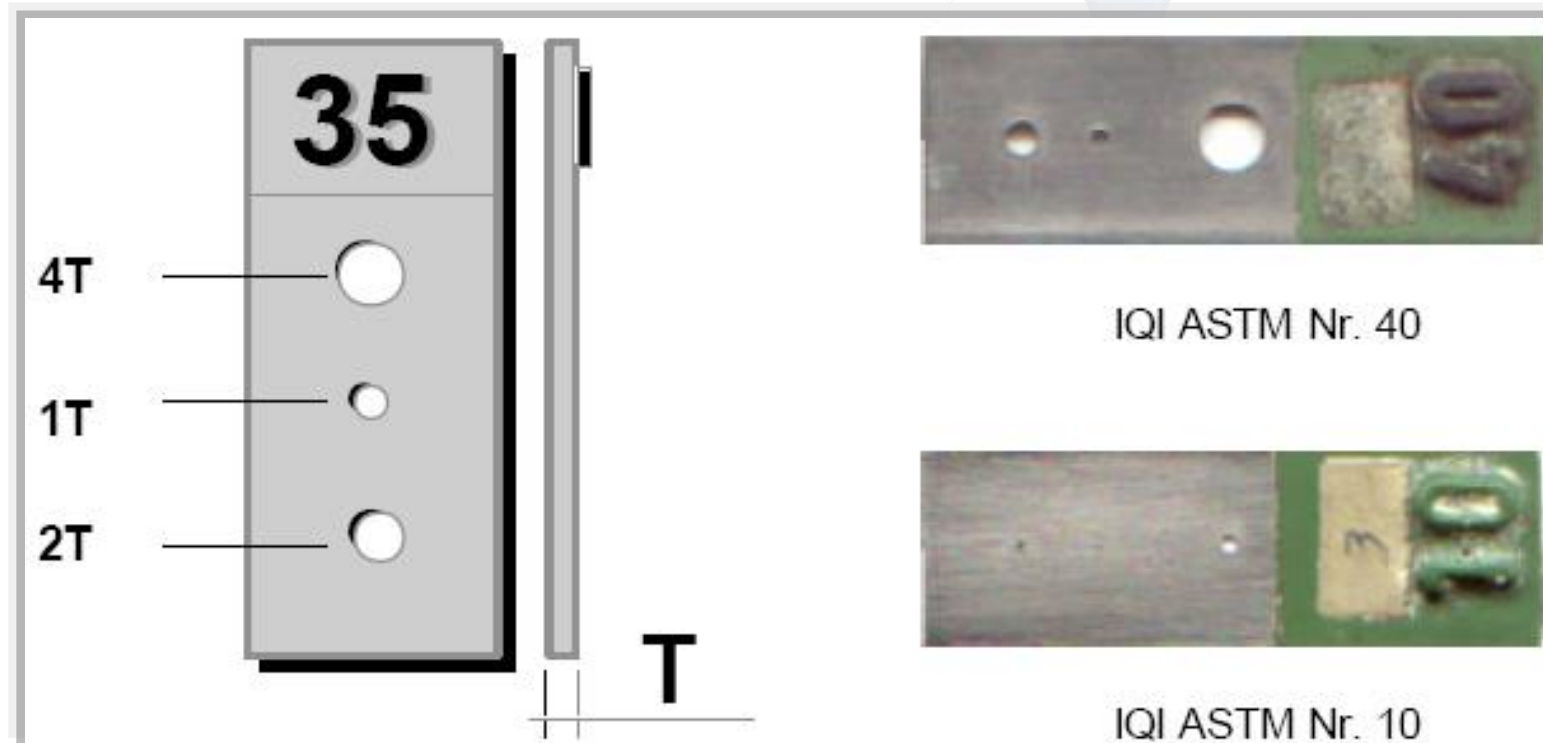
Registro radiográfico e qualidade de imagem

TIPO DE FILME	VELOCIDADE	CONTRASTE	GRANULAÇÃO
1	baixa	muito alto	extra fina
2	média	alto	fina
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

Registro radiográfico e qualidade de imagem

- Indicador de qualidade de imagens IQI - tipo furos

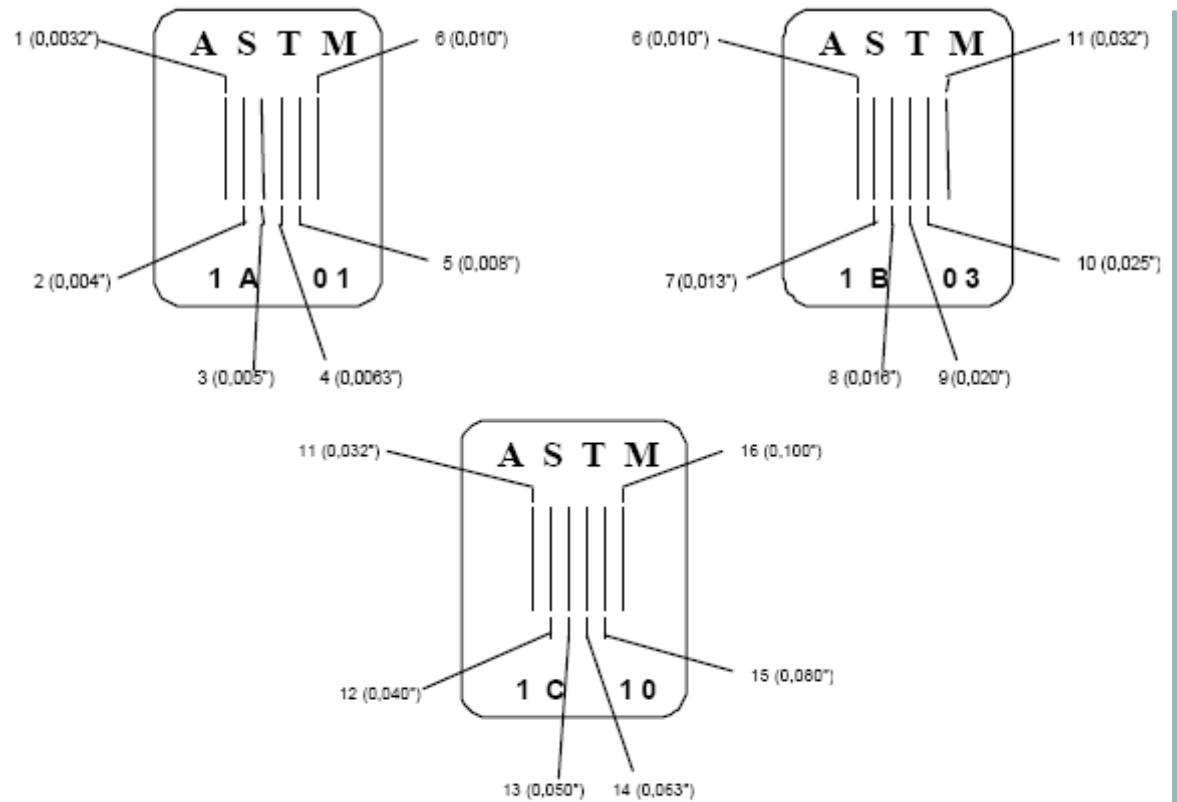


Registro radiográfico e qualidade de imagem

Indicador de qualidade de imagens IQI - tipo fios



IQI tipo fios da norma DIN

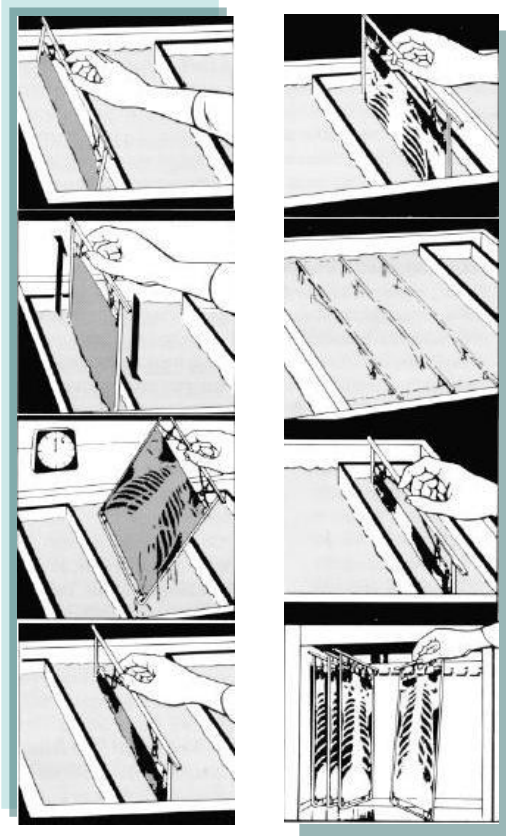


IQI's ASME ou ASTM tipo fios

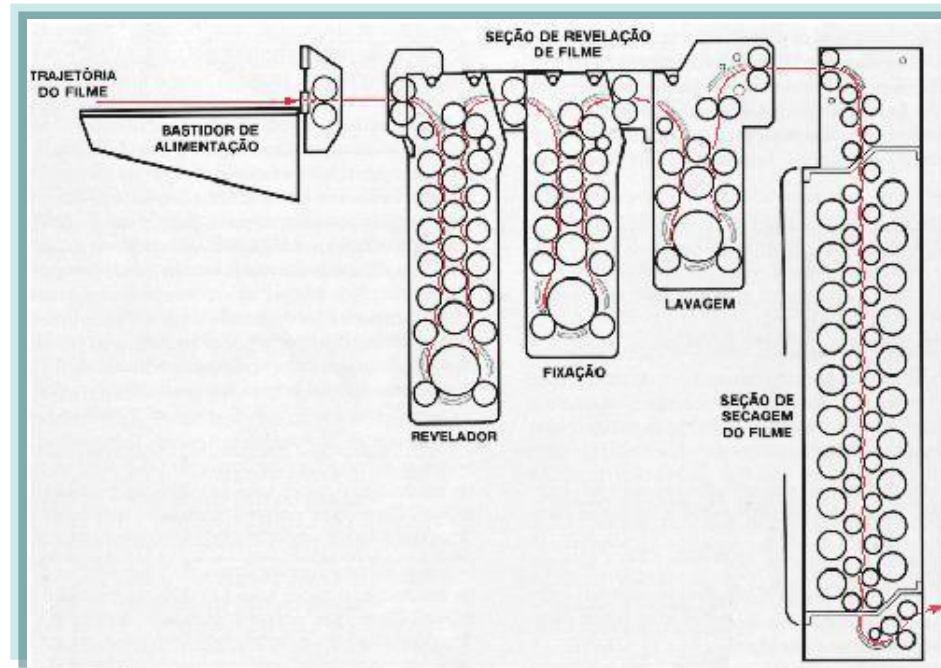
Registro radiográfico e qualidade de imagem

Processamento dos filmes: manual/automático

Manual



Automático



Registro radiográfico e qualidade de imagem

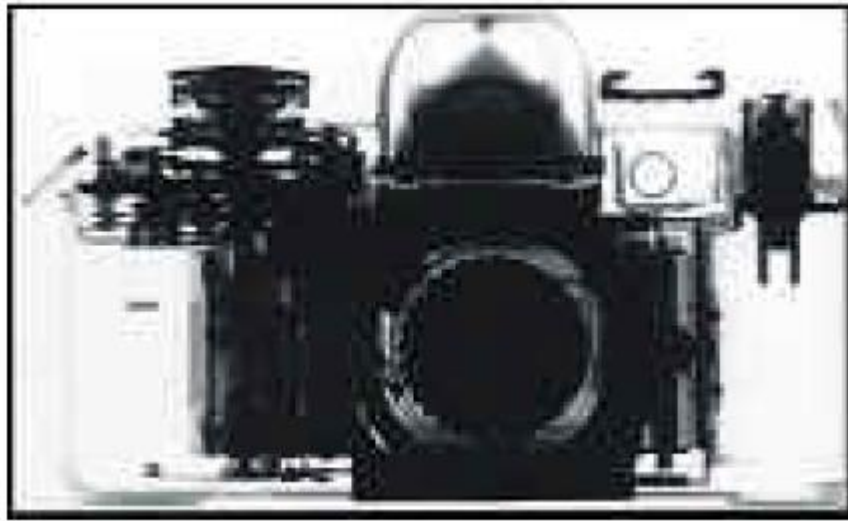
● Avaliação da qualidade de imagem

- ❑ 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 .

Fontes de neutrons - Neutronografia

- ④ A neutronografia, 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.
- ④ A forma como nêutrons interagem com a matéria, no entanto, difere totalmente de como fótons X ou gama interagem.
- ④ Enquanto fótons interagem com os elétrons orbitais dos átomos, nêutrons o fazem com os núcleos.
- ④ 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.

Fontes de neutrons - Neutronografia



(a)



(b)

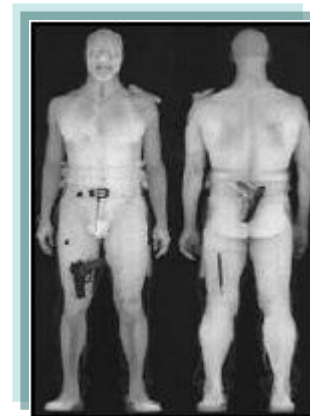
Radiografia de uma câmera fotográfica com (a) raios X e com (b) nêutrons.

Tecnologia de escâneres

- O Rio de Janeiro desde 2007 tem abrigado a realização de grandes eventos sejam esportivos, políticos ou religiosos.
- Deste ano para cá já foram realizados em nossa cidade os Jogos Pan americanos (2007), os Jogos Mundiais Militares (2011), a Rio+20 (2012), Copa das Confederações e a Jornada Mundial da Juventude (2013), a Copa do Mundo (2014) e Olimpíadas e Paralimpíadas (2016).
- Cresce no país a proibição das revistas íntimas de familiares de detentos nos presídios do país, mas a necessidade de segurança se mantém.
- Estamos acostumados com uso de detectores de metais, sejam fixos ou portáteis, nestas ocasiões. Mas tal qual ocorre em aeroportos e portos o uso de **escâneres** de bagagem ou corporais que fazem uso da emissão de raios X (radiação eletromagnética ionizante) só faz crescer.

