

Iniciação à

Radiologia Industrial



Prof. Ricardo Andreucci

Ed. Mar. / 2006

Curso de Extensão



ÍNDICE / CONTEÚDO

Mar./ 2006

CAPÍTULOS

1- A importância da Radiologia industrial como ferramenta da qualidade

2 - A Radiografia Industrial

- Capacitação dos técnicos em radiografia industrial
- Equipamentos para Radiografia Industrial
- Filmes radiográficos industriais e seu Processamento
- Aspectos Geométricos da Exposição
- Avaliação da Qualidade da Imagem
- Técnicas Radiográficas
- Interpretação radiográfica
- A Radioscopia Industrial

3 - Irradiação Industrial de Grande Porte

- A Radiologia no Controle e Preservação de Alimentos
- O Processo de Esterilização por Irradiação

4 - Os Medidores Nucleares

5 - Aspectos de segurança e proteção radiológica industrial

Tabelas úteis

Bibliografia

Notas do Autor

*Esta apostila foi preparada de forma a servir como um guia básico de consulta e para que o aluno tenha os principais elementos necessários da radiologia industrial aplicada nos mais diversos segmentos da indústria moderna. O **Curso de Iniciação à Radiologia Industrial**, no âmbito do Curso de Extensão Universitária, tem como objetivo instruir os alunos quanto às principais aplicações da radiologia industrial como ferramenta no controle da qualidade de produtos e componentes destinados às indústrias petroquímicas, de alimentos, automobilísticas, geração de energia e aeronáutica, técnicas analíticas e segurança, familiarizando-os com os procedimentos radiológicos mais aplicáveis nestas áreas tecnológicas, abrindo perspectivas profissionais ao técnico e tecnólogo em radiologia.*

CAPÍTULO 1

A IMPORTÂNCIA DA RADIOLOGIA INDUSTRIAL COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE E SEGURANÇA

Quando pensamos em aeronaves, automóveis, metro, trens, navios, submarinos, e outras, todas estas máquinas não poderiam ter um bom desempenho não fossem a qualidade do projeto mecânico, dos materiais envolvidos, dos processos de fabricação e montagem, inspeção e manutenção.

Todo esse elevado grau de tecnologia foi desenvolvido e aplicado para um fim comum, que é assegurar e proteger a vida daqueles que dependem de alguma forma, do bom funcionamento dessas máquinas, quer sejam nas indústrias automobilísticas, petróleo e petroquímicas, geração de energia inclusive nuclear, siderúrgica, naval e aeronáutica.



Hoje no mundo moderno, a globalização nestes segmentos industriais fez aumentar o número de projetos e produtos de forma multinacional. Usinas elétricas, plantas petroquímicas, aviões, podem ser projetados em um país e construídos em outro, com equipamentos e matéria prima fornecidos pelo mundo todo. Esta revolução global tem como consequência a corrida por custos menores e pressão da concorrência.

Sendo assim, como garantir que os materiais, componentes e processos utilizados tenham a qualidade requerida? Como garantir a isenção de defeitos que possam comprometer o desempenho das peças? Como melhorar novos métodos e processos e testar novos materiais?

As respostas para estas questões estão em grande parte na inspeção e consequentemente na aplicação dos Ensaios Não Destrutivos.

Um dos avanços tecnológicos mais importantes na engenharia, podem ser atribuídos aos ensaios não destrutivos. Eles investigam a sanidade dos materiais sem contudo destruí-los ou introduzir quaisquer alterações nas suas características.

Aplicados na inspeção de matéria prima, no controle de processos de fabricação e inspeção final, os ensaios não destrutivos constituem uma das ferramentas indispensáveis para o controle da qualidade dos produtos produzidos pela indústria moderna.

Quando se deseja inspecionar peças com finalidade de investigar sobre defeitos internos, a **Radiologia industrial** é um poderoso método que pode detectar com alta sensibilidade descontinuidades com poucos milímetros de extensão. Usados principalmente nas indústrias de petróleo e petroquímica, nuclear, alimentícia, farmacêutica, geração de energia para inspeção principalmente de soldas e fundidos, e ainda na indústria bélica para inspeção de explosivos, armamento e mísseis, a radiografia desempenha um papel importante na comprovação da qualidade da peça ou componente em conformidade com os requisitos das normas, especificações e códigos de fabricação. A radiografia proporciona registros importantes para a documentação da qualidade.

Em juntas soldadas, a radiografia é dois métodos frequentemente referenciados pelos Códigos de fabricação de peças ou estruturas de responsabilidade para determinação da eficiência da base de cálculo pela engenharia.

Considerado como um **processo especial** pelos Sistemas da Qualidade, **NBR ISO-9001** e outros, os ensaios não destrutivos são aplicados segundo requisitos de projeto do produto fabricado, e não de forma aleatória ao prazer da conveniência de engenheiros e técnicos.

A radiologia industrial desempenha um papel importante e de certa forma insuperável na documentação da qualidade do produto inspecionado, pois a imagem projetada do filme radiográfico representa a "fotografia" interna da peça, o que nenhum outro ensaio não destrutivo é capaz de mostrar na área industrial.





QUESTÕES PARA ESTUDO:

Questões sobre o Sistema da Qualidade - ISO-9001 aplicado à Radiologia Industrial

1. O que significa "processo" no sistema da qualidade ? Cite dois exemplos.
2. O que significa "condições controladas " na ISO-9001 ? De um exemplo.
3. Onde resultados de processos não podem ser plenamente verificados através de inspeção e ensaio subsequente do serviço e onde as **deficiências** de processamento podem se tornar aparentes somente depois que o serviço estiver pronto, estes processos são definidos como especiais. Que requisitos os técnicos de processos especiais devem atender ?
4. O que significa o termo "Qualidade" ?
5. O que você entendeu por ensaios não destrutivos (END) ?
6. A radiografia industrial é considerado um processo especial segundo a ISO-9001 ? Porque ?
7. Cite a principal vantagem da radiografia industrial quando comparada com outras técnicas ?
8. Em que circunstâncias um ensaio radiográfico de um componente industrial é requerido ?

CAPÍTULO 2

A RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

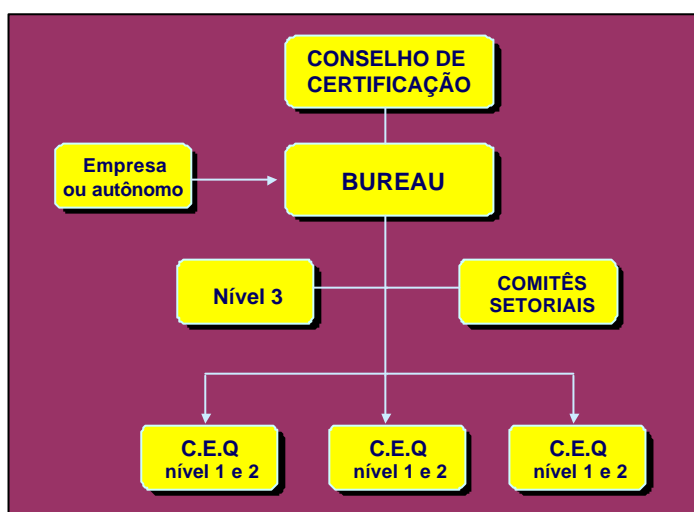
Qualificação dos Técnicos e Tecnólogos em Radiografia Industrial

Atualmente no Brasil não contamos com escolas de radiologia de formação ou graduação de técnicos na área industrial. São empresas, associações, representantes de equipamentos que ministram treinamentos dos técnicos, geralmente com carga horária de 40 a 80 horas/aula.

Em razão dessa lacuna, a ABENDE - Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos, vem implantando, desde 1981, o Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal em END - SNQC/END, o qual conta com o interesse e efetiva participação de diversas empresas representativas dos vários segmentos da indústria nacional.

O SNQC/END foi oficialmente implantado em 1989, com a criação através de Assembléia Geral, do Conselho de Certificação, órgão que estabelece as diretrizes do Sistema. Além deste, foram também constituídos o Bureau de Certificação, órgão executivo do Sistema e os Comitês Setoriais de Certificação. É um sistema de abrangência nacional que estabelece critérios e define sistemáticas, em conformidade com requisitos nacionais e internacionais, para a Qualificação e Certificação de Pessoal.

Foi estabelecido com o objetivo de harmonizar os diversos sistemas nacionais existentes, segundo as necessidades da realidade e da cultura brasileira, além de refletir conformidade com as principais normas nacionais e internacionais.



Fluxograma de Operação do SNQC

O fluxograma acima descreve como um técnico deve fazer para ser qualificado e certificado na técnica não destrutiva. Em geral o técnico pode ser um autônomo ou pertencente a uma empresa que encaminha ao Bureau de certificação sua documentação básica que é:

- Certificado de treinamento específico na área;
- Certificado de escolaridade de ensino médio;
- Evidência de experiência no método;
- Certificado de exame de vista;
- Certificação pelo CNEN em radioproteção, para a técnica de radiografia

O Bureau examina os documentos e caso aprovado ele é encaminhado a um dos Centro de Exames de Qualificação - CEQ para ser examinado. Os exames compreendem uma parte escrita e uma parte prática. Caso ele seja aprovado receberá um certificado de qualificação da ABENDE Nível 1, 2 ou 3, reconhecido pelo mercado nacional. Os CEQ's, são os órgãos que aplicam, sob supervisão direta do Bureau de Certificação, os exames de qualificação aos candidatos à certificação em END, sendo reconhecidos pelo Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal em Ensaio Não Destrutivos- SNQC/END, através do Conselho de Certificação.

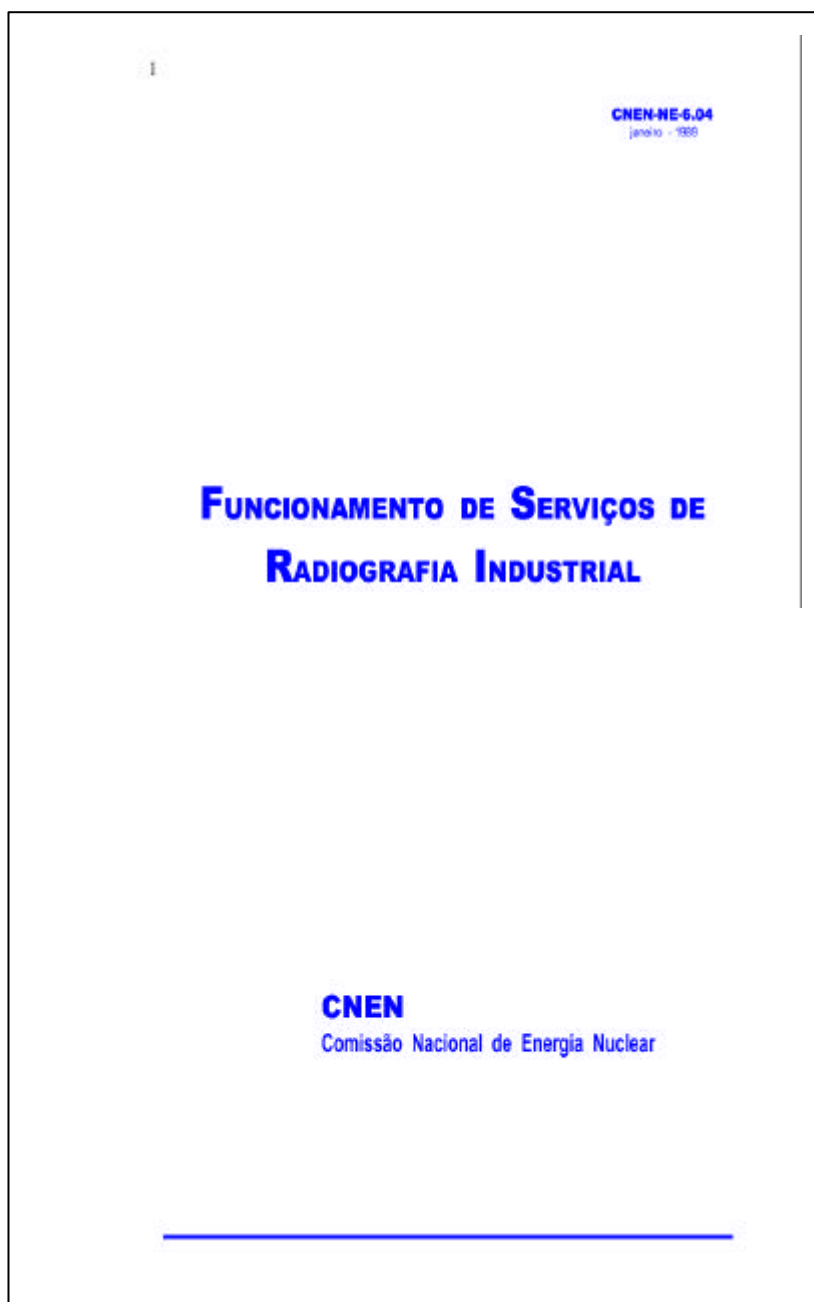
A **Qualificação** é a comprovação e verificações formais de características e habilidades, comprovadas segundo procedimentos escritos e com resultados documentados, que permitem a um indivíduo exercer determinadas tarefas como profissional. A **Certificação** é o testemunho formal de uma qualificação, através da emissão de um certificado, permitindo ao indivíduo exercer as funções e atribuições previamente estabelecidas, expedido por um organismo autorizado.

Qualificação pela CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

Uma diferença clara sob o ponto de vista profissional, é que os técnicos de radiologia na indústria precisam ser qualificados em proteção radiológica, o que não é requerido na área médica.

Essa qualificação consiste em um treinamento formal em radioproteção ministrado por uma entidade ou especialista com carga horária de 80 horas, para técnicos operadores de equipamentos de radiação ionizante usados na indústria. Após a fase de treinamento, o técnico se inscreve no exame nacional aplicado pelo CNEN em todo Brasil. Caso seja aprovado, receberá um certificado emitido pela Autoridade Competente - CNEN.

A principal norma que descreve as atividades do técnico em radiografia industrial está no documento do CNEN NN-6.04 . As normas da CNEN poderão ser obtidas gratuitamente através do website www.cnem.gov.br



**QUESTÕES PARA ESTUDO:**

Assunto: Qualificação e Certificação de pessoal para Radiologia Industrial

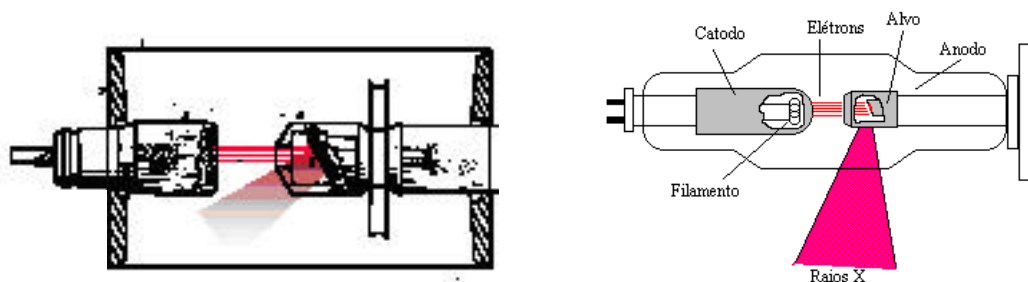
1. Porque e quando é necessário a qualificação de pessoal para o ensaio radiográfico industrial?
2. Qual a diferença entre Qualificação e Certificação ?
3. Quais os requisitos gerais mínimos para um técnico de radiografia industrial ser qualificado ? Cite 3
4. Dos sistemas de qualificação e certificação de técnicos para radiologia industrial, qual o que atende a indústria a nível Nacional ?
5. Como são os graus ou níveis de certificação de pessoal em radiografia industrial ?
6. Se uma radiografia industrial for efetuada e avaliada por técnico não certificado, o que poderá ocorrer ?
7. Obrigatoriamente, deve o técnico de radiografia industrial ser qualificado em proteção radiológica na CNEN ?
8. Qual a norma da CNEN que qualifica o técnico de radiografia industrial em radioproteção ?
9. Quais os requisitos mínimos para certificação reconhecida de um técnico em radiografia industrial?

A Produção das Radiações X

As radiações X, são emitidas das camadas eletrônicas dos átomos. Essas emissões não ocorrem de forma desordenada, mas possuem “padrão” de emissão denominado espectro de emissão.

Os Raios X, destinados ao uso industrial, são gerados numa ampola de vidro ou metálica, 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 que pode variar desde 100 até 450 kV nos aparelhos considerados portáteis para uso na indústria, sendo o polo positivo ligado ao anodo e o negativo no cátodo. O ânodo é constituído de um pequeno disco fabricado 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 (0 a 10 mA)



Esquema de tubos convencionais de Raios X Industrial.
O tubo da esquerda é um tubo metálico e o da direita de vidro.

Quando o tubo é ligado, a corrente elétrica do filamento, se aquece e passa a emitir espontaneamente elétrons que são atraídos e acelerados em direção ao alvo. Nesta interação, dos elétrons com os átomos de tungstênio, ocorre a desaceleração repentina dos elétrons, transformando a energia cinética adquirida em Raios X.

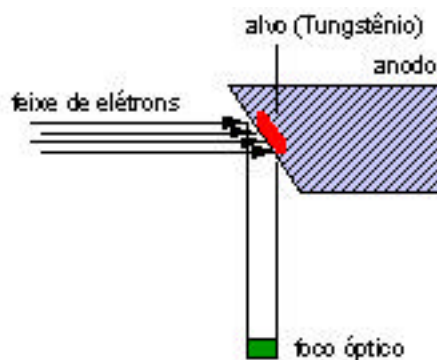
Outros fenômenos de interação dos elétrons acelerados com as camadas eletrônicas dos átomos de tungstênio, também são responsáveis pela emissão dos Raios X.

Os Raios X, são gerados nas camadas eletrônicas dos átomos por variados processos físicos. Caracteriza-se por apresentar um espectro contínuo de emissão ao contrário das radiações gama. Em outras palavras, os Raios X emitidos pelo aparelho apresentam uma variedade muito grande de comprimento de onda ou seja que a energia varia de uma forma contínua.

Equipamentos de Raios X para uso Industrial

Os Raios X são produzidos em ampolas especiais. Os tamanhos das ampolas ou tubos são em função da tensão máxima de operação do aparelho.

