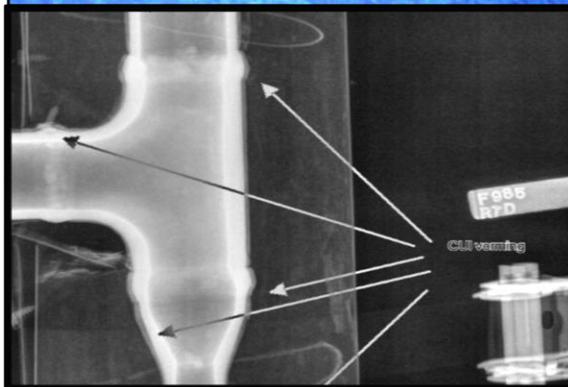
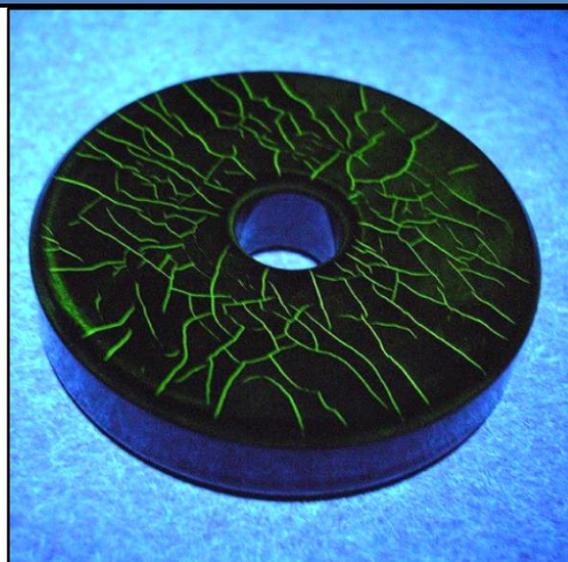


LOM 3084 –INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

REFERÊNCIAS:

- **APOSTILAS-ABENDE-RICARDO ANDREUCCI;**
- **APOSTILAS DO CURSO DE SR-CETRE;**
- **METALS HANDBOOK, VOL.17;**
- **CATÁLOGOS GEIT;**
- **Radiografia com Nêutrons: Uma nova técnica de ensaio não destrutivo, Anais do XIX congresso Nacional de Ensaios não Destrutivos - São Paulo 2000, pág.141.**

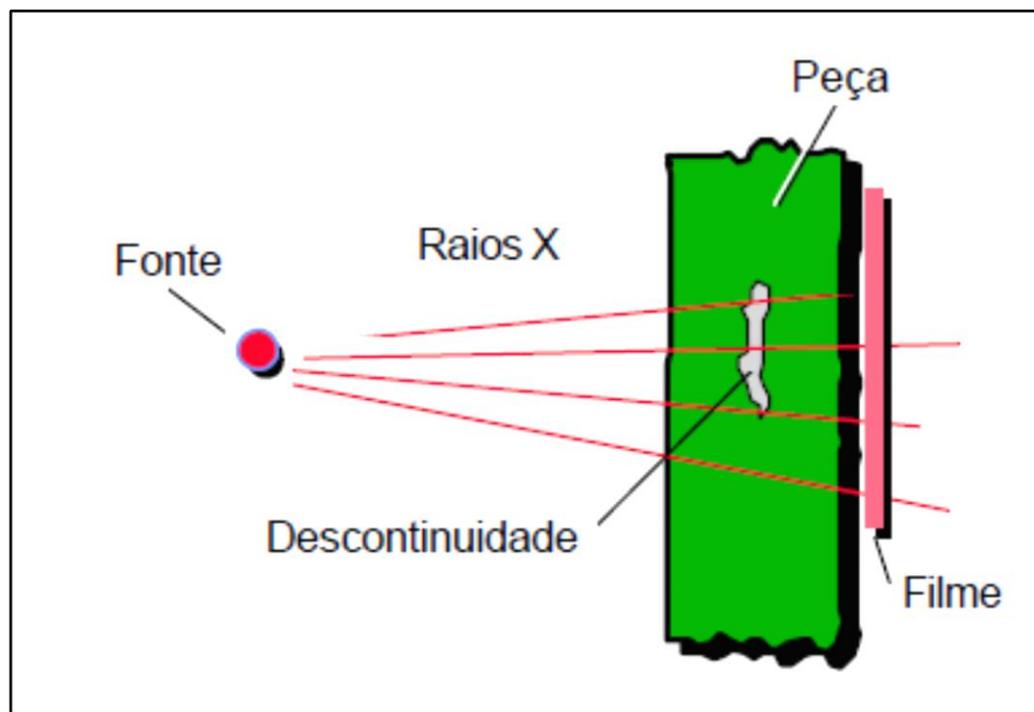
**RADIOGRAFIA INDUSTRIAL
GAMAGRAFIA-RAIOS-X**

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

PRINCÍPIOS DA RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

- A radiografia é um método baseado na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo inspecionada;
- As interações de radiação com a matéria dependem da densidade, espessura, tipo de material;
- Então, as diferentes absorções de radiação levam à detecção de descontinuidades volumétricas;
- O feixe de radiação penetra no material e sensibiliza um filme, uma chapa especial ou um detector eletrônico atrás da peça ensaiada.

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

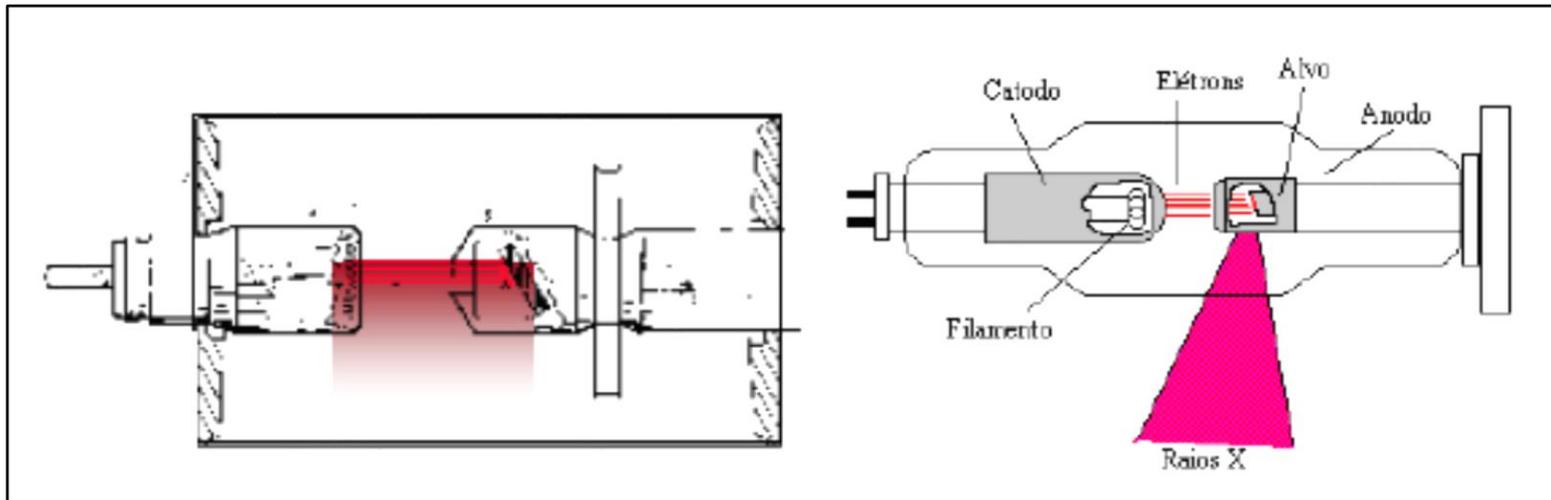


Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

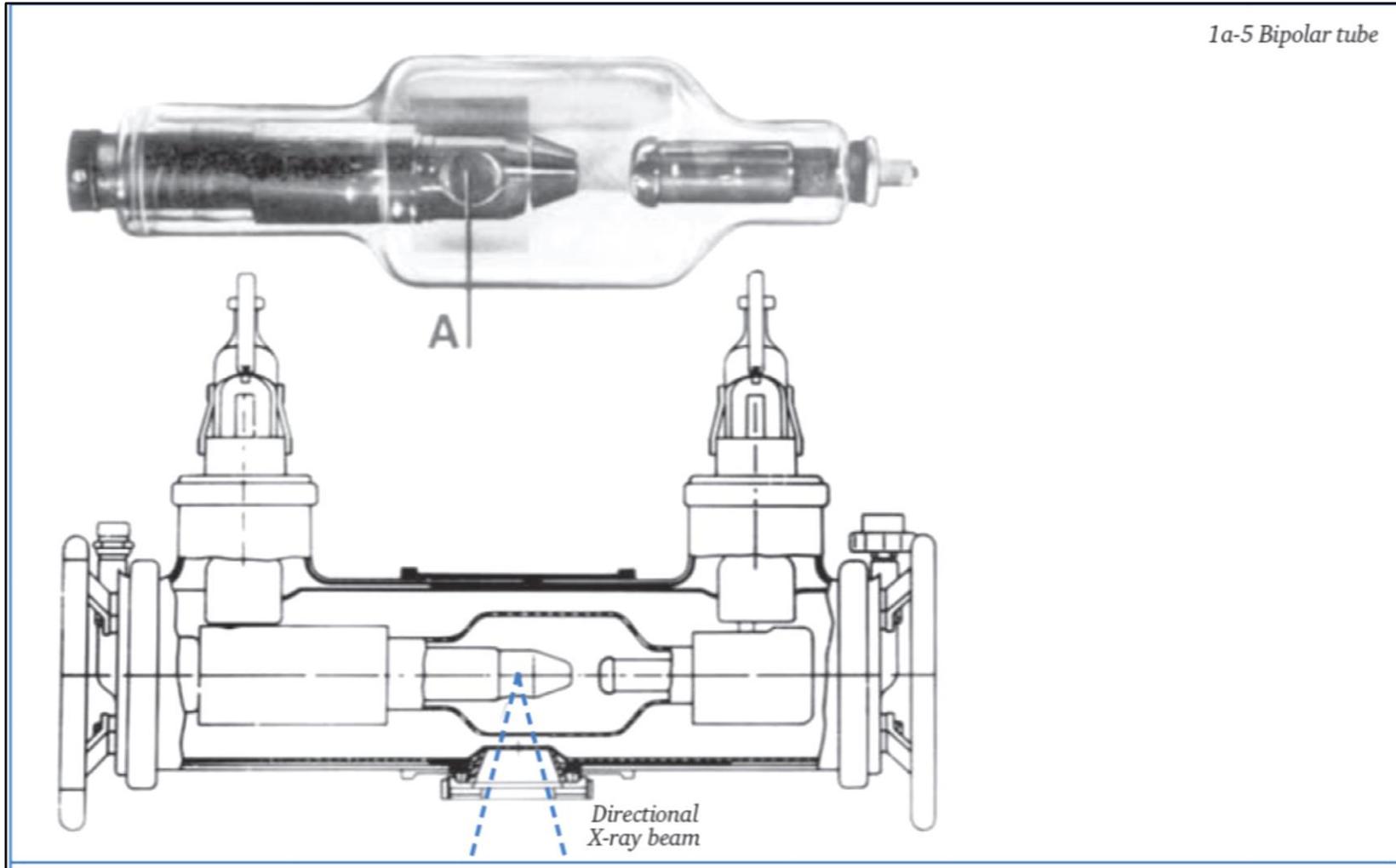
RAIOS-X

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

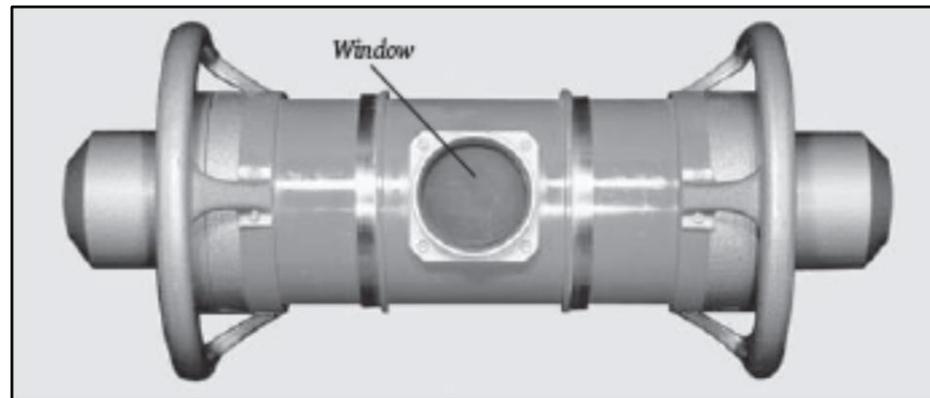
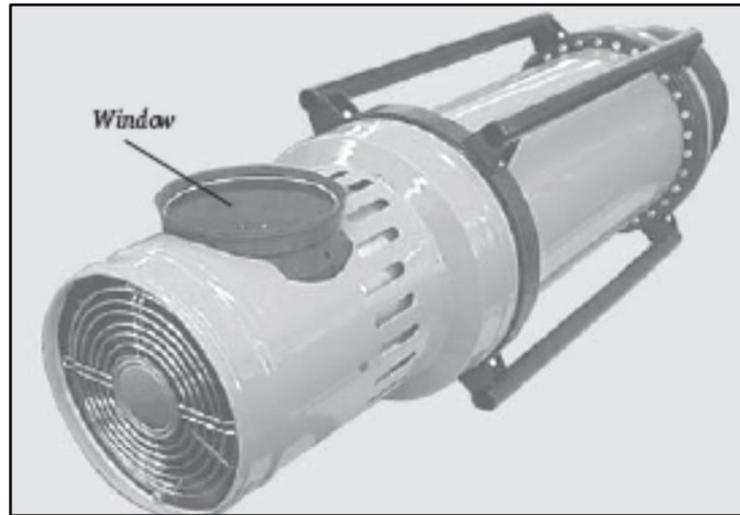
Os Raios X, destinados ao uso industrial, são gerados numa ampola de vidro, denominada **tubo de Coolidge**, que possui duas partes distintas: o ânodo e o cátodo. O ânodo e o cátodo são submetidos a uma tensão elétrica da ordem de **milhares de Volts**, sendo o polo positivo ligado ao anodo e o negativo no cátodo. O ânodo é constituído de uma pequena parte fabricada em tungstênio, também denominado de alvo, e o cátodo de um pequeno filamento, tal qual uma lâmpada incandescente, por onde passa uma corrente elétrica da ordem de miliamperes. No equipamento, existem filtros para bloquear os raios-x característicos. O ensaio é realizado com os raios-x de **Bremsstrahlung (frenamento)**.



1a-5 Bipolar tube



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

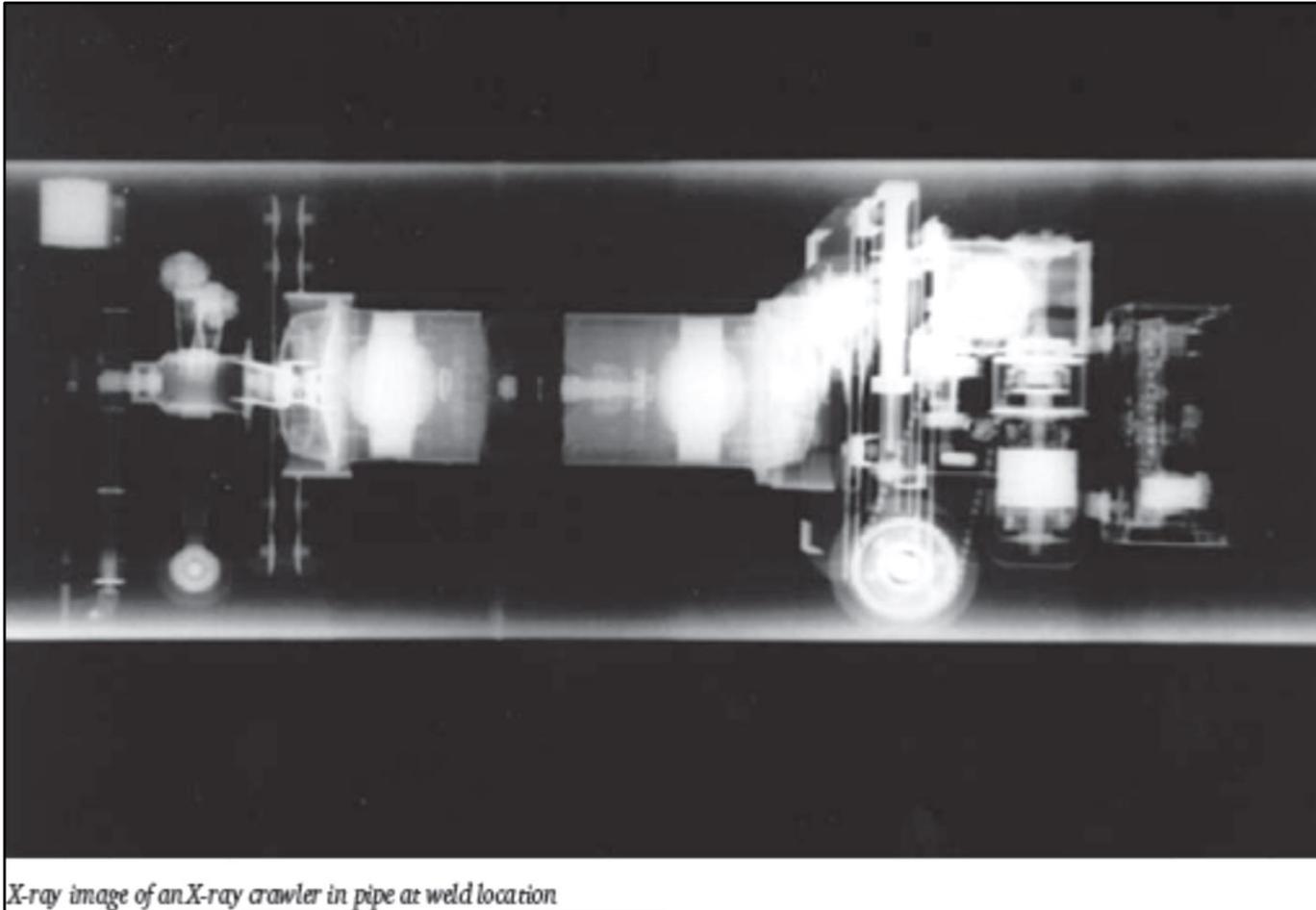


Raios X industrial, de até 300 kV
(CONFAB)



Inspeção radiográfica de soldas em tubos

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Figure 7-5 shows an 8 MeV linac in a radiation bunker examining a pump housing.