Tecnologia de escâneres

- A partir do aumento de seu uso cabe algumas reflexões:
 - Como estes equipamentos funcionam?
 - Como são a segurança radiológica destes equipamentos?
 - Qual a capacitação exigida para os operadores?
 - Qual a capacitação dos responsáveis?
 - Eles podem provocar algum dano na população?



Tecnologia de escâneres

- ④ A tecnologia de escâneres mais empregada atualmente faz uso de radiação ionizante por emissão de fótons de raios X. Os escâneres que utilizam esta tecnologia existem de 3 tipos:
 - ❑ sistemas de **retrodispersão**, assim chamado porque trabalham com a radiação dispersa ou espalhada pelo corpo sob análise a 180°;
 - ❑ sistemas de **transmissão**, que utilizam a medição da radiação transmitida ou que passou através do corpo sob análise, e
 - ❑ um terceiro tipo, que é uma combinação dos outros dois.

Tecnologia de escâneres

- Os escâneres de raios X por **retrodispersão** de radiação, e os que utilizam radiação eletromagnética não ionizante, permitem apenas visualizar objetos sob a roupa, enquanto que os escâneres de raios X por transmissão permitem que você veja no interior do corpo humano como ocorre com os equipamentos de raios X médicos.
- Se a pessoa tem uma arma sob o casaco, os equipamentos de raios X por **retrodispersão** ou **retroespalhamento** ou ainda o radiação eletromagnética não ionizante irá detectá-lo, mas se você tiver engolido um saco cheio de explosivos que espera detonar durante o voo em um ato terrorista, não. Para detectar esses tipos de objetos é necessário usar um equipamento de raios X por **transmissão**.

Tecnologia de escâneres - body scanners

- Os escâneres corporais ou pessoais (body scanners) podem usar sistema com raios-X retroespalhados (Compton) (B), sistema onde os raios-X são transmitidos (T), e um terceiro tipo é uma combinação entre estes dois.
- Todos consistem de um equipamento emissor de raios-X e um detector ou banco de detectores onde a radiação transmitida ou retroespalhada é transferida e um sistema de computação para o processamento de dados e formação das imagens.
- O sistema de varredura utiliza um feixe estreito (cuja área transversal é de aproximadamente 25 mm^2 e 7 mm^2 para os dois sistemas, respectivamente), que explora o objeto (posicionado na frente tubo de raios X) com grande velocidade da esquerda para a direita e de cima para baixo.

Tecnologia de escâneres - body scanners

- Detectores maiores posicionados no mesmo lado em que esta a fonte de raios X, detectam a radiação retroespalhada e formam uma imagem computadorizada que é visualizada no monitor do computador.
- Cada exposição demora cerca de 8 segundos. Necessitam-se pelo menos duas projeções, anterior e posterior. Às vezes, as varreduras laterais também são realizadas.
- Se o feixe for interrompido em um ponto fixo ou outra falha mecânica ocorrer, existe um mecanismo de segurança que impede a emissão da radiação. Com sistemas de **retroespalhamento**, os raios X não penetram além da superfície do indivíduo e servem apenas para detectar objetos escondidos sob suas roupas.

Tecnologia de escâneres - body scanners

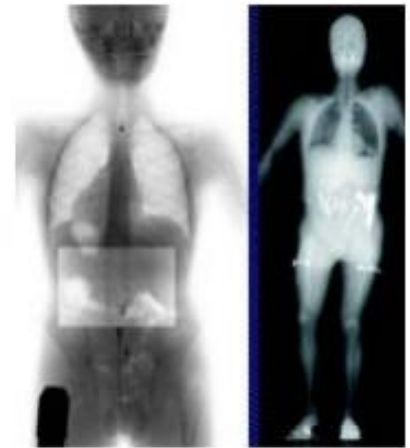
- Os sistemas de raios X de **transmissão** (T), usando um feixe de raios-X vertical e um banco linear de detector de arranjo linear colocados do outro lado da pessoa para exploração.
- Os sistemas são capazes de operar até 200 kV e 5 mA, e tem uma filtração total em mm Al equivalente de 7 a 8 mm. A exposição em condições normais leva poucos segundos (~10 s).
- Com sistemas de transmissão, os raios-X tem energia suficiente para penetrar todo o corpo e possibilita a detecção de objetos ingeridos ou escondidos em cavidades corporais. Principal preocupação dos agentes de segurança em presídios.

Tecnologia de escâneres - body scanners



Retroespalhamento

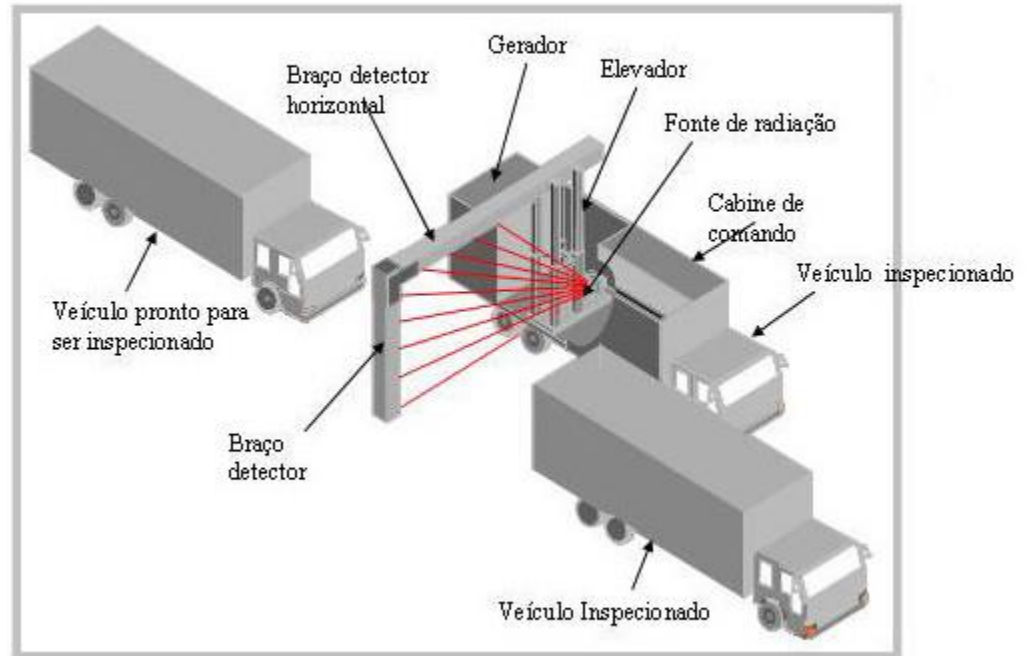
Transmissão



Tecnologia de escâneres - para carga

- Para inspecionar cargas, existem vários sistemas, dependendo se são caminhões ou carros, contêineres ou vagões de trem.
- O feixe de radiação pode ser produzido por um radionuclídeo como ^{137}Cs ou ^{60}Co ou gerador de raios X de alta energia até 450 kV.
- Cada vez mais se usam os aceleradores lineares com energias de 6-15 MeV, que podem penetrar vários centímetros de aço e mostrar o conteúdo de qualquer contêiner.
- Feixes de nêutrons são também utilizados, gerados por um acelerador ou por uma fonte de Califórnio-252. O uso de nêutrons complementaria os escâneres de raios X, em função da forma como interagem com a matéria, e podem ser utilizado para determinar a composição elementar dos produtos no interior dos contêineres.

Tecnologia de escâneres - para carga



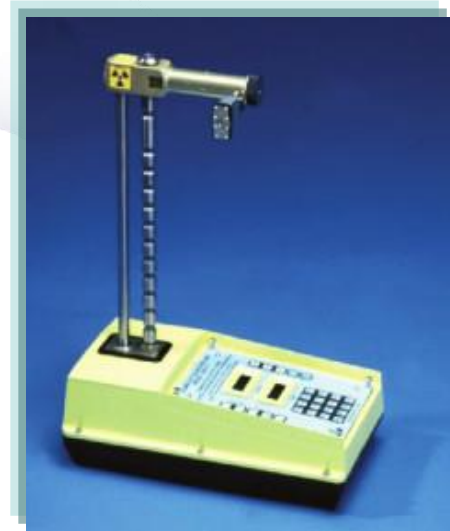
Tecnologia de escâneres - para bagagens



- Possibilita ajustes para:
 - ❑ materiais orgânicos e inorgânicos;
 - ❑ materiais com alta ou baixa densidade;
 - ❑ modo de inversão da visualização de objetos de alta ou baixa densidade (negativo).

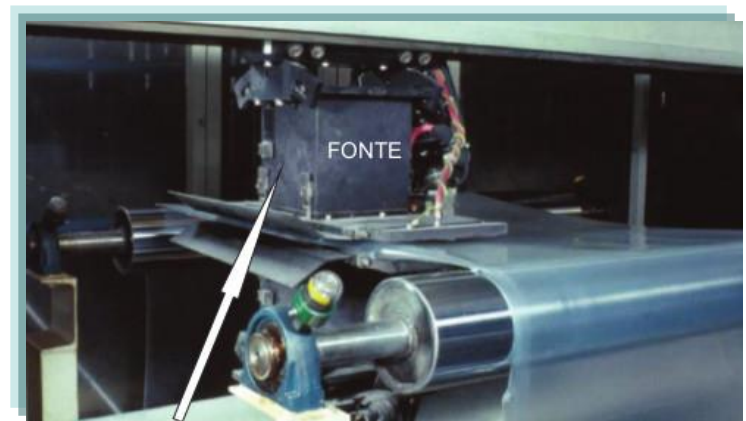
Medidores Nucleares (MN)

- Os métodos de produção modernos, sobretudo os automáticos, devem ser submetidos a uma constante vigilância para se assegurar a qualidade dos produtos e controlar o processo de produção.
- Esse tipo de vigilância, em muitos casos, é feito com dispositivos de controle de qualidade que empregam as propriedades das radiações ionizantes conhecidos pela denominação genérica de medidores nucleares.



Fonte: AIEA

MN - portátil

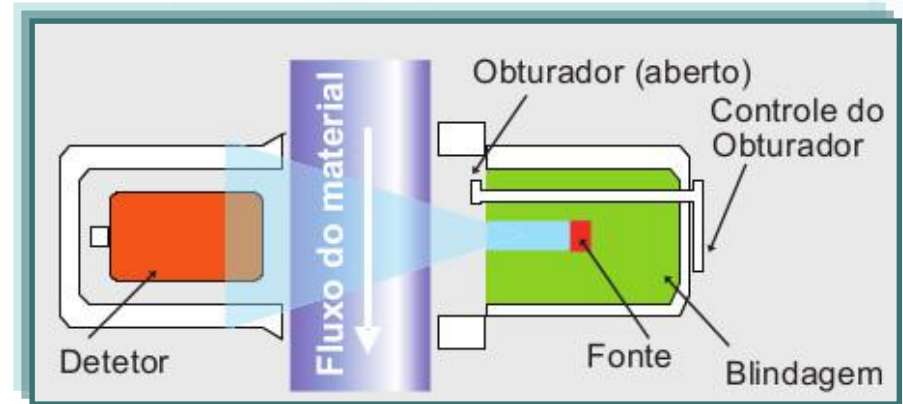


Fonte: AIEA

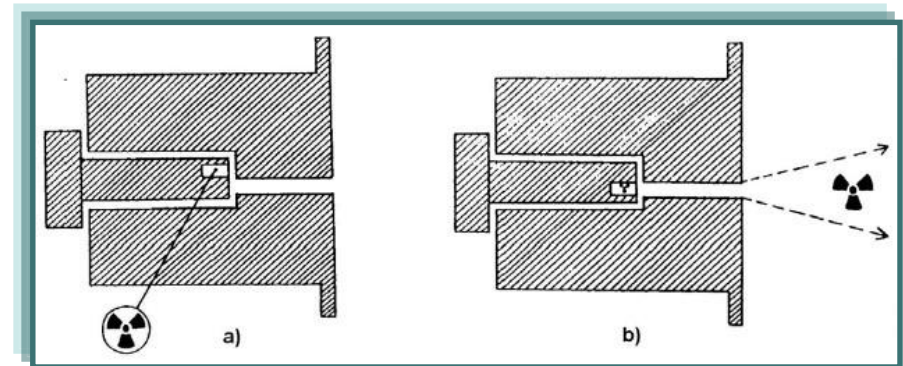
MN - fixo

Medidores Nucleares (MN)

- Medidores nucleares empregam fontes seladas, isto é, fontes cujo radioisótopo está encapsulado, ou seja, contido em um invólucro ou cápsula selada.
- A mesma permanece armazenada num irradiador que serve de porta fonte e blindagem além de colimar e obturar o feixe de radiação.