Do ponto de vista da radiografia, uma atenção especial deve ser dada ao alvo, contido no ânodo. Sua superfície é atingida pelo fluxo eletrônico, proveniente do filamento, e denomina-se foco térmico. É importante que esta superfície seja suficiente grande para evitar um superaquecimento local, que poderia deteriorar o ânodo, e permitir uma rápida transmissão do calor.



Corte transversal do ânodo, na ampola de Raios X

Para obter-se imagens com nitidez máxima, as dimensões do foco óptico devem ser as menores possíveis. As especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões do foco óptico, que podem variar de 3 a 4 mm.

O calor que acompanha a formação de Raios X é considerável, e portanto é necessário especial atenção aos sistemas e métodos para refrigerar o ânodo. Esta refrigeração pode ser feita de diversas maneiras:

a) Refrigeração por irradiação: Neste caso o bloco de tungstênio, que compõe o alvo, se aquece e o calor se irradia pelo ânodo. O calor em excesso é resfriado por circulação de óleo ou gás ao redor da ampola. Os aparelhos de baixa tensão no tubo podem ser resfriados por ventiladores.

b) Refrigeração externa por circulação forçada de água: A refrigeração é limitada, principalmente se o aparelho for operado continuamente, exposto ao sol. Neste caso, a circulação de água por uma serpentina interna à unidade geradora, é eficaz, permitindo o uso do aparelho por longos períodos de uso.

Unidade Geradora, Painel de Comando

Os equipamentos de Raios X industriais se dividem geralmente em dois componentes: o painel de controle e o cabeçote, ou unidade geradora.

O painel de controle consiste em uma caixa onde estão alojados todos os controles, indicadores, chaves e medidores, além de conter todo o equipamento do circuito gerador de alta voltagem. E através do painel de controle que se fazem os ajustes de voltagem e amperagem, além de comando de acionamento do aparelho.

Na unidade geradora está alojada a ampola e os dispositivos de refrigeração. A conexão entre o painel de controle e o cabeçote se faz através de cabos especiais de alta tensão.

As principais características de um equipamento de Raios X são:

- a - tensão e corrente elétrica máxima;
- b - tamanho do ponto focal e tipo de feixe de radiação (direcional ou panorâmico);
- c - peso e tamanho;

Esses dados determinam a capacidade de operação do equipamento, pois estão diretamente ligados ao que o equipamento pode ou não fazer. Isso se deve ao fato dessas grandezas determinarem as características da radiação gerada no equipamento. A tensão se refere à diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo e é expressa em quilovolts (kV). A corrente elétrica se refere à corrente elétrica no tubo e é expressa em miliampères (mA).

Outro dado importante se refere à forma geométrica do ânodo no tubo. Quando em forma plana, e angulada, propicia um feixe de radiação direcional, e quando em forma de cone, propicia um feixe de radiação panorâmico, isto é, irradiação a 360 graus, com abertura determinada.

Os equipamentos considerados portáteis, com tensões até 400 kV, possuem peso em torno de 40 a 80 kg, dependendo do modelo. Os modelos de tubos refrigerados a gás são mais leves ao contrário dos refrigerados a óleo.



Raios X industrial, de até 300 kV

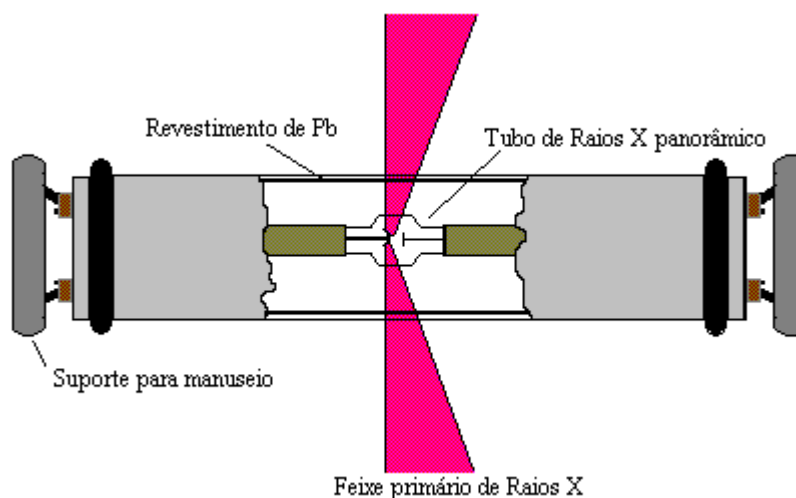


Inspeção radiográfica de soldas em tubos

O conceito de intensidade de radiação se refere à “quantidade” de Raios X produzidos, ou, de uma forma mais correta ao número de “fótons” emitidos.

Quando aumentamos a corrente do filamento fazemos com que ele se aqueça mais, liberando um número maior de elétrons. Isso fará com que ocorra um aumento na intensidade da radiação gerada, sem implicar em aumento na qualidade dessa radiação. Em outras palavras, nós conseguimos aumentar a intensidade sem aumentar a energia do feixe de radiação.

De uma forma prática podemos dizer que a qualidade da radiação (energia) se relaciona com a capacidade de penetração nos materiais, enquanto que a intensidade está intimamente ligada com o tempo de exposição.



Equipamentos de Raios X panorâmico para radiografia de componentes circulares.

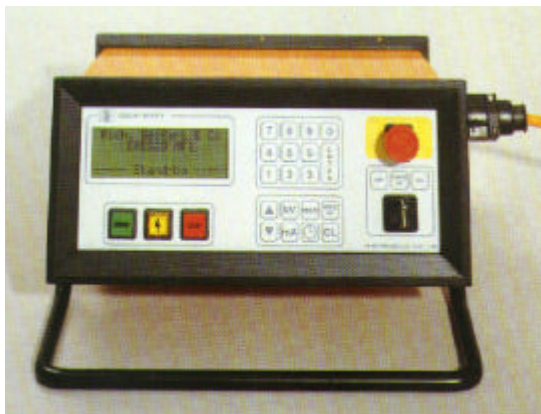
Acessórios do Aparelho de Raios X

Cabos de energia:

O aparelho de Raios X composto pela mesa de comando e unidade geradora, são ligadas entre si através do cabo de energia. A distância entre a unidade geradora e a mesa de comando deve ser tal que o operador esteja protegido no momento da operação dos controles, segundo as normas básicas de segurança. Para tanto os fabricantes de aparelhos de Raios X fornecem cabos de ligação com comprimento de 20 a 30 metros dependendo da potência máxima do tubo gerador.

Blindagem de Proteção :

O início da operação do aparelho deve ser feita com aquecimento lento do tubo de Raios X, conforme as recomendações do fabricante. Neste processo o operador deve utilizar as cintas ou blindagens especiais que são colocadas na região de saída da radiação, sobre a carcaça da unidade geradora. Este acessório fornecido pelo fabricante permite maior segurança durante o procedimento de aquecimento do aparelho.



A foto ao lado representa uma unidade de comando de um aparelho de Raios X industrial moderno. O painel, digital, resume uma série de informações técnicas sobre a exposição, tais como distância fonte-filme, tensão no tubo, corrente elétrica, tempo de exposição. As informações no display poderá ser memorizada e recuperada quando necessário.

Foto extraída do catálogo da Seifert

Guia Básico de Aplicação dos Raios X em função da espessura de aço a ser radiografada

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

Aceleradores Lineares

Os aceleradores lineares são aparelhos similares aos aparelhos de Raios X convencionais com a diferença que os elétrons são acelerados por meio de uma onda elétrica de alta frequência, adquirindo altas velocidades ao longo de um tubo retilíneo. Os elétrons ao se chocarem com o alvo, transformam a energia cinética adquirida em calor e Raios X com altas energias cujo valor dependerá da aplicação. Para uso industrial em geral são usados aparelhos capazes de gerar Raios X com energia máxima de 4 Mev.

Os aceleradores lineares são aparelhos destinados a inspeção de componentes com espessuras acima de 100 mm de aço.

As vantagens do uso desses equipamentos de grande porte, são:

- foco de dimensões reduzidas (menor que 2 mm)
- tempo de exposição reduzido
- maior rendimento na conversão em Raios X



Acelerador linear industrial, para radiografias de peças com espessuras acima de 100 mm de aço. Projetado para produzir um feixe de radiação de 4 Mev, com ponto focal bastante reduzido.

Foto extraída do catálogo da Varian.

Estes equipamentos não são portáteis e necessitam de instalação adequada, tanto do ponto de vista de movimentação do aparelho como das espessuras das paredes de concreto requeridas, que podem alcançar cerca de 1 metro.



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

(Foto cedida pela CBC Indústrias Mecânicas – São Paulo)

Os Raios Gama

Com o desenvolvimento dos reatores nucleares, foi possível a produção artificial de isótopos radioativos através de reações nucleares de ativação.

O fenômeno de ativação, ocorre quando materiais ou amostras são colocados junto ao núcleo de um reator e, portanto, irradiados por neutrons térmicos, que atingem o núcleo do átomo, penetrando nele. Isto cria uma quebra de equilíbrio energético no núcleo, e ao mesmo tempo muda sua massa atômica, caracterizando assim o **isótopo**. O estabelecimento do equilíbrio energético do núcleo do átomo, é feito pela liberação de energia na forma de Raios gama e sua transmutação radioativa.

Um átomo que submetido ao processo de ativação, e portanto seu núcleo se encontra num estado excitado de energia passa a emitir radiação. É fácil ver, portanto, que o número de átomos capazes de emitir radiação, diminui gradualmente com o decorrer do tempo. A esse fenômeno chamamos de Decaimento Radioativo.

Equipamentos Industriais de Raios Gama

As fontes usadas em gamagrafia (radiografia com raios gama), requerem cuidados especiais de segurança pois, uma vez ativadas, emitem radiação, constantemente.

Deste modo, é necessário um equipamento que forneça uma blindagem, contra as radiações emitidas da fonte quando a mesma não está sendo usada. De mesma forma é necessário dotar essa blindagem de um sistema que permita retirar a fonte de seu interior, para que a radiografia seja feita. Esse equipamento denomina-se Irradiador.

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

As blindagens podem ser construídas com diversos tipos de materiais. Geralmente são construídos com a blindagem, feita com um elemento (chumbo ou urânio exaurido), sendo contida dentro de um recipiente externo de aço, que tem a finalidade de proteger a blindagem contra choques mecânicos.

Uma característica importante dos irradiadores, que diz respeito à blindagem, é a sua capacidade. Como sabemos, as fontes de radiação podem ser fornecidas com diversas atividades e cada elemento radioativo possui uma energia de radiação própria. Assim cada blindagem é dimensionada para conter um elemento radioativo específico, com uma certa atividade máxima determinada.

Portanto, é sempre desaconselhável usar um irradiador projetado para um determinado radioisótopo, com fontes radioativas de elementos diferentes e com outras atividades.

Esse tipo de operação só pode ser feita por profissionais especializados e nunca pelo pessoal que opera o equipamento.

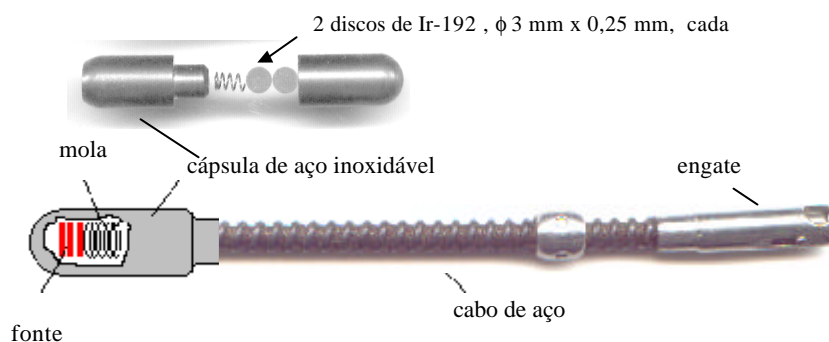
A fonte radioativa consta de uma determinada quantidade de um isótopo radioativo. Essa massa de radioisótopo é encapsulada e lacrada dentro de um pequeno envoltório metálico muitas vezes denominado "porta-fonte" ou "torpedo" devido a sua forma, ou fonte selada, simplesmente.

O porta-fonte se destina a impedir que o material radioativo entre em contato com qualquer superfície, ou objeto, diminuindo os riscos de uma eventual contaminação radioativa.

Características Físicas e Tipos de Fontes Gama mais Utilizadas na Indústria

As fontes radioativas para uso industrial, são encapsuladas em material austenítico, de maneira tal que não há dispersão ou fuga do material radioativo para o exterior.

Um dispositivo de contenção, transporte e fixação por meio do qual a cápsula que contém a fonte selada, está solidamente fixada em uma ponta de um cabo de aço flexível, e na outra ponta um engate, que permite o uso e manipulação da fonte, é denominado de "porta fonte". Devido a uma grande variedade de fabricantes e fornecedores existem diversos tipos de engates de porta-fontes.



Características das fontes seladas radioativas industriais

Embora apenas poucas fontes radiativas seladas sejam atualmente utilizadas pela indústria moderna, descrevemos a seguir as principais que podem ser utilizadas assim como as suas características físico-químicas.

(a) Cobalto - 60 (^{60}Co , $Z=27$)

O Cobalto-60 é obtido através do bombardeamento por nêutrons do isótopo estável Co-59. Suas principais características são:

- Meia - Vida = 5,24 anos
- Energia da Radiação = 1,17 e 1,33 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 60 a 200 mm de aço
- Fator Gama (Γ) = 0,351 mSv/h.GBq a 1m

Esses limites dependem das especificações técnicas da peça a ser examinada e das condições da inspeção.

(b) Iridio - 192 (^{192}Ir , $Z=77$)

O Iridio-192 é obtido a partir do bombardeamento com nêutrons do isótopo estável Ir-191. Suas principais características são:

- Meia - Vida = 74,4 dias
- Energia da Radiação = 0,137 a 0,65 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 10 a 40 mm de aço
- Fator Gama (Γ) = 0,13 mSv/h . GBq a 1m

(c) Selênio - 75 (^{75}Se)

- Meia-vida = 119,78 dias
- Energia das Radiações = de 0,006 a 0,405 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 4 a 30 mm de aço
- Fator Gama (Γ) = 0,28 R/h.Ci a 1m

É um radioisótopo de uso recente na indústria, proporcionando uma qualidade muito boa de imagem, assemelhando-se à qualidade dos Raios-X.



Irradiador gama específico para fontes radiativas de Selênio-75 usadas em radiografia industrial. Caracteriza-se por ser muito leve, por outro lado as fontes de Se-75 são importadas, ao contrário das de Ir-192 que são fornecidas pelo IPEN.

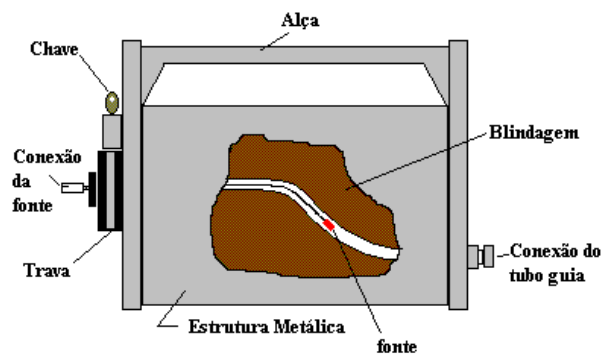
Foto extraída do catálogo da Sauerwein

Características Físicas dos Irradiadores Gama:

Os irradiadores gama são equipamentos dotados de partes mecânicas que permitem expor com segurança a fonte radioativa. A principal parte do irradiador é a blindagem interna, que permite proteção ao operador a níveis aceitáveis para o trabalho, porém com risco de exposição radiológica se armazenado em locais não adequados ou protegidos.

O que mais diferencia um tipo de irradiador de outro são os dispositivos usados para se expor a fonte. Esses dispositivos podem ser mecânicos, com acionamento manual ou elétrico, ou pneumático. A única característica que apresentam em comum é o fato de permitirem ao operador trabalhar sempre a uma distância segura da fonte, sem se expor ao feixe direto de radiação.

Os irradiadores gama são construídos através de rígidos controles e testes estabelecidos por normas internacionais, pois o mesmo deve suportar choques mecânicos, incêndio e inundação sem que a sua estrutura e blindagem sofram rupturas capazes de deixar vaziar radiação em qualquer ponto mais do que os máximos exigidos.