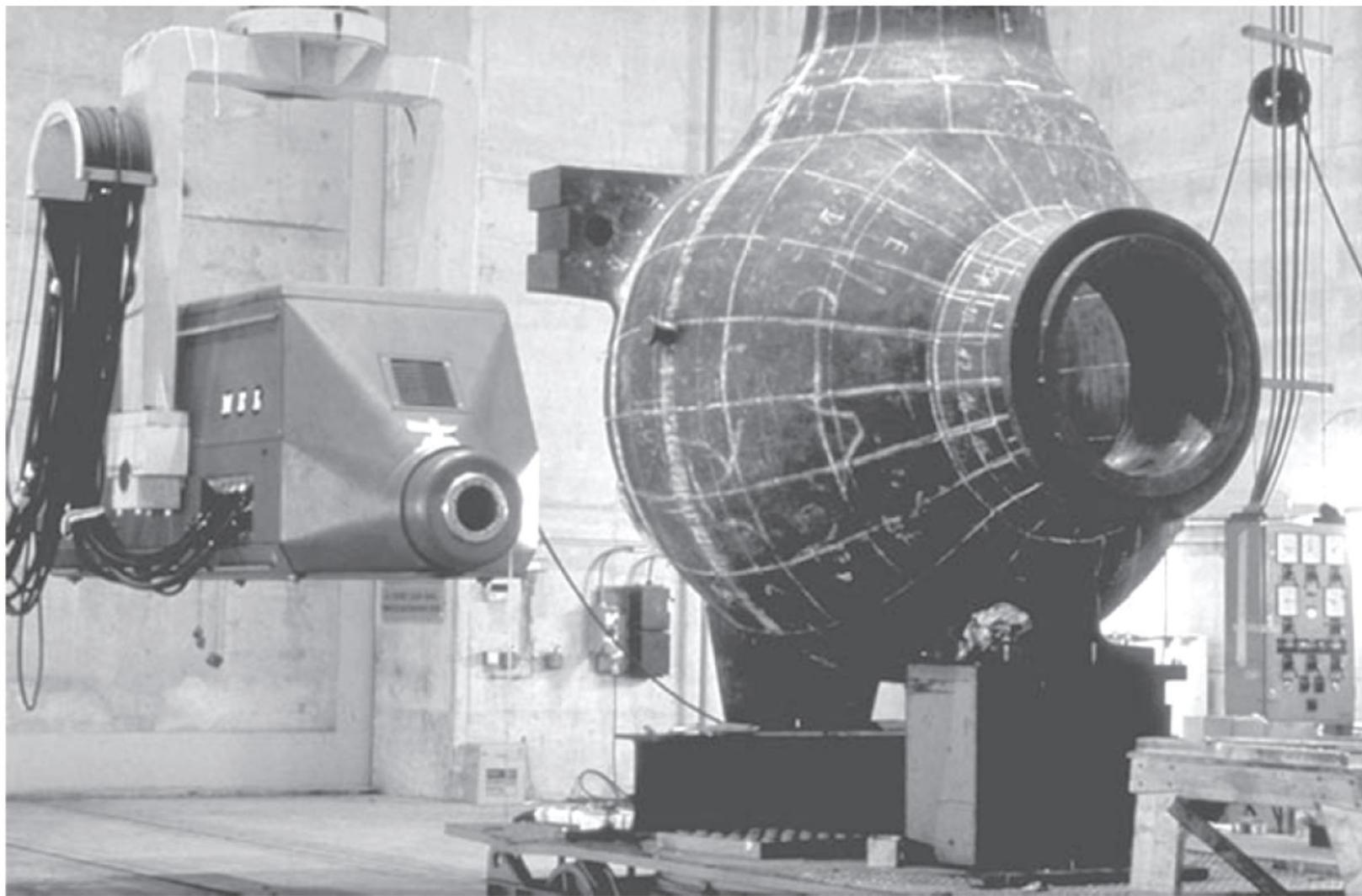




Fig. 10-18. Flash radiography of an insulated pipe section

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Energia Máxima dos Raios X

A energia adquirida pelo elétron, no campo elétrico entre o cátodo e o ânodo será dada pela relação seguinte:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot V \quad (\text{eq.1})$$

onde: V = diferença de potencial aplicada entre o cátodo e o ânodo.

m = massa do elétron

v = velocidade do elétron quando atinge o alvo (ânodo)

e = carga do elétron = $1,6 \times 10^{-19}$ C

Por outro lado a energia pode ser escrita na forma : $E_{\text{max}} = h \times f_{\text{max}}$ sendo $f_{\text{max}} = c / \lambda_{\text{min}}$

onde: h = é a constante de Planck = $6,62 \times 10^{-34}$ J.s

c = velocidade da luz = 3×10^8 m/s

Portanto podemos reescrever a eq.(1) acima na forma:

$$\frac{h \times c}{\lambda_{\min}} = e \times V \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\min} = \frac{6,62 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \text{ m}}{1,6 \times 10^{-19} \times V}$$

$$\lambda_{\min} = 1,24125 \times 10^8 \text{ m} / V \quad \text{sendo } 1 \text{ Angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$$

Portanto quando um elétron se choca com o núcleo de um átomo do alvo e transforma toda a sua energia em radiação X, podemos determinar o comprimento de onda mínimo da radiação gerada .

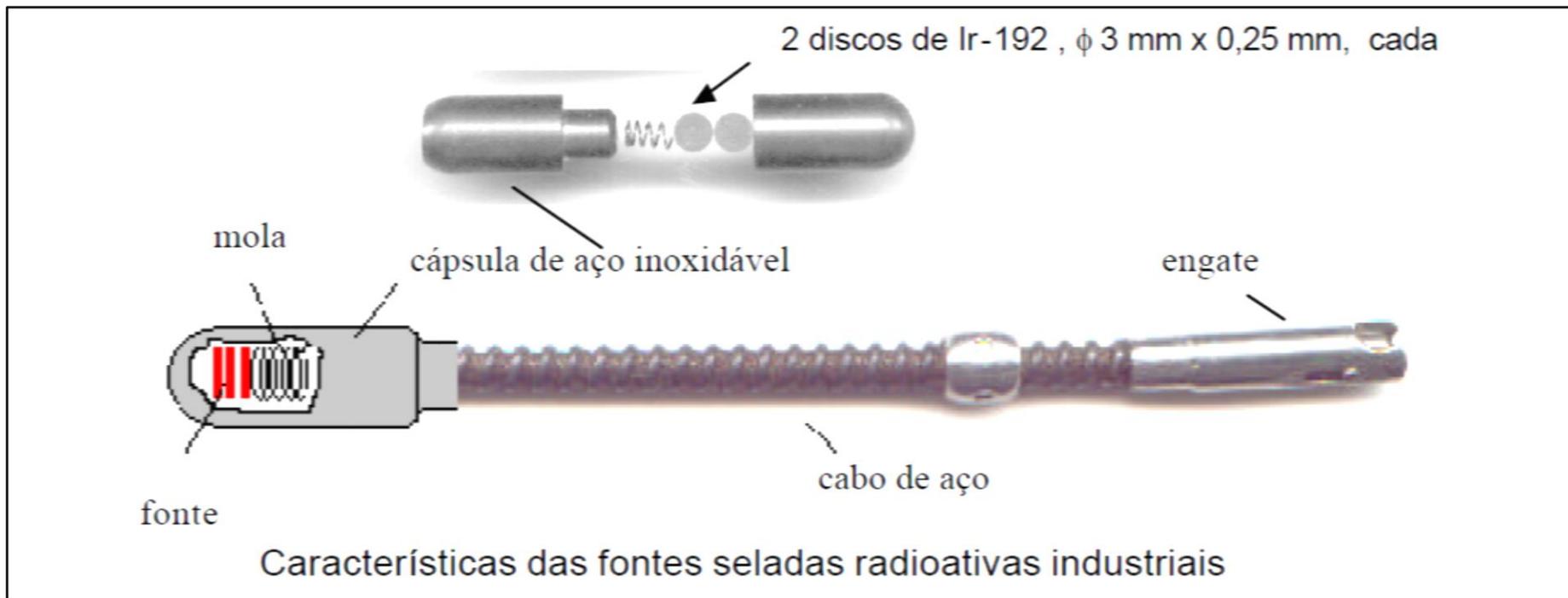
$$\lambda_{\min} = \frac{12.412,5}{V} \text{ Angstroms} \quad , V = \text{diferença de potencial aplicada em Volts.}$$

Energia Máxima dos Raios X

- Quanto **menor o comprimento de onda** mais penetrante serão os Raios X gerados;
- **Peças finas** devemos utilizar **maior comprimento de onda** (menor energia) do que para peças com grande espessura;
- O **comprimento de onda** depende da **tensão** aplicada ao tubo;
- Aumentando a tensão, a energia dos raios-X aumenta e o poder de penetração é maior;
- Os Raios X de alta energia, geralmente produzidos com voltagem superiores a 120 kV, são também chamados de raios “duros”. Os Raios X gerados com tensão inferiores a 50kV são chamados Raios X “moles”.

GAMAGRAFIA

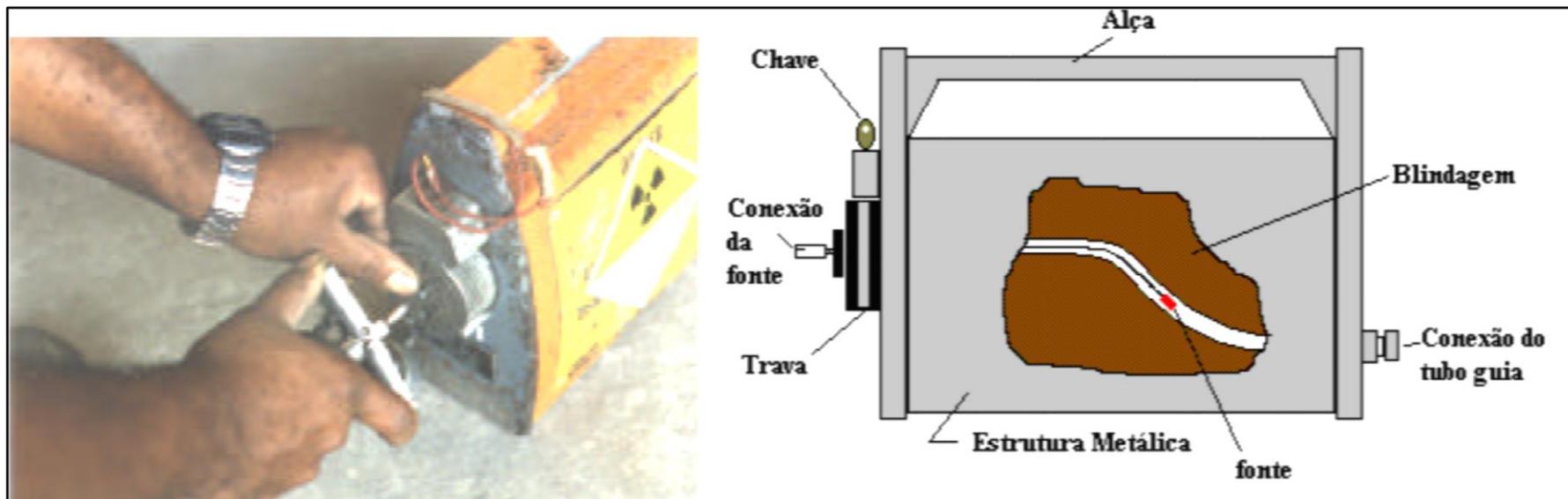
Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



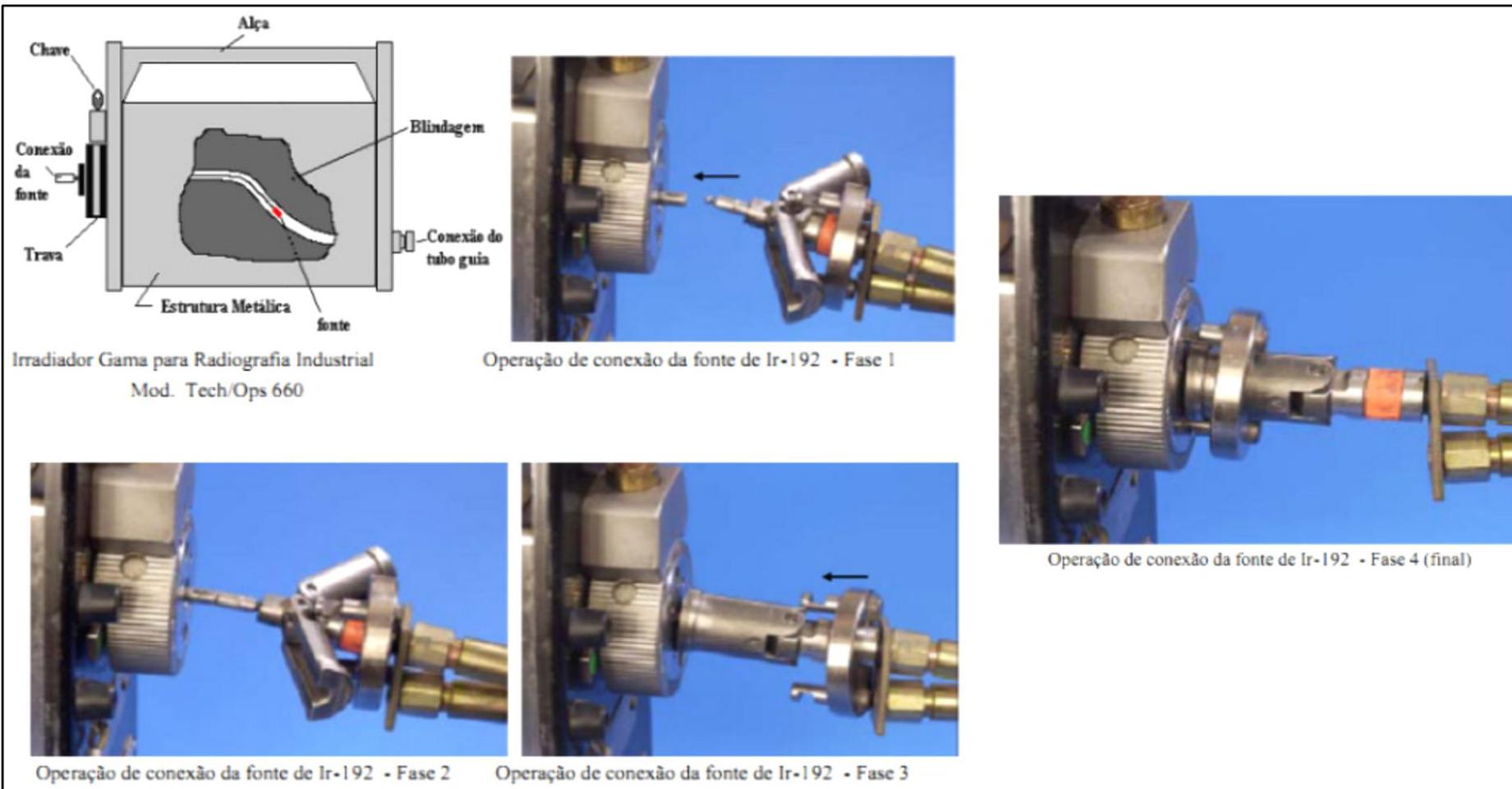
Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



Aparelho para gamagrafia industrial, projetado para operação com capacidade máxima de 100 Ci de Ir-192. O transito interno da fonte no interior da blindagem é feita no canal em forma de "S "