Fonte: AIEA



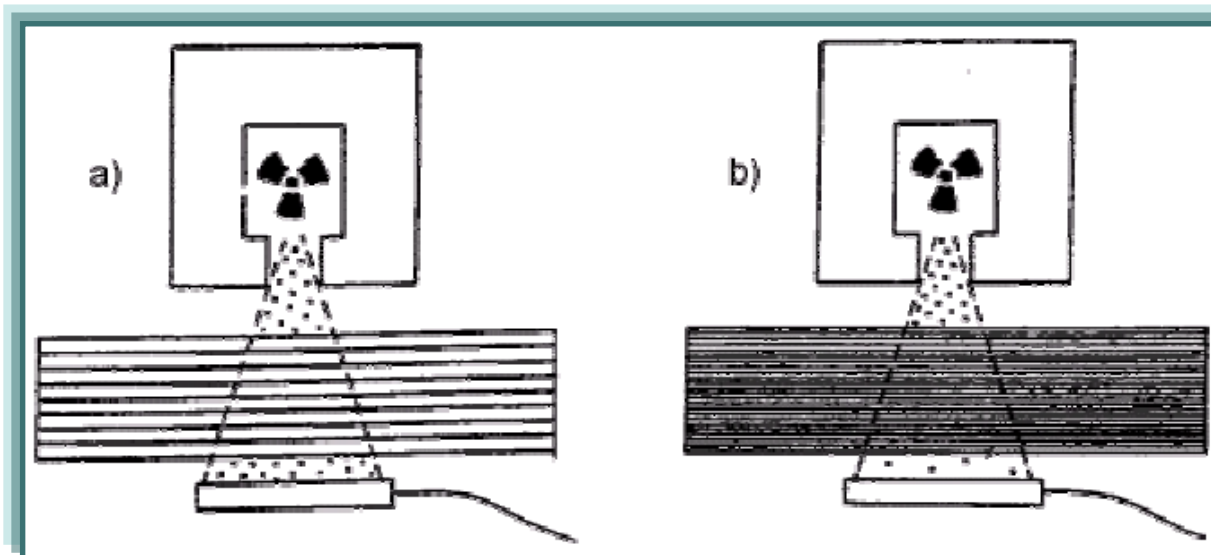
Medidores Nucleares (MN)

- Os medidores nucleares não necessitam estar em contato com o material que se examina e, portanto, podem ser utilizados para controlar processos de alta velocidade, materiais com temperaturas extremas ou propriedades químicas nocivas, materiais suscetíveis a danos por contato e produtos envasados.
- Em função do processo de interação da radiação antes de chegar ao detector, os medidores podem ser classificados em três categorias:
 - medidores de transmissão
 - medidores de retrodispersão (ou retroespalhamento)
 - medidores reativos
- Os MN também podem ser classificados como:
 - Espessura
 - Nível
 - Fluxo
 - Densidade
 - Concentração



Medidores Nucleares (MN)

- Transmissão: Nestes MN a fonte radioativa e o detector de radiação estão situados em lados opostos do material.
- A radiação é atenuada ao atravessar o material e o detector mede a intensidade da radiação transmitida. Se a radiação atravessar um material mais denso, seu grau de atenuação será maior e a intensidade transmitida diminuirá.



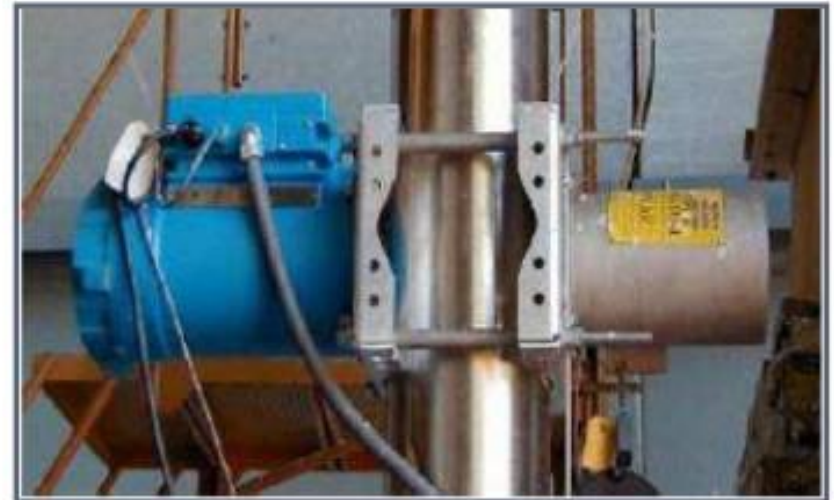
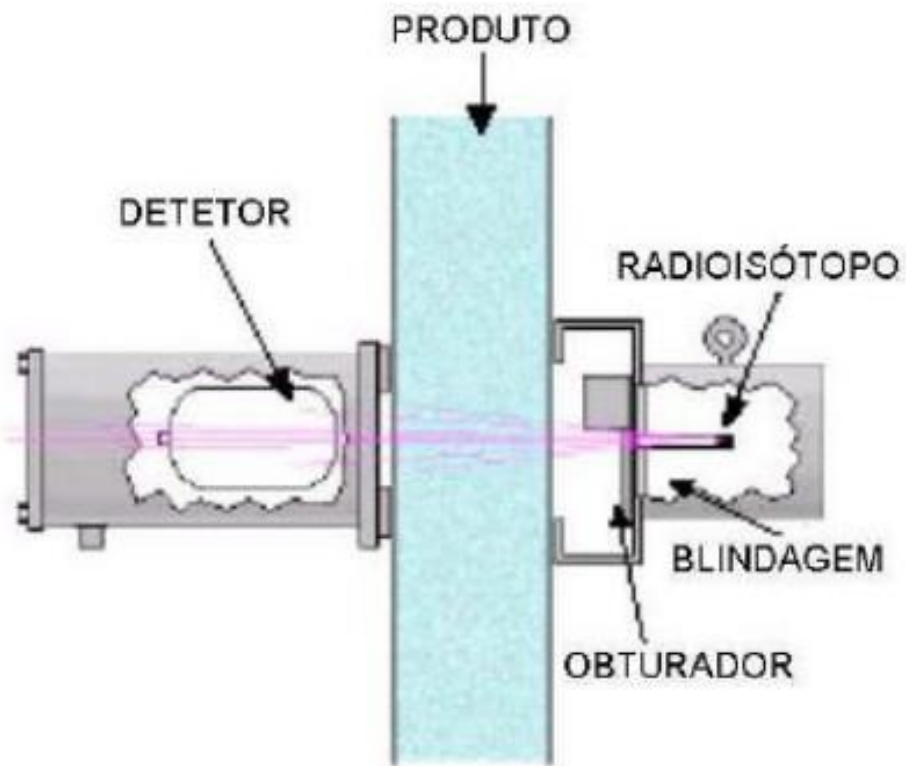
Medidores Nucleares (MN)

- A tabela abaixo exemplifica as fontes radioativas utilizadas em medidores de transmissão, suas aplicações e sua atividade.

Fonte	Decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
^{147}Pm	β -	Densidade de papel	0,04 - 40
^{204}Tl	β -	Espessura de papel, borracha e produtos têxteis	
^{85}Kr	β -	Espessura de papelão	
^{90}Sr e ^{90}Y	β -	Espessura de metais delgados	
Raios X	--	Aço até 20 mm; nível de líquidos em embalagens	--
^{241}Am	γ	Aço até 10 mm; conteúdo de vasilhames	0,4 - 40
^{137}Cs	γ	Nível em tanques e vasos	
^{60}Co	γ	Nível em fornos de coque e de cerâmica	

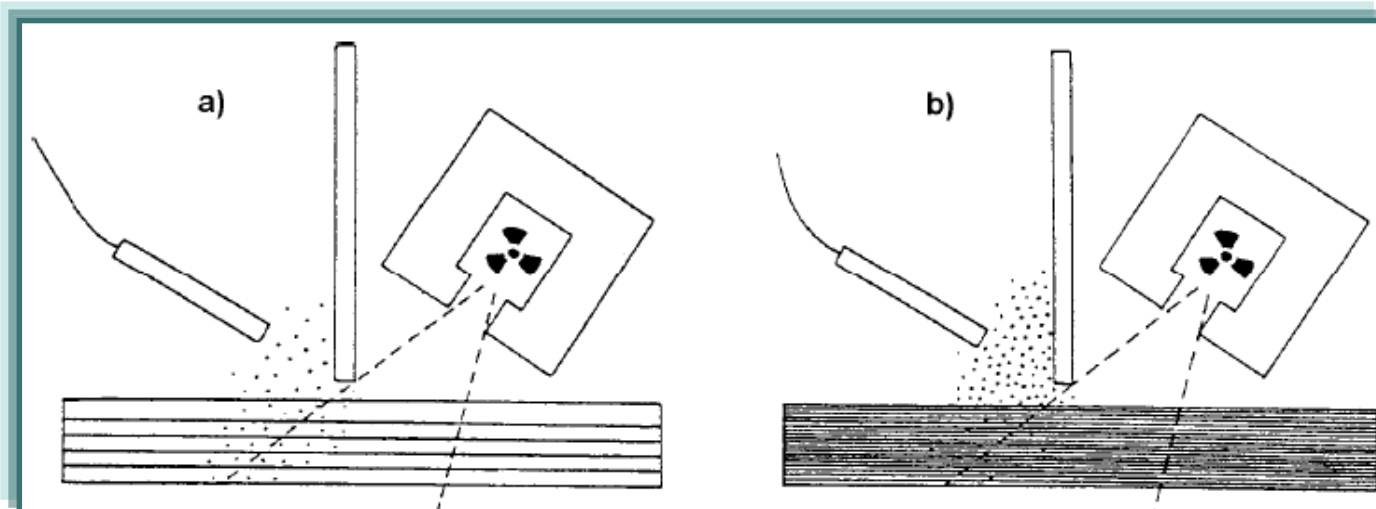
Medidores Nucleares (MN)

© Transmissão:



Medidores Nucleares (MN)

- Retrodispersão ou retroespalhamento: Nestes MN a fonte radioativa e o detector estão situados no mesmo lado em relação ao material. O detector é protegido contra a radiação primária.
- A radiação penetra o material e interage com seus átomos e moléculas. O detector mede as radiações secundárias que se retrodispersam a partir da interação. Se houver geometria constante, indicará a densidade e se a densidade for constante, indicará a espessura do material.



Medidores Nucleares (MN)

- A tabela abaixo exemplifica as fontes radioativas utilizadas em medidores de retrodispersão, suas aplicações e sua atividade.

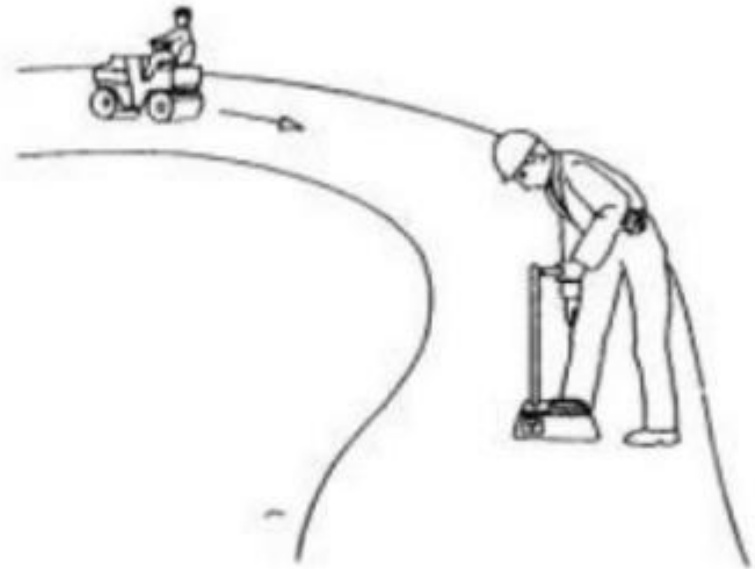
Fonte	Decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
^{147}Pm	β -	Densidade de papel; recobrimento de metal delgado	0,04 - 0,2
^{204}Tl	β -	Espessura de borracha e produtos têxteis	
^{90}Sr e ^{90}Y	β -	Espessura de plástico, borracha e vidro	
^{241}Am	γ	Vidro até 10 mm e plástico até 30 mm	0,44 - 110
^{137}Cs	γ	Vidro acima de 20 mm; densidade de rochas e carvão	
$^{241}\text{Am-Be}$	η	Detecção de hidrocarbonetos em rochas	1,3 - 3,7

Medidores Nucleares (MN)

Retrodispersão:



Medidor de densidade de solo



Medição de compactação de solo

Medidores Nucleares (MN)

- ② Reativos: Nestes MN a principal aplicação é a análise de hidrocarbonetos em rocha e prospecção de petróleo, diferenciando camadas petrolíferas de aquíferos salinos pela determinação de cloro.
- ② Outro uso destes medidores é a fluorescência, a partir de fonte gama e raios X de baixa energia, em solos para a identificação e determinação de elementos de baixo Z, médio Z e alto Z em função do tipo de fonte utilizada. Possibilitando a análise de elementos constituintes de minerais assim como a espessura de camadas desubstratos de materiais distintos.

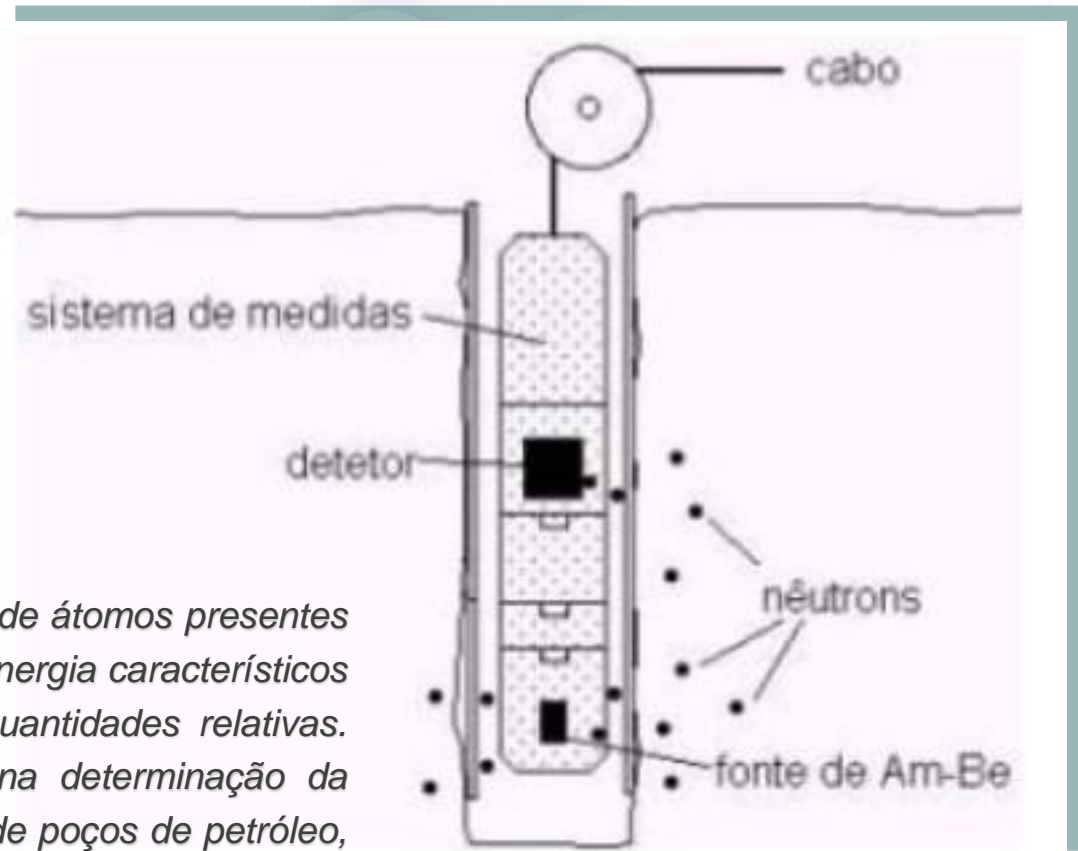
Medidores Nucleares (MN)

- A tabela abaixo exemplifica as fontes radioativas utilizadas em medidores de reativos, suas aplicações e sua atividade.