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 "



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

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

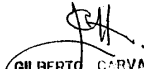
TABELA DE DECAIMENTO PARA FONTE DE Ir¹⁹²

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							
28/05/2000	122.53	121.39	120.27	119.15	126.00	124.83	123.67
04/06/2000	114.79	113.73	112.68	111.63	118.05	116.95	115.87
11/06/2000	107.55	106.55	105.56	104.58	110.60	109.57	108.55
18/06/2000	100.76	99.83	98.90	97.98	103.61	102.65	101.70
25/06/2000	94.40	93.52	92.66	91.80	97.07	96.17	95.28
02/07/2000	88.44	87.62	86.81	86.00	90.95	90.10	89.27
09/07/2000	82.86	82.09	81.33	80.58	85.21	84.42	83.63
16/07/2000	77.63	76.91	76.20	75.49	79.83	79.09	78.35
23/07/2000	72.73	72.05	71.39	70.72	74.79	74.10	73.41
30/07/2000	68.14	67.51	66.88	66.26	70.07	69.42	68.78
06/08/2000	63.84	63.24	62.66	62.08	65.65	65.04	64.43
13/08/2000	59.81	59.24	58.70	58.16	61.50	60.93	60.37
20/08/2000	56.03	55.51	55.00	54.49	57.62	57.09	56.56
27/08/2000	52.50	52.01	51.53	51.03	54.00	53.51	53.01
03/09/2000	49.18	48.73	48.27	47.81	50.58	50.11	49.64
10/09/2000	46.08	45.65	45.23	44.81	47.38	46.94	46.51
17/09/2000	43.17	42.77	42.37	41.98	44.38	43.98	43.57
24/09/2000	40.44	40.07	39.70	39.33	41.59	41.20	40.82
01/10/2000	37.89	37.54	37.19	36.83	38.96	38.60	38.25
08/10/2000	35.50	35.17	34.84	34.51	36.51	36.17	35.83
15/10/2000	33.26	32.94	32.64	32.32	34.20	33.88	33.57
22/10/2000	31.16	30.86	30.58	30.28	32.04	31.75	31.45
29/10/2000	29.19	28.91	28.64	28.39	30.02	29.74	29.46
05/11/2000	27.35	27.09	26.85	26.60	28.12	27.86	27.61
12/11/2000	25.62	25.38	25.15	24.92	26.35	26.11	25.86
19/11/2000	24.01	23.78	23.56	23.34	24.69	24.46	24.23
26/11/2000	22.49	22.28	22.08	21.87	23.13	22.91	22.70
03/12/2000	21.07	20.88	20.68	20.49	21.67	21.47	21.27
10/12/2000	19.74	19.56	19.38	19.20	20.30	20.11	19.93
17/12/2000	18.50	18.32	18.15	17.99	19.02	18.84	18.67
24/12/2000	17.33	17.17	17.01	16.85	17.82	17.65	17.49
31/12/2000	16.23	16.08	15.93	15.79	16.69	16.54	16.39
07/01/2001	15.21	15.07	14.93	14.79	15.64	15.50	15.35
14/01/2001	14.25	14.12	13.99	13.86	14.65	14.52	14.38
21/01/2001	13.35	13.23	13.10	12.98	13.73	13.60	13.47
28/01/2001	12.51	12.39	12.28	12.16	12.86	12.74	12.62
04/02/2001	11.72	11.61	11.50	11.39	12.05	11.94	11.83
11/02/2001	10.98	10.88	10.78	10.68	11.29	11.18	11.08
18/02/2001	10.29	10.19	10.10	10.00	10.58	10.48	10.38
25/02/2001	9.64	9.55	9.46	9.37	9.91	9.82	9.73
04/03/2001	9.03	8.94	8.86	8.78	9.28	9.20	9.11
11/03/2001	8.46	8.38	8.30	8.22	8.70	8.62	8.54
18/03/2001	7.92	7.85	7.78	7.71	8.15	8.07	8.00
25/03/2001	7.42	7.35	7.29	7.22	7.63	7.56	7.49
01/04/2001	6.96	6.89	6.83	6.76	7.15	7.09	7.02
08/04/2001	6.52	6.46	6.40	6.34	6.70	6.64	6.58
15/04/2001	6.10	6.05	5.99	5.94	6.28	6.23	6.17
22/04/2001	5.72	5.67	5.61	5.56	5.88	5.83	5.77
29/04/2001	5.36	5.31	5.26	5.21	5.56	5.51	5.46
06/05/2001	5.02	4.97	4.93	4.88	5.16	5.11	5.07
13/05/2001	4.70	4.66	4.62	4.57	4.84	4.79	4.75
20/05/2001	4.41	4.37	4.33	4.29	4.53	4.49	4.45
27/05/2001	4.13	4.09	4.05	4.01	4.25	4.21	4.17
					3.98	3.94	3.90

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

1. VIA - USUARIO
 2. VIA - LABORATORIO DE PRODUÇÃO DE FONTES SELADAS


GILBERTO CARVALHO
 IPEN-CNEN/SP (1)
 Resp. pl. 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

Lote 1 : 111CAN/IPEN	PAMENTOS
Lote 2 :	
N. de Série : Irs 3402 (X-54)	
Radionuclídeo : IRIDIO	
Atividade : 4.662 TBq (126 Ci)	Medida em : 25/05/2000
Tamanho focal 1: (φ 2.7 X 0.25 mm)	Discos 17
Tamanho focal 2:	Discos

TESTES EFETUADOS (ISO 4826)

Livre de Contaminação Superficial: teste de esfregação

Data: 25/05/2000

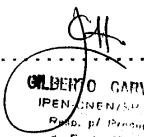
Resultado: < 5,0 nCI

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 - CNEN/SP - II
 Depto. de Produção
 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)

A documentação mencionada nas tabelas anteriores são muito importantes para os técnicos que operam os equipamentos. A tabela de decaimento radioativo é importante do ponto de vista da radioproteção e para controle e cálculo do tempo de exposição do filme radiográfico.

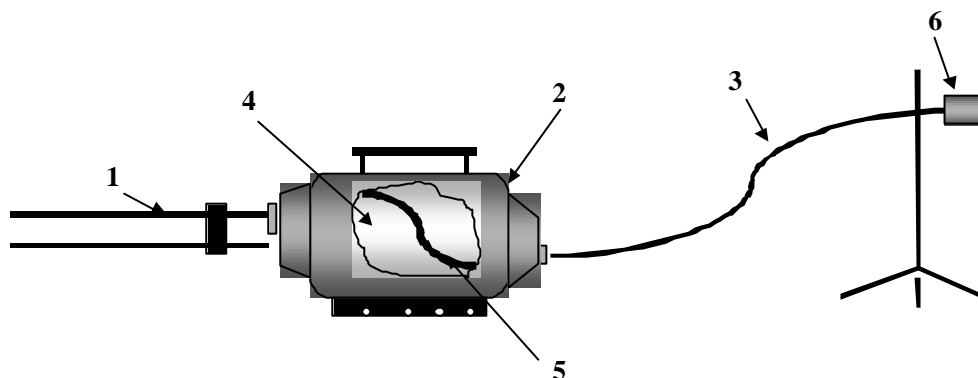
O certificado da fonte comprova o tamanho do ponto focal da fonte, assim como os testes realizados que garantem a segurança na operação.

**QUESTÕES PARA ESTUDO:**

Assunto: Equipamentos de Raios X Industrial

1. Quais os tipos de ânodos existentes nas ampolas de Raios X industrial disponíveis ?
2. Qual o tamanho médio mais comum do foco de um aparelho de Raios X industrial , e o que isto influencia no ensaio radiográfico ?
3. Como é o espectro de emissão dos Raios X gerados ?
4. Quando se varia a tensão no aparelho de Raios X, o que isto influencia no ensaio radiográfico ?
5. Quando se varia a corrente elétrica no aparelho de Raios X, o que isto influencia no ensaio radiográfico ?
6. Para aparelhos de Raios X com 400 kV, qual a faixa de espessura de aço teórica mais aplicável no ensaio radiográfico ?
8. Uma ampola de Raios X industrial possui dimensões e peso relativamente pequenos. Porque então que o aparelho de Raios X completo é tão grande e pesado ?
9. Para qual faixa de espessura de aço é mais aplicável para aceleradores lineares de 4 Mev ?
10. Porque os aparelhos de Raios X são considerados mais seguros para operação ?
11. Qual a função do "Timer" na unidade de comando do aparelho de Raios X ?
12. Para que serve o aparelho de Raios X industrial, tipo panorâmico ?

13. Quais os radioisótopos mais utilizados para gamagrafia industrial no Brasil ?
14. Que faixa de espessura de aço é mais recomendado o uso de fontes radioativas de Co-60 ?
15. Qual a meia vida do radioisótopo Ir-192 e do Se-175?
16. Quando se altera o tipo da fonte radioativa ou radioisótopo que isto influencia no ensaio por gamagrafia ?
17. O que influencia a atividade da fonte radioativa na inspeção industrial por gamagrafia ?
18. Conforme a figura abaixo, identifique os componentes do aparelho para gamagrafia industrial indicados?



19. Uma empresa importou uma fonte de Ir-192. A empresa fornecedora informou que a atividade da fonte era de 120 Ci quando esta foi produzida, e que o tempo para envio para o Brasil foi de 3 dias. A fonte radioativa ao chegar na alfândega somente foi liberada após verificação formal e autorização do CNEN e que demandou 5 dias. O responsável pela radioproteção da empresa importadora e usuária demorou 3 dias para a documentação de transporte e autorizações específicas. A fonte foi finalmente liberada para envio à obra em Recife, o que demorou mais 2 dias. Qual a atividade final que o operador recebeu a fonte radioativa ?

20. Uma fonte de Ir-192 com 17 discos com espessura individual de 0,25 mm e diâmetro de 2,7 mm, qual o tamanho efetivo desta fonte ?

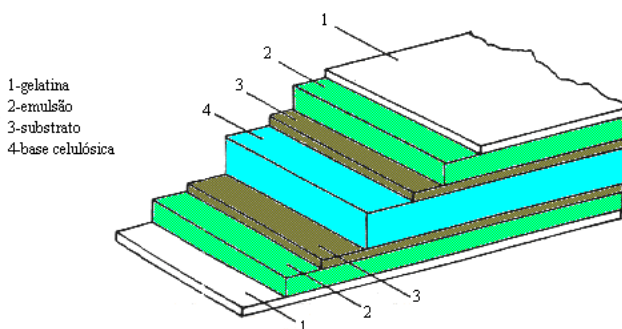
Filmes radiográficos industriais, Processamento e Exposição

Os filmes radiográficos são compostos de uma emulsão e uma base. A emulsão consiste em uma camada muito fina (espessura de 0,025 mm) de gelatina, que contém, dispersos em seu interior, um grande número de minúsculos cristais de brometo de prata. A emulsão é colocada sobre um suporte, denominado base, que é feito geralmente de um derivado de celulose, transparente e de cor levemente azulada.

Uma característica dos filmes radiográficos é que, ao contrário dos filmes fotográficos, eles possuem a emulsão em ambos os lados da base.

Os cristais de brometo de prata, presentes na emulsão, possuem a propriedade de, quando atingidos pela radiação ou luz, tornarem-se susceptíveis de reagir com produto químico denominado revelador. O revelador atua sobre esses cristais provocando uma reação de redução que resulta em prata metálica negra.

Os locais do filme, atingidos por uma quantidade maior de radiação apresentarão, após a ação do revelador, um número maior de grãos negros que regiões atingidas por radiação de menor intensidade, dessa forma, quando vistos sob a ação de uma fonte de luz, os filmes apresentarão áreas mais escuras e mais claras que irão compor a imagem do objeto radiografado.



Estrutura de um filme radiográfico

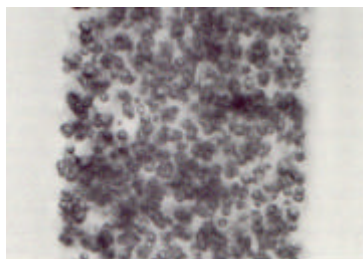
Os filmes radiográficos industriais são fabricados nas dimensões padrões de 3.1/2" x 17" ou 4.1/2" x 17" ou 14" x 17". Outras dimensões e formatos podem ser encontrados em outros países da Europa e EUA

Granulação

A imagem nos filmes radiográficos é formada por uma série de partículas muito pequenas de sais de prata, os quais não visíveis a olho nu. Entretanto, essas partículas se unem em massas relativamente grandes que podem ser vistas pelo olho humano ou com auxílio de pequeno aumento. Esse agrupamento das partículas de sais de prata da emulsão cria uma impressão chamada de "Granulação".

Todos os filmes apresentam o fenômeno de granulação. Por possuírem grãos maiores, os filmes mais rápidos apresentam uma granulação mais acentuada que os filmes lentos.

A granulação, além de ser característica de cada filme, também sofre uma influência da qualidade da radiação que atinge o filme. Portanto, podemos afirmar que a granulação de um filme aumenta quando aumenta a qualidade da radiação. Por essa razão os filmes com grãos mais finos são recomendados quando se empregam fontes de alta energia (Raios X da ordem de milhões de volts). Quando usados com exposição longa, esses filmes também podem ser empregados com raios gama.



Ampliação dos grãos de um filme radiográfico ainda não processado.

(foto extraída do Livro da Kodak)

Densidade Óptica

A imagem formada no filme radiográfico possui áreas claras e escuras evidenciando um certo grau de enegrecimento que denominamos de Densidade. Matematicamente expressamos a densidade como sendo logaritmo da razão entre a intensidade de luz visível que incide no filme e a intensidade que é transmitida e visualmente observada.

$$D = \log \frac{I_0}{I}$$

onde I_0 = intensidade de luz incidente
 I = intensidade de luz transmitida

Pela relação acima concluímos que quanto maior for densidade, mais escuro será o filme.



A densidade óptica é avaliada através do densitômetro eletrônico (ver foto ao lado) calibrado por uma fita densitométrica padrão, com certificado rastreável ao NIST - National Institute of Technology,

Velocidade

Antes de introduzirmos o conceito de velocidade é preciso definir o que entendemos por exposição. É uma medida da quantidade de radiação que atinge um filme. Ela é representada pelo produto da intensidade da radiação pelo tempo que o filme fica exposto. É evidente, portanto, quanto maior a exposição a que submetemos um filme, maior a densidade que esse filme atinge.

Se submetemos dois filmes diferentes a uma mesma exposição, notaremos que as densidades obtidas nos dois filmes serão diferentes. Ou seja, com uma mesma exposição, um filme apresenta maior rapidez com que um filme atinge determinada densidade, quando comparado com um outro filme. Portanto, um filme rápido necessita de menor tempo de exposição para atingir uma determinada densidade, que num outro filme, mais lento. Ou ainda, se um filme rápido e um filme lento forem submetidos a uma exposição idêntica, o filme rápido atingirá uma densidade maior.

A velocidade é uma característica própria de cada filme. Ela depende, principalmente, do tamanho dos cristais de prata presentes na emulsão. Quanto maior o tamanho dos cristais mais rápido é o filme. É claro que uma imagem formada por grãos de grandes dimensões é mais grosseira, ou seja, menos nítida, que uma imagem formada por grãos menores. Portanto, quanto mais rápido o filme, menos nítida será a imagem formada por ele. Os filmes de grande velocidade podem ser utilizados em radiografias de peças com grandes espessuras que exigiria um tempo de exposição incompatível com a produtividade, quando utilizado filmes mais lentos.

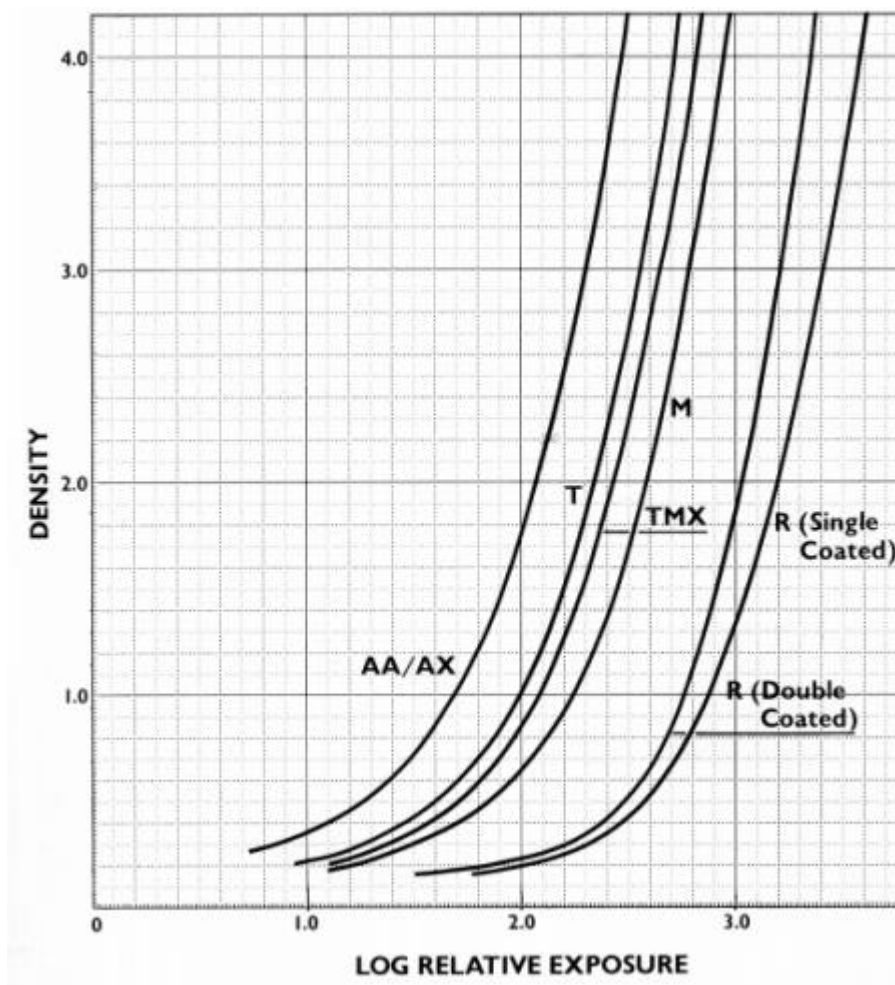
Curva Característica dos Filmes Industriais

A curva característica de um filme, também chamada de curva sensitométrica ou curva H e D (Hurter-Driffield) relaciona a exposição dada a um filme com a densidade resultante. Através das curvas características podemos comparar qualitativamente filmes diferentes, e ainda estabelecer critérios para corrigir densidades obtidas para uma dada exposição.

As curvas são em geral fornecidas pelo fabricante do filme e são obtidas mediante a exposições sucessivas do filme, tendo suas densidades medidas em cada exposição. Os valores são plotados num gráfico de densidades em função do logaritmo da exposição relativa.

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 estiver guardado em condições irregulares, tais como na presença de níveis baixos de radiação ou calor excessivo.

A análise da curva do filme nos dá uma idéia da velocidade de exposição do filme.



Curva característica de filmes radiográficos Kodak.

Classificação dos Filmes Industriais

- **Tipo 1** - Características: granulação extremamente fina e muito alto contraste. Esse tipo de filme deve ser usado quando se deseja obter alta qualidade de imagem em componentes eletrônicos, ligas leves. Pode ser usado em exposição direta ou com telas intensificadas.
- **Tipo 2** - Características: média velocidade, alto contraste, granulação extra fina. Podem ser usados com ou sem telas intensificadoras e com radiação de alta energia.
- **Tipo 3** - Características: Filme com granulação fina e com alta velocidade e alto contraste quando utilizado em conjunto com telas intensificadoras de chumbo.
- **Tipo 4** - Características: Filme de granulação média, pouco utilizado na indústria.

Contraste do Filme

Para que se forme uma imagem no filme é necessário que ocorram variações na densidade ao longo do mesmo. Em outras palavras, uma imagem é formada a partir de áreas claras e escuras. A diferença de densidades entre duas regiões adjacentes no filme é denominada de Contraste.

Definição

Observando com detalhe a imagem formada no filme radiográfico, veremos que a mudança de densidades de uma área a outra não se faz de maneira brusca. Por exemplo, a imagem de um objeto apresenta um pequeno halo que acompanha as bordas da mesma, com uma densidade intermediária entre a densidade da imagem e a de fundo. Quanto mais estreita for esta faixa de transição a definição será melhor.

Processamento do Filme Radiográfico

A preparação do filme e dos banhos para o processamento radiográfico deve seguir algumas considerações gerais, necessárias ao bom desempenho desta tarefa.