Alça

Chave

Conexão da fonte

Trava

Estrutura Metálica

fonte

Blindagem

Conexão do tubo guia

Irradiador Gama para Radiografia Industrial
Mod. Tech/Ops 660

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

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

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

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

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



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

Foto extraída do catálogo da Sauerwein

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



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

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

EXEMPLO DE UMA TABELA DE DECAIMENTO RADIOATIVO PARA
 UMA FONTE DE Ir-192 INDUSTRIAL PRODUZIDA NO IPEN/SP

IPEN-CNEN/SP

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

TABELA DE DECAIMENTO PARA FONTE DE Ir¹⁹²

USUARIO :
 Nº FONTE: IrS 3402 (X-54) GAMMAT LOTE 111 CAN/IPEN
 UNIDADE : Ci

| DATA | DOM | SEG | TER | QUA | QUI | SEX | SAB |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 25/05/2000 | | | | | 126.00 | 124.83 | 123.67 |
| 28/05/2000 | 122.53 | 121.39 | 120.27 | 119.15 | 118.05 | 116.95 | 115.87 |
| 04/06/2000 | 114.79 | 113.73 | 112.68 | 111.63 | 110.60 | 109.57 | 108.55 |
| 11/06/2000 | 107.55 | 106.55 | 105.56 | 104.58 | 103.61 | 102.65 | 101.70 |
| 18/06/2000 | 100.76 | 99.83 | 98.90 | 97.98 | 97.07 | 96.17 | 95.28 |
| 25/06/2000 | 94.40 | 93.52 | 92.66 | 91.80 | 90.95 | 90.10 | 89.27 |
| 02/07/2000 | 88.44 | 87.62 | 86.81 | 86.00 | 85.21 | 84.42 | 83.63 |
| 09/07/2000 | 82.86 | 82.09 | 81.33 | 80.58 | 79.83 | 79.09 | 78.35 |
| 16/07/2000 | 77.63 | 76.91 | 76.20 | 75.49 | 74.79 | 74.10 | 73.41 |
| 23/07/2000 | 72.73 | 72.05 | 71.39 | 70.72 | 70.07 | 69.42 | 68.78 |
| 30/07/2000 | 68.14 | 67.51 | 66.88 | 66.26 | 65.65 | 65.04 | 64.43 |
| 06/08/2000 | 63.84 | 63.24 | 62.66 | 62.08 | 61.50 | 60.93 | 60.37 |

| | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 14/01/2001 | 14.25 | 14.12 | 13.99 | 13.86 | 13.73 | 13.60 | 13.47 |
| 21/01/2001 | 13.35 | 13.23 | 13.10 | 12.98 | 12.86 | 12.74 | 12.62 |
| 28/01/2001 | 12.51 | 12.39 | 12.28 | 12.16 | 12.05 | 11.94 | 11.83 |
| 04/02/2001 | 11.72 | 11.61 | 11.50 | 11.39 | 11.29 | 11.18 | 11.08 |
| 11/02/2001 | 10.98 | 10.88 | 10.78 | 10.68 | 10.58 | 10.48 | 10.38 |
| 18/02/2001 | 10.29 | 10.19 | 10.10 | 10.00 | 9.91 | 9.82 | 9.73 |
| 25/02/2001 | 9.64 | 9.55 | 9.46 | 9.37 | 9.28 | 9.20 | 9.11 |
| 04/03/2001 | 9.03 | 8.94 | 8.86 | 8.78 | 8.70 | 8.62 | 8.54 |
| 11/03/2001 | 8.46 | 8.38 | 8.30 | 8.22 | 8.15 | 8.07 | 8.00 |
| 18/03/2001 | 7.92 | 7.85 | 7.78 | 7.71 | 7.63 | 7.56 | 7.49 |
| 25/03/2001 | 7.42 | 7.35 | 7.29 | 7.22 | 7.15 | 7.09 | 7.02 |
| 01/04/2001 | 6.96 | 6.89 | 6.83 | 6.76 | 6.70 | 6.64 | 6.58 |
| 08/04/2001 | 6.52 | 6.46 | 6.40 | 6.34 | 6.28 | 6.22 | 6.16 |
| 15/04/2001 | 6.10 | 6.05 | 5.99 | 5.94 | 5.88 | 5.83 | 5.77 |
| 22/04/2001 | 5.72 | 5.67 | 5.61 | 5.56 | 5.51 | 5.46 | 5.41 |
| 29/04/2001 | 5.36 | 5.31 | 5.26 | 5.21 | 5.16 | 5.11 | 5.07 |
| 06/05/2001 | 5.02 | 4.97 | 4.93 | 4.88 | 4.84 | 4.79 | 4.75 |
| 13/05/2001 | 4.70 | 4.66 | 4.62 | 4.57 | 4.53 | 4.49 | 4.45 |
| 20/05/2001 | 4.41 | 4.37 | 4.33 | 4.29 | 4.25 | 4.21 | 4.17 |
| 27/05/2001 | 4.13 | 4.09 | 4.05 | 4.01 | 3.98 | 3.94 | 3.90 |

RESPONSÁVEL: ENG. GILBERTO CARVALHO
 DEP. de APLICAÇÕES na ENGENHARIA e na INDÚSTRIA

1. VIA - USUÁRIO
2. VIA - LABORATÓRIO DE PRODUÇÃO DE FONTES SELADAS


 GILBERTO CARVALHO
 IPEN-CNEN/SP (1)
 Resp. p/ Produção
 de Fontes Seladas

EXEMPLO DE UM CERTIFICADO DE FONTE SELADA PARA USO INDUSTRIAL

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN/SP)
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN)

CERTIFICADO DE FONTE RADIOATIVA SELADA

CARACTERÍSTICAS DA FONTE SELADA

Usuario :
Lote 1 : 111CAN/IPEN
Lote 2 :
N. de Série : IrS 3402 (X-54)
Radionuclídeo : IRIDIO
Atividade : 4.662 TBq (126 Ci)
Tamanho focal 1: (ϕ 2.7 X 0.25 mm)
Tamanho focal 2:

Medida em : 25/05/2000
Discos 17
Discos

TESTES EFETUADOS (ISO 4826)

Exemplo

Livre de Contaminação Superficial: Teste de esfregação

Data: 25/05/2000

Resultado: < 5,0 nCI

Livre de Vazamentos: teste de imersão a 100°C (Imersão em água em ebulição)

Data: 25/05/2000

Resultado: < 5,0 nCI

Responsável:

Data : 25/05/2000


GILBERTO CARVALHO
IPEN/ENEN/SN/11
Resp. pl. Produç.
de Fontes Seladas.

Observações

1. Vida útil recomendada : 10 meses.
2. Serviços de manutenção só serão feitos dentro do prazo correspondente a vida útil recomendada e somente se o defeito apresentado não decorrer de mau uso da fonte.

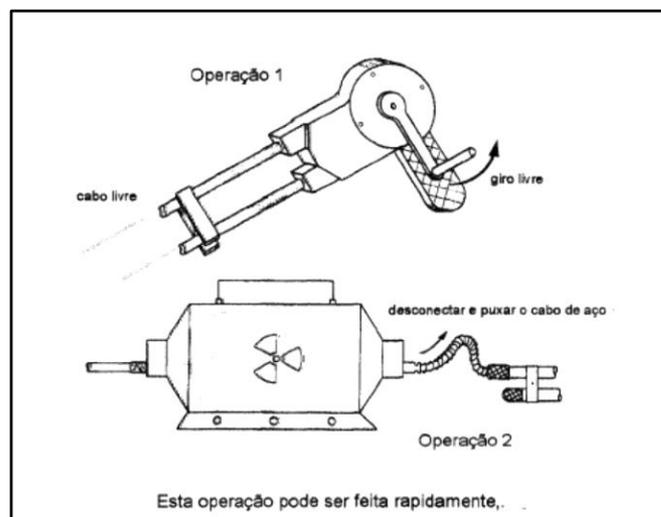
1. VIA - USUÁRIO
2. VIA - PROTEÇÃO RADIOLÓGICA (NP)
3. VIA - LABORATÓRIO DE PRODUÇÃO DE FONTES SELADAS (TE)

Situações de Emergência com Irradiadores para Gamagrafia Industrial

Sintoma: A manivela gira muito livremente ou está presa. A fonte está exposta e não pode ser recolhida.

Providências:

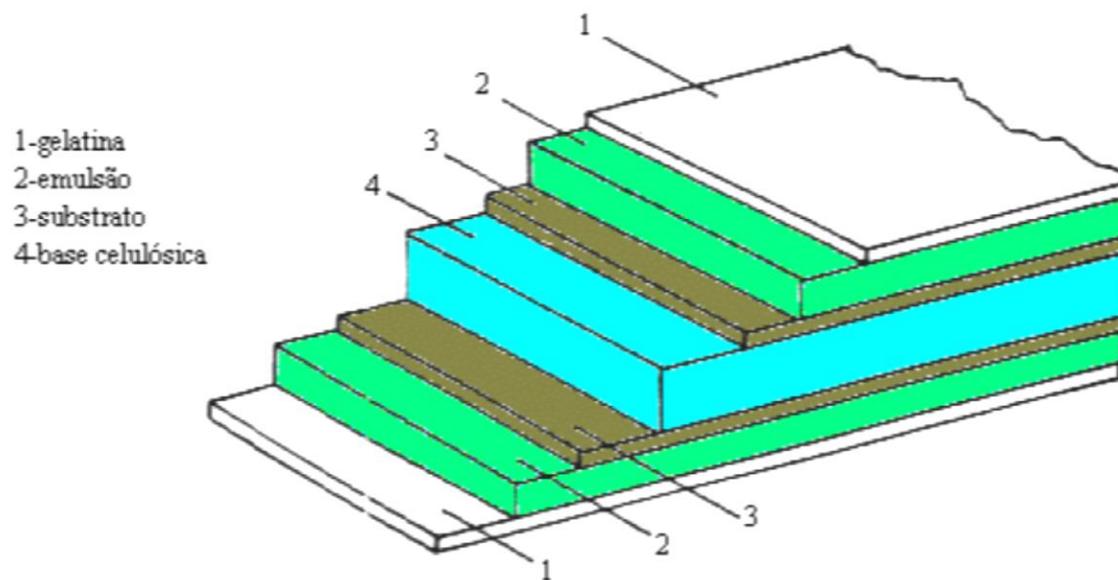
- Manter a área isolada;
- O supervisor de radioproteção deve tentar destravar o cabo, à distância;
- Se a fonte cair, o SR deve avisar a CNEN;
- Aproximar-se com cuidado e fazendo levantamento radiométrico com detector Geiger-Miller;
- Providenciar o resgate da fonte, colocando-a em um recipiente blindado, provisório, conforme explicado anteriormente.



FILMES RADIOGRÁFICOS

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

- Os filmes radiográficos são compostos de uma **emulsão** e uma **base**;
- A **emulsão** consiste em uma camada muito fina (espessura de **0,025 mm**), que contém uma dispersão de cristais de **brometo de prata**;
- A emulsão é colocada **sobre** a **base** de um **derivado de celulose**, transparente e de cor levemente azulada;
- Os filmes radiográficos, ao contrário dos filmes fotográficos, possuem a emulsão em **ambos os lados da base**;
- Os **cristais de brometo de prata**, quando atingidos pela radiação ou luz, reagem com o revelador e a prata é reduzida para **prata metálica negra**;
- Os locais do filme, atingidos por uma **quantidade maior de radiação** apresentarão um **número maior de grãos negros** que regiões atingidas por radiação de menor intensidade;
- Com iluminação, os filmes apresentarão áreas mais escuras e mais claras que irão compor a imagem do objeto radiografado.



Os filmes radiográficos industriais são fabricados nas dimensões padrões de 3.1/2" x 17" ou 4.1/2" x 17" ou 14" x 17" . Outras dimensões e formatos podem ser encontrados em outros países da Europa e EUA

Estrutura de um filme radiográfico

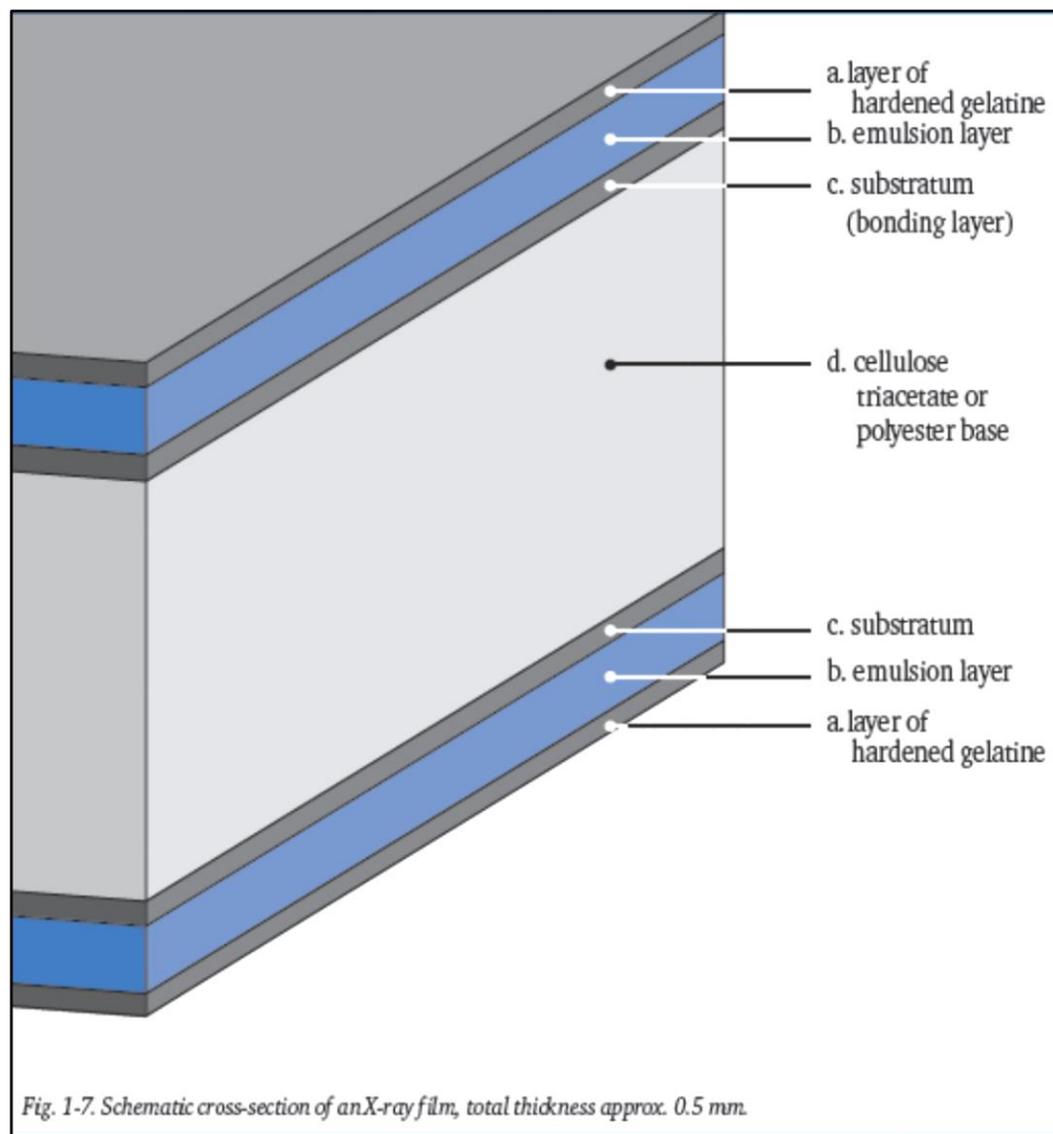
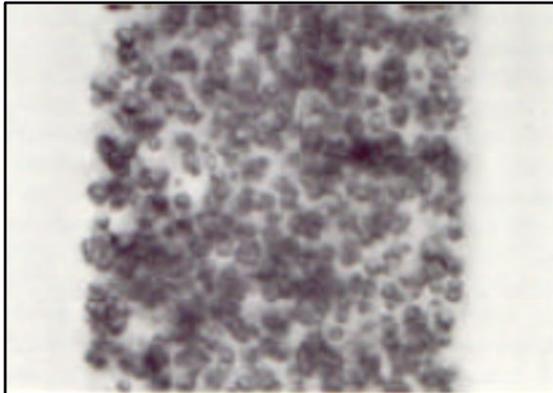


Fig. 1-7. Schematic cross-section of an X-ray film, total thickness approx. 0.5 mm.

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Granulação

Granulação: Agrupamento de partículas de brometo de prata. A granulação aumenta com o aumento de energia da radiação e com o tempo de exposição.



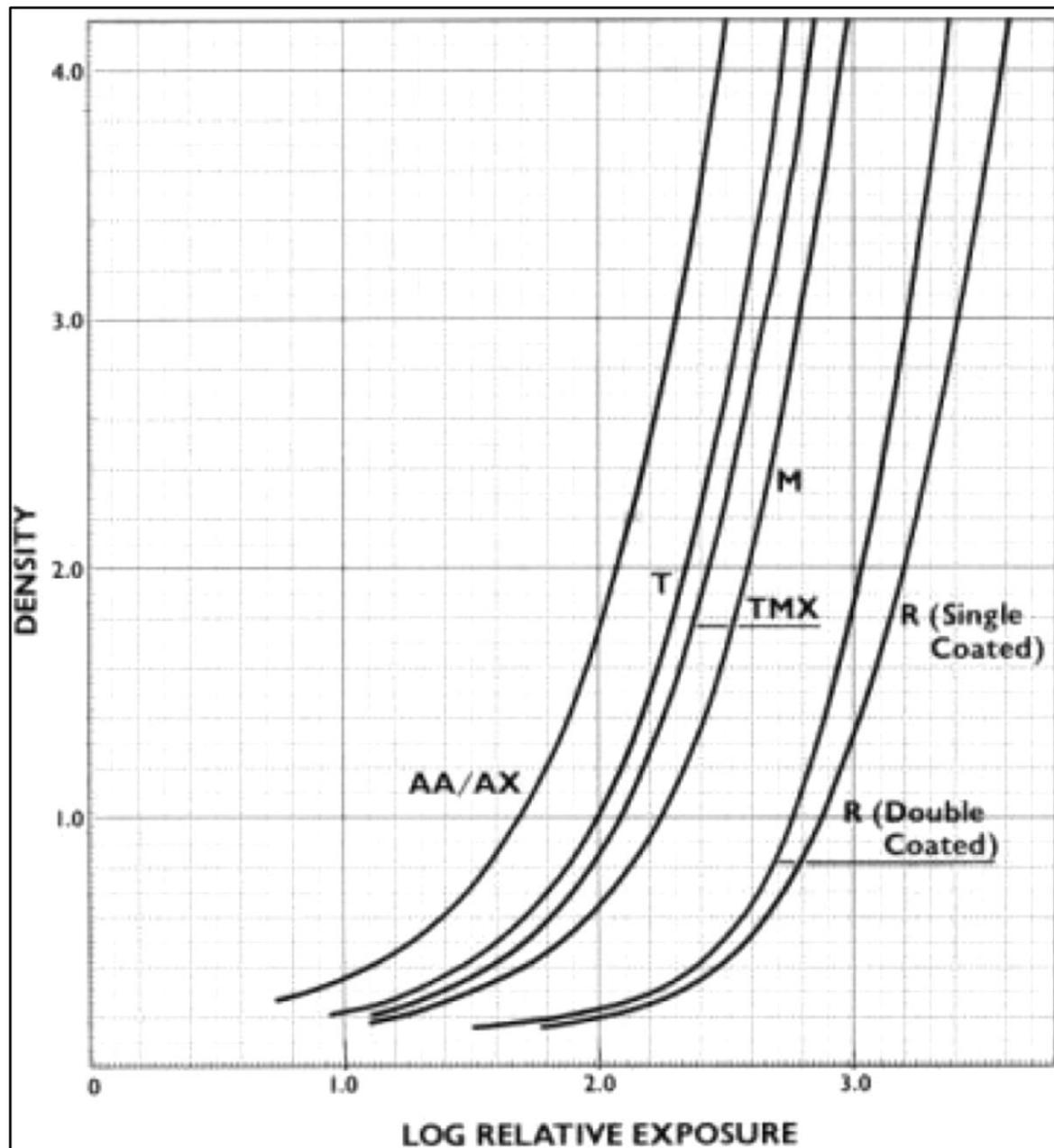
Ampliação dos grãos de um filme radiográfico ainda não processado.