Fonte	Decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
^{55}Fe	γ	Análise em elementos de baixo Z e em plástico de 0-25 μm sobre alumínio	
^{241}Am	γ	Análise em elementos de médio Z e em zinco de 0-100 μm sobre ferro	0,02 - 0,4
^{109}Cd	γ	Análise em elementos de alto Z	
Raios X até 60keV	--	Elementos diversos	--
Geradores de nêutrons	η	Análise de hidrocarbonetos em rocha	0.0022 - 4,1

Medidores Nucleares (MN)

Reativos:



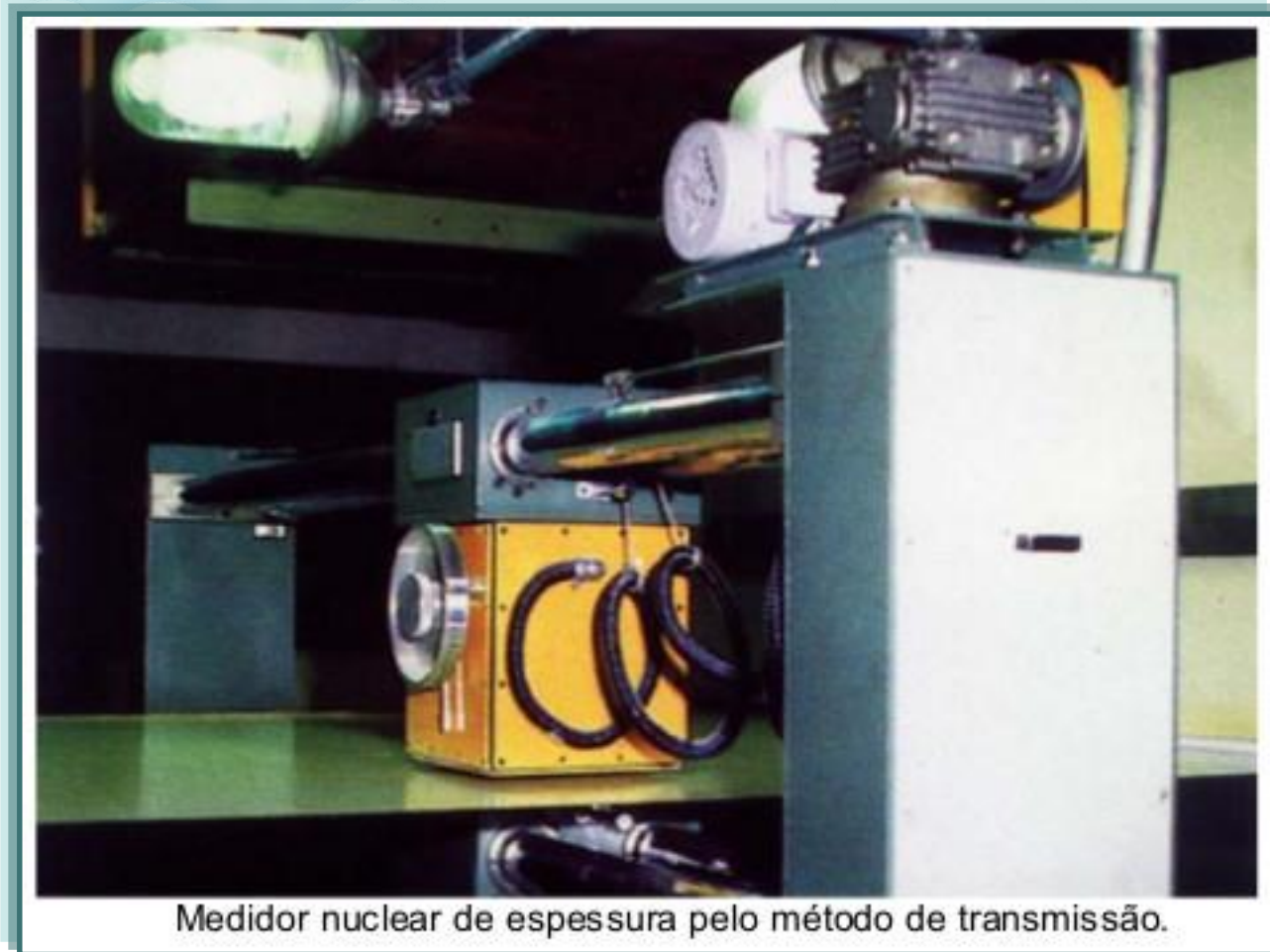
Nêutrons lentos são capturados por núcleos de átomos presentes no material que emitem raios gama de alta energia característicos o que permite que se estabeleçam suas quantidades relativas. Essa propriedade é usada, por exemplo, na determinação da concentração de cloro durante a perfilagem de poços de petróleo, de modo que se possam diferenciar camadas petrolíferas de aquíferos salinos.

Medidores Nucleares (MN)

Espessura

- ❑ Na produção contínua de materiais na forma de lâminas ou folhas, apresenta-se a necessidade de medir, durante o próprio processo de fabricação, a espessura ou massa por unidade de superfície com que vão sendo manufacturados tais materiais.
- ❑ Essa medição pode ter um duplo propósito: controlar a qualidade do produto e servir de base para a regulação automática do processo.
- ❑ Quando a densidade do produto é constante, a relação entre a espessura e o peso por unidade de superfície também permanece constante.

Medidores Nucleares (MN) - Espessura



Medidores Nucleares (MN)

Nível

- ❑ São aplicáveis a materiais líquidos, pastosos ou na forma de sólidos granulados.
- ❑ O fato de operarem sem contato com produtos contidos em reservatórios os torna especialmente recomendados quando as características físico-químicas (pressão, temperatura, viscosidade, corrosividade ou poder abrasivo) dificultam ou excluem o emprego dos sistemas clássicos de medição.
- ❑ A medição nuclear apresenta também vantagens nos casos em que, por qualquer razão, a montagem do sistema deve ser realizada sem interrupção dos processos em andamento e sem interferências com as instalações já existentes. Os indicadores de nível baseiam-se no método de transmissão ou de retroespalhamento.

Medidores Nucleares (MN) - Nível



Medidores Nucleares (MN)

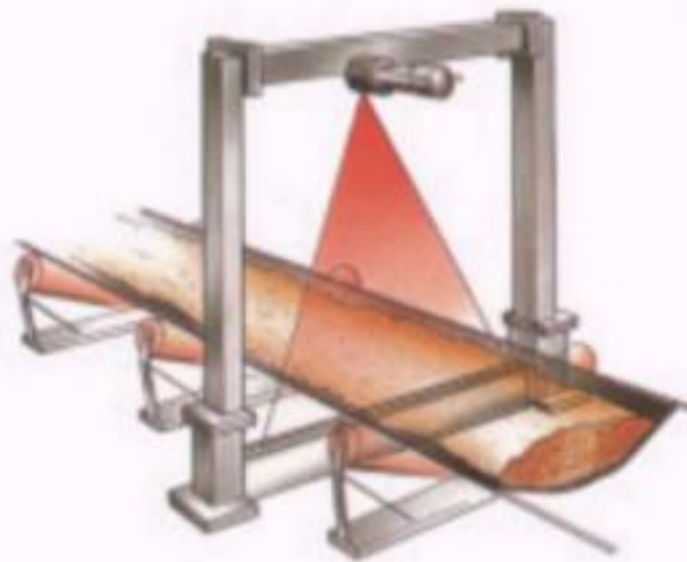
Fluxo

- ❑ A determinação do fluxo de material sólido a granel, em esteiras transportadoras ou em queda livre, é particularmente interessante na indústria química, de papel e celulose, de mineração e de alimentos.
- ❑ Através do método de transmissão, pode-se determinar instantaneamente a partir da determinação da massa por unidade de área do material e da velocidade de deslocamento do material. Tais equipamentos também são denominados de balanças nucleares.
- ❑ Uma fonte gama é instalada acima da esteira e um detetor alongado (câmara de ionização ou detetor de cintilação), abaixo dela. Observa-se que o feixe de radiação abrange toda seção transversal do material na esteira.

Medidores Nucleares (MN) - Fluxo



Esteira transportadora.



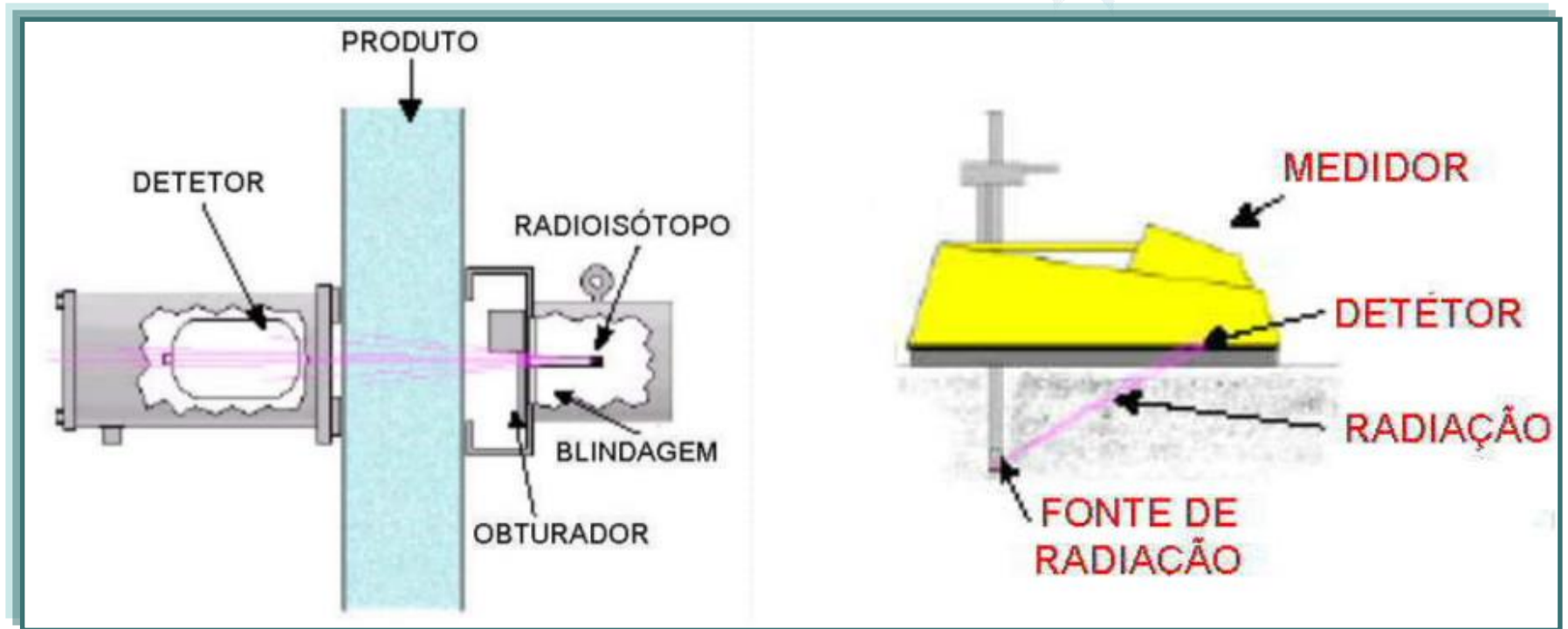
Balança nuclear.

Medidores Nucleares (MN)

Densidade

- ❑ Os medidores de densidade ou densímetros nucleares são empregados na medição contínua e sem contato de líquidos, lamas, suspensões aquosas e soluções de todo tipo circulando em tubulações ou armazenadas em vasos e reatores químicos, sob qualquer condição de pressão, temperatura, abrasividade e/ou corrosividade.
- ❑ Os densímetros nucleares para líquidos empregam, quase que exclusivamente, o método de transmissão, podendo ser fixo ou portáteis.
- ❑ Os densímetros nucleares para sólidos, compactos ou granulados, podem ser equipamentos portáteis ou fixos e operar pelo método de transmissão ou de retroespalhamento.