Limpeza: no manuseio do filme, a limpeza é essencial. A câmara escura, bem como os acessórios e equipamentos, devem ser mantidos rigorosamente limpos, e usados somente para o propósito aos quais eles se destinam. Qualquer líquido de fácil volatilização deve estar acondicionado em recipientes fechados, para não contaminar o ambiente. O termômetro e outros acessórios que manuseados devem ser lavados em água limpa imediatamente após o uso, para evitar a contaminação das soluções. Os tanques devem estar limpos e preenchidos com soluções frescas.

Processamento Manual

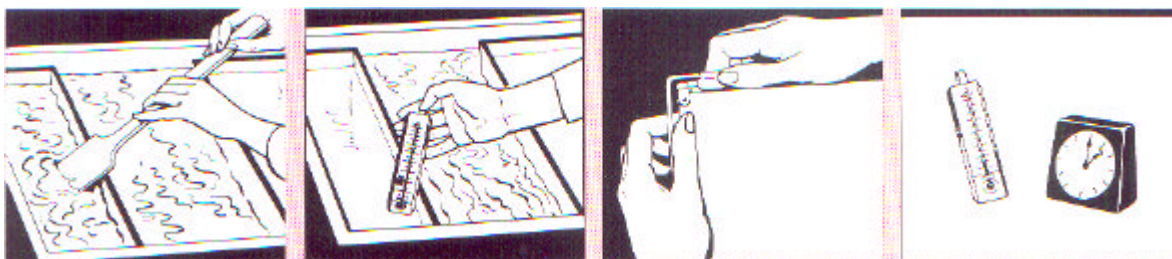
A partir do momento que temos um filme exposto à radiação e passamos então ao processamento, o mesmo passará por uma série de banhos nos tanques de revelação, de acordo com as seguintes etapas:

1 –Preparação dos banhos: a preparação dos banhos devem seguir a recomendação dos fabricantes, e preparados dentro dos tanques que devem ser de aço inoxidável ou da matéria sintética, sendo preferível o primeiro material. É importante providenciar agitação dos banhos, utilizando pás de borracha dura ou aço inoxidável ou ainda de material que não absorva e nem reaja com as soluções do processamento. As pás devem ser separadas, uma para cada banho, para evitar a contaminação das soluções.

2 –Medição da Temperatura: O grau de revelação é afetado pela temperatura da solução: Quando a temperatura aumenta o grau de revelação também aumenta. Desta forma, quando a temperatura do revelador é baixa, a reação é vagarosa e o tempo de revelação que fora recomendado para a temperatura normal (20°C), será insuficiente resultando em uma “sub-revelação”. Quando a temperatura é alta, a “sobre-revelação”. Dentro de certos limites, estas mudanças no grau de revelação podem ser compensadas aumentando-se ou diminuindo-se o tempo de revelação. São fornecidas, inclusive, tabelas tempo-temperatura, através das quais pode-se a correção de comparação.

3 – Manuseio: após a exposição do filme, o mesmo ainda se encontra dentro do porta-filmes plástico, e portanto deverá ser retirado na câmara escura, somente com a luz de segurança acionada. Nesta etapa os filmes deverão ser fixados nas presilhas das colgaduras de aço inoxidável para não pressionar o filme com o dedo, que poderá manchá-lo permanentemente.

4 – O dispositivo para medição do tempo necessário para cada passo do processamento, deve ser acionado (cronômetro)



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

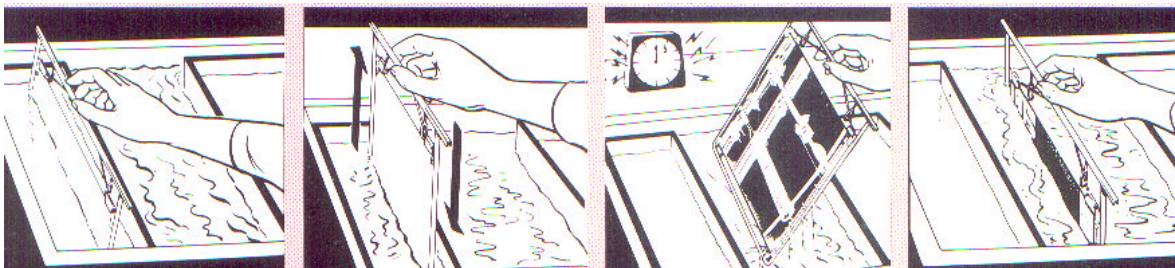
5 - Revelação

Quando imergimos um filme exposto no tanque contendo o revelador, esta solução age sobre os cristais de brometo de prata metálica, por ação do revelador. Esta seletividade está na capacidade de discriminar os grãos expostos dos não expostos. Devido a fatores eletroquímicos as moléculas dos agentes reveladores atingem os cristais, que ficam como que revestidos. Os cristais, que são constituídos de íons, ganham elétrons do agente revelador, que se combinam com o íon "Ag⁺", neutralizando-o, tornando "Ag metálica".

Essa reação química provoca uma degradação progressiva do revelador que é lentamente oxidado pelo uso e pelo meio ambiente.

A visibilidade da imagem e conseqüentemente o contraste, a densidade de fundo e a definição, dependem do tipo de revelador usado, do tempo de revelação e da temperatura do revelador. Desta forma, o controle tempo-temperatura é de fundamental importância para se obter uma radiografia de boa qualidade.

A revelação deve ser feita com agitação permanente do filme no revelador, afim de que se obtenha uma distribuição homogênea do líquido em ambos os lados da emulsão, evitando-se a sedimentação do brometo e outros sais que podem provocar manchas susceptíveis de mascarar possíveis discontinuidades. Em princípio, o revelador deveria somente reduzir os cristais de haletos de prata que sofrem exposição durante a formação da imagem latente. Na realidade, os outros cristais, embora lentamente, também sofrem redução. Chama-se "Véu de fundo" o enegrecimento geral resultante, que deve ser sempre mínimo para otimizar a qualidade da imagem radiográfica.



5 – Revelação

6 – Agitar os Filmes

7 – Deixar escorrer

8 – Banho de Parada

6- Os filmes devem ser agitados na solução reveladora para que não haja formação de bolhas grudadas no filme que possam causar falta de ação do revelador nestes pontos, formando assim um ponto claro.

7 – Deixar escorrer por alguns segundos o filmes.

8 - Banho Interruptor ou Banho de Parada.

Quando o filme é removido da solução de revelação, uma parte revelador fica em contato com ambas as faces do filme, fazendo dessa forma que a reação de revelação continue. O banho interruptor tem então, a função de interromper esta reação a partir da remoção do revelador residual, evitando assim uma revelação desigual e prevenindo ainda a ocorrência de manchas no filme.

Portanto, antes de se transferir o filme do tanque de revelação para o de fixação, deve-se usar o tanque do banho interruptor, agitando-o durante mais ou menos 40 segundos.

O banho interruptor pode ser composto, na sua mistura, de água com ácido acético ou ácido glacial. Neste último caso, deve-se ter cuidado especial, prevendo-se uma ventilação adequada e evitando-se tocá-lo com as mãos. Quando se fizer a mistura com água e não ao contrário, pois poderá respingar sobre as mãos e face causando queimaduras.

O banho interruptor perde o seu efeito com o uso e deve ser sempre substituído. Uma solução nova do banho interruptor é de cor amarela e quando vista sob a luz de segurança é quase incolor. Quando a cor se modifica para azul púrpura que aparece escuro sob a iluminação de segurança, a solução deve ser trocada. Geralmente 20 litros, de banho de parada são suficientes para se revelar 400 filmes de 3 ½ x 17 pol.

9- Fixação

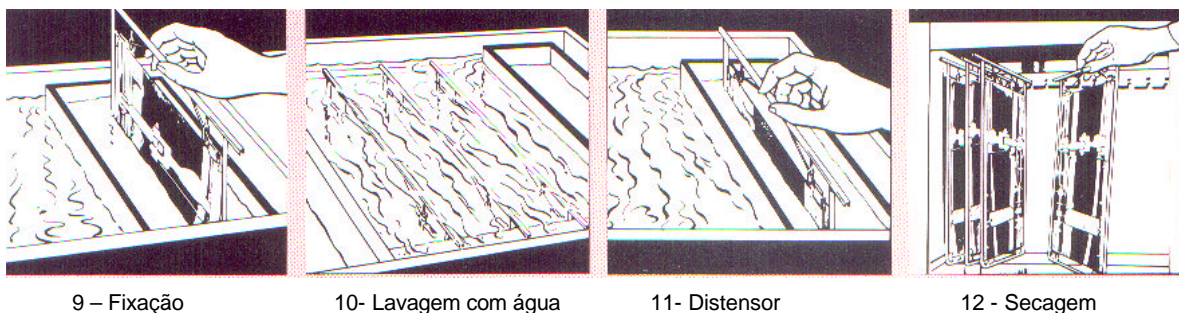
Após o banho interruptor, o filme é colocado em um terceiro tanque, que contém uma solução chamada de "fixador". A função da fixação é remover o brometo de prata das porções não expostas do filme, sem afetar os que foram expostos à radiação. O fixador tem também a função de endurecer a emulsão gelatinosa, permitindo a secagem ao ar aquecido.

O intervalo do tempo entre o início da fixação até o desaparecimento da coloração amarelo-esbranquiçada que se forma sobre o filme, é chamada de tempo de ajuste ou tempo de definição (clearing time). Durante este tempo o fixador estará dissolvendo o haleto de prata não revelado. Este tempo, é em geral o dobro do tempo de **clareamento**. O tempo de fixação normalmente não deve exceder a 15 minutos. Os filmes devem ser agitados quando colocados no revelador durante pelo menos 2 minutos, a fim de que tenhamos uma ação uniforme dos químicos.

O fixador deve ser mantido a uma temperatura igual ao do revelador, ou seja, cerca de 20 graus Celsius. Os fixadores são comercialmente fornecidos em forma de pó ou líquido e a solução é formada através da adição de água de acordo com as instruções dos fornecedores.

10 - Lavagem dos Filmes.

Após a fixação, os filmes seguem para o processo de lavagem para remover o fixador da emulsão. O filme é imergido em água corrente de modo que toda superfície fique em contato constante com a água corrente. O tanque de lavagem deve ser suficientemente grande para conter os filmes que passam pelo processo de revelação e fixação, sendo que devemos prever uma vazão de água de maneira que o volume do tanque seja de 4 a 8 vezes renovado a cada hora. Cada filme deve ser lavado por um período de aproximadamente 30 minutos. Quando se imergem as colgaduras carregadas no banho de lavagem, deve ser adotado um procedimento tal que se as mesmas sejam primeiramente colocadas próximas ao dreno de saída (água mais suja) e sua posição vá mudando o tempo de lavagem de maneira que se termine o banho o mais próximo possível da região de entrada da água, onde a mesma se encontra mais limpa.



9 – Fixação

10- Lavagem com água

11- Distensor

12 - Secagem

A temperatura da água no tanque de lavagem é um fator muito importante. Os melhores resultados são obtidos com a temperatura por volta de 20 graus centígrados. Se tivermos altos valores para a mesma, poderemos causar efeitos danosos ao filme, assim como valores baixos poderão reduzir a eficiência.

11 - Além das etapas acima relatadas, é aconselhável, após a lavagem passar os filmes durante mais ou menos 30 segundos, por um quinto banho que tem a finalidade de quebrar a tensão superficial da água, facilitando desta maneira, a secagem e evitando que pequenas gotas de água fiquem presas á emulsão, o que iria acarretar manchas nos filmes depois de secos.

12 - Antes do filme ser colocado no secador, deve-se dependurar as colgaduras em um escurridor por cerca de 2 a 3 minutos.

Resumo dos Requisitos para Processamento Manual

Faese do Processamento	Revelação	Banho de Parada	Fixação	Lavagem Final	Agente Umectante	Secagem
Composição ou tipo da solução	G 127 (ver nota 2)	30 ml de ácido acético glacial por litro de água	G 321 (ver nota 2)	Água Corrente	0,25% em vol. de Agepon (ver nota 2)	estufa
Tempo do Banho	Temp. (C) Tempo(min.) 18 6 20 5 22 4 24 3,5 26 3	de 30 a 60 segundos	No mínimo 2 vezes o tempo de clareamento (ver nota 1) A temperatura do fixador deve ser a mesma que a do revelador	20 minutos	2 minutos	ar frio por 30 min. + ar quente por 15 min.

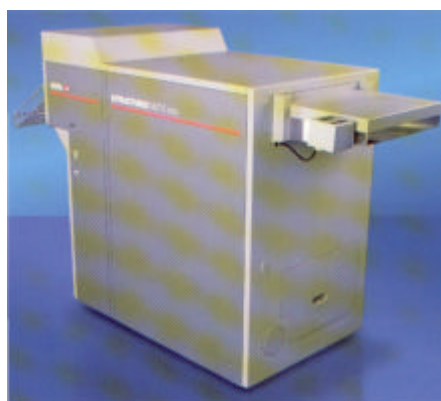
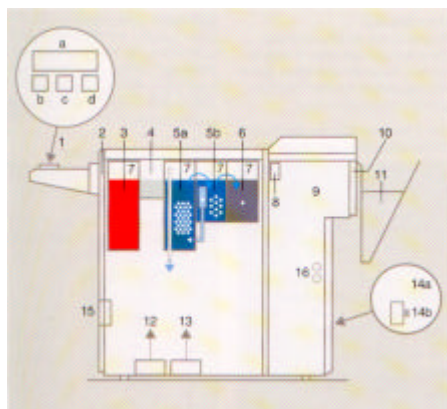
Notas:

1. Durante o uso, cada dia, a solução fixadora deve ser verificada antes de iniciar a revelação através do tempo de clareamento, que é o intervalo de tempo entre a colocação do filme na solução fixadora e o desaparecimento do amarelado original do filme. Se o tempo de clareamento exceder a 2,5 min. Então a solução fixadora deve ser trocada ou restaurada de acordo com as recomendações do fabricante.
2. As soluções químicas devem ser trocadas e/ou restauradas de acordo com as recomendações do fabricante.

Processamento Automático

Este sistema de processamento químico e mecânico é utilizado quando há grande volume de trabalho, pois só assim torna-se econômico. O processamento é inteiramente automático sendo que o manuseio só é utilizada para carregamento e descarregamento de filmes. O ciclo de processamento é inferior a 15 minutos. Quando adequadamente mantido e operado, este equipamento produz radiografia de alta qualidade.

A alta velocidade de processamento torna-se possível pelo uso de soluções químicas especiais, contínua agitação dos filmes, manutenção da temperatura das soluções e secagem por jatos de ar aquecido.



Processadora Automática típica para filmes radiográficos.
(Foto extraída do catálogo da AGFA)

Diagrama de Operação

- 1 - entrada do filme a ser processado
- 2 - dispositivo de condução do filme
- 3 - tanque revelador
- 4 - tanque de lavagem intermediária
- 5a - tanque de fixação F1
- 5b - tanque de fixação F2
- 6 - tanque de lavagem final
- 7 - tampa removíveis
- 8 - roletes de distribuição
- 9 - secador infravermelho
- 10- saída de filmes
- 11- bandeja de filmes
- 12 - bomba de circulação de revelador
- 13 - bomba de circulação de fixador
- 14a - liga/desliga
- 14b - fio terra
- 15 - válvulas para drenagem dos tanques
- 16 - protetores de superaquecimento

Telas Intensificadoras de Imagem (Ecrans)

Telas de chumbo

As telas de chumbo também chamados de telas intensificadoras possuem como finalidade diminuir o tempo de exposição em ensaios radiográficos industriais, usam-se finas folhas de metal (geralmente chumbo) com intensificadoras da radiação primária emitida pela fonte. O fator de intensificação, além de ser função da natureza e da espessura da tela, depende do contato efetivo entre elas e o filme.

As telas intensificadoras de chumbo geralmente são colocadas sobre cartolina com espessura da ordem de 100 gramas por centímetro quadrado. Essa cartolina deve ter espessura constante para evitar que qualquer falta de homogeneidade prejudique a qualidade da radiografia.

A tela intensificadora de chumbo precisa ter uma espessura ideal para determinada energia da radiação incidente, pois, caso contrário, a eficiência dela será reduzida. Em geral a espessura de chumbo é da ordem de 0,005 pol. (0,127 mm) para a tela dianteira e de 0,010 pol. (0,254 mm) para a tela traseira. Outras espessuras podem ser utilizadas, para radiações com maiores energias.

A atenuação da intensidade da radiação primária em uma tela intensificadora de chumbo será insignificante, desde que esta tela tenha a espessura ideal que deve ser igual ao alcance dos elétrons emitidos pela folha de chumbo. Os elétrons que são emitidos por uma face devem atingir a face oposta e conseqüentemente o filme produzindo ionização adicional na emulsão fotográfica. Quando se aumenta a espessura da tela de chumbo, a radiação primária e os elétrons emitidos pela face oposta dessa tela sofrem atenuação, e em conseqüência o fator de intensificação diminui.

O grau de intensificação das telas de chumbo depende da natureza e espessura do material a ensaiar, da qualidade da fonte emissora de radiação e do tipo de filme usado.

As funções das telas intensificadoras de chumbo em radiografia industrial devem ser as seguintes:

- Gerar elétrons por efeito fotoelétrico ou Compton, produzindo fluxo adicional de radiação e diminuindo o tempo de exposição;
- Absorver ou filtrar a radiação secundária espalhada que pode atingir o filme radiográfico, borrando a imagem e empobrecendo a definição.

Outras telas fabricadas em outros materiais também podem ser utilizadas, como por exemplo telas de cobre para uso com fontes de Cobalto-60.

Cálculo do tempo de Exposição do Filme Radiográfico

Tempo 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:

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

onde:

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

Exemplo de aplicação:

Suponhamos, que se realiza um ensaio, por gamagrafia, de uma chapa de aço, com 1,5 cm de espessura, para obter uma densidade radiográfica de 2,0. Para este ensaio dispõe-se de uma fonte de Ir-192 com atividade 20 Ci e filme Classe 1.

Pelo gráfico de exposição abaixo, conclui-se que para 1,5 cm de espessura de aço, e densidade radiográfica de 2,0, corresponde um fator de exposição igual a 50. Lembrando que 20 Ci correspondem a 20.000 milicuries.