(foto extraída do Livro da Kodak)

Curva Característica dos Filmes Industriais

A curva característica de um filme, também chamada de **curva sensitométrica** ou **curva H e D (Hurter-Driffield)** relaciona a **exposição (tempo)** dada a um filme com a **densidade resultante**.

Observe que mesmo **sem exposição** alguma o filme apresenta uma certa **densidade de fundo** denominado “**Véu de Fundo**”, (base azul) **próprio do filme**, podendo **aumentar** caso o filme esteja guardado em local onde haja **exposição a calor e radiação**.



Curva característica de filmes radiográficos Kodak.

Exemplo de aplicação:

Suponhamos que uma densidade radiográfica $D = 1,8$ num filme Kodak AA-400 o filme não foi aceito e portanto se deseja aumentar a densidade para $D = 2,3$. Qual será o novo tempo de exposição?

Temos que: Usando o gráfico abaixo, na curva do filme Kodak AA-400

para $D = 1,8$ ----- $\log E_r = 2,04$

para $D = 2,3$ ----- $\log E_r = 2,14$

diferença = $0,10$

antilog $0,10 = 1,25$

Neste caso devemos aumentar $1,25$ vezes o tempo de exposição para alcançarmos a densidade $2,3$ no mesmo filme considerado.

Curvas de exposição para gamagrafia

O tipo mais comum de curva de exposição é o que correlaciona o fator de exposição com a atividade da fonte, tempo de exposição e distância fonte-filme. Numericamente, o fator de exposição é representado pela formulação:

$$FE = \frac{A \times t}{Dff^2}$$

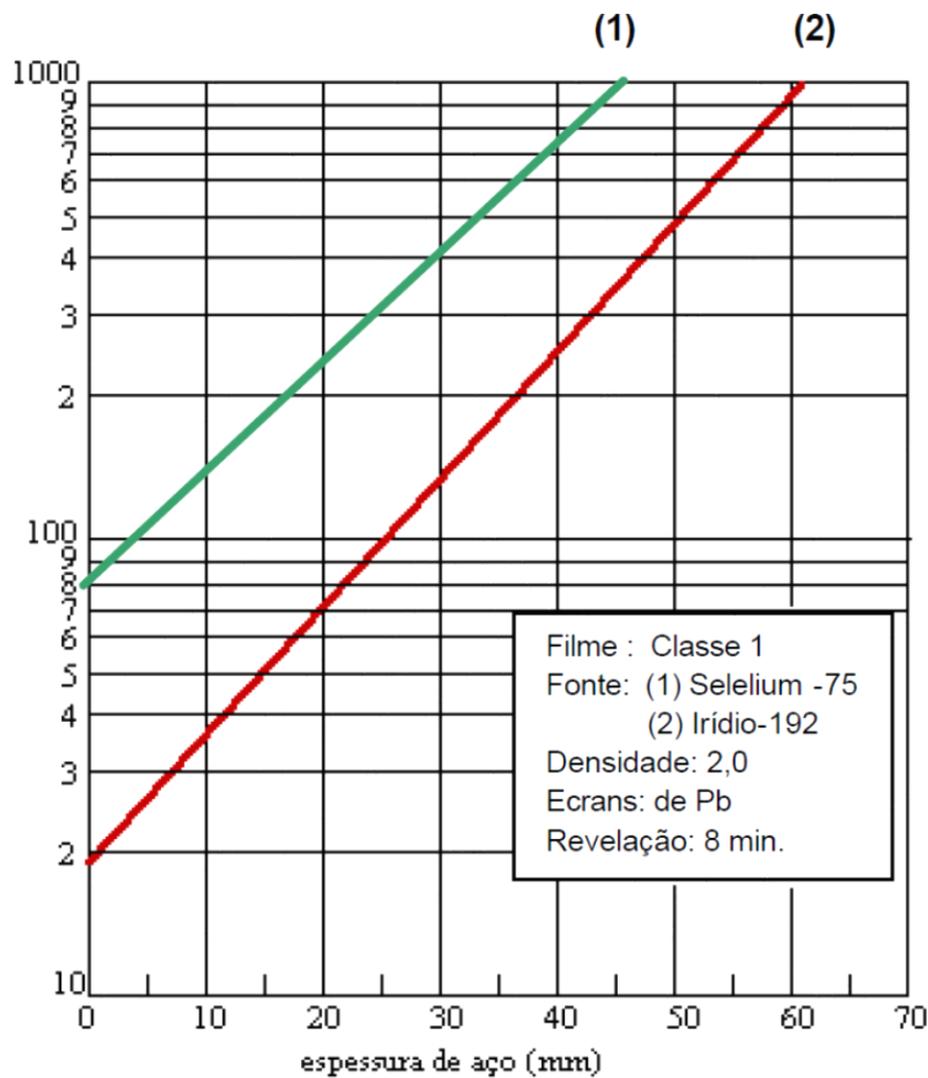
onde:

FE = fator de exposição;

A = atividade da fonte em milicuries;

t = tempo de exposição em minutos;

Dff= distância fonte-filme em centímetros.



Filme : Classe 1
 Fonte: (1) Selelimum -75
 (2) Irídio-192
 Densidade: 2,0
 Ecrans: de Pb
 Revelação: 8 min.

Fator de Exposição para Selênio-75 e Irídio-192, para aços carbono

Classificação dos Filmes Industriais

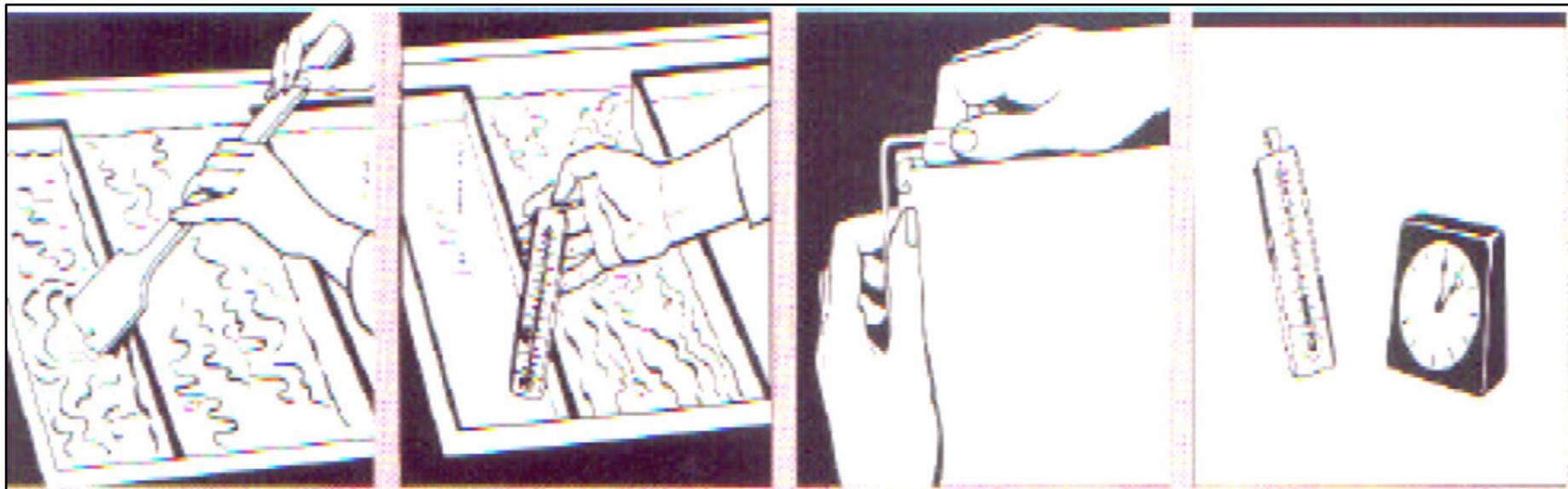
Tipo 1 - Características: **granulação ultra fina alto contraste e qualidade.** Deve ser usado em ensaios de metais leves ou pesados, ou **seções espessas, com radiação de alta energia;**

Tipo 2 - Características: Filme com **granulação muito fina** e com alta velocidade e alto contraste quando **utilizado em conjunto com telas intensificadoras de chumbo;**

Tipo 3 - Características: Filme de **granulação fina**, com alto contraste e velocidade. É o **filme mais utilizado na indústria** em razão do atendimento em **qualidade e maior produtividade;**

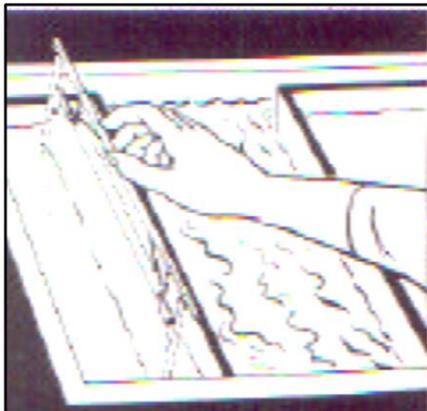
Tipo 4 - Características: Filme de **granulação média, pouco utilizado na indústria.**

Processamento do Filme Radiográfico



1 - Preparação dos Banhos 2- Medição da Temperatura 3 - Prender dos Filmes 4. Acionamento do Cronômetro

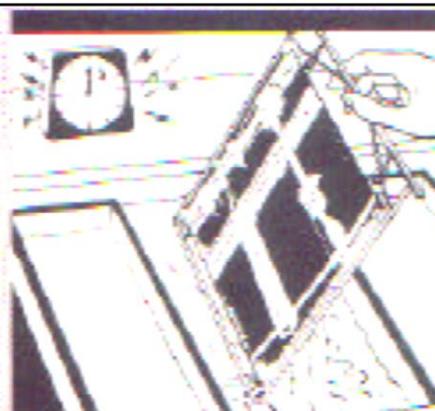
Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



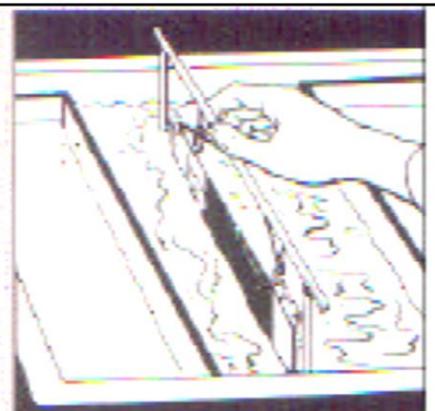
5 – Revelação



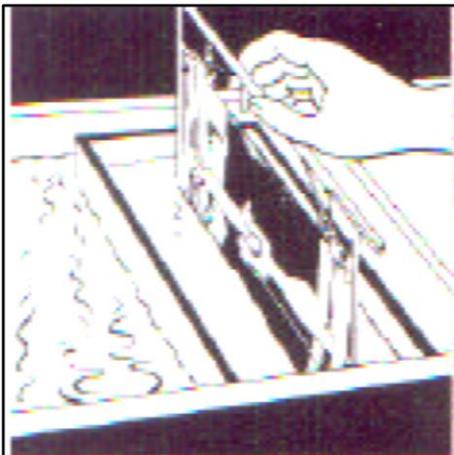
6 – Agitar os Filmes



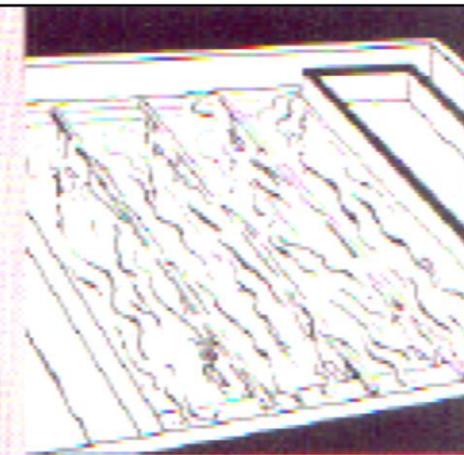
7 – Deixar escorrer



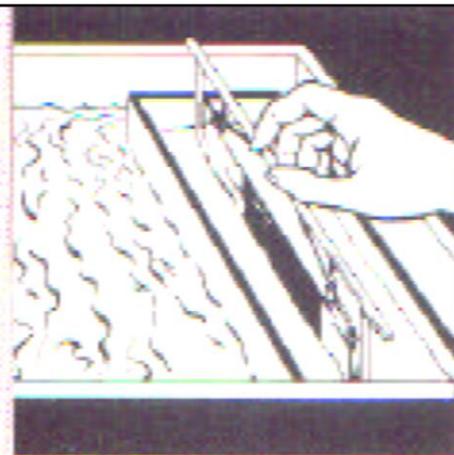
8 – Banho de Parada



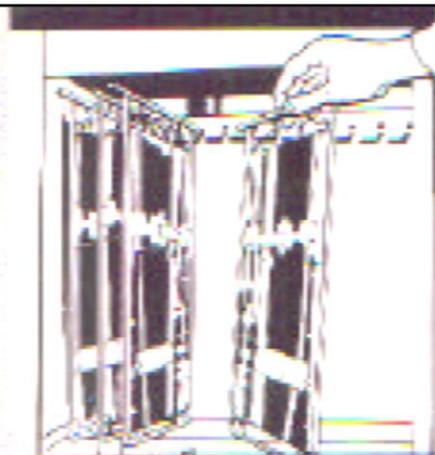
9 – Fixação



10- Lavagem com água



11- Distensor

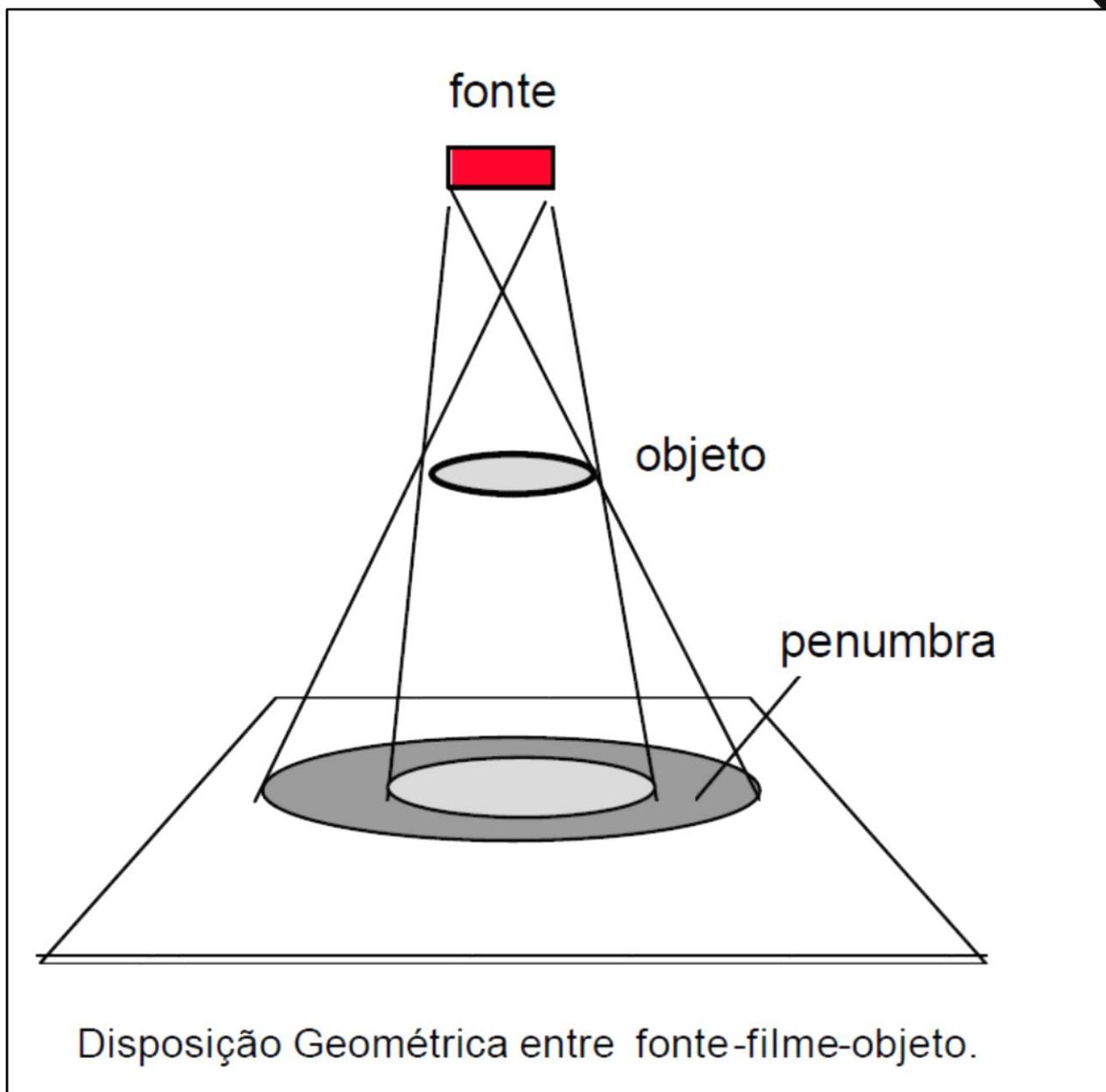


12 - Secagem

PARÂMETROS RADIOGRÁFICOS

Para obtenção de imagens bem definidas ou próximas ao tamanho do objeto, devemos ter:

- o diâmetro da fonte emissora de radiação deve ser o menor possível; entre 1 mm e 7 mm
- a fonte emissora deve estar posicionada o mais afastado possível do material a ensaiar;
- o filme radiográfico deve estar mais próximo do material;
- o feixe de radiação deve se aproximar o mais possível, da perpendicularidade em relação ao filme;
- o plano do material e o plano do filme devem ser paralelos.