Medidores Nucleares (MN) - Densidade



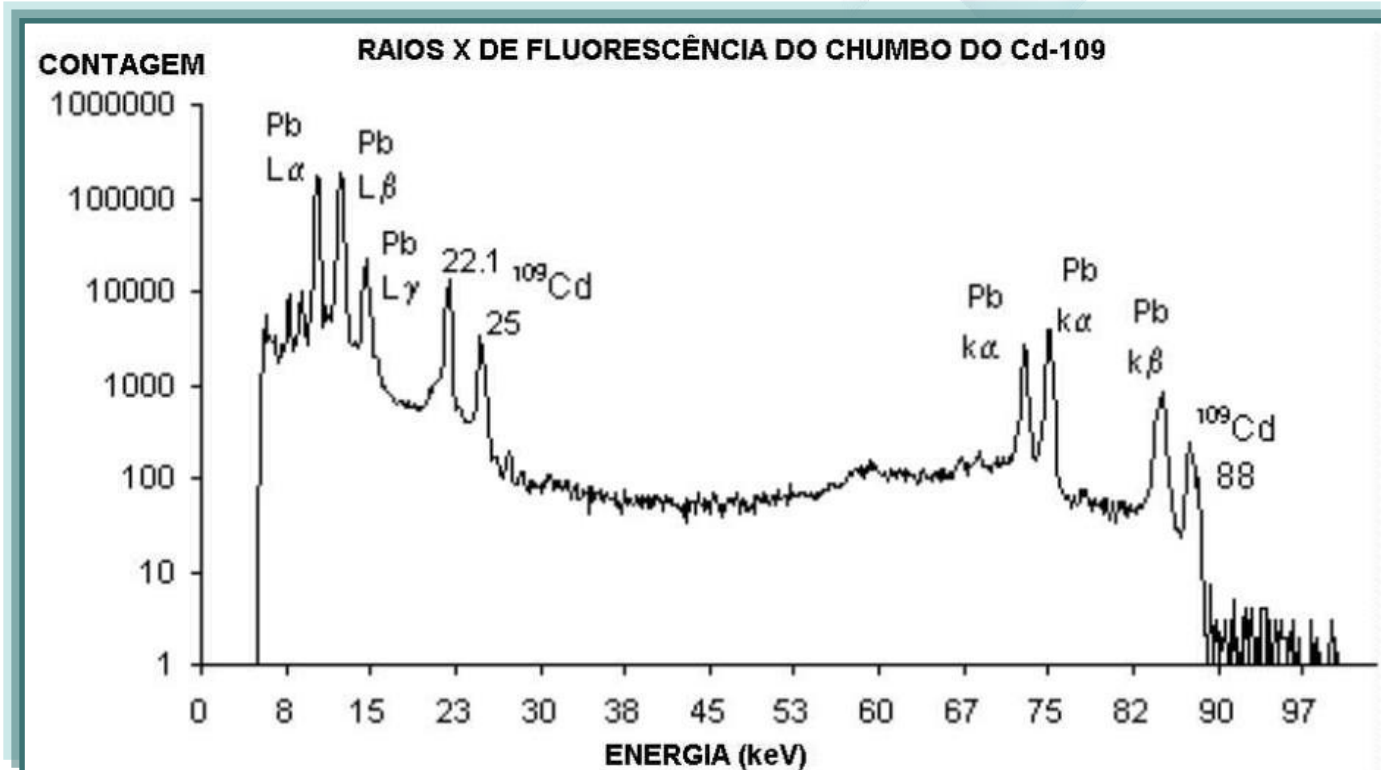
Medidores Nucleares (MN)

④ Concentração (*técnica de fluorescência por raios X*)

- ❑ Apresenta a vantagem de ser uma técnica não destrutiva e abrange uma larga faixa de concentrações, desde 100% a alguns ppm (partes por milhão).
- ❑ O espectro de raios X fluorescentes proveniente da amostra irradiada revela um certo número de picos característicos.
- ❑ A energia desses picos leva à identificação dos elementos presentes na amostra (análise qualitativa) enquanto que suas respectivas intensidades fornecem a concentração de cada elemento (análise quantitativa).

Medidores Nucleares (MN)

② Concentração (reativos):



A fluorescência de raios X pode ser empregada nas análises qualitativa e quantitativa de amostras de diferentes origens tais como ambiental, geológica, biológica e industrial.

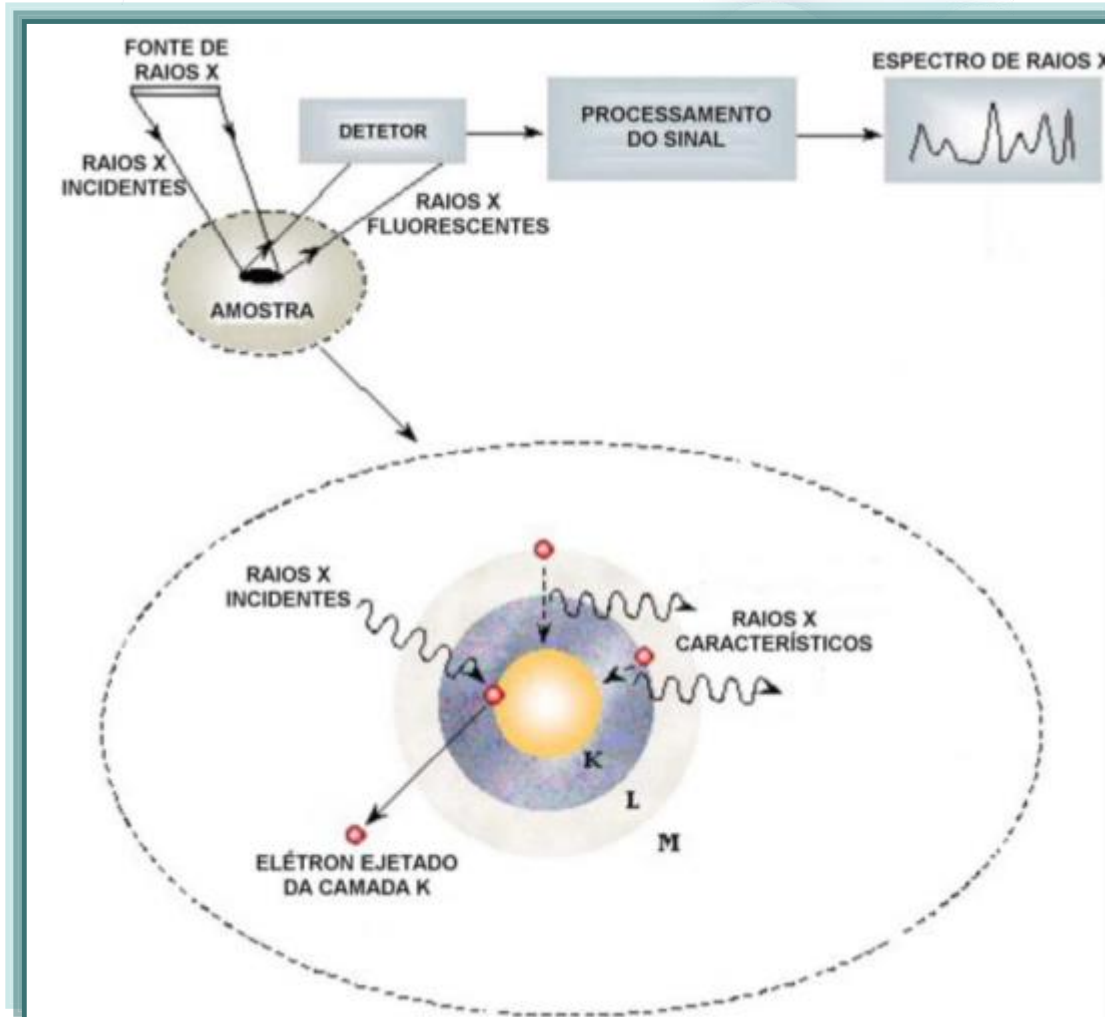
Medidores Nucleares (MN)

❶ *Técnica de fluorescência por raios X*

- ❑ Um equipamento de espectroscopia de raios X típico inclui uma fonte de radiação primária, geralmente um radioisótopo ou um tubo de raios X, e um equipamento para detecção dos raios X secundários.
- ❑ A energia da radiação primária deve ser ligeiramente maior do que a energia de ligação dos elétrons das camadas K e L do átomo excitado.
- ❑ Os radioisótopos mais empregados são Fe-55, Co-57, Cd-109 e Am-241, que emitem raios X de energias definidas sendo, portanto, capazes de excitar um número limitado de átomos. Assim, para analisar uma larga variedade elementos, necessita-se de uma ampla combinação de radioisótopos a serem usados como fontes.
- ❑ Por outro lado, se tubos de raios X forem empregados, estes são escolhidos com base no material do anodo de modo a proporcionar radiação primária (característica ou de freamento) adequada ao material a ser analisado.

Medidores Nucleares (MN)

🎯 Técnica de fluorescência por raios X:



Medidores Nucleares (MN)

- ① Instalação e operação de medidores nucleares
 - ❑ Segurança para a instalação e operação dos MN
 - ❑ Radioproteção ocupacional envolvida
 - ❑ Riscos potenciais no uso de MN
 - ❑ Teste de fuga no MN



Medidores Nucleares (MN)

🎯 Instalação e operação de medidores nucleares

☐ Segurança para a instalação e operação dos MN

- ❖ Para os medidores nucleares estacionários, dispositivos colocados na linha de produção, ao selecionar o local de instalação e operação, deverão ser considerados
 - ❖ ausência de riscos (incêndio, choque acidentais, fortes vibrações);
 - ❖ a possibilidade de recuperar o material em condições normais e em caso de acidentes; a necessidade restringir o acesso do público;
 - ❖ a forma de impedir perdas, roubos e acesso de pessoas não autorizadas;
 - ❖ colocar tantas blindagens quantas forem necessárias para atenuar o feixe de radiação depois que este tenha passado o detetor; e
 - ❖ assegurar que o obturador feche automaticamente quando for retirada tal blindagem.

Medidores Nucleares (MN)

❶ Instalação e operação de medidores nucleares

❑ Radioproteção ocupacional envolvida

- ❖ Necessidade de um supervisor de proteção radiológica;
- ❖ Monitoração de área ocupacional e havendo necessidade classificação das áreas segundo a legislação;
- ❖ Trabalhadores envolvidos na instalação e manutenção dos medidores nucleares devem ser considerados IOEs;
- ❖ Em intervalos regulares devem ser feitos testes de fuga nas fontes radioativas utilizadas;
- ❖ ao terminar o período normal de utilização de um medidor nuclear, deverá ser providenciada a sua desmontagem conforme um programa estabelecido e autorizado pelo órgão fiscalizador.

Medidores Nucleares (MN)

🎯 Instalação e operação de medidores nucleares

☐ Radioproteção ocupacional envolvida

- ❖ Ao terminar o período normal de utilização de um medidor nuclear, deverá ser providenciada a sua desmontagem conforme um programa que descreva a maneira como será disposta a fonte radioativa que vai ser descartada;
- ❖ Este programa deve contemplar as recomendações do BSS 102/90 e abordar estratégia de desmonte, avaliação da situação radiológica da instalação, resultados do teste de fuga.

Medidores Nucleares (MN)

● Instalação e operação de medidores nucleares

□ Riscos potenciais no uso de MN

- Define-se como risco uma grandeza atribuída a múltiplas causas que implicam em perigo, potencial ou real, ou possibilidade de conseqüências danosas ou prejudiciais devido a uma exposição às radiações ionizantes. Para efeitos de radioproteção o risco é definido como a probabilidade de que um indivíduo sofra algum efeito danoso como resultado da exposição às radiações ionizantes.
- Qualquer exposição às radiações ionizantes traz consigo um risco potencial, porém a aplicação de um programa efetivo de radioproteção fará com que o uso das fontes radioativas em técnicas radiográficas, analíticas e de medição, tome-se seguro.

Medidores Nucleares (MN)

◉ Instalação e operação de medidores nucleares

□ Teste de fuga no MN

- ❖ Efetuar o levantamento radiométrico junto ao equipamento investigado e avaliar as taxas de dose ou exposição;
- ❖ Efetuar teste de esfregaço tanto na superfície do MN como em superfícies dentro da área controlada estabelecida;
- ❖ Realizar monitoração das amostras obtidas pelo teste de esfregaço;
- ❖ Guardar registros das atividades realizadas e manter a periodicidade estabelecida no plano de radio proteção;
- ❖ Em caso de contaminação o MN deve ser retirado de uso segundo a legislação em vigor da CNEN.

Medidores Nucleares (MN)

Roteiro para a elaboração de plano de radioproteção para medidores nucleares e perfilagem de poços

Roteiro para elaboração de Plano de Radioproteção para Medidores Nucleares e Perfilagem de Poços

1 - Dados Cadastrais

(Nome da instalação, CNPJ, Endereço, Bairro, Cep, Cidade, Estado, Nome do Titular, do Supervisor de Radioproteção e do Substituto)

Obs.: Caso o Supervisor de Radioproteção não seja funcionário da Empresa, a empresa deverá apresentar cópia do Contrato de Prestação de Serviço, firmado entre a instalação radiativa e o supervisor, devendo ainda conter as atividades desenvolvidas (item 5.3.9 da Norma CNEN-NN-3.01) e a jornada de trabalho.

O substituto do supervisor não precisa ser habilitado pela CNEN, mas precisa comprovar treinamento em radioproteção (40 h), além de ser funcionário da empresa.