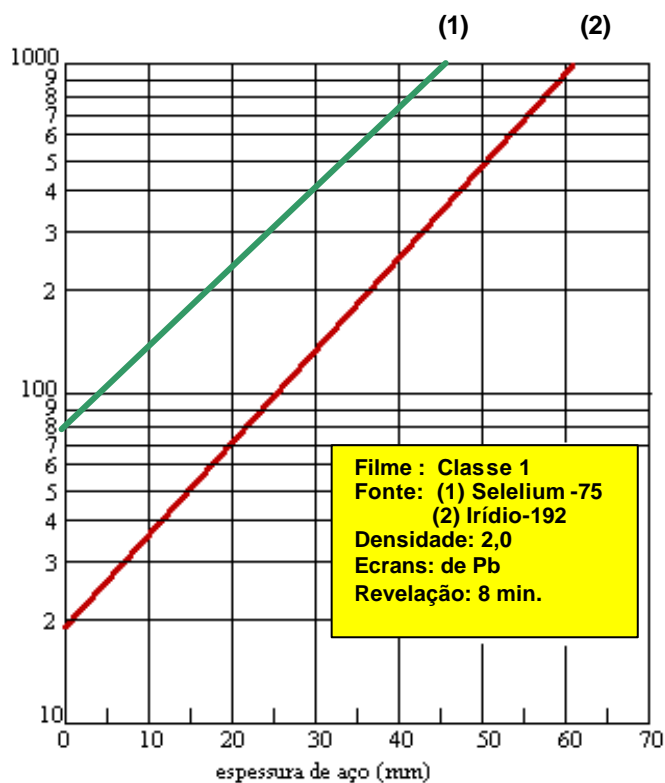
Tem-se:

$$t = \frac{50 \times DFF^2}{20000}$$

Observa-se que podemos fixar uma das duas variáveis, tempo de exposição ou distância fonte-filme. Quando o tempo de exposição é não muito importante, pode-se escolher uma distância fonte-filme adequada, para melhorar a qualidade radiográfica.

Supondo que a distância fonte-filme é 60 cm, tem-se:

$$t = \frac{50 \times 60^2}{20000}, \quad t = 9,0 \text{ minutos}$$



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

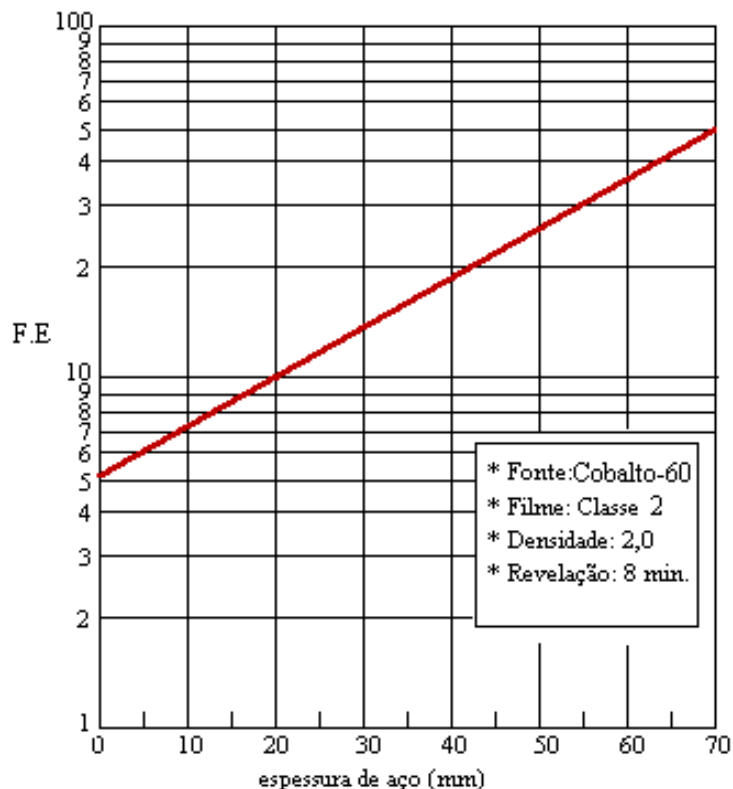
Existem outras formas de calcular o tempo de exposição para fontes radioativas, utilizando as curvas de exposição Curies-hora x Espessura de Aço, nessas curvas figuram várias retas representando diferentes densidades radiográficas e elas só podem ser realmente eficientes quando forem obedecidas as condições de revelação, de telas intensificadoras e tipo de filme.

Quando for muito pequena ou muito grande a distância fonte-filme utilizada na construção da curva de exposição pode-se alterá-la levando em conta a lei do inverso do quadrado da distância.

Para a determinação de um tempo de exposição é necessário, primeiramente a espessura da peça a ensaiar. A seguir, escolhe-se a fonte radioativa e o filme mais apropriado para esse isótopo.

Determina-se a atividade da fonte radioativa na hora do ensaio e fixa-se a distância fonte-filme. A seguir, determina-se o tempo de exposição.

Pode ocorrer, e na prática de fato ocorre muitas vezes, que o tempo de exposição calculado não é adequado porque o fabricante mudou as características de seus filmes, ou porque elas variam em função dos parâmetros e variáveis de processamento. Em qualquer desses casos, só a experiência prática ensinará introduzir modificações oportunas.



Fator de Exposição para Co-60 , para aços carbono

Curvas de exposição para radiografia

O primeiro fator a ser determinado em uma exposição com Raios X, é a voltagem (energia) a ser usada. Essa voltagem deverá ser suficiente para assegurar ao feixe de radiação energia suficiente para atravessar o material a ser inspecionado. Por outro lado, uma energia muito alta irá causar uma diminuição no contraste do objeto, diminuindo a sensibilidade da radiografia.

De forma a tornar compatíveis esses dois fatores, foram elaborados gráficos que mostram a máxima voltagem a ser usada para cada espessura de um dado material. É muito importante lembrar que, como materiais diferentes absorvem quantidades diferentes de radiação, existem gráficos para cada tipo de material a ser radiografado.

É importante notar que cada gráfico fixa uma série de fatores como segue:

- material inspecionado
- tipo e espessura das telas
- densidade óptica do filme
- distância do foco-filme
- tipo de filme usado
- tempo e temperatura de revelação do filme

Se qualquer um desses fatores for alterado, o gráfico perderá a sua validade, fornecendo resultados imprecisos. Outro fator importante, é que esses gráficos somente são válidos, para um determinado aparelho e modelo. Normalmente, os aparelhos de Raios X, são fornecidos com uma série de gráficos que permitem a sua utilização em uma vasta gama de situações. A escolha da corrente elétrica e do tempo de exposição, prende-se à capacidade do aparelho, usando-se o que for mais conveniente.

Exemplo:

Pretende-se radiografar uma peça em aço com 25 mm de espessura, utilizando-se 220 kV e 5 mA a 70 cm de distância fonte-filme, utilizando-se filme Classe 2. Qual o tempo de exposição ?

Solução: Analisando o gráfico da figura anterior, temos que, para 25 mm uma exposição de 6,7 mA..min. Assim para uma corrente elétrica de 5mA, o tempo será 1,7 min, ou seja 1 minuto e 20 segundos.

Se caso o operador desejar alterar a distância, que é um parâmetro fixo do gráfico, deverá ser utilizado as relações matemáticas estudadas anteriormente.



Aparelho de Raios X Industrial Seifert Modelo Isovolt 420 , com 420 kV, 8 mA refrigerado a óleo. Técnico preparando o posicionamento no centro do feixe de radiação. Repare na espessura da chapa de aço que compõe a seção a ser radiografada.

(Foto extraída do catálogo da Seifert)

TIPOS DE FILMES COMERCIAIS

Marca	Tipo 1	Tipo 2
Kodak	M	AA-400
Agfa	D4	D7
Dupont	NDT-65	NDT-70
Fuji	50	100



QUESTÕES PARA ESTUDO:

Assunto: Filmes Industriais e Exposição

1. Quanto ao tamanho padronizado dos filmes radiográficos industriais quais os existentes ?
2. Qual a fase do processamento do filme que elimina toda prata que não foi sensibilizada pela radiação e ainda atribuí ao filme rigidez ?
3. A técnica radiográfica que projeta a imagem numa tela fluorescente, do objeto a ser inspecionado , e que pode ser imediatamente visualizada, denomina-se:
4. O qual o tempo ideal para fixação do filme no processamento manual ?
5. Quais as fases principais e mais usuais no processamento manual do filme radiográfico ?
6. A parte do filme radiográfico que contém a camada foto-sensível é denominada de:
7. A tela de chumbo que é colocada na parte dianteira junto ao filme radiográfico, voltado para a fonte , tem qual função ?
8. Qual a fase do processamento do filme radiográfico em que a imagem latente é revelada na sua fase inicial ?
9. Quando um filme radiográfico é revelado sem o mesmo ter sido exposto e apresenta um véu de fundo muito elevado isto pode significar:
10. Se um filme radiográfico apresentou uma baixa densidade óptica, isto pode significar:

11. Cite 2 tipos de filmes comerciais de alta definição ?
12. No processamento manual dos filmes radiográficos, o tempo de revelação é dependente de quais fatores ?
13. Como é feita a monitoração das densidades dos filmes produzidos ?
14. Se um filme radiográfico Kodak AA-400 apresentou uma densidade de 1,5 sendo que o requerido é 2,5. Qual o fator que deve ser multiplicado ao tempo de exposição para corrigi-lo ?
15. Como é definido o contraste radiográfico ?
16. Como atuam as telas intensificadoras de imagem de chumbo (ecran) ?
17. Porque a imagem produzida pelas telas fluorescentes não possuem boa definição ?
18. O que é véu de fundo (fog level) ?
19. Qual dos filmes industriais abaixo que possui menor velocidade de exposição ?
- a) Kodak AA-400
 - b) Agfa Gevaert D7
 - c) Dupont NDT 65
 - d) Fuji 100
 - e) Dupont NDT 70
20. Como pode ser controlada a radiação retroespalhada na radiografia industrial ?

Aspectos Geométricos da Exposição

Suponhamos uma fonte emissora de radiação com diâmetro F , muito pequeno, que pode, para efeitos didáticos, ser considerado um ponto. Neste caso, colocando-se um objeto entre o foco puntiforme e um filme radiográfico teríamos uma imagem muito nítida. Se aumentarmos o diâmetro do foco para o valor F e o aproximarmos do objeto, obteremos uma imagem no filme (depois de revelado) com uma zona de penumbra, perdendo essa imagem muito da sua nitidez (definição).

Na prática, deve-se levar em conta que a fonte radioativa possui dimensões compreendidas entre 1 mm e 7 mm de tamanho, dependendo da natureza e atividade do radioisótopo. Quando a distância fonte-filme for muito pequena, para efeito de cálculo de penumbra, é impossível considerá-la como um ponto.

A ampliação é problema de geometria, e a nitidez ou definição é função da fonte emissora de radiação e da posição do material situado entre a fonte e o filme. Quando a fonte possui diâmetro considerável ou está muito próxima do material, a sombra ou imagem não é bem definida.

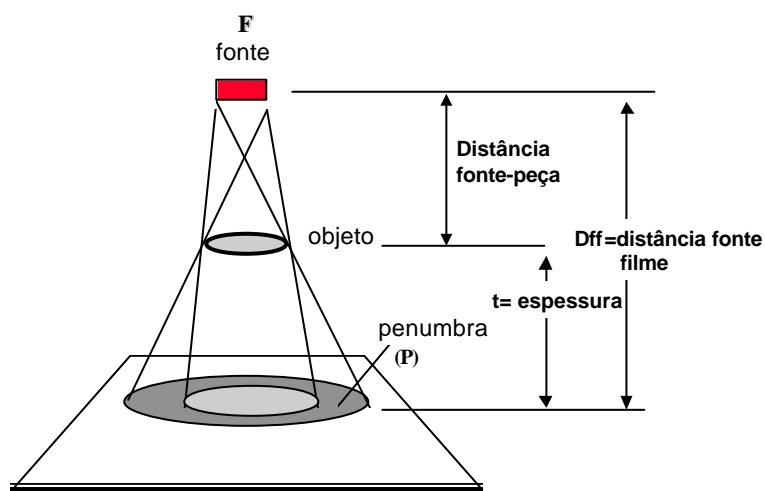
A forma de imagem poderá ser diferente da que tem o material se o ângulo do plano do material variar em relação aos raios incidentes, produzindo neste caso uma distorção da imagem.

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;
- 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.

A distorção da imagem não pode ser totalmente eliminada em virtude dos formatos complicados das peças e dos ângulos de que se dispõem para a realização do ensaio radiográfico.

Por isso, geralmente as normas de inspeção radiográfica recomenda somente inspecionar peças com geometria simples, como junta soldada de topo e peças com espessura uniforme, para tornar mais fácil o controle da penumbra geométrica. O valor máximo da penumbra geométrica é recomendado por norma ou código de fabricação da peça a ser inspecionada. No entanto quando a penumbra é excessiva, outros parâmetros da qualidade da imagem também serão prejudicados.



Disposição Geométrica entre fonte-filme-objeto.

Cálculo da Penumbra e Distância Mínima Fonte-Filme (Dff)

A distancia fonte-objeto (D) pode ser calculada pela seguinte expressão:

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

onde:

- Ug = penumbra geométrica
- F = dimensão do ponto focal
- t = espessura do objeto
- D = distância da fonte ao objeto.

Assim : Dff = D + t

Tabela de Penumbra Máxima Aceitável

Espessura do material polegadas (mm)	Valor máx. da penumbra polegadas (mm)
abaixo de 2 (51 mm)	0,020 (0,508 mm)
de 2 até 3 (76 mm)	0,030 (0,76 mm)
acima de 3 até 4 (102mm)	0,040 (1,02 mm)
maior que 4 (102 mm)	0,070 (1,78 mm)

Referência Código ASME Sec. V Artigo 2

Sobreposição

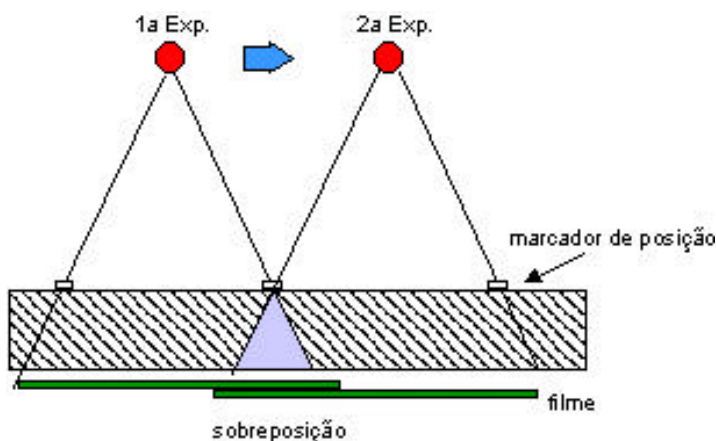
A inspeção radiográfica de objetos planos, tal como juntas soldadas de topo a serem radiografadas totalmente, requerem cuidados especiais quanto a distância fonte-filme, pois nesses casos se essa distância for muito pequena seções da solda poderão não ser inspecionadas no seu volume total.

A sobreposição deverá ser comprovada através do uso de marcadores de posição que são letras ou números de chumbo fixados na superfície da peça , do lado da fonte de radiação, sempre que possível, e que serão projetados no filme radiográfico quando da exposição. A imagem dos marcadores poderão serem vistos como imagem no filme, evidenciando a sobreposição requerida.

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:

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

- onde: S = Sobreposição (mm)
- C = Comprimento do filme (mm)
- e = Espessura da peça (mm)
- Dff =Distância fonte-filme (mm)



Sobreposição entre filmes para a cobertura total. A sobreposição correta permite que o volume de solda seja totalmente inspecionado. Na prática, a análise da posição da imagem dos marcadores de posição na radiografia, indica se este procedimento foi adequado. A imagem dos marcadores de posição, podem ser utilizados como referência no filme para localizar na peça possíveis descontinuidades presentes. Utilizando uma máscara da imagem do objeto, feita com papel transparente, é possível registrar as indicações na área de interesse e transportar para a peça, tendo como referência os marcadores de posição.



QUESTÕES PARA ESTUDO:

Assunto: Identificar e controlar os principais parâmetros da qualidade da imagem radiográfica

1. Uma junta soldada com espessura de 38 mm deverá ser radiografada com uma fonte radioativa de Ir-192 com dimensões $\phi 3,0 \times 4,0$ mm . Qual a distância mínima fonte -filme (DFF) requerida para esta radiografia ?

2. Uma junta soldada com espessura de 120 mm deverá ser radiografada com uma fonte radioativa de Co-60 formada por $\phi 3,5$ mm e 15 discos de 0,25 mm de espessura. Qual a distância mínima fonte -filme (DFF) requerida para esta radiografia ?

Avaliação da Qualidade e Sensibilidade da Imagem Radiográfica

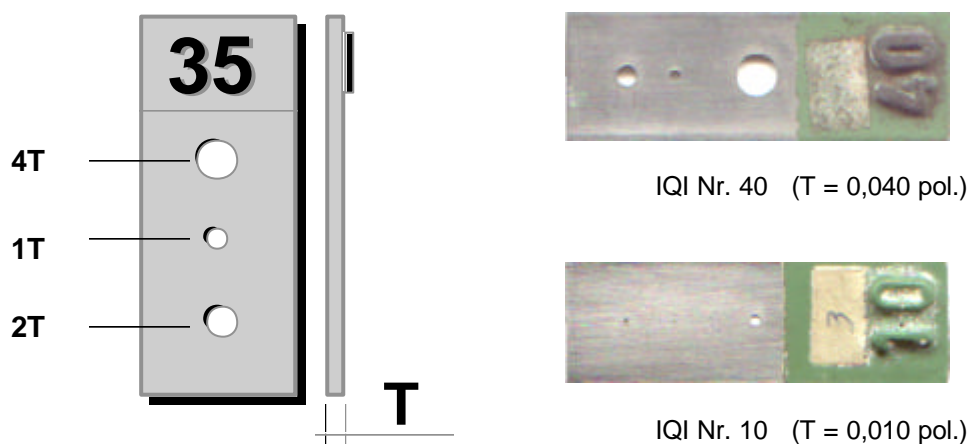
Indicadores da Qualidade da Imagem - IQI's (Penetrômetros)

Para que possamos julgar a qualidade da imagem de uma certa radiografia são empregadas pequenas peças chamadas Indicadores de Qualidade de Imagem (IQI), e que são colocadas sobre o objeto radiografado. Os IQI's são também chamados como "Penetrômetros". O tipo ou norma de fabricação do IQI deve ser aquela que o projeto de construção do equipamento a ser radiografado requerer ou mesmo especificações contratuais. O IQI é uma pequena peça construída com um material radiograficamente similar ao material da peça ensaiada, com uma forma geométrica simples e que contém algumas variações de forma bem definidas tais como furos ou entalhes.