Cálculo da Penumbra

A penumbra geométrica pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$U_g = \frac{F \times t}{D}$$

onde:

U_g = penumbra geométrica

F = dimensão do ponto focal

t = espessura do objeto

D = distância da fonte ao objeto.

Tabela de Penumbra Máxima Aceitável

| Espessura do material (pol.) | Valor máx. da penumbra (pol.) |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| abaixo de 2 | 0,020 |
| de 2 até 3 | 0,030 |
| acima de 3 até 4 | 0,040 |
| maior que 4 | 0,070 |

Referência Código ASME Sec. V Artigo 2

Sobreposição

Quando o objeto radiografado for plano ou quando a distância fonte-filme for menor que o raio de curvatura da peça, a sobreposição deverá ser calculada pela fórmula:

$$S = \frac{C \times e}{D_{ff}} + 6 \text{ mm}$$

onde: S = Sobreposição (mm)
C = Comprimento do filme (mm)
e = Espessura da peça (mm)
D_{ff} = Distância fonte-filme (mm)

Indicadores da Qualidade da Imagem - IQI's (Penetrâmetros)

IQI ASME e ASTM tipo Furos

Os IQI's americanos mais comuns consistem em uma fina placa de metal contendo três furos com diâmetros calibrados. Os IQI's adotados pela Normas ASME, Sec V SE-1025 ou ASTM E-1025, possuem três furos cujos diâmetros são 4T, 2T, e 1T, onde "T" corresponde à espessura do IQI. Nesses IQI's, a sensibilidade é igual a 2 % da espessura da peça a ser radiografada .

Os níveis comuns de qualidade são os seguintes:

- Nível 2 - 2T - o furo 2T de um IQI de 2 % da espessura do objeto deve ser visível.
- Nível 2 - 4T - o furo de 4T de um IQI de 2 % da espessura do objeto deve ser visível.
- Nível 1- 1T - o furo 1T de um IQI de 1 % da espessura do objeto deve ser visível (sensibilidade 1 %).
- Nível 1- 2T - o furo 2T de um IQI de 1 % da espessura do objeto deve ser visível (sensibilidade 1 %).
- Nível 4- 2T - o furo 2T de um IQI de 4 % da espessura do objeto deve ser visível (sensibilidade 4 %).

35

4T

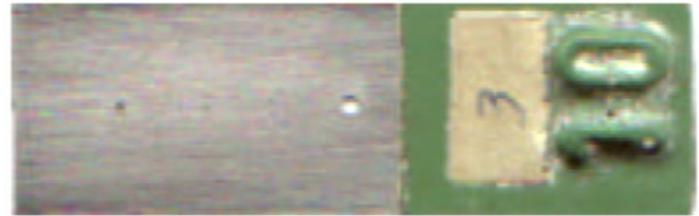
1T

2T

T

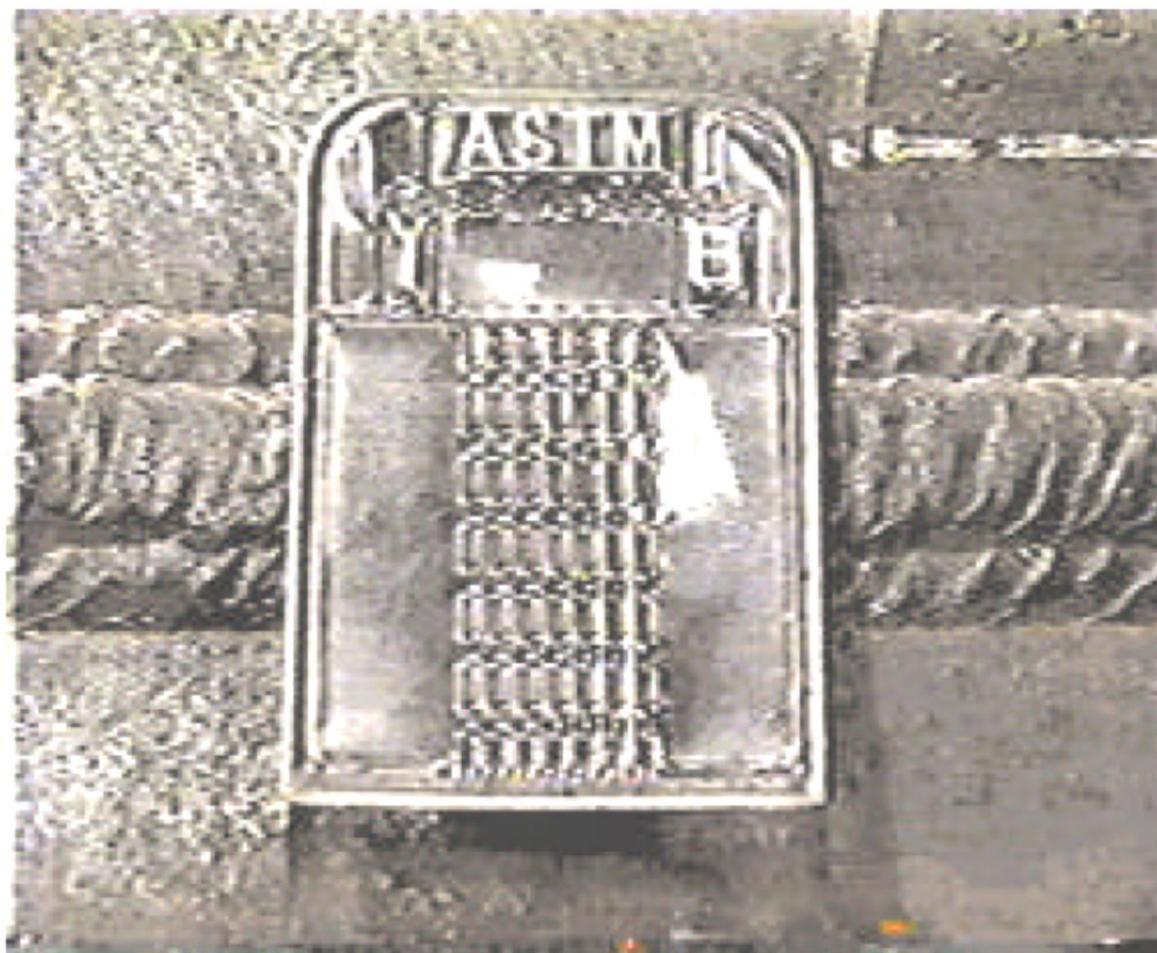


IQI Nr. 40



IQI Nr. 10

IQI ASME ou ASTM tipo furos



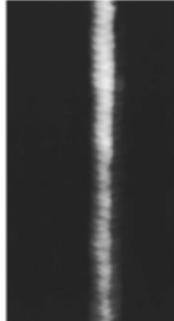
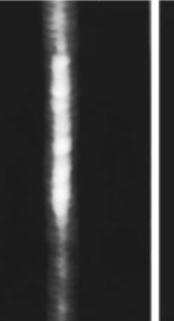
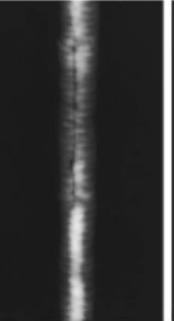
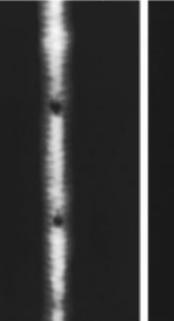
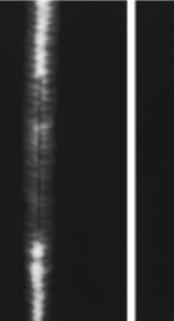
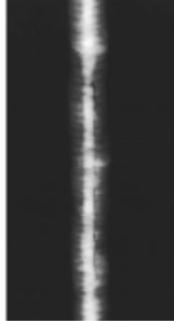
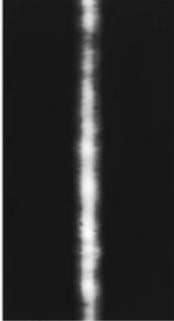
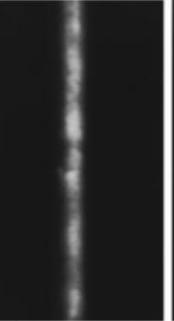
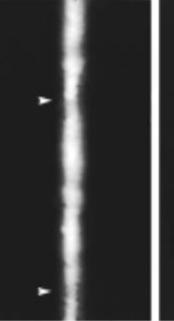
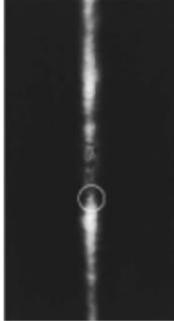
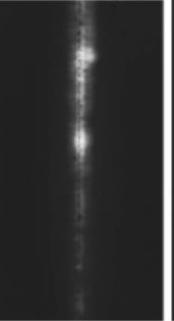
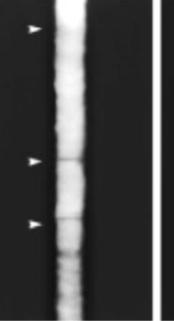
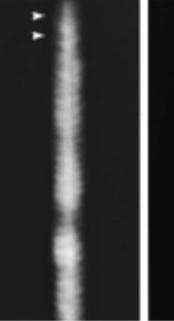
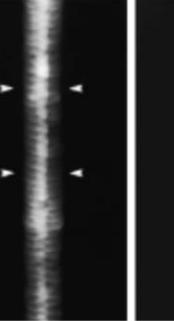
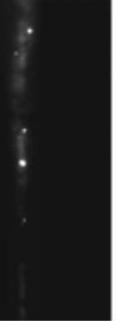
Uso do IQI ASTM tipo fios, numa junta soldada

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Radiographer's Weld Interpretation Reference

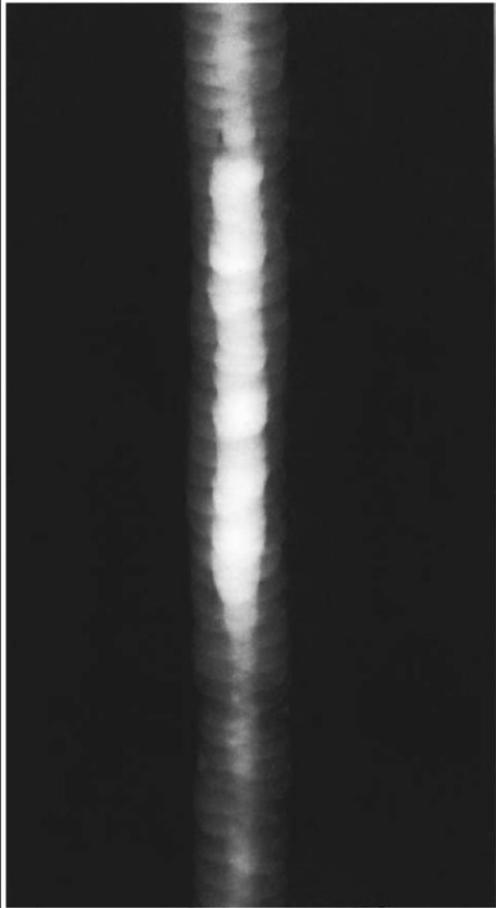
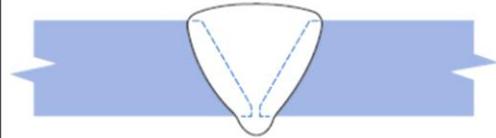
| | | | | | | | | | |
|--|---|---|--|---|--|---|--|--|--|
| <p>Offset or Mismatch 90-Loc A misalignment of the pieces to be welded.</p>   <p>Radiographic Image: An angular change in film density across the width of the weld image.</p> | <p>Offset or Mismatch with Lack of Penetration (ICDP) A misalignment of the pieces & penetration discontinuity being at the center of the weld or root face.</p>   <p>Radiographic Image: An angular change across the thickness of the weld image with a slightly irregular center density, due to the center of the weld image being at the edge of the density change.</p> | <p>Internal Concavity or Insufficient Fill A depression in the cap of the weld, or other joint, resulting in stress riser forming under residual stresses.</p>   <p>Radiographic Image: A low density center spot in the center of the weld image being wider and less regular across the full width of the weld image.</p> | <p>Lack of Penetration (Scallops, Crater, Ditch) A gap in the cap of the weld.</p>   <p>Radiographic Image: A gap in the center of the weld or in the weld image, either centered along the weld or in localized circular "pools".</p> | <p>Internal Undercut: A gouging cut at the base of a weld.</p>   <p>Radiographic Image: An irregular center density along the edge of the weld image, the density is always on center with the center of the weld being widest.</p> | <p>Internal (Good) Undercut: A gouging cut at the joint faces, extending to the edge of the section of "throat" surface of the weld.</p>   <p>Radiographic Image: An irregular center density near the center of the weld or toward the edge of the weld image.</p> | <p>Internal Concavity (Good) Undercut: A depression in the center of the surface of the root joint.</p>   <p>Radiographic Image: An irregular center density with fuzzy edges in the center of the weld or toward the edge of the weld image.</p> | <p>Burn Through: A severe depression or crater appearance at the center of the weld due to slag or irregularities.</p>   <p>Radiographic Image: A circular center density with fuzzy edges in the center of the weld or toward the edge of the weld image, it may be wider than the width of the root joint image.</p> | <p>Incomplete or Lack of Penetration (ICDP) The height of the pieces does not combine with the original ability of the section of angle or girth neck.</p>   <p>Radiographic Image: A center density, some with very straight narrow edges, in the center of the weld or the weld image.</p> | <p>Intergranular Slag Inclusions Along top surface, inclusions not located in the weld center, but may not be visible in the radiograph.</p>   <p>Radiographic Image: An irregularly shaped center density, spots, usually slightly elongated and randomly spaced.</p> |
| <p>Elongated Slag Lines (Wagon Tread): Inclusions that radiate from the surface after welding and were not removed under test position.</p>   <p>Radiographic Image: Elongated, parallel or single center density lines, irregular in width and slightly wavy in the longitudinal direction.</p> | <p>Lack of Side Wall Fusion (ICDP) A gap exists between the weld metal and the side surface.</p>   <p>Radiographic Image: One or two spots or center densities, sometimes slightly elongated, due to the edge of the weld image being at the edge of the density change.</p> | <p>Intergranular Cold Laps: Lack of fusion exists along the top surface and edge of joint faces.</p>   <p>Radiographic Image: One or two spots or center densities, sometimes slightly elongated, due to the edge of the weld image being at the edge of the density change.</p> | <p>Scattered Porosity: Isolated voids present in the weld and section.</p>   <p>Radiographic Image: Isolated spots of center densities present in the weld image.</p> | <p>Cluster Porosity: Isolated or slightly elongated voids grouped together.</p>   <p>Radiographic Image: Isolated or slightly elongated center density spots in clusters in the center of the weld image.</p> | <p>Root Face Aligned Porosity: Isolated and elongated voids in the center of the weld along the root face.</p>   <p>Radiographic Image: Isolated and elongated center density spots, not being in a horizontal line in the center of the weld or the weld image.</p> | <p>Transverse Crack: A fracture in the weld metal running across the weld.</p>   <p>Radiographic Image: Normally, a long line of center density, running across the width of the weld image.</p> | <p>Longitudinal Crack: A fracture in the weld metal running parallel to the welding direction.</p>   <p>Radiographic Image: Normally, a long line of center density, running parallel to the weld, or only located in the width of the weld image.</p> | <p>Longitudinal Root Crack: A fracture in the weld metal at the edge of the root joint.</p>   <p>Radiographic Image: Normally, a long line of center density, running parallel to the weld, or only located in the width of the weld image.</p> | <p>Tungsten Inclusions: Isolated bits of tungsten that do not move from the weld metal.</p>   <p>Radiographic Image: Irregularly shaped center density spots, randomly spaced in the weld image.</p> |



GE imagination at work

Excessive Penetration (Icicles, Drop-thru):

Extra metal at the bottom (root) of the weld.

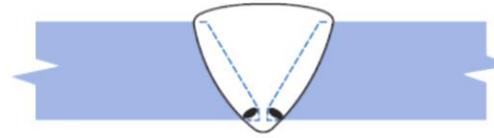


Radiographic Image:

A lighter density in the center of the width of the weld image, either extended along the weld or in isolated circular "drops".