2 - Descrição da Instalação

(Atividade principal, Justificativa para a utilização de Radiações Ionizantes)

3 - Descrição do Serviço de Radioproteção

3.1 - Relação de Pessoal

(Nome, Formação, Função, jornada, Credenciamento CNEN quando aplicável)

3.2 - Descrição dos Medidores de Radiação

(Tipo, Fabricante, Modelo, Nº de Série, Nº do Certificado de Calibração, laboratório de calibração)

3.3 - Descrição dos Medidores Nucleares

(Aplicação, Fabricante, Modelo/Tipo, No de Série, Fonte Incorporada)

3.4 - Outros Equipamentos

4 - Inventário das Fontes e Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante

4.1 - Inventário das Fontes de Radiação Ionizante

(Fonte, N° de Série, Atividade (mCi), Data da Atividade, fabricante)

4.2 - Inventário dos Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante

(Equipamento, Fabricante, Modelo, N° de Série, Energia (keV), kV Máx, Corrente (mA), Aplicação, Localização)

5 - Controle e Segurança: Descrição e fotos dos Sistemas

(Sistema de Proteção Física, Sistema de Sinalização e Sistema de Isolamento)

6 - Programa de Controle dos Equipamentos do Serviço de Radioproteção

6.1 - Calibração dos Medidores de Radiação

6.2 - Aferição dos Medidores de Radiação

(Procedimento, Modelo da Ficha de Registro, Periodicidade)

6.3 - Teste de Fuga nos Medidores Nucleares

(Procedimentos, Modelo da Ficha de Registro, Periodicidade)

Roteiro para elaboração de Plano de Radioproteção para Medidores Nucleares e Perfilagem de Poços

- 7 - Programa de Monitoração de Área e Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante: Descrever o Programa**
(Modelo da Ficha de Registro do Levantamento Radiométrico, Periodicidade)
- 8 - Função, Descrição e Classificação das Áreas**
(Se necessário, incluir Cálculo das Taxas de Dose)
- 9 - Programa de Treinamento (Técnicos do Serviço de Radioproteção: Carga horária sugerida de 40 horas)**
(Programa, Carga horária, Periodicidade, Participantes)
- 10 - Instruções fornecidas aos Trabalhadores, ou afixadas em locais determinados**
- 11 - Programa de Monitoração Individual (Quando aplicável)**
(Tipo do Dosímetro, Empresa Fornecedora)
- 12 - Exames Médicos**
(Admissional, Periódicos, Demissional e Especiais, em caso de acidente)
- 13 - Local de Armazenamento (Sistema de Segurança, Sinalização Isolamento, Fotos do Local e Arredores)**
 - 13.1 – Local para Guarda Temporária de Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante (quando necessário)**

14 - Programa de Emergência (*observar subseção 5.3.8, letras O e P*)

(Relatórios e Investigação de Acidentes, Verificações, Auditorias)

Obs.: Incluir telefones da Empresa, Titular, Supervisores de radioproteção e da CNEN.

15 - Programa de Garantia da Qualidade aplicável ao sistema de proteção radiológica

16 - Programa de Registros da Instalação

(Documentação da Instalação que deverá ser arquivada, Local de Arquivamento e Responsável)

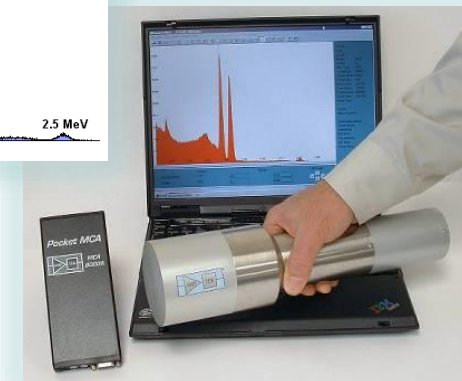
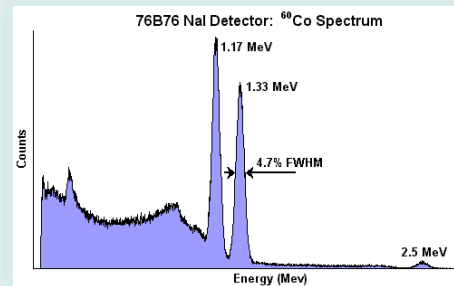
17 - Planta da Instalação com a Localização dos Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante

18 - Referências bibliográficas

OBS.: Todas as folhas do Plano devem possuir em seu “Rodapé”, numeração das páginas, nome e rubrica de quem elaborou, quem revisou e do Titular da Instalação, e campo reservado para rubrica da CNEN

Espectrometria gama e Pesquisa

- ① O que é espectrometria gama?
- ① Instrumentação Nuclear - padrão NIM/BIM
- ① Calibração de um sistema de espectrometria
 - Ajuste de energia
 - Ajuste de resolução
 - Ajuste de eficiência



Espectrometria gama e Pesquisa

🎯 O que é espectrometria gama?

- A medição da radiação ionizante requer uma grande acuidade uma vez que a mesma é imperceptível aos nossos sentidos a não ser quando sua intensidade é tal que efeitos determinísticos acontecem.
- A identificação do material radioativo emissor da radiação ionizante gama requer uma instrumentação que seja capaz de mensurar o espectro de energia que está sendo emitido.
- A medição do espectro de energia gama emitido somente é possível pela utilização da técnica de espectrometria gama, preferencialmente de alta resolução.

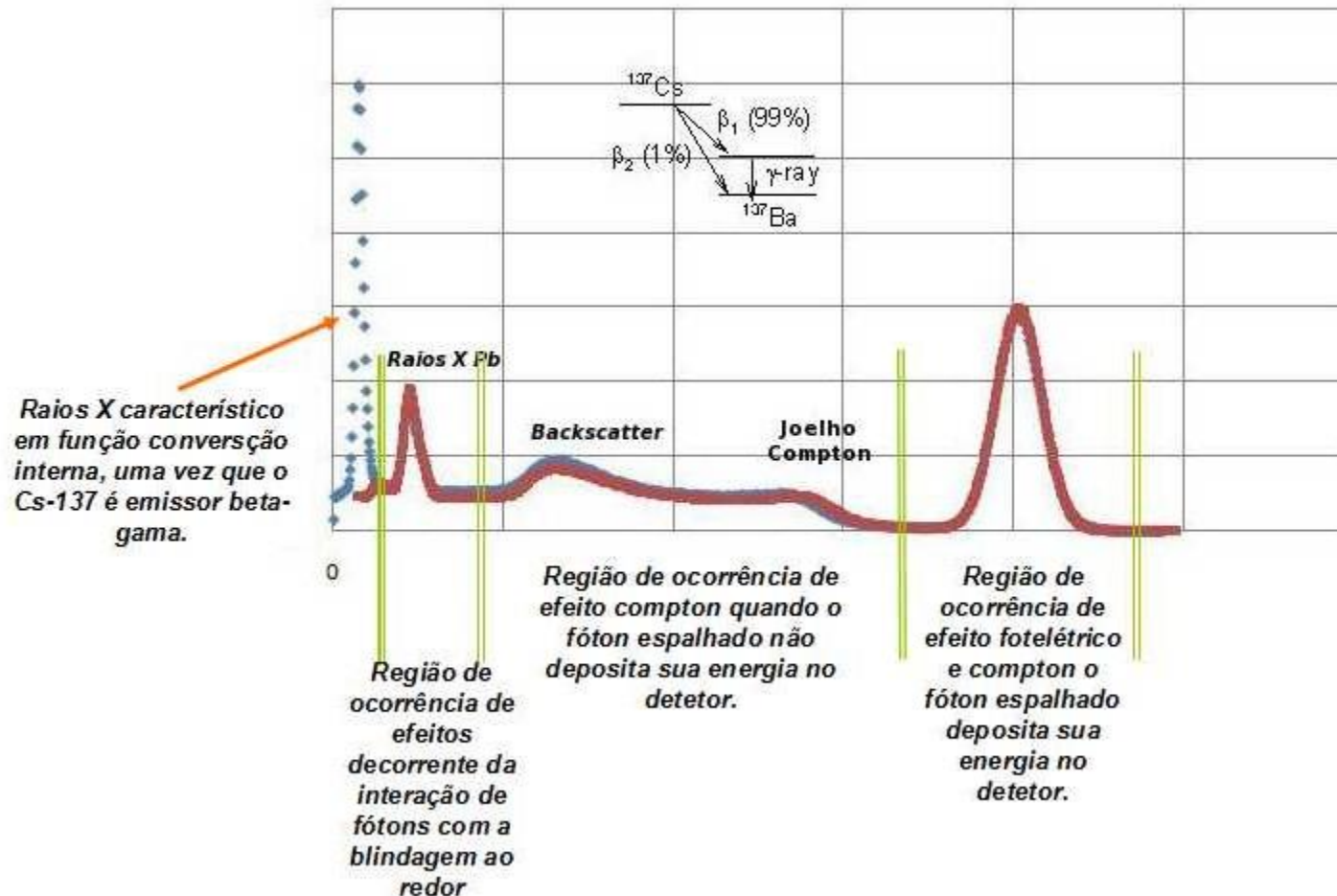
Espectrometria gama e Pesquisa

🎯 O que é espectrometria gama?

- O espectro de energia de fótons de radiação gama irá depender do tamanho, da forma, da composição do detector e também da geometria de irradiação.
- Para espectros de fótons com baixa energia, a função resposta do detector será influenciada pelo espalhamento *Compton* (componente contínuo) e pela interação por efeito fotoelétrico (componente discreto).
- As interações por efeito fotoelétrico e por Compton, mas que o gama espalhado também deposite sua energia no detector serão responsáveis pela formação da região do espectro conhecida por fotopico.
- Quando o gama espalhado deposita sua energia fora do detector somente parte da energia inicial interage com o detector formando a região de Compton.

Identificação de material radioativo - Efeitos fotoelétrico, Compton e outras interações

Cs-137

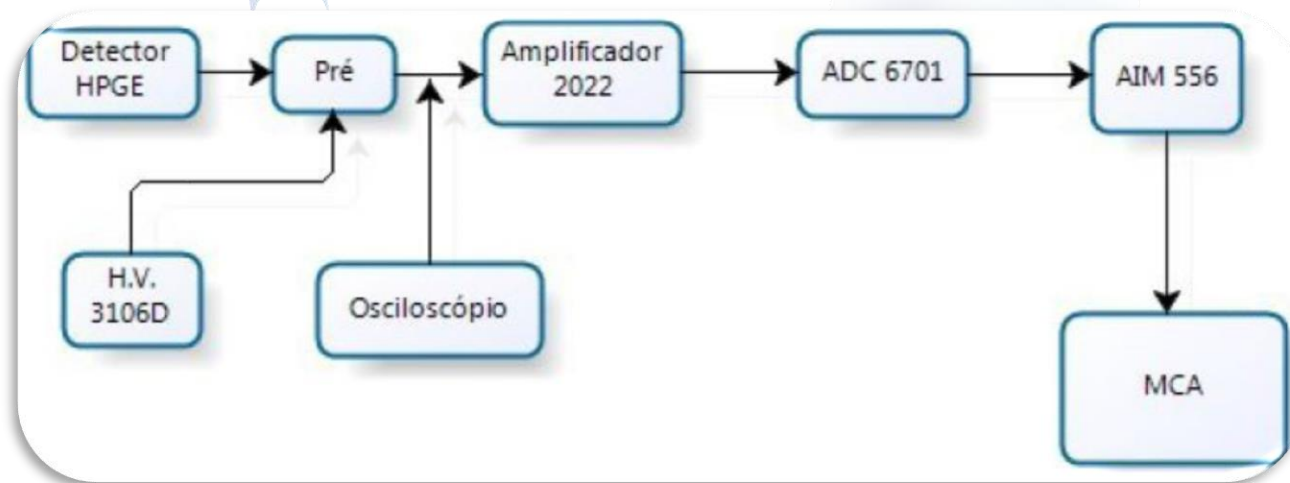


Espectrometria gama e Pesquisa

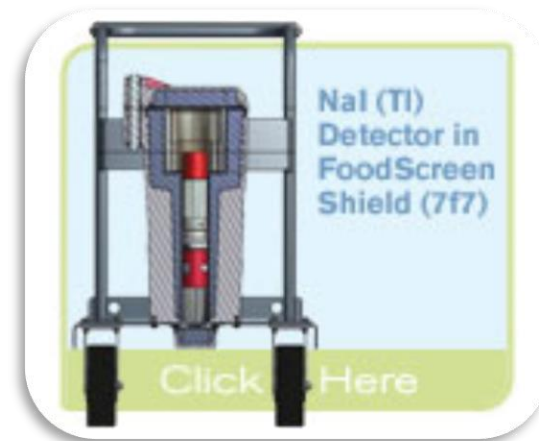
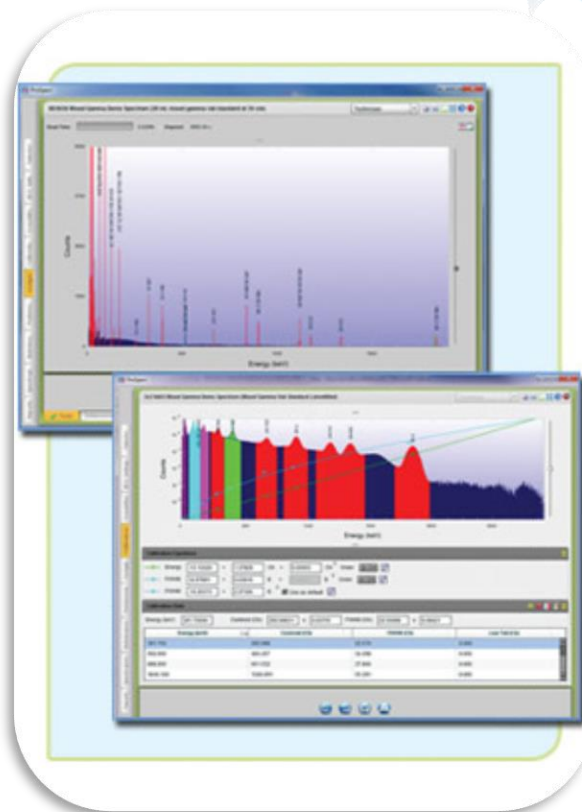
Instrumentação Nuclear - padrão NIM/BIM

- O padrão de sinal utilizado na instrumentação nuclear segue o padrão NIM (Nuclear Instrument Module) que foi estabelecido em 1964.
- Neste sistema a instrumentação eletrônica básica, os equipamentos são construídos como módulos padronizados tanto em especificações mecânicas quanto elétricas.
- Estes módulos, por sua vez, ajustam-se em bastidores chamados de bins , também padronizados, que suprem os módulos com tensões padronizadas ($\pm 6V$, ± 12 e $\pm 24V$). Qualquer módulo NIM se ajustará em qualquer bastidor do padrão bin.
- Um sistema eletrônico específico para uma dada aplicação pode ser criado facilmente, simplesmente associando os módulos necessários, instalando os num bastidor tipo NIM/BIN e conectando-os através de cabos coaxiais.
- Após a realização do experimento, os módulos podem ser utilizados em outro sistema NIM, conforme a necessidade, ou simplesmente guardados para uso futuro.