IQI ASME ou 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 Norma 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.

Para avaliar a técnica radiográfica empregada, faz-se a leitura do menor furo, que é visto na radiografia. As classes de inspeção mais rigorosas são aquelas que requerem a visualização do menor furo do IQI. Dessa forma, é possível se determinar o nível de inspeção, ou seja, o nível mínimo de qualidade especificado para o ensaio.



IQI ASME ou ASTM tipo furos (Ver ASME Sec. V SE-1025)

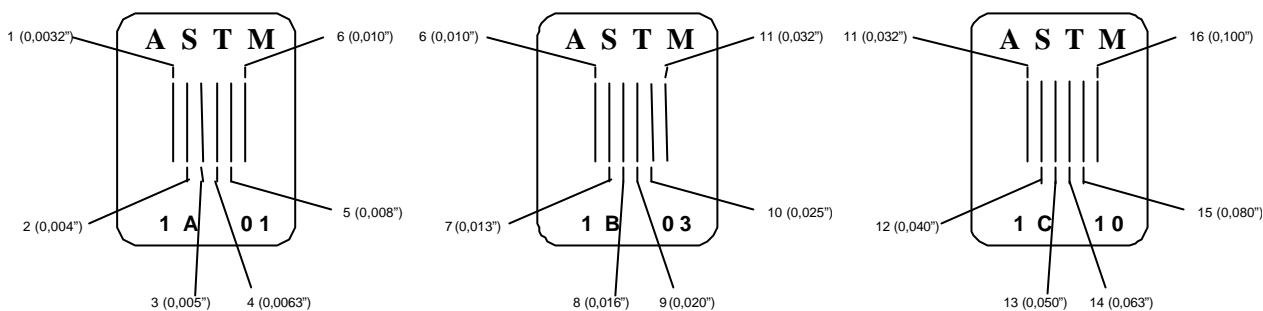
Esses IQI's devem ser colocados sobre a peça ensaiada, com a face voltada para a fonte e de modo que o plano do mesmo seja normal ao feixe de radiação.

Quando a inspeção for feita em soldas, o IQI será colocado no metal de base, paralelo à solda e a uma distância de 3 mm no mínimo.

No caso de inspeção de solda, é importante lembrar que a seleção do IQI inclui o reforço, de ambos os lados da chapa. Portanto, para igualar a espessura sob o IQI à espessura da solda, deverão ser colocados calços sob o IQI feitos de material radiograficamente similar ao material inspecionado. Para efeito da determinação da área de interesse não devem ser considerados os anéis ou tiras de cobre-junta caso existam.

IQI ASTM DE FIOS

A norma ASTM E-747 descreve um tipo de IQI denominado tipo fios, que trata de um conjunto de 5 fios de material similar ao do material a ser radiografado com diâmetros diferentes, desde o mais fino até o mais grosso, selados em um envelope plástico transparente, contendo identificações e informações sobre o IQI. O IQI deve ser colocado sobre a área de interesse, no caso de soldas os fios devem estar aproximadamente perpendiculares ao cordão de solda. A seleção do IQI deve ser feita com base na espessura a ser radiografada, verificando qual o fio essencial que deverá ser visualizado na radiografia, conforme a tabela que segue.



Alguns tipos mais usados de IQI's ASME ou ASTM tipo fios, para aço carbono. Os números indicam os diâmetros dos fios em polegadas, as letras "A", "B" e "C" identificam o conjunto de fios ou o próprio IQI

Seleção do IQI ASME / ASTM em função da Espessura do Material

Espessura do material					IQI – Tipo Furos e Tipo Fios						
					Lado Fonte			Lado Filme			
					Nº	Furo essencial	Arame essencial*	Nº	Furo essencial*	Arame essencial	
		6,4			0.25	12	2T	5	10	2T	4
> 6,4	≤	9,5	>0.25	≤	0.375	15	2T	6	12	2T	5
>9,5	≤	12,7	>0.375	≤	0.50	17	2T	7	15	2T	6
>12,7	≤	19,0	>0.50	≤	0.75	20	2T	8	17	2T	7
>19,0	≤	25,4	>0.75	≤	1.00	25	2T	9	20	2T	8
>25,4	≤	38,1	>1.00	≤	1.50	30	2T	10	25	2T	9
>38,1	≤	50,8	>1.50	≤	2.00	35	2T	11	30	2T	10
>50,8	≤	63,5	> 2,00	≤	2,50	40	2T	12	35	2T	11
>63,5	≤	101,6	>2,50	≤	4,00	50	2T	13	40	2T	12
>101,6	≤	152,4	>4,00	≤	6,00	60	2T	14	50	2T	13

Fonte: Código ASME Sec. V , Artigo 2 , Tab. T-276



Uso do IQI ASTM tipo fios, numa junta soldada

Localização e Posicionamento dos IQI's

Sempre que possível, o IQI deverá ser colocado no lado da peça, voltado para a fonte. Caso isso não seja possível, o IQI poderá ser colocado no lado voltado para o filme, sendo nesse caso acompanhado de uma letra "F", de chumbo.

Apenas um IQI é geralmente usado para cada radiografia se variações de espessura provocarem uma variação de - 15 % ou + 30% da densidade vista através do corpo do IQI tipo furos ou adjacente ao fio essencial, na área de interesse de uma radiografia, será necessária colocação de um IQI adicional para cada área excepcional, conforme recomenda o Código ASME Sec.V Artigo 2.

Em radiografia de componentes cilíndricos (tubos, por exemplo) em que são expostos mais de um filme por sua vez, deverá ser colocado um IQI por radiografia. Apenas no caso de exposições panorâmicas, em que todo o comprimento de uma junta circunferencial é radiografado com uma única exposição, é permitida a colocação de três IQI igualmente espaçados. A disposição em círculo de uma série de peças iguais, radiografadas simultaneamente, não é considerada como panorâmica para efeito de colocação de IQI, sendo necessário que a imagem do mesmo apareça em cada uma das radiografias.

Quando porções de solda longitudinal forem radiografadas simultaneamente com a solda circunferencial, IQI adicionais devem ser colocados nas soldas longitudinais, em suas extremidades mais afastadas da fonte.

Para componentes esféricos, onde a fonte é posicionada no centro do componente e mais de um filme é exposto simultaneamente deverão ser usados, pelo menos 3 IQI's, igualmente espaçados, para cada 360 graus de solda circunferencial mais um IQI adicional para cada outro cordão de solda inspecionado simultaneamente.

Controle da Radiação Retroespalhada ou Retroespalhamento

Quando abordamos a interação da radiação com a matéria vimos que o espalhamento é inerente ao processo de absorção da radiação. São radiações de pequena energia que emergem da peça em direção aleatória. Qualquer material, tal como, o objeto, o chão, as paredes ou outros materiais que recebem o feixe direto de radiação, são fontes de radiação espalhada ou dispersa.

A radiação espalhada é também função da espessura do material radiografado, constituindo a maior porcentagem do total de radiação que atinge o filme, nas radiografias de materiais espessos. Como exemplo, podemos afirmar que ao se radiografar uma peça de aço de mm de espessura, a radiação espalhada que emana da peça é quase duas vezes mais intensa que a radiação primária que atinge o filme.

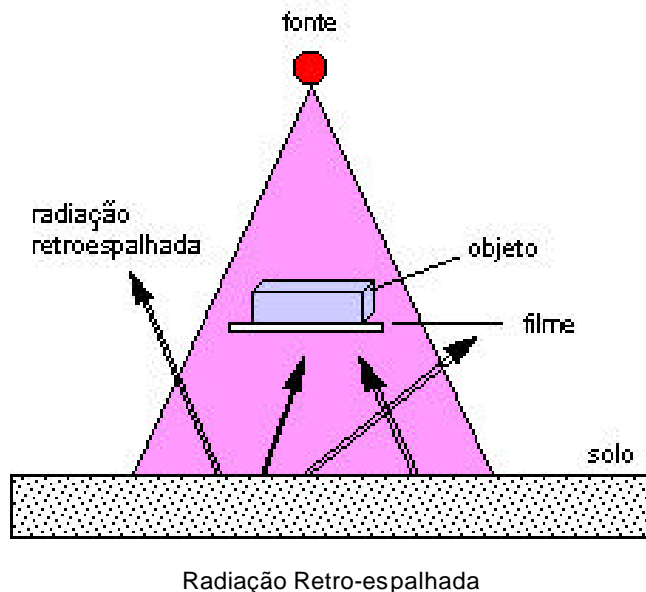
A radiação espalhada, portanto, é um fator importante, que produz uma sensível diminuição no contraste do objeto.

As telas intensificadoras de chumbo diminuem sensivelmente o efeito das radiações espalhadas, particularmente aquelas que atingem o filme e que possuem baixas energias. Esse efeito contribui para a máxima clareza de detalhes na radiografia.

O uso de fonte de radiação com altas energias, propicia não somente o aparecimento das radiações dispersas na peça, como também as radiações retroespalhadas, que da mesma forma empobrecem com a imagem no filme.

As radiações retroespalhadas podem ser atenuadas com o uso das telas traseiras, ou filtros que são lâminas de materiais absorvedores (cobre, alumínio, chumbo), dispostos de modo a proteger o filme.

Para que exista um controle das radiações retroespalhadas pelo operador, este deve fixar na parte trazeira do chassis, uma letra "B" de chumbo. Caso as radiações retroespalhadas sejam muito intensa, a letra "B" será fortemente projetada na imagem do filme, aparecendo como uma imagem clara no filme, indicando que radiações atingiram o filme por detrás.



A radiação retroespalhada reduz a nitidez da imagem radiográfica, pois elas enegrecem o filme sem contribuir para em nada para melhoria da qualidade. Se o filme foi atingido pela radiação retroespalhada ele deve ser repetido, tomando cuidado para aumentar as blindagens necessárias.

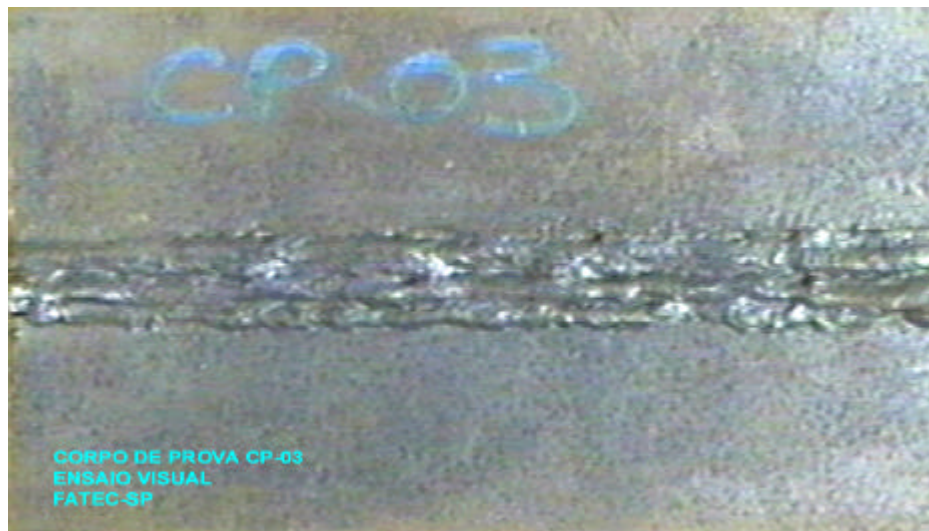


QUESTÕES PARA ESTUDO:

Assunto: Indicadores da Qualidade da Imagem - IQI

1. Para que é usado os Indicadores da Qualidade da Imagem IQI ?
2. Se numa radiografia, o técnico não conseguir visualizar o furo ou fio essencial do IQI, neste caso o que o técnico deve fazer ?
3. Qual o IQI tipo furos que deverá ser selecionado para radiografar uma junta soldada com espessura de 25,4 mm? Qual o furo essencial a ser visualizado na imagem radiográfica do IQI ?
4. Numa determinada técnica radiográfica de uma peça com espessura de 38 mm, o IQI foi posicionado junto ao filme. Qual deveria ser o IQI tipo furos a ser selecionado para esta radiografia ?

5. Na foto abaixo, representando uma junta soldada com 15 mm de espessura, desenhe qual a posição e identificação do IQI tipo fios a ser utilizado.

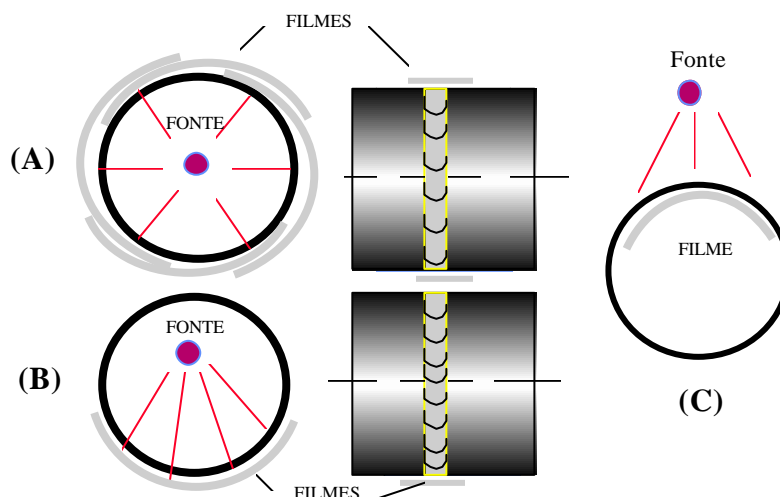


Técnicas Radiográficas

As disposições e arranjos geométricos entre a fonte de radiação, a peça, e o filme, devem seguir algumas técnicas especiais tais que permitam uma imagem radiográfica de fácil interpretação e localização das descontinuidades rejeitadas. Algumas destas técnicas que apresentamos a seguir são largamente utilizadas e recomendadas por normas e especificações nacionais e internacionais.

Técnica de Parede Simples (PSVS)

Essa técnica 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. É a principal técnica utilizada na inspeção radiográfica, e a mais fácil de ser interpretada.

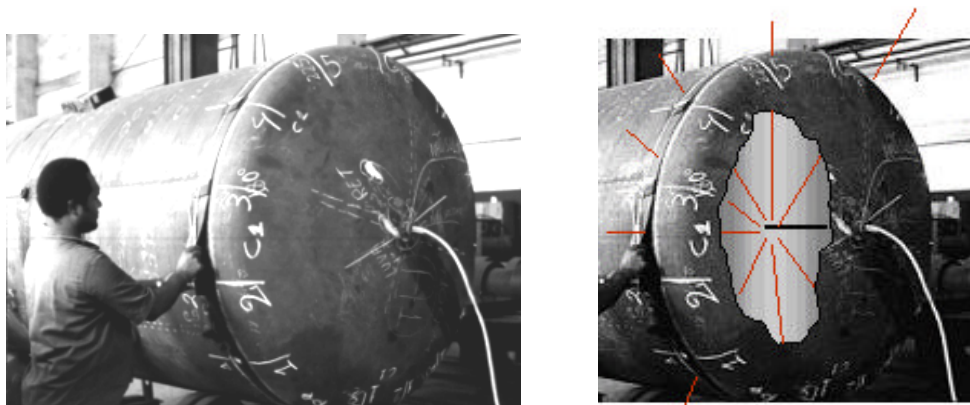


Técnica de exposição parede simples - vista simples

Exposição Panorâmica

Esta técnica constitui um caso particular da técnica de parede simples vista simples descrita acima, mas que proporciona alta produtividade em rapidez num exame de juntas soldadas circulares com acesso interno.

Na técnica panorâmica a fonte de radiação deve ser centralizada no ponto geométrico equidistante das peças e dos filmes, ou no caso de juntas soldadas circulares a fonte deve ser posicionada no centro da circunferência. Com isso numa única exposição da fonte, todos os filmes dispostos a 360 graus serão igualmente irradiados, possibilitando assim o exame completo das peças ou das juntas.



Técnica Radiográfica Panorâmica numa solda entre cilindro fundo de um vaso de pressão. Observe as marcações das posições dos filmes radiográficos ao redor da solda na foto do lado esquerdo e a posição da fonte no interior do vaso na foto do lado direito.

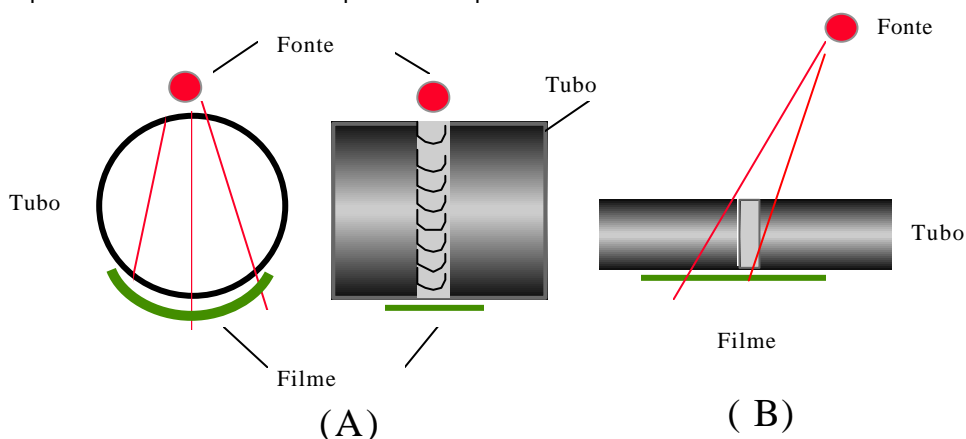
Técnica de Parede Dupla

Técnica de Parede Dupla Vista Simples (PDVS):

Nesta técnica de parede dupla vista simples, o feixe de radiação, proveniente da fonte, atravessa duas espessuras da peça, entretanto projeta no filme somente a seção da peça que está mais próxima ao mesmo.

Freqüentemente esta técnica é utilizada em inspeções de juntas soldadas, as quais não possuem acesso interno, por exemplo tubulações com diâmetros maiores que 3.½ polegadas, vasos fechados, e outros.