Elongated Slag Lines (Wagon Traks):

Impurities that solidify on the surface after welding and were not removed between passes

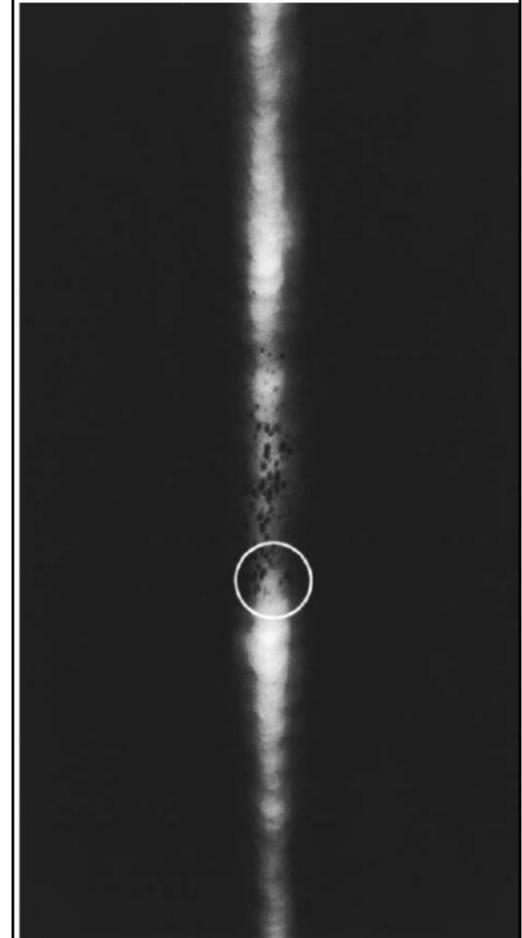
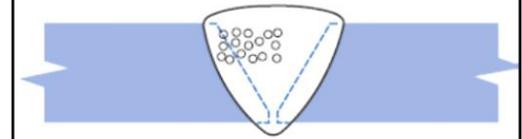


Radiographic Image:

Elongated, parallel or single darker density lines, irregular in width and slightly winding in the lengthwise direction.

Cluster Porosity:

Rounded or slightly elongated voids grouped together.

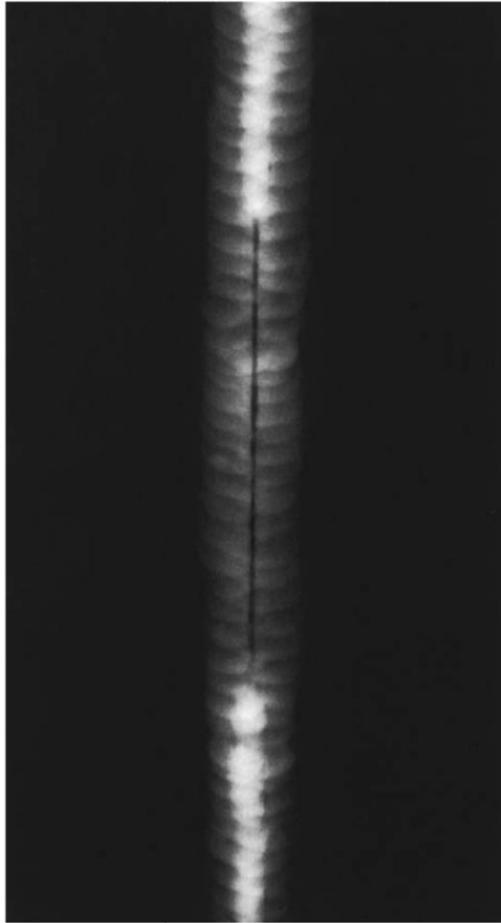
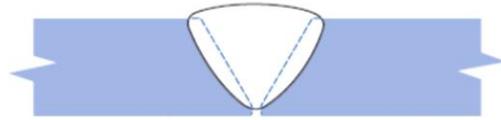


Radiographic Image:

Rounded or slightly elongated darker density spots in clusters with the clusters randomly spaced.

Incomplete or Lack of Penetration (LOP):

The edges of the pieces have not been welded together, usually at the bottom of single V-groove welds.

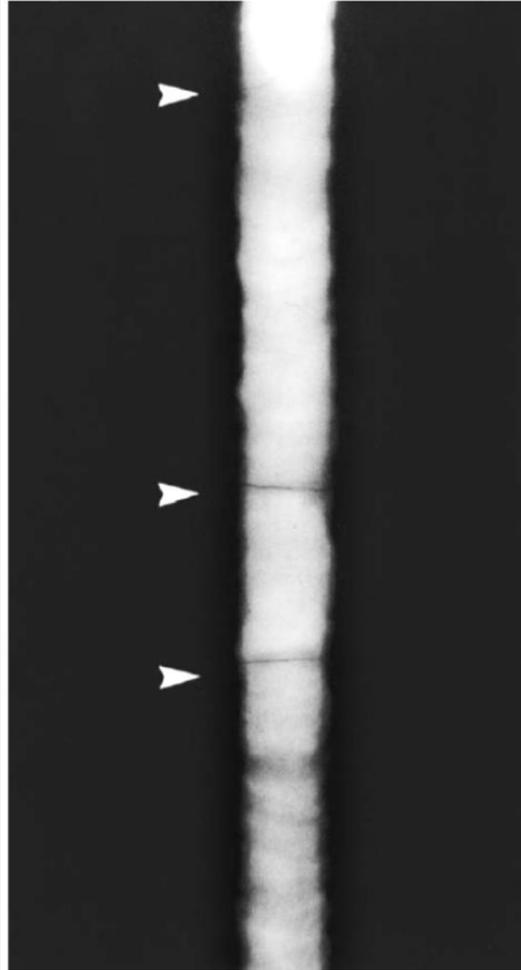
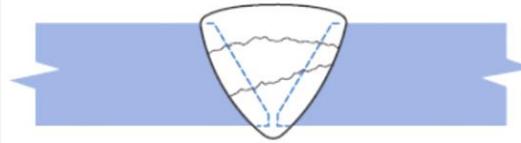


Radiographic Image:

A darker density band, with very straight parallel edges, in the center of the width of the weld image.

Transverse Crack:

A fracture in the weld metal running across the weld.

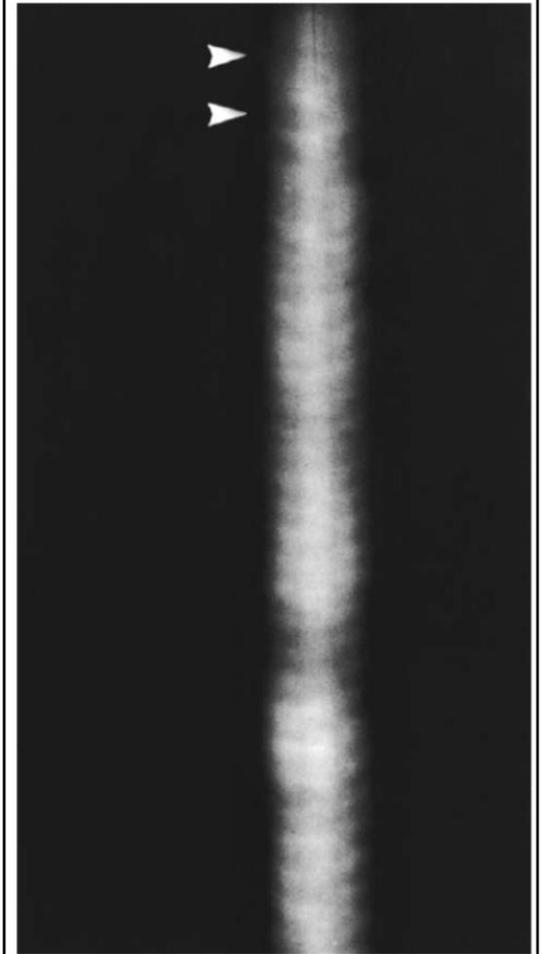
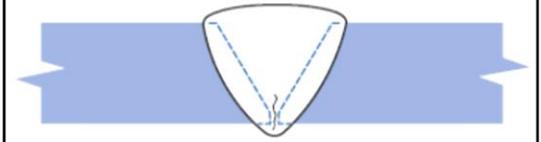


Radiographic Image:

Feathery, twisting line of darker density running across the width of the weld image.

Longitudinal Crack:

A fracture in the weld metal running lengthwise in the welding direction.



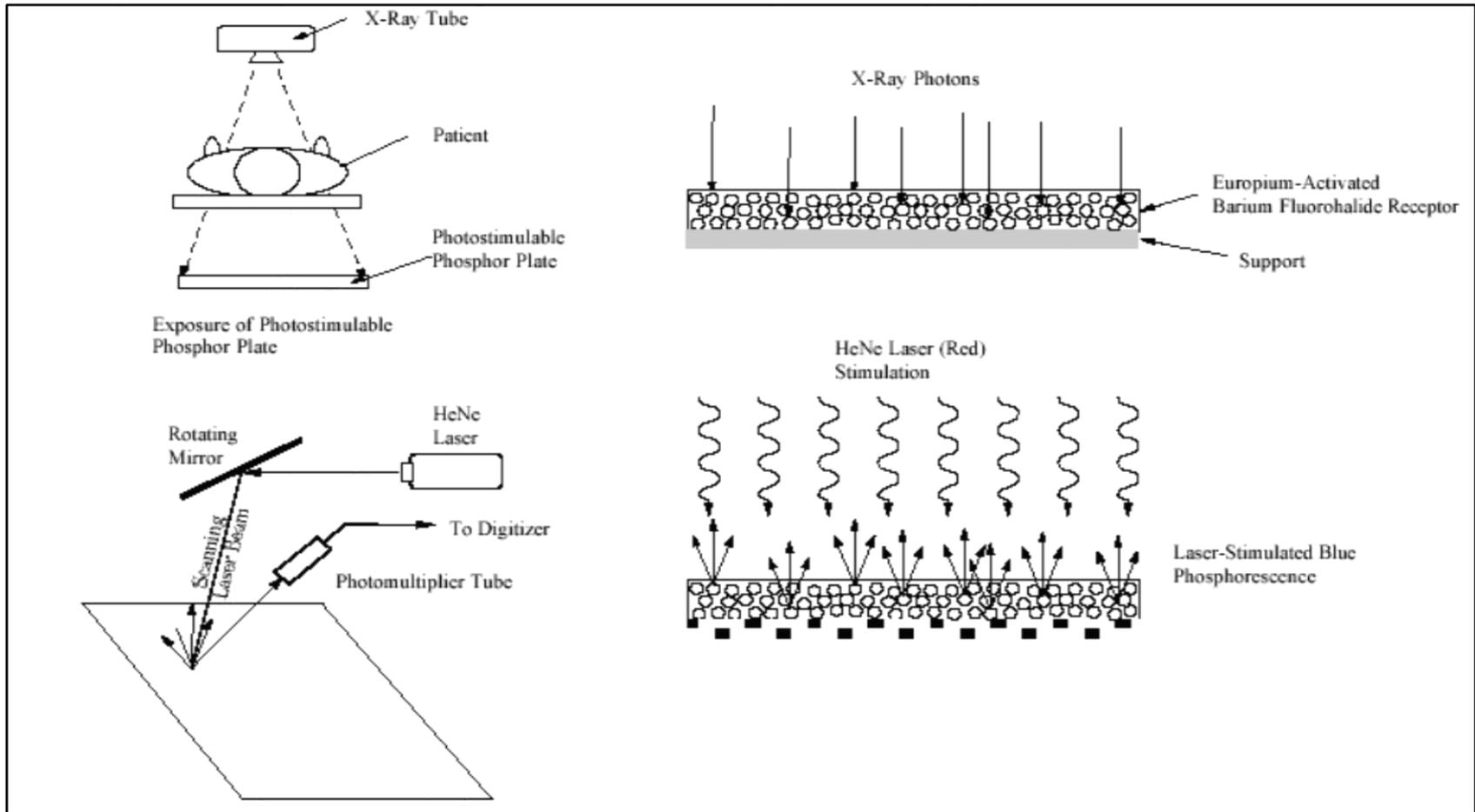
Radiographic Image:

Feathery, twisting lines of darker density running lengthwise along the weld at any location in the width of the weld image.

SISTEMAS DE RADIOGRAFIA

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

Radiografia computadorizada – PLACA DE FÓSFORO



O “scanner” CR 50P com o software Rythm. Esse tipo de equipamento permite uma resolução de imagens de 13 a 14 bits



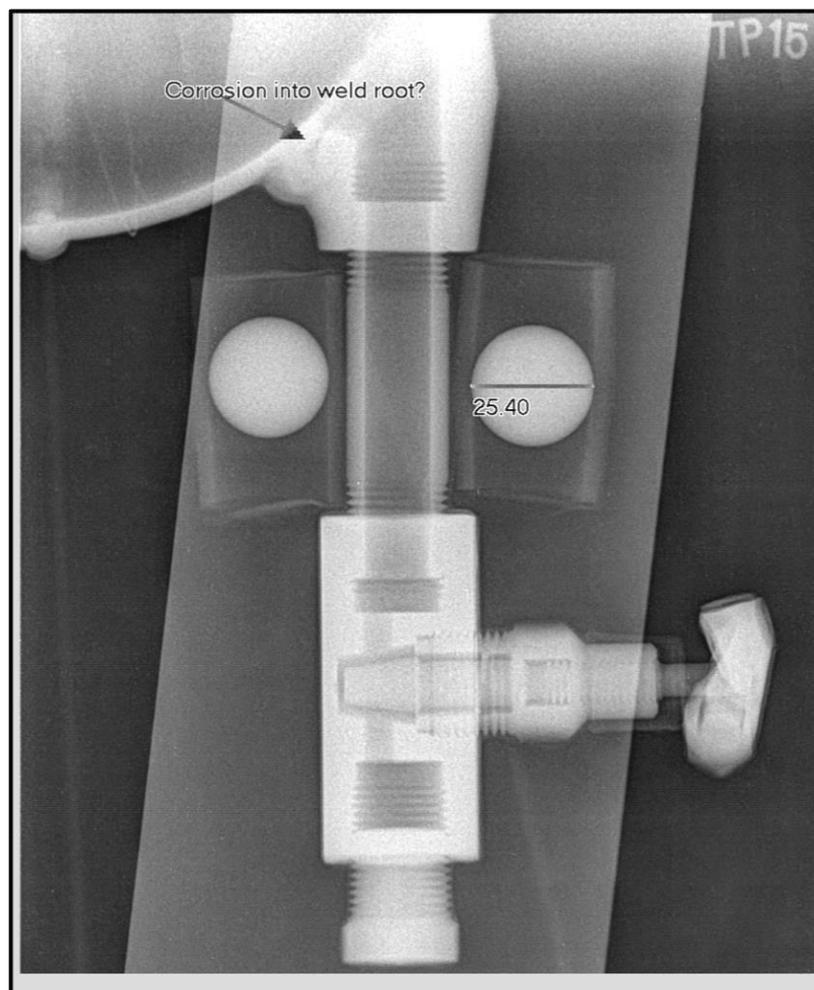


left: **3 Bit** (8 GV)



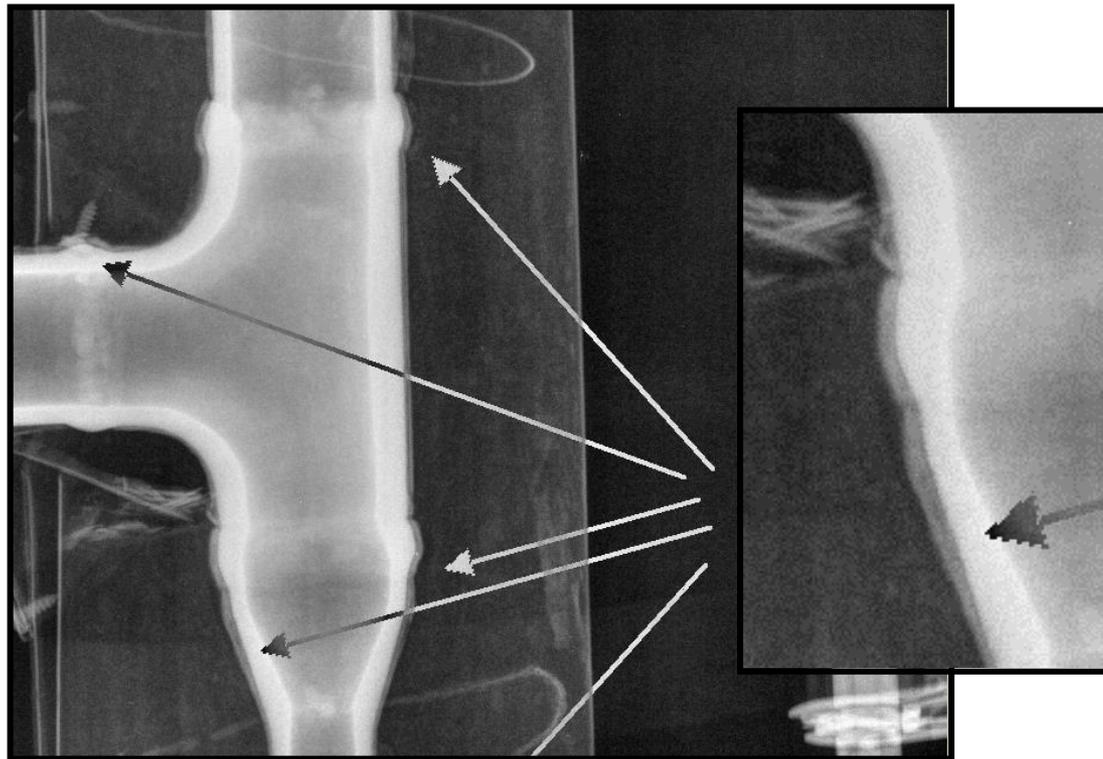
right: **5 Bit** (32 GV)

Figura 20- Diferença de resolução de 02 bits na qualidade da imagem.