Instrumentação nuclear - NIM/BIM

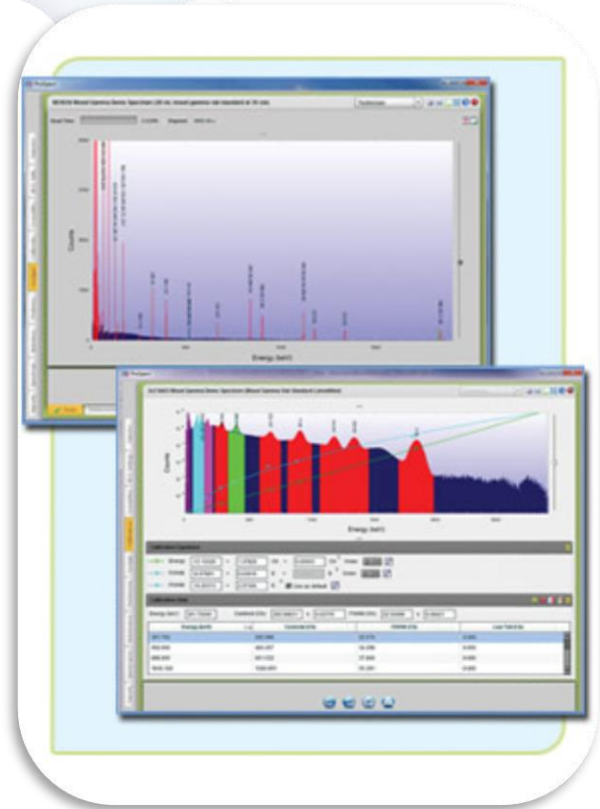


Instrumentação nuclear - NIM/BIM



Calibração de um sistema de espectrometria

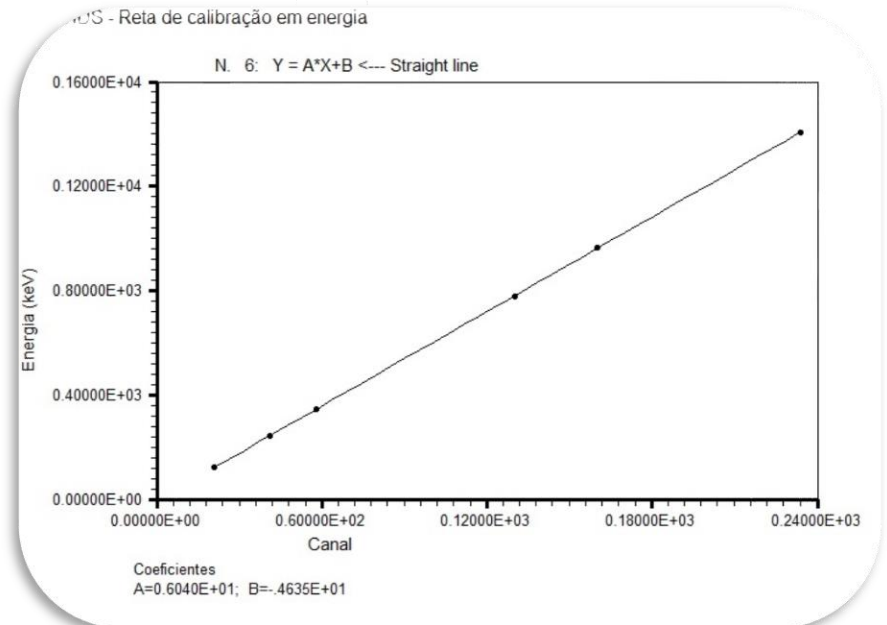
- Para que um sistema de espectrometria gama seja capaz de fazer a identificação e a quantificação de uma material radioativo é necessário que o mesmo tenha calibrado sua resposta em energia, resolução e eficiência.



Calibração de um sistema de espectrometria

Calibração em energia

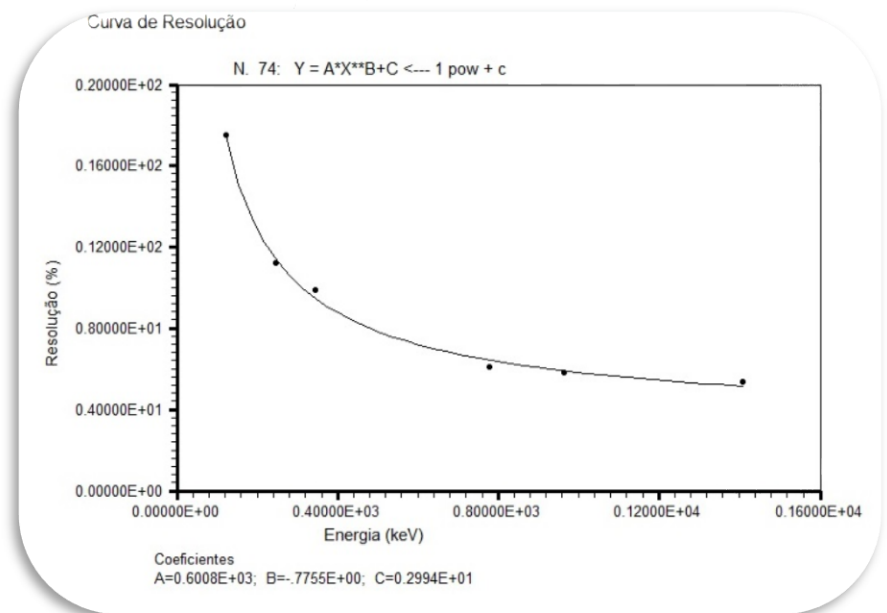
- ❖ A identificação de um material radioativo é realizado pela capacidade do sistema utilizado discriminar a energia gama emitida.
- ❖ Para isso é necessário um ajuste que obedeça uma função do 1º grau: $y = ax + b$.
- ❖ Isto é necessário para que o ponto ou canal central do fotopico formado (slide 136) corresponda a energia emitida pelo material radioativo.



Calibração de um sistema de espectrometria

Calibração em resolução

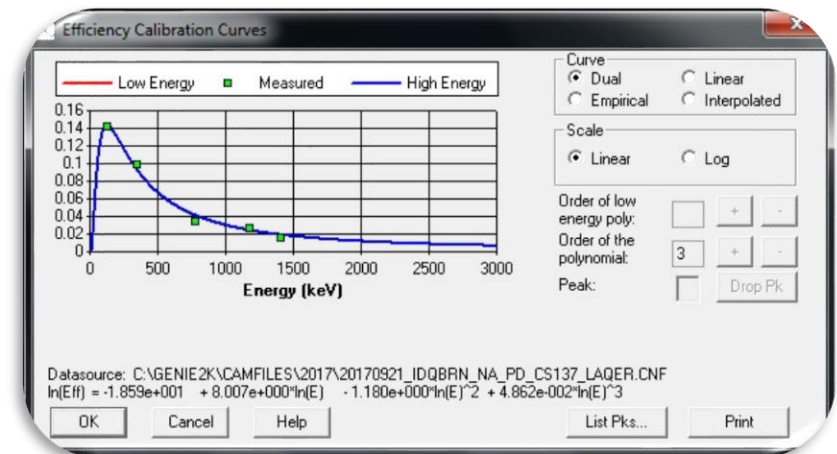
- ❖ A resolução é determinante em sua capacidade de medir a distribuição de energia da radiação incidente.
- ❖ O detector para discriminar a energia de dois fótons emitidos com energias diferentes em seu volume útil, necessita de uma resposta em resolução que permita essa discriminação.
- ❖ Para isso é necessário um ajuste que obedeça uma função de potência: $y = ax^b + c$.



Calibração de um sistema de espectrometria

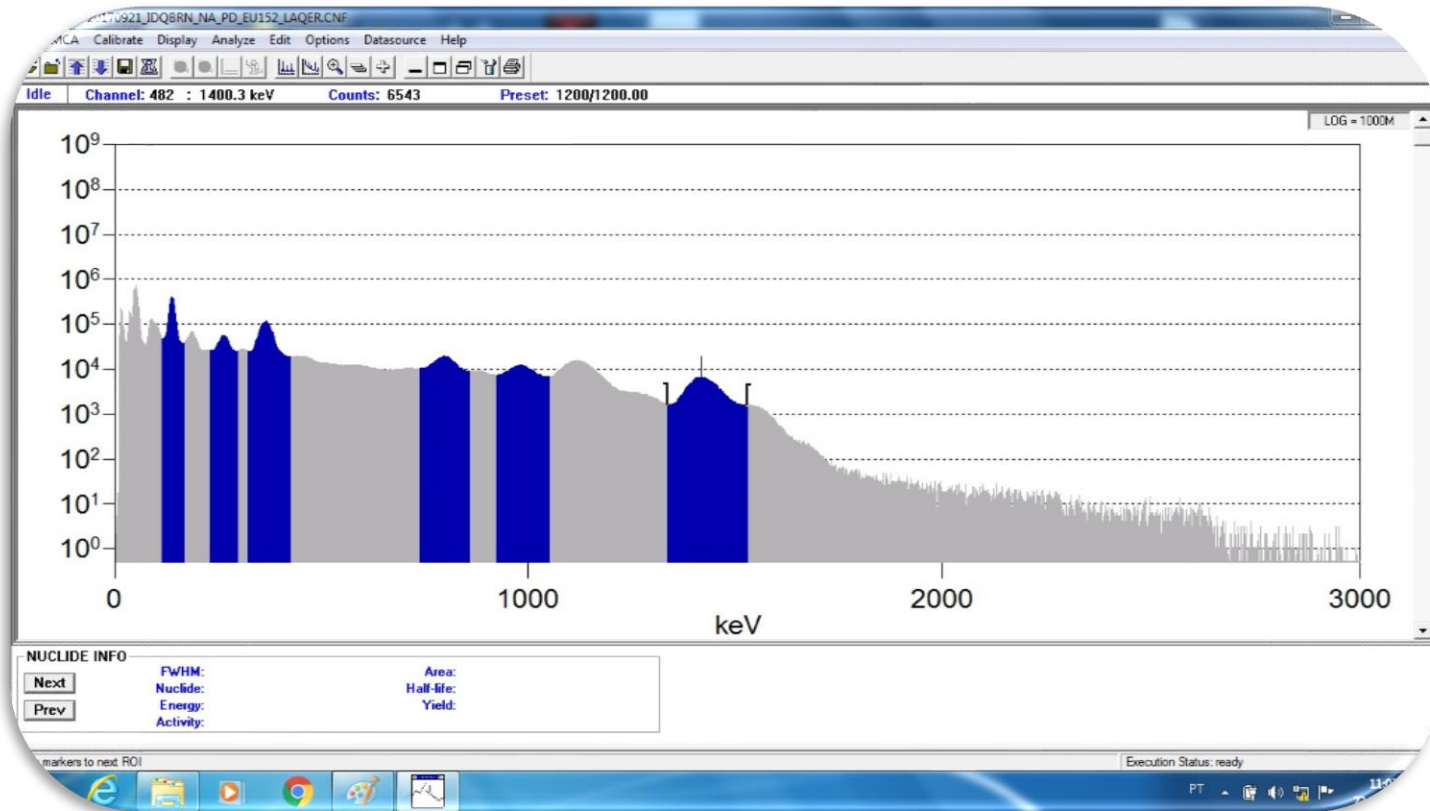
Calibração em eficiência

- ❖ A eficiência (ε) de um detector representa sua capacidade de medir a quantidade de material radioativo presente naquela amostra (Bq/g), em função da energia do material radioativo (E) e na geometria de medição utilizada.
- ❖ Para isso é necessário um ajuste que obedeça uma função de um polinômio: $\ln(\varepsilon) = a + b \cdot \ln(E) + c \cdot (\ln(E))^2 + d \cdot (\ln(E))^3$



Calibração de um sistema de espectrometria

Espectro de energia de ^{152}Eu



Espectrometria gama e Pesquisa

Empregabilidade

- Caracterização de matrizes orgânicas (vegetação, frutas, legumes, peixes, crustáceos...)
- Caracterização de matrizes inorgânicas (solo, sedimento e água)
- Segurança radiológica e nuclear
 - ❖ Segurança de eventos de grande visibilidade
 - ❖ Recuperação de fonte perigosa
 - ❖ Avaliação de eventos de transporte de material radioativo
 - ❖ Avaliação de desastres ambientais