É importante lembrar que esta técnica requer que a radiação atravessasse duas espessuras da peça e portanto o tempo de exposição será maior que a inspeção pela técnica de parede simples. Assim, esta opção deverá ser selecionada quando outra técnica não for possível ou permitida.

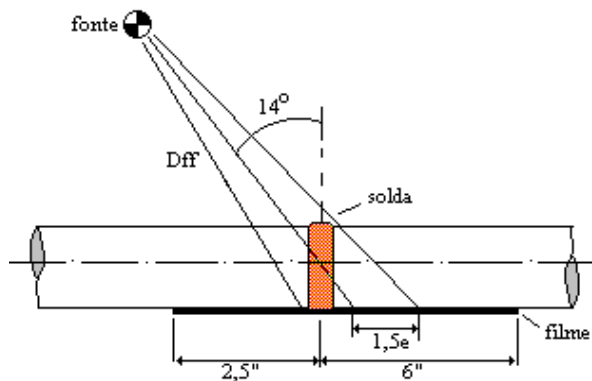


Técnica de exposição parede dupla e vista simples (A) e parede dupla e vista dupla (B)

Técnica de Parede Dupla Vista Dupla (PDVD)

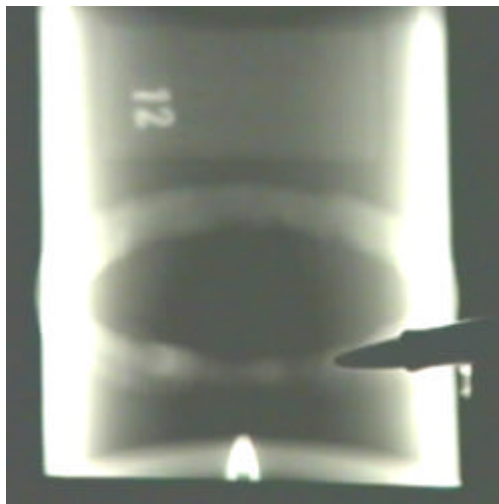
Neste caso o feixe de radiação proveniente da fonte, também atravessa duas espessuras, entretanto projetará no filme a imagem de duas seções da peça, e serão objetos de interesse. Nesta técnica o cálculo do tempo de exposição deve ser levado em conta as duas espessuras das paredes que serão atravessadas pela radiação.

A técnica de parede dupla e vista dupla (PDVD) é freqüentemente usada para inspeção de juntas soldadas em tubulações com diâmetros menores que 3.½ polegadas (89 mm).



Arranjo radiográfico na técnica PD-VD

A seleção do IQI nesta técnica segue o mesmo critério geral, ou seja, deve ser selecionado em função da espssura de uma única parede do tudo. O posicionamento deve ser feito sobre o tubo, voltado para a fonte.



Radiografia de um tubo pela técnica PD-VD



QUESTÕES PARA ESTUDO:

Assunto: Identificar as técnicas de exposição radiográfica para a indústria

1. Do que consiste a técnica de exposição de parede dupla - vista simples (PD-VS), e em que situação ela pode ser empregada ?
2. Do que consiste a técnica de exposição de parede dupla - vista dupla (PD-VD), e em que situação ela pode ser empregada ?
3. Na técnica PD-VD , como é posicionado o IQI ?
4. Na técnica PD-VS qual a espessura que deve ser levada em conta para o cálculo do tempo de exposição ?
5. Na técnica de PD-VS qual a espessura que deve ser levada em conta para a seleção do IQI ?
6. Na técnica panorâmica , como devem ser posicionados os IQI's "?"
7. Para que serve o cálculo da sobreposição ?
8. Uma peça plana com espessura de 35 mm deverá ser radiografada totalmente usando filmes com comprimento de 430 mm e distância fonte-filme de 400 mm. Qual a sobreposição (S) necessária para cada lado do filme ?

9. Para que serve os marcadores de posição ?
10. Como deve ser fixado os marcadores de posição ?
11. Numa solda longitudinal , de espessura 60 mm, com comprimento 2,5 m , quantos filmes de 430 mm de comprimento serão necessários para radiografar 100%, se a distância fonte-filme for 500 mm ?
12. Uma solda circunferencial , com diâmetro de 2300 mm , será radiografada 100% pela técnica panorâmica . Quantos filmes de 430 mm serão necessários, se a sobreposição escolhida foi de 20 mm para cada lado do filme ?

Interpretação Radiográfica

O critério de aceitação de qualquer componente inspecionado por radiografia deve ser avaliado segundo a norma ou código de projeto de construção. Não existe nenhuma possibilidade de avaliar radiografias com base em normas diferentes ou até mesmo com base na experiência do inspetor. Assim apresentamos a seguir traduções livres dos principais critérios de aceitação mais usados para vasos de pressão.

Critérios para Ensaio Radiográfico de Soldas

O critério de aceitação a seguir foi extraído do Código ASME Sec.VIII div.1 para vasos de pressão, sendo aplicável a juntas soldadas de topo, dividido em dois grupos: Soldas projetadas para ensaio radiográfico total (parágrafo **UW-51**) e soldas projetadas para ensaio radiográfico "Spot" (parágrafo **UW-52**).

A título de exemplo, apresentamos abaixo o critério para aceitação de soldas totalmente radiografadas (UW-51)

As soldas deverão estar livres de:

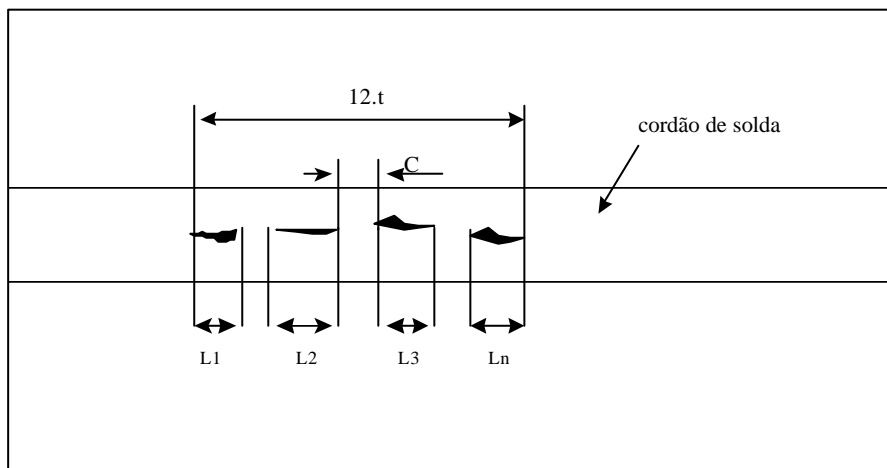
(1) qualquer indicação caracterizada como trinca, zona de fusão ou penetração incompleta;

(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.

onde t é a espessura da solda excluindo qualquer reforço permitido. Para juntas de topo que tenham diferentes espessuras de soldas, t é a mais fina das dessas espessuras.

(3) qualquer grupo de indicações alinhadas que tenham um comprimento agregado maior que t num comprimento de $12.t$ exceto, quando a distância entre duas imperfeições sucessivas exceder a $6.L$ onde L é o comprimento da mais longa imperfeição no grupo.



Obs:

$C < 6 \times$ o comprimento da maior indicação do grupo

$L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \leq t$ (espessura do metal base)

(4) indicações arredondadas em excesso ao especificado no padrão de aceitação do ASME Sec.VIII Div.1 Ap.4. As descontinuidades arredondadas poderão ser comparadas diretamente com os limites indicados nos padrões reproduzidos.

Nota: A terminologia usada acima para defeitos de soldagem, será vista em sala de aula.

Exemplo de um Relatório de Ensaio Radiográfico

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.: 5-5225/1	Relatório Adicional: Additional Report: 2894	Folha Page: 01	De of: 01					
Cliente: Customer: PETROBRAS									
Equipamento: Equipment: Torre de Refrigeração									
Itens do P.I./Rev.: I.P. Sequence: 01									
Extensão do Ensaio: Examination Extent: Total				Procedimento/Rev.: Procedure/Rev.: POR-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, UWSI					
Material: Material: Aço Carbono				Tratamento 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		Filmes/Cassete: Films/Cassette: 01			
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: 38					
MAPA DE LOCALIZAÇÃO RADIOGRÁFICO RADIOGRAPH LOCATION MAP									
RESULTADO DO ENSAIO EXAMINATION RESULTS									
POSIÇÃO POSITION	Nº FILMES No OF FILMS	TÉCNICA TECHNIQUE	IQI IQI	CÓD. CODE	LAUDO RESULTS	SOLDADORES WELDERS	ESP. (mm) THICKNESS		D.F.F. Min. (mm) SFD
							MAT. BASE Base Mat.	REFORÇO Reinf.	
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 = Mordedura Undercutting		FF = Falta de Fusão Lack of Fusion	
NC = Não Conforme Non 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: 15, 05, 2005					Data:				
INSPECTOR CLIENTE/TERCEIROS: CUSTOMER'S INSPECTOR:					INSPECTOR AUTORIZADO: AUTHORIZED INSPECTOR:				
Data:					Data:				

Todos os campos deste relatório está de acordo com o Código ASME Sec. V Artigo 2


Nota: A explicação do preenchimento dos campos do relatório, será vista em sala de aula.



QUESTÕES PARA ESTUDO:


Assunto: Nos desenhos abaixo, identifique os defeitos nas juntas soldadas e desenhe a imagem radiográfica provável do defeito apresentado.

1



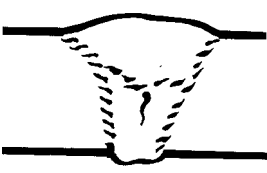
Terminologia:.....
.....

2



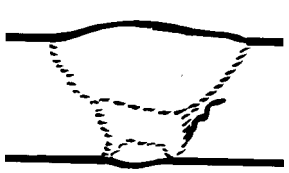
Terminologia:.....
.....

3

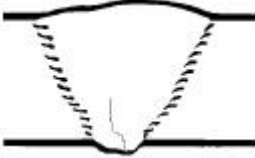


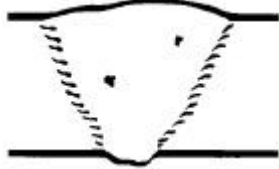
Terminologia:.....
.....

4



Terminologia:.....
.....

<p>5</p>  <p>Terminologia:.....</p>	<table border="1"><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr></table>			

<p>6</p>  <p>Terminologia:.....</p>	<table border="1"><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr><tr><td> </td></tr></table>			

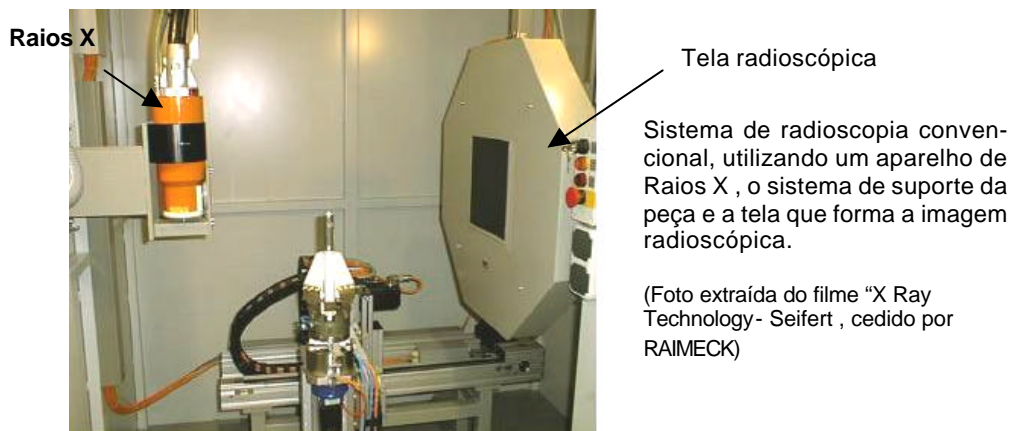
A Radioscopia Industrial

A radioscopia, é um meio usado para se detectar a radiação que emerge da peça, numa tela fluorescente. As telas fluorescentes se baseiam no princípio que determinados sais (tungstato de cálcio, por exemplo), possuem a propriedade de emitir luz em intensidade mais ou menos proporcional à intensidade de radiação que incide sobre eles.

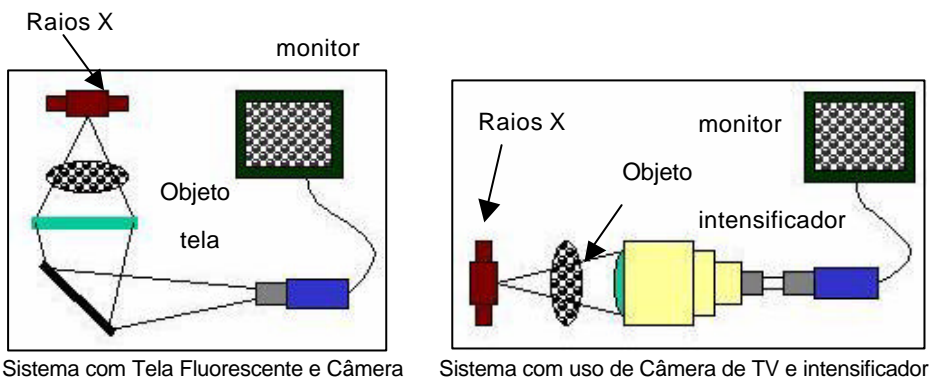
A radiação é emitida de um tubo de raios X, colocado no interior de um gabinete blindado, atravessando a peça e indo atingir uma tela fluorescente. Este, por sua vez, transforma as intensidades de radiação que emergem da peça em luz de diferentes intensidades, formando na tela a imagem da peça. Essa imagem, refletida em um espelho, é examinada pelo inspetor, a procura de possíveis defeitos.

A radioscopia é usada principalmente, no exame de pequenas peças, com espessura baixa. Sua grande vantagem reside na rapidez do ensaio e no seu baixo custo. Em contrapartida, apresenta duas limitações importantes:

- Não é possível se inspecionar peças de grande espessura ou de alto número atômico, pois nesse caso a intensidade dos Raios X não seria suficientemente alta para produzir uma imagem clara sobre a tela fluorescente.
- Devido às características próprias das telas fluorescentes e à baixa distância foco-tela, usada, a qualidade de imagem na fluoroscopia não é tão boa quanto a da radiografia.
- A radioscopia, com imagem visualizada diretamente na tela fluorescente, não fornece um registro que documente o ensaio executado, tão pouco permite a localização precisa na peça das áreas que contém descontinuidades inaceitáveis.

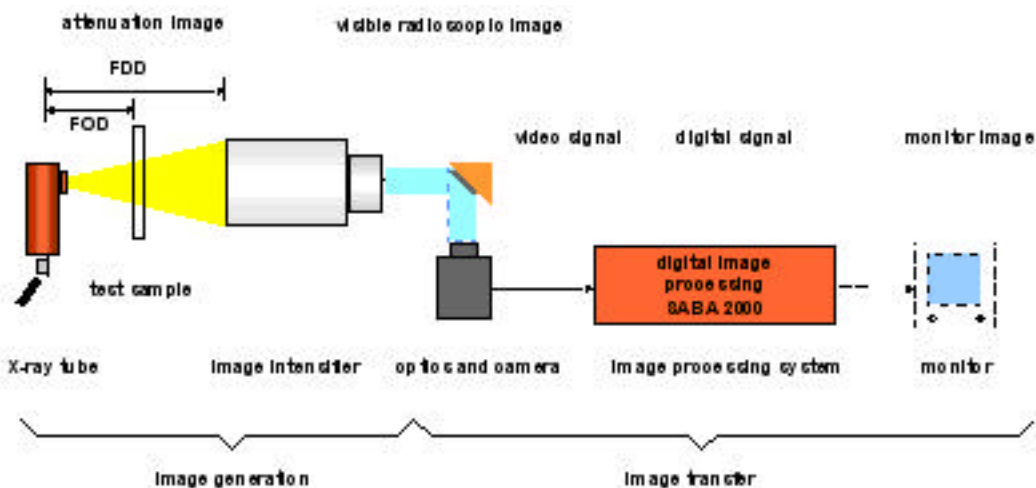


Como foi descrito acima, a observação da imagem pelo inspetor é feita diretamente na tela fluorescente, ou por reflexão num espelho. Entretanto tal procedimento pode muitas vezes ser perigoso para o operador, pois o mesmo leva muitas horas para a inspeção de componentes de fabricação seriada, principalmente, sendo obrigatório nesses casos a sua substituição após um período de trabalho.



(figuras extraídas da publicação GE - The XRay Inspection - Vol. 7)

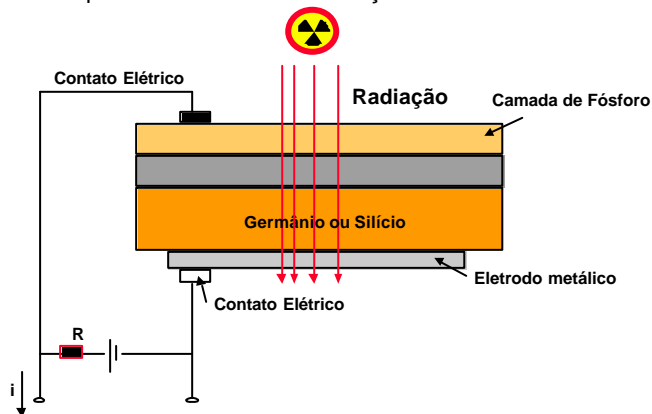
Os sistemas de TV foram criados para eliminar totalmente os problemas de radioproteção mencionados, pois a captação da imagem, feita diretamente da tela fluorescente, é procedida mediante a utilização do circuito interno de TV, ou seja uma câmera de TV de alta sensibilidade, ligada a um monitor de alta resolução. Deste modo o operador ou inspetor visualiza a imagem no monitor de TV, distante o suficiente para garantir sua segurança radiológica, podendo ainda, caso necessário, registrar as imagens produzidas em vídeo tape (vídeo cassete).



Sistema de Radioscopia usando intensificadores de imagem com Câmera de TV.