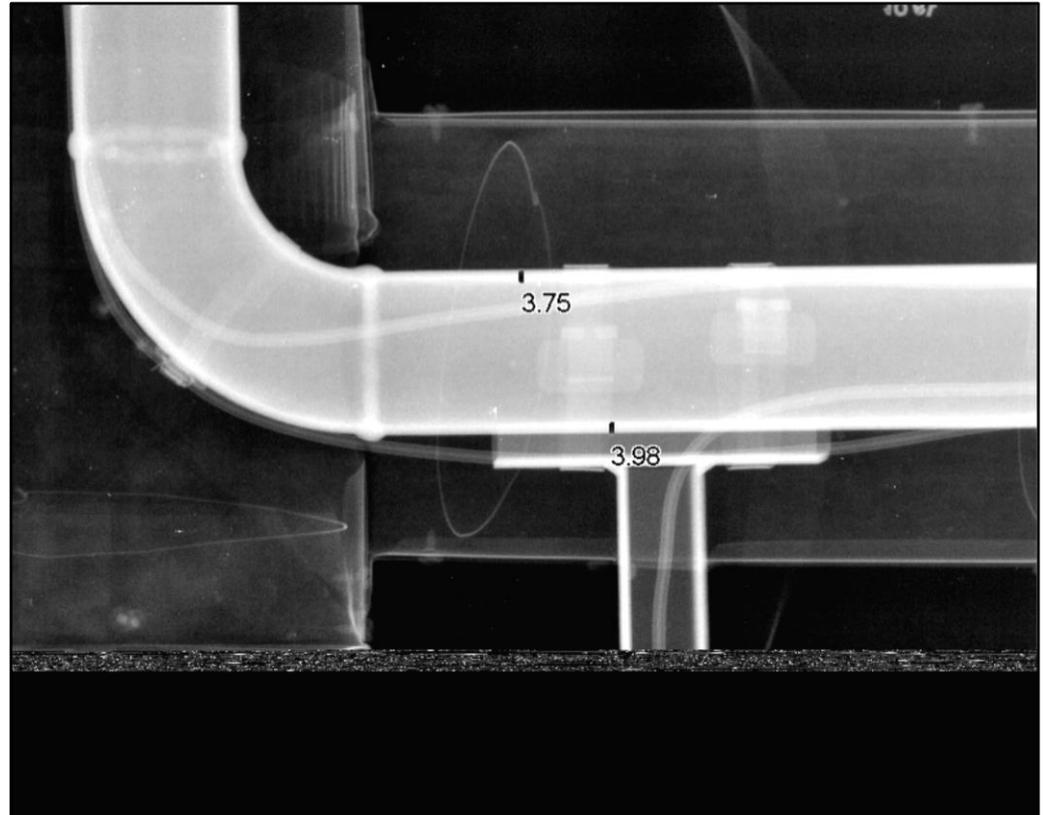
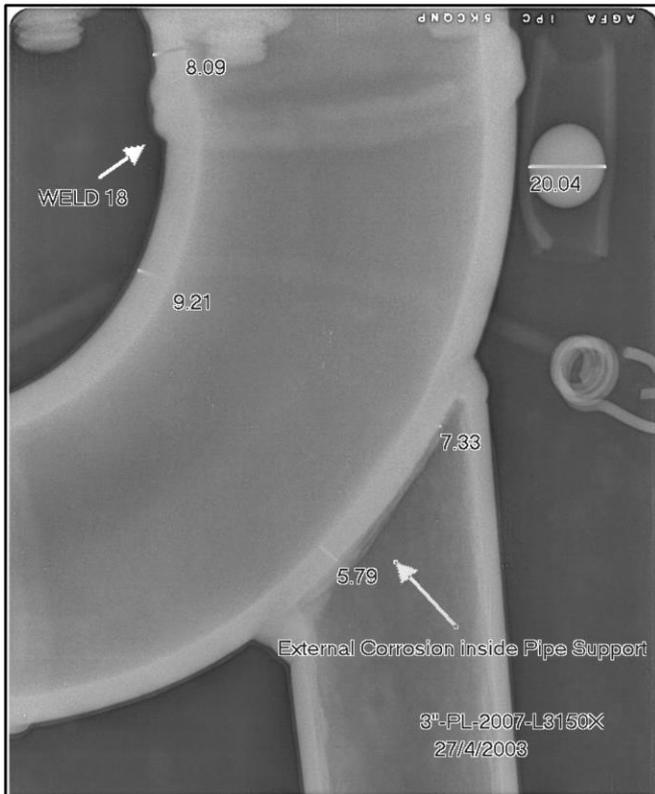


Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

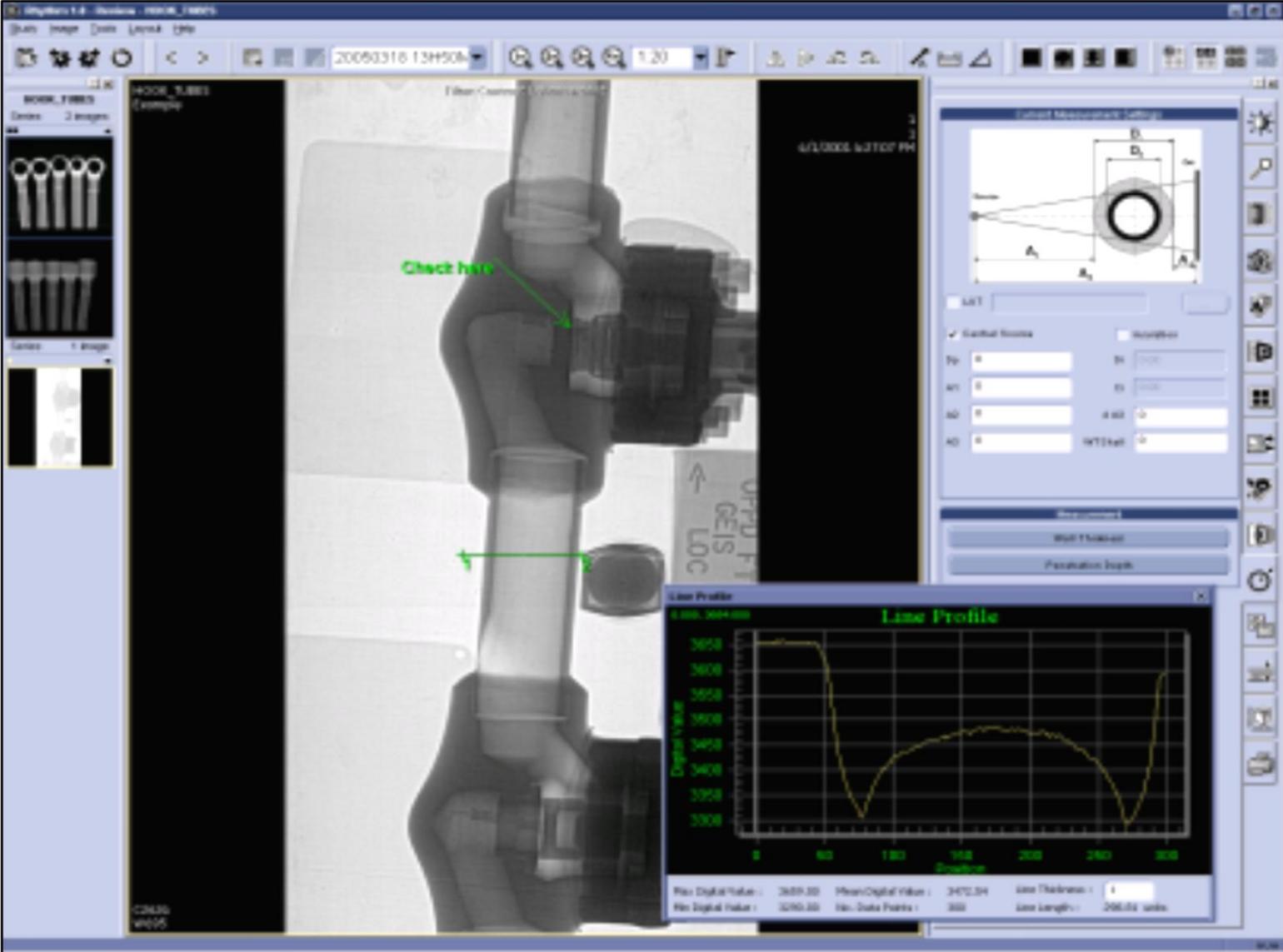
Monitoramento de corrosão interna em dutos.



Dimensionamento de corrosão interna em dutos.



Software Rhythm



Radiografia digital

A tecnologia de radiografia digital(DR) apresenta quase os mesmos princípios , porém é utilizado um “Flat Panel” de silício ou selênio amorfo que é sensibilizado e a imagem é obtida em tempo real na tela de um computador



Esquema do detetor para captura da imagem digital no sistema direto.



Placa para captura direta da imagem digital, de selenio amorfo. Permite uma imagem com area ativa de 35 x 43 cm, com resolução de 2560 x 3072 pixels, com máxima exposição de 10 R em 1 segundo.

(Imagem cedida pela AGFA)

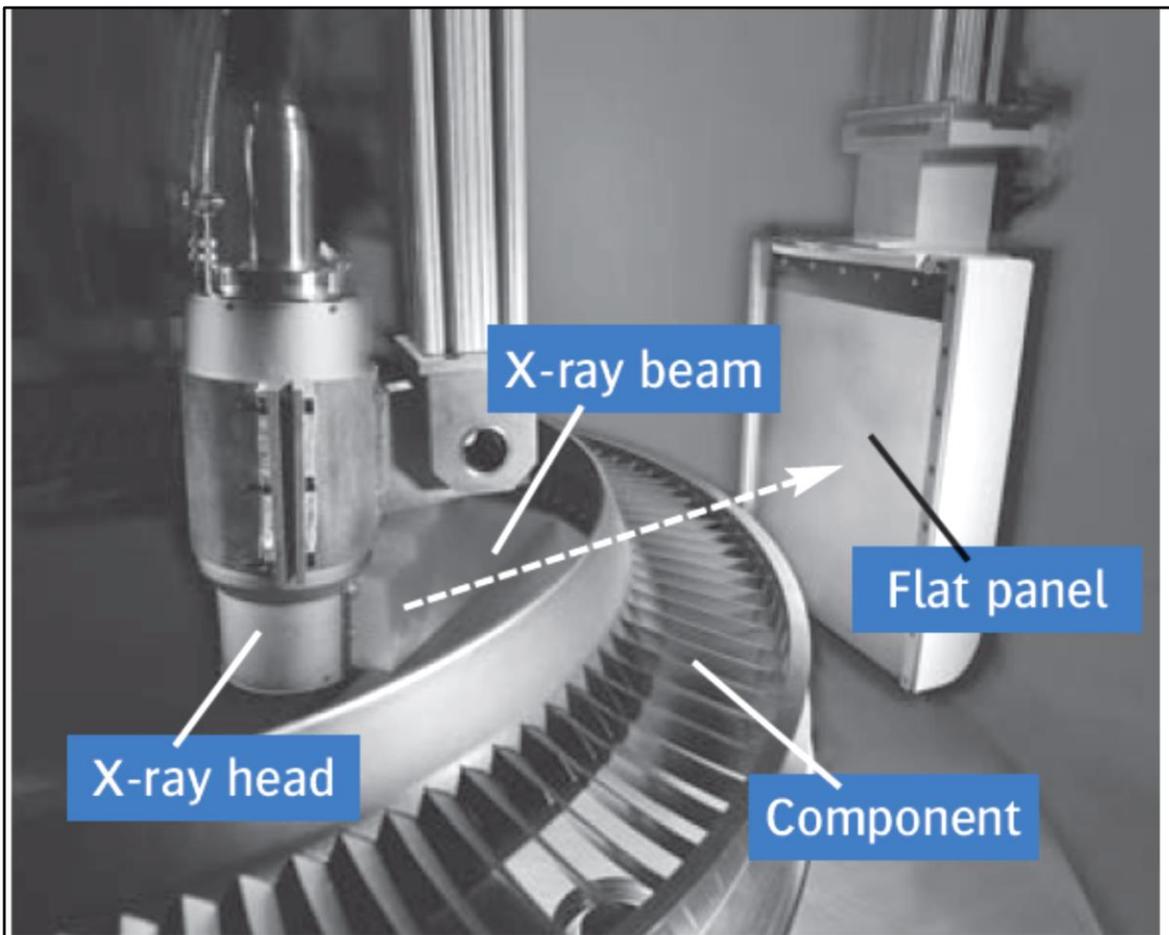
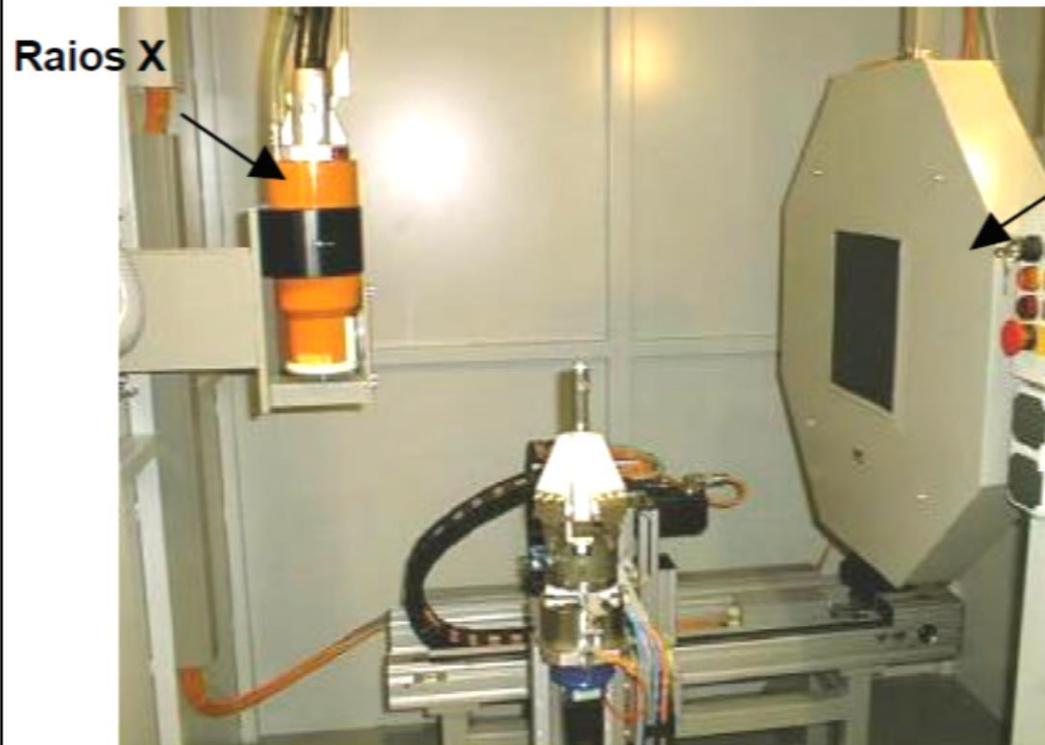


Fig. 31-16. DR inspection of narrow beam weld and turbine blades





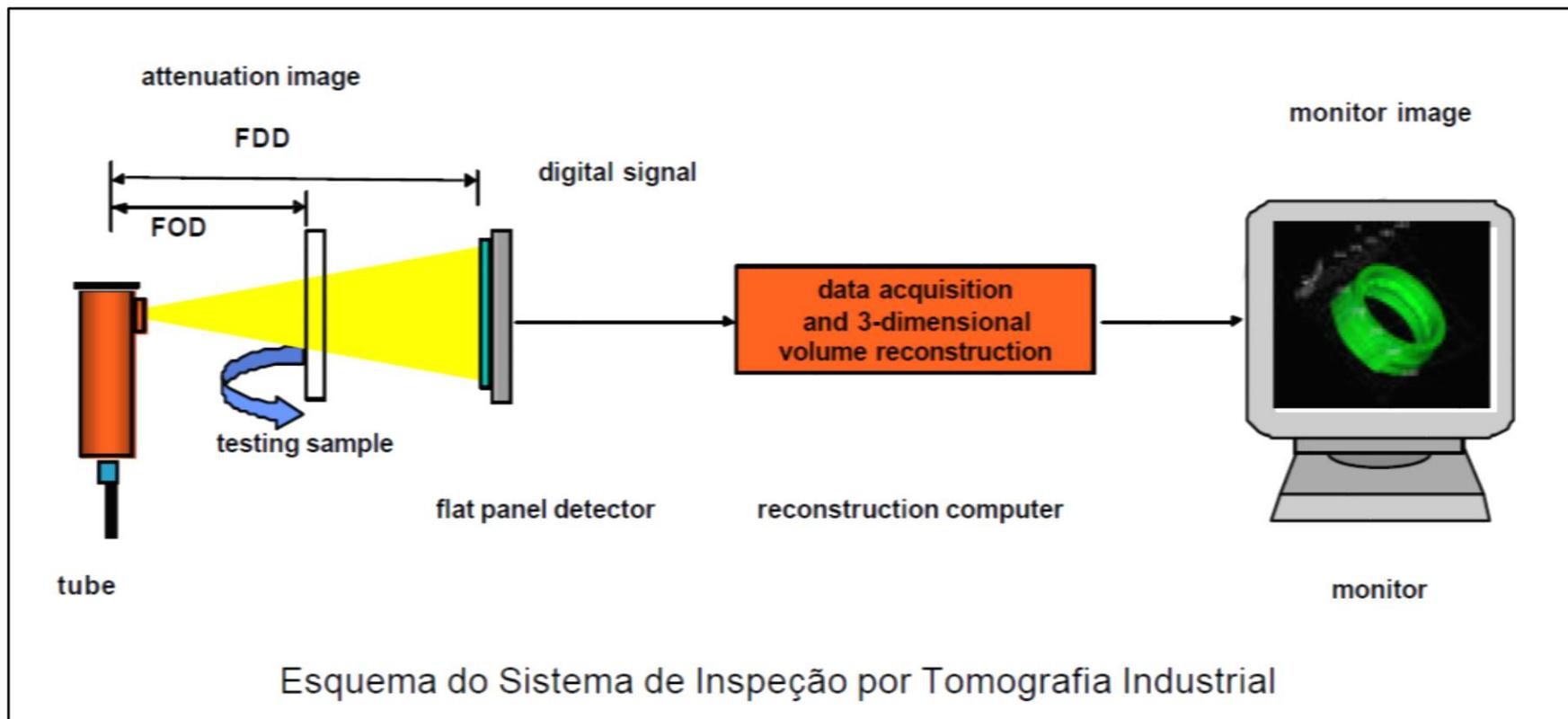
Sistema de radioscopia convencional, utilizando um aparelho de Raios X , o sistema de suporte da peça e a tela que forma a imagem radioscópica.