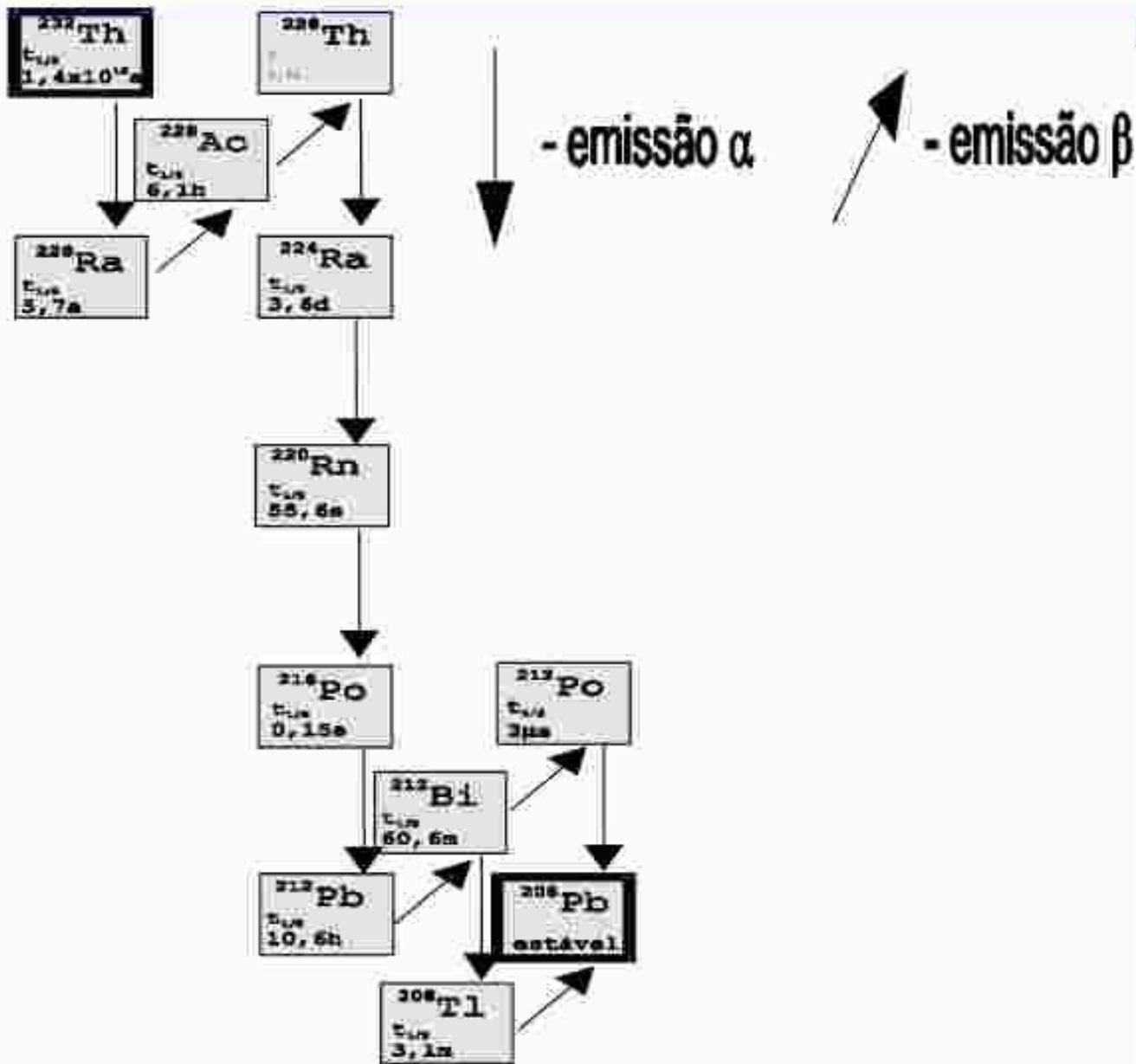
NORM e TENORM

- As siglas NORM e TENORM são abreviações de Naturally Occurring Radioactive Materials e Technologically Enhanced Naturally Occurring Materials, que constituem campos da Proteção Radiológica que tratam dos materiais utilizados ou processados pelo homem, que possuem concentrações de radionuclídeos naturais, que podem induzir doses de radiação significativas e que são responsáveis pela sua exposição à radioatividade natural.
- Tais materiais são processados nos serviços de tratamento de água potável, exploração de carvão mineral, minérios, petróleo, gás, fosfatos, além dos provenientes dos rejeitos industriais e médicos.

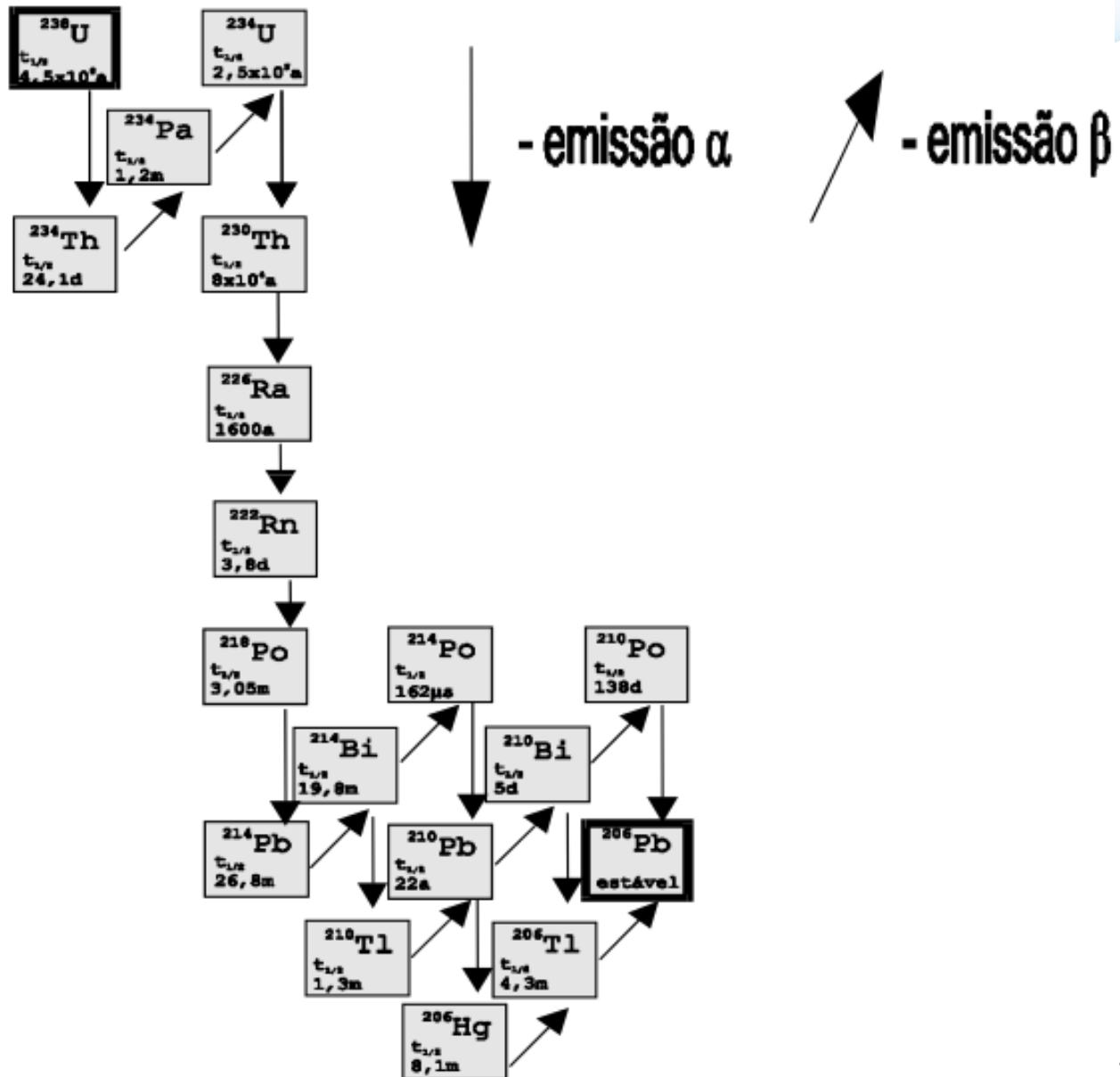
NORM e TENORM

- A maioria dos radionuclídeos é constituída de elementos das séries do ^{238}U , ^{232}Th , além do ^{40}K . Em qualquer um deles, o estudo é individual, ou seja, para cada tipo de radionuclídeo deve ser feito um procedimento específico para verificar se sua concentração no material pode ser considerada inócua ou necessita de uma intervenção para reduzir a exposição à radiação dos trabalhadores ou membros do público.
- As recomendações regulatórias e de estudo destes dois campos são feitas em várias publicações da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), como por exemplo, na –International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation SourcesII, BSS-115, IAEA, Vienna (1996), –Regulations for the Safe transport of Radioactive MaterialsII - Safety Series No.ST-1 - (1996).

Série do Tório-232



Série do Urânio-238



Transporte de material radioativo

- O uso de material radioativo muitas vezes requer o seu transporte entre instalações. Para isso ele deve ser acondicionado em uma embalagem apropriada que é projetada e construída para ser uma barreira efetiva entre ele e o meio ambiente. O conjunto formado pelo material radioativo e sua embalagem é chamado de embalado.
- Para que o transporte seja realizado de forma segura para pessoas, objetos e meio ambiente foram criadas normas internacionais que servem como base para normas e regulamentos nacionais. Na classificação internacional de produtos perigosos, da Organização das Nações Unidas (ONU), os materiais radioativos são incluídos na Classe 7.
- No Brasil a regulamentação sobre o transporte de materiais radioativos é feita pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, através da Norma CNEN-NE-5.01 e por outros organismos que regulam o transporte modal no país.

Transporte de material radioativo

- ① Conjunto de normas CNEN para transporte de materiais radioativos no país:
 - NE-5.01 - Transporte de material radioativo
 - ❖ PR-5.01/001 - Sobre o transporte de material radioativo por motocicletas (não é permitido)
 - NE-5.02 - Transporte de elementos combustíveis para usinas
 - NE-5.03 - Transporte de itens de segurança para usinas
 - NN-5.04 - Rastreamento de transporte de materiais radioativos (obrigatório)

Transporte de material radioativo

Modelo para estrutura de um plano de transporte

1. Introdução (apresenta a instalação que comprou, a que vendeu e o produto)
2. Objetivo e campo de aplicação
3. Definições e siglas
4. Especificação e classificação do material a ser transportado
5. Veículo de transporte (itinerário planejado e o opcional)
6. Radioproteção e segurança no transporte (equipe)
7. Embalagens para acondicionamento da fonte (levantamento radiométrico e sinalização do veículo)
8. Situações de emergência (descrição e as ações a serem adotadas)
9. Requisitos administrativos e responsabilidades (de quem compra, vende e documentos)
10. Referências.

Atividade campo AV1

- ① Trabalho em grupo de NO MÁXIMO 3 participantes
 - Pesquisar no site da CNEN informações sobre 3 empresas autorizadas a funcionar com o uso de material radioativo que não sejam da área de saúde, a exceção das empresas que trabalham com irradiação de sangue;
 - Devem ser apresentadas no trabalho as informações sobre o SPR da empresa bem como o processo seletivo para os IOEs;
 - As informações sobre a autorização das empresas bem como sua localização devem constar no trabalho;
 - Deve ser feita uma resenha sobre cada uma das empresas, dissertando sobre sua área de atuação bem como as dificuldades encontradas para a obtenção das informações para a realização do trabalho;
 - A falta de informações sobre o SPR da empresa deve ter os motivos relatados na resenha sobre a empresa;
 - Na falta de informações sobre o processo seletivo da empresa as etapas do cadastramento para estágio do CIEE deve constar do trabalho;
 - A resenha sobre cada empresa pesquisada deve ter um tamanho máximo de 15 linhas;
 - Se necessário as referências bibliográficas devem ser citadas no trabalho.

Atividade campo AV2

❉ Fazer uma Resenha crítica de artigo científico sobre um dos temas a seguir.

- ❖ Em uma resenha crítica se faz o resumo de um texto e também uma avaliação crítica sobre o mesmo, apontando seus aspectos positivos e negativos.

❉ Estrutura:

- ❖ Capa / Título
- ❖ Referência bibliográfica (citação do artigo)
- ❖ Dados bibliográficos do autor
- ❖ Resumo do conteúdo
- ❖ Avaliação crítica

Grupo 1	Gamagrafia	Grupo 5	Espectrometria gama e pesquisa
Grupo 2	Escaneres	Grupo 6	Fluorescência de raios X
Grupo 3	Medidores nucleares	Grupo 7	Acidentes radiológicos na indústria
Grupo 4	NORM e TENORM	Grupo 8	Radioproteção em atividades no setor de indústria

Referências bibliográficas

- Brasil, Posição Regulatória 3.01/004:2011 Restrição de dose, Níveis de referência ocupacionais e Classificação de áreas
- Oliveira, L.S.R. Avaliação da Resposta de Detectores Cintiladores de NaI(Tl) em Medições de Kerma no Ar em Feixes de Raios X Diagnóstico - Dissertação de mestrado - IRD/CNEN [Rio de Janeiro] 2011
- Brasil, Norma CNEN-NN-7.02 Registro de Operadores de Radiografia Industrial, março/2013
- Brasil, Norma CNEN-NN-7.01 Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica
- Andreucci, R. Radiologia Industrial, ABENDI - Janeiro, 2009
- Andreucci, R. Proteção radiológica, ABENDI - Janeiro, 2013

Referências bibliográficas

- ② PUB-1101 - The radiological Accident in Yanango, Peru. IAEA, 2000
- ② PUB-1199 - The radiological Accident in Cochabamba, Bolívia. IAEA, 2004
- ② Bórras, C. La Necesidad de Reglamentar el uso de los Sistemas de Inspección Personal y de Carga que Utilizan Radiaciones Ionizantes, 2010
- ② Rocha, S. Noats de aula de Radiologia Industrial, março/2005
- ② Ferreira, N. C. Aplicação das Normas Relativas à Radioproteção em Medidores Nucleares - Monografia -UFMT - Cuiabá - 2009
- ② Tauhata, L., Salati, I.P.A., Prinzió, R.Di., Prinzió, M.A.R.R.Di. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos - 9a revisão novembro/2013 - Rio de Janeiro - IRD/CNEN 345p.

Referências bibliográficas

- ① RIBAS, R. V., Instrumentação Nuclear, <http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/download/InstNuc-Det.ppt>, acessado em: 22/05/2009.
- ① AIEA, NORM Tendências mundiais - exposição do Público disponível http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/073/45073472.pdf acessado em 22/03/2017

Radiologia Industrial



Prof. Luciano Santa Rita - MSc

www.lucianosantarita.pro.br

tecnologo@lucianosantarita.pro.br