(Foto extraída do filme "X Ray Technology- Seifert , cedido por RAIMECK)

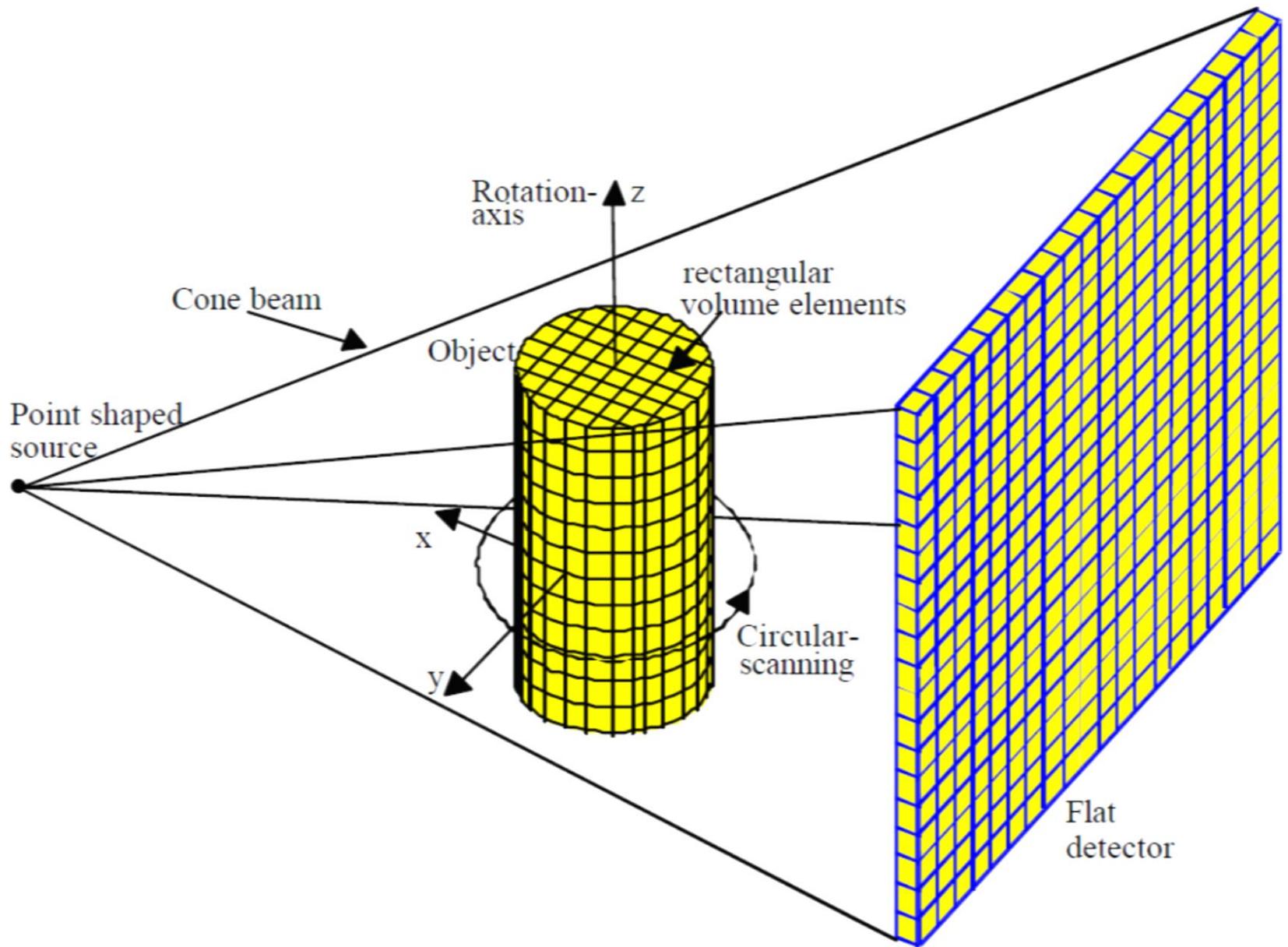
Tomografia Industrial

A tomografia industrial também pode ser considerada como um método de inspeção não destrutiva que não utiliza o filme radiográfico para registro dos resultados, assim como na radioscopia convencional.

Nesta técnica , a peça é exposta a um feixe estreito de Raios X giratório que atravessa a peça em vários planos , projetando sua imagem processada por computador, num monitor. Este processo é feito por um complexo sistema que permite visualizar a imagem de uma peça em 3D e permite separar por planos ou camadas a peça.



Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



Princípio da formação da imagem Tomográfica.



FILMES

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

- **Critério de Aceitação para radiografia total (UW-51)**

As soldas deverão estar livres de:

(1) qualquer indicação caracterizada como trinca , zona de fusão ou penetração incompleta ;

(2) qualquer outra indicação alongada na radiografia que tenha um comprimento maior que:

(a) $\frac{1}{4}$ pol. para t até $\frac{3}{4}$ pol. ;

(b) $\frac{1}{3}t$ para t de $\frac{3}{4}$ pol. até 2.1/4 pol.

(c) $\frac{3}{4}$ pol. para t acima de 2.1/4 pol.

| SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM | | | | Nº: 30501 | | | |
|---|--|---|---|--|---|-----------------------|------------------------|
| RELATÓRIO DE ENSAIO RADIOGRÁFICO RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT | | | | | | | |
| Ordem de Serviço: Job Order No. | 5225 | Nº Desenho/Rev.: Drawing No/Rev. | S-5225 / 1 | Relatório Adicional: Additional Report | 2394 | | |
| Cliente: Customer | Petrobras | | | | | | |
| Equipamento: Equipment | Torne de Refrigeração | | | | | | |
| Itens do P.I./Rev.: I.F. Sequence | 01 | | | | | | |
| Extensão do Ensaio: Examination Extent | TOTAL | | Procedimento/Rev.: Procedure/Rev. | POB-061 Rev 2 | | | |
| Código de Referência: Reference Code | ASME sec VIII div 1 Ed. 2004 | | Critério de Aceitação: Acceptance Standard | ASME sec VIII div 1, UW51 | | | |
| Material: Material | Aço Carbono | | Treatamento Térmico: Heat Treatment | Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Antes <input checked="" type="checkbox"/> Após <input type="checkbox"/> | | | |
| Tipo de Fonte: Radiation Source | Ir-192 | Modelo(Equip.): Model | Tech/OPS 660 | Tipo de Filme: Film Type | Kodak AA-54 | | |
| Atividade (Ci)/Max. Voltagem(V): Activity (Ci)Max. Voltage (V) | 40 Ci | Tamanho Focal (mm): Focal size | 410 mm | Dist. Max. da Superf. da Peça até o Filme: Maximum Distance From Source Side of Object to the Film | Espessura do objeto: Thickness of Object | | |
| MAPA DE LOCALIZAÇÃO RADIOGRÁFICO RADIOGRAPH LOCATION MAP | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| RESULTADO DO ENSAIO EXAMINATION RESULTS | | | | | | | |
| POSIÇÃO POSITION | Nº FILMES No OF FILMS | TÉCNICA TECHNIQUE | IGI IR | COD. LAUDO CODE RESULTS | SOLDADORES WELDERS | ESP (mm) THICKNESS | 3/7 Min./Max STD |
| L1 | 0-1 | PS-VS | 40 | A | 20,05 | 55 | 3 600 |
| L1 | 1-2 | PS-VS | 40 | IE R | 20,05 | 55 | 3 600 |
| L1 | 2-F | PS-VS | 40 | A | 20,05 | 55 | 3 600 |
| CÓDIGO CODE | | | | | | | |
| A = Aprovado Approved | TL = Trinca Longitudinal Long Crack | TT = Trinca Transversal Transversal Crack | MO = Moradura Undercutting | FF = Falta de Fusão Lack of Fusion | | | |
| NC = Não Conforme Not Conforming | IA = Indicação Arredondada Rounded Indication | FP = Falta de Penetração Lack of Penetration | IE = Indicação Alongada Elongated Indication | IL = Indicação em Linha Aligned Indication | | | |
| OPERADOR: OPERATOR: | | | | INSPECTOR | | | |
| Data: Date | 15.05.2005 | | | Data: Date | | | |
| INSPECTOR CLIENTE/TERCEIROS: CUSTOMER'S INSPECTOR | | | | INSPECTOR AUTORIZADO: AUTHORIZED INSPECTOR | | | |
| Data: Date | | | | Data: Date | | | |

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



NEUTRONGRAFIA

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert

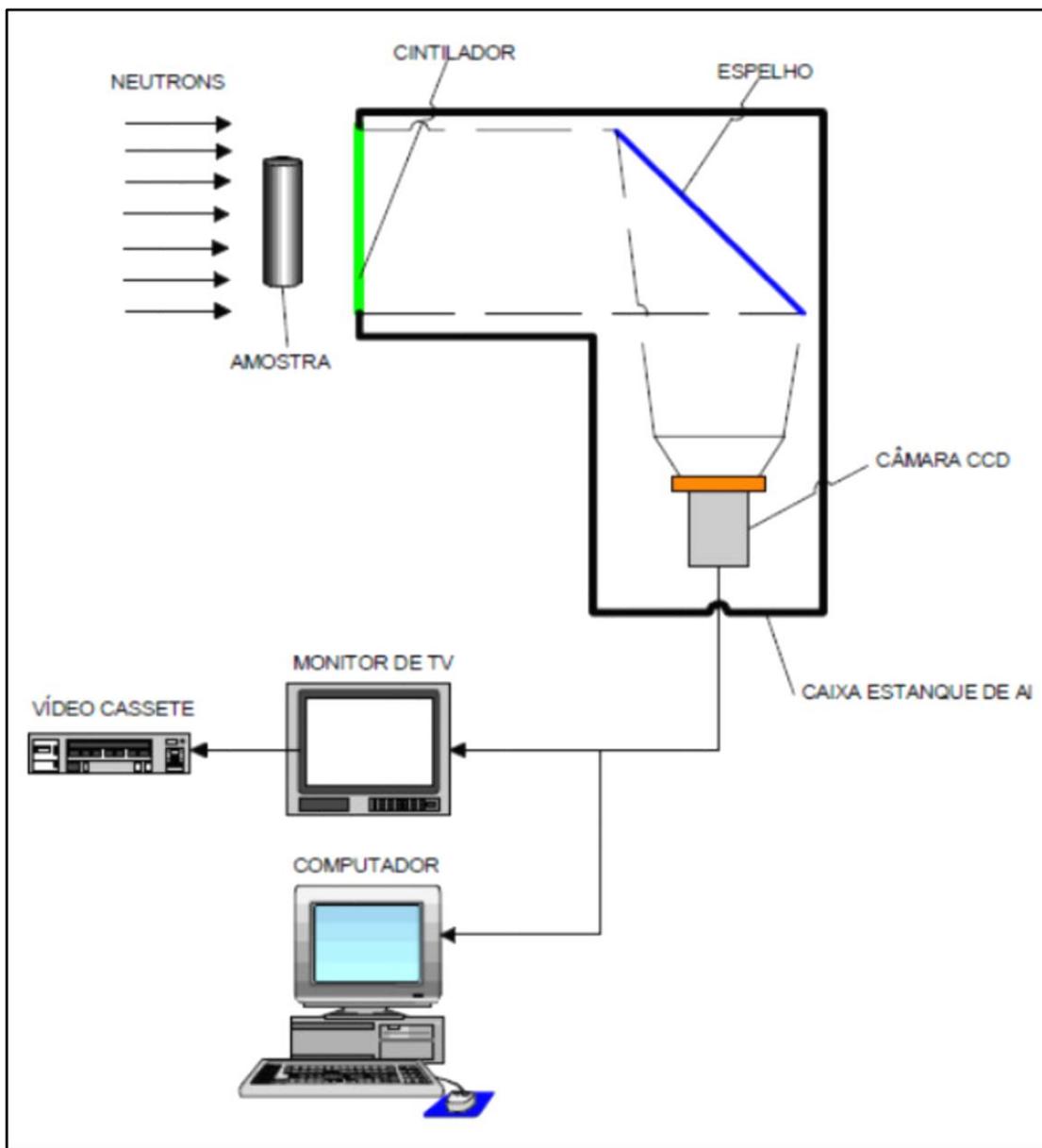
NEUTRONGRAFIA

- **Técnica complementar** aos campos de aplicação das convencionais que empregam **raios-X e raios- γ** ;
- Materiais **pouco densos (interação do neutron com água)**;
- **Aplicações:** elementos **combustíveis** (altamente radioativos) de **reatores nucleares**, rachaduras em **concreto**, diversos tipos de **materiais hidrogenados** como **óleo, água, graxa, explosivos, plásticos, adesivos, etc**, mesmo quando **envoltos** por espessas camadas de alguns **metais**.

NEUTRONGRAFIA

- A radiografia: **feixe homogêneo de nêutrons** atinge a peça e **uma tela conversora e um filme**;
- **As telas** tem a finalidade de **transformar o nêutron** em uma radiação ionizante, capaz de **sensibilizar o filme**;
- **Telas: gadolínio, disprósio, boro e lítio**;
- **Telas cintilantes: fósforo**;
- O processo de **conversão** pode ser de dois tipos: **direto e indireto**;
- **Direto: a tela e o filme** são irradiados **simultaneamente** e a imagem é formada no ato da irradiação;
- **Indireto: o conversor** é ativado pelo **nêutron** e a imagem radioativa formada **é transferida ao filme**, ao colocá-los em **contato durante o seu decaimento**, em uma câmara escura.

NEUTRONGRAFIA- SISTEMA COMPUTADORIZADO



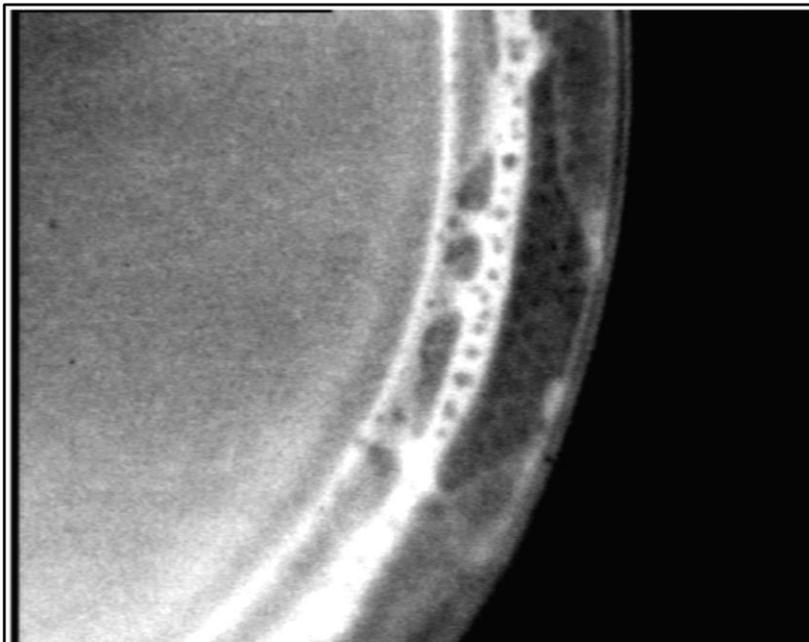


Figura 1 Parte de um coração artificial

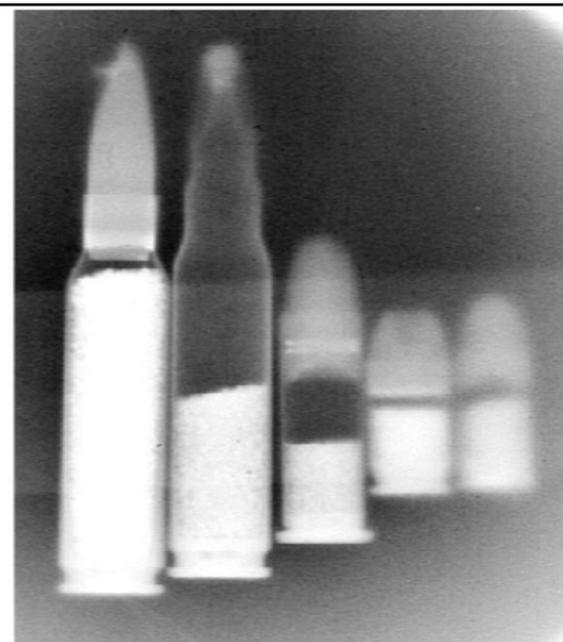


Figura 2 Diversos tipos de projéteis

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert



FIM

Prof.Dr. Cassius O. F. Terra Ruchert