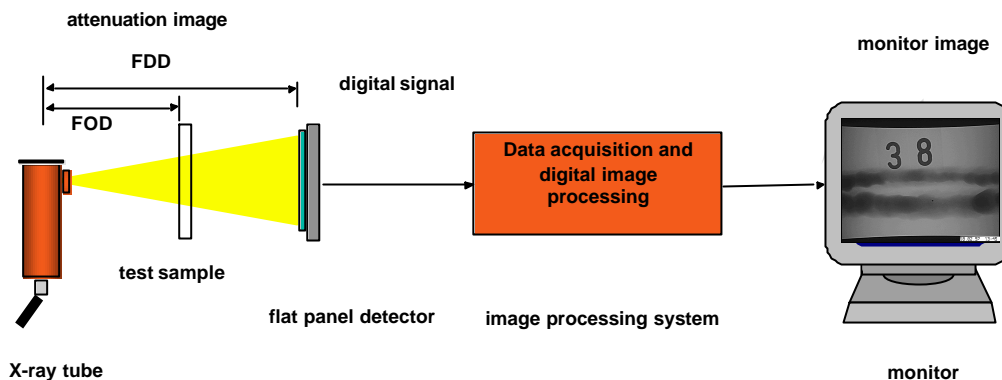
Conversor Universal de Imagem

A captura da imagem na forma de um sinal elétrico é feita através de detectores de radiação no estado sólido que tornam possível converter a radiação ionizante em sinal elétrico, conforme mostrado na figura abaixo:



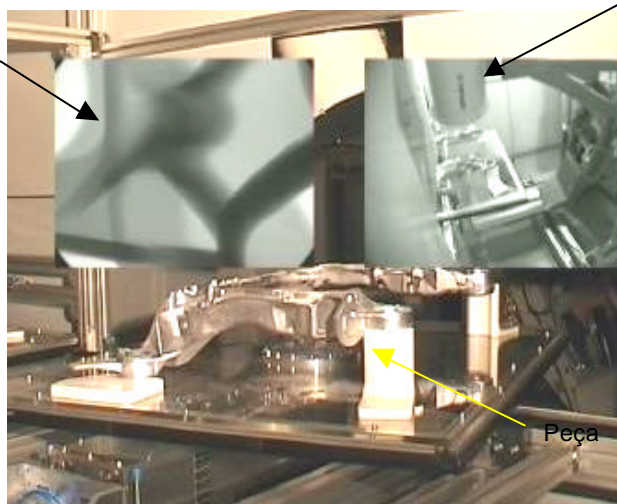
Esquema de um detector no estado sólido de germânio ou silício. São muito sensíveis, e o sinal elétrico que sai do detector é proporcional ao fóton de radiação que atingiu o detector. É uma das formas eficazes de transformar a exposição à radiação em sinal elétrico.

Os detetores de estado sólido são formados pela parte superior que contém um material a base de fósforo que emite luz (cintilação) pela passagem da radiação, que por sua vez incide no núcleo do detetor que por efeito foto-elétrico emite elétrons, dando origem a uma corrente elétrica no terminal do detetor, que é proporcional ao fóton de radiação de entrada. Esta corrente elétrica pode ser usada para gerar imagens em TV, gravação em vídeo, digitalização e outros.



Sistema de Radioscopia usando captura digital da imagem
(figuras extraídas da publicação GE - The X-Ray Inspection - Vol. 7)

Imagem obtida digitalmente e analisada pelo computador na razão de 66 imagens em 90 segundos



Raios X

Peça

Sistema de Radioscopia automatizado.
(Foto extraída do filme "X Ray Systems for Industrial Applications in Automotive Industries " produzido pela Seifert)

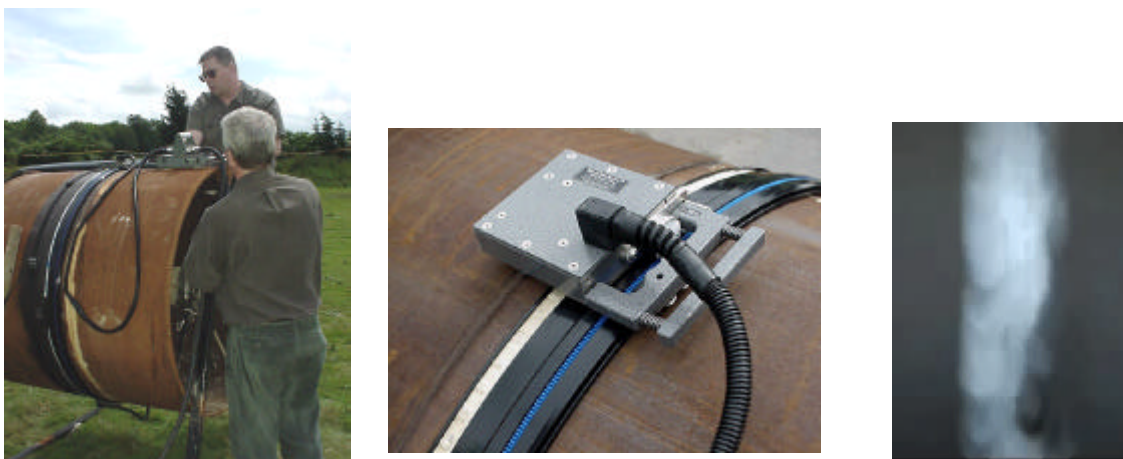
As principais aplicações da radioscopia é na inspeção de rodas de alumínio, pontas de eixo de automotivos, carcaça da direção hidráulica, pneus automotivos , nos aeroportos para verificação de bagagens, inspeção de componentes eletrônicos, e muitas outras aplicações.

A radioscopia moderna pode ser totalmente automatizada, não sendo necessário o técnico para analisar as imagens, sendo estas escaneadas e verificadas por um sistema óptico de um computador por comparação a uma imagem padrão da mesma peça. Todas as imagens podem ser armazenadas em fita de vídeo, como arquivo eletrônico , filme ou papel.

A Técnica da Radiografia Digital

O método radiográfico usando a técnica digital consisti hoje na indústria moderna um relevante avanço nessa área tecnológica.

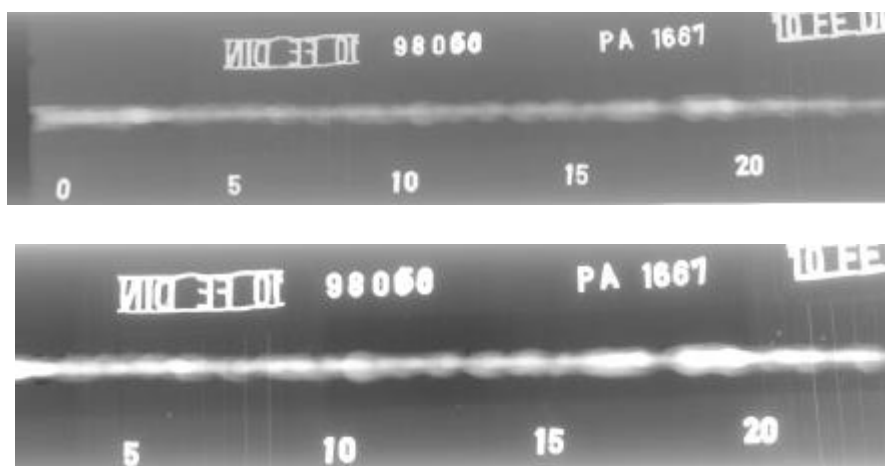
O método é realizado mediante o uso de um aparelho de raios X ou gama convencional, e ao invés do filme tradicional, uma placa de captura da imagem digital que registra a imagem diretamente no monitor de um computador, podendo ser guardada na forma de um arquivo eletrônico para posterior análise. Isso significa que a necessidade da câmara escura deixou de existir, assim como a presença do técnico responsável pelo laudo, junto ao serviço de radiografia. A interpretação da imagem poderá ser feita à distância, mediante o envio do arquivo eletrônico por e-mail, para o laudo final.



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

Esta técnica é a que tem mais se destacada na indústria em razão da segurança radiológica que ela proporciona, menores doses são requeridas para a produção da imagem. No entanto os custos elevados dos equipamentos fazem dessa tecnologia viável para poucas empresas.

As radiografias mostradas abaixo são exemplos de como a técnica digital pode melhorar o nível de detalhamento das imagens, a partir dos programas de computador (software) específicos para essa atividade.

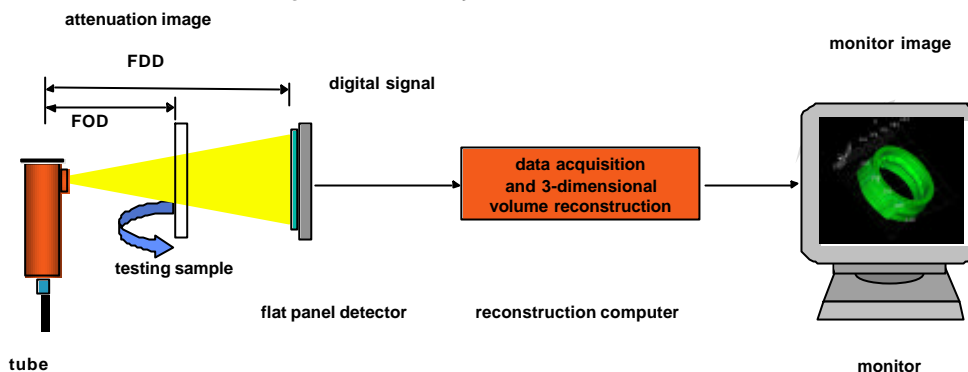


A radiografia superior trata-se de uma imagem convencional e a radiografia abaixo é a mesma imagem tratada digitalmente. Observe a nitidez desta última.

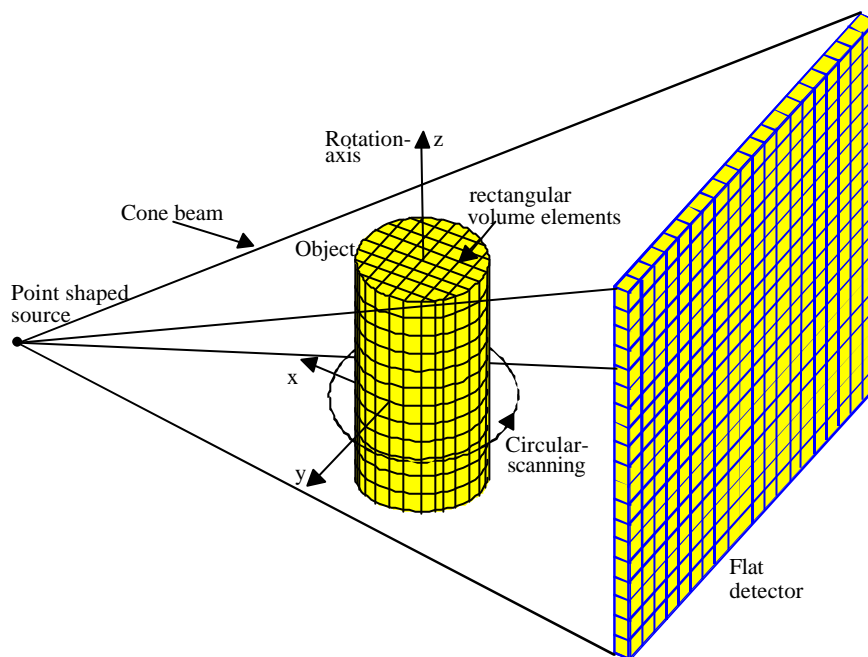
Tomografia Industrial

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.



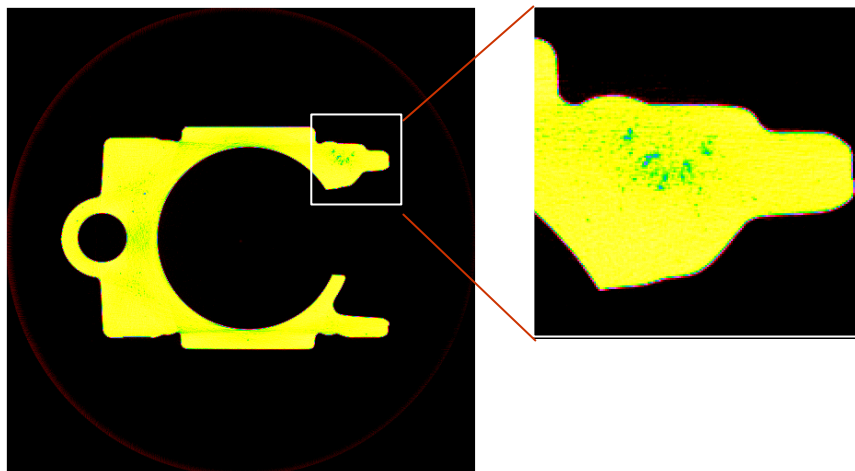
Esquema do Sistema de Inspeção por Tomografia Industrial
(figuras extraídas da publicação GE - The X-Ray Inspection - Vol. 7)



Princípio da formação da imagem Tomográfica.

A tomografia industrial não é uma técnica comumente empregada na indústria. No Brasil, ainda é estudada na forma de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, mas os resultados são animadores e deverá estar disponível para aplicação em larga escala .

A seqüência abaixo mostra uma carcaça de bomba de alumínio, inspecionada por tomografia. A figura a seguir mostra a projeção no plano da imagem da peça e à direita o defeito interno.



Sequencia a seguir é a imagem volumétrica tomográfica da mesma peça usando Raios X de 225 kV e 1,5 mA, de uma caixa de bomba de Alumínio, mostrando na imagem 1 a peça inteira e na imagem 2 o corte tomográfico indicando por um círculo a presença de um defeito interno.

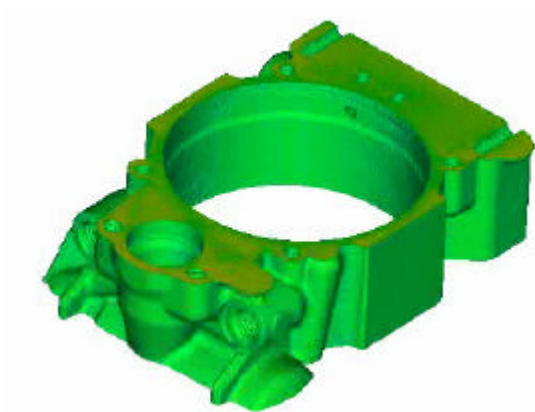


Imagem 1 – Visualização completa

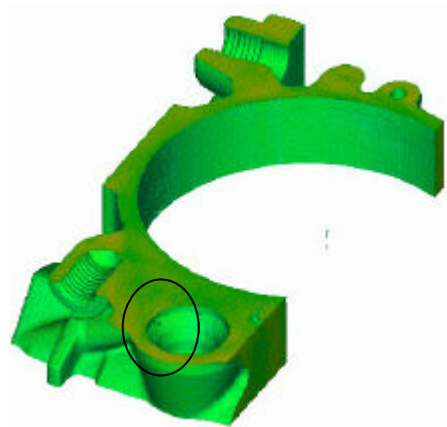


Imagem 2 – Visualização em corte. Observe o defeito

(Imagens extraídas do filme “3D Computed Tomography “ produzido pela Seifert)

CAPÍTULO 3

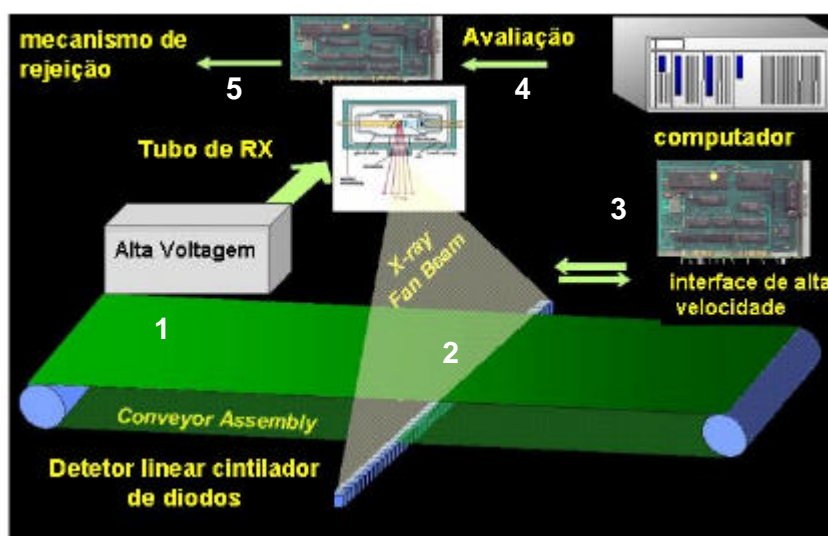
A IRRADIAÇÃO INDUSTRIAL DE GRANDE PORTE

A Radiologia no Controle da Qualidade dos Alimentos

A indústria alimentícia de produtos seriados, embalados para o consumo, possui alguns problemas críticos relacionados à qualidade dos alimentos produzidos que podemos enumerar conforme segue:

- Assegurar que todos os itens estejam na embalagem
- Assegurar a contagem correta de todos os itens
- Assegurar que o volume de líquido da bebida esteja correta
- Inspecionar e controlar objetos estranhos
- Assegurar que a folha de alumínio de selagem, envolva toda a badeja de plástico

Neste sentido, a radioscopia tem sido usada nas grandes empresas alimentícias, principalmente aquelas que exportam tais produtos. O esquema abaixo mostra a sequência da verificação do alimento, já embalado para expedição.

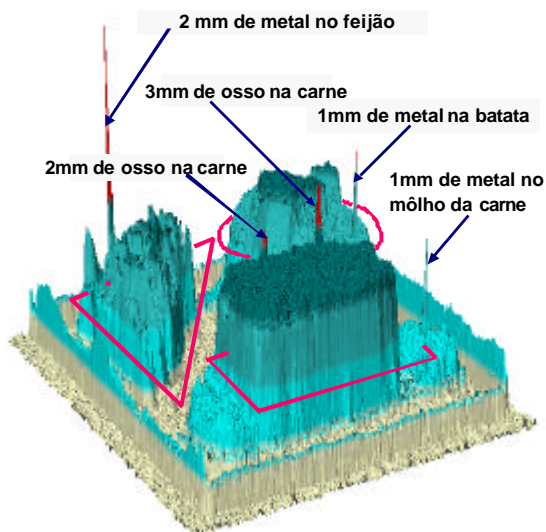


- 1 – Esteira transportadora dos produtos ,
- 2 – O produto é submetido aos Raios X produzindo uma imagem por captura digital ,
- 3 – A imagem é processada na interface de alta velocidade ,
- 4 – A imagem do produto é avaliada automaticamente quanto ao conteúdo, contaminantes e outros itens
- 5 – Mecanismo de separação do produto bom do rejeitado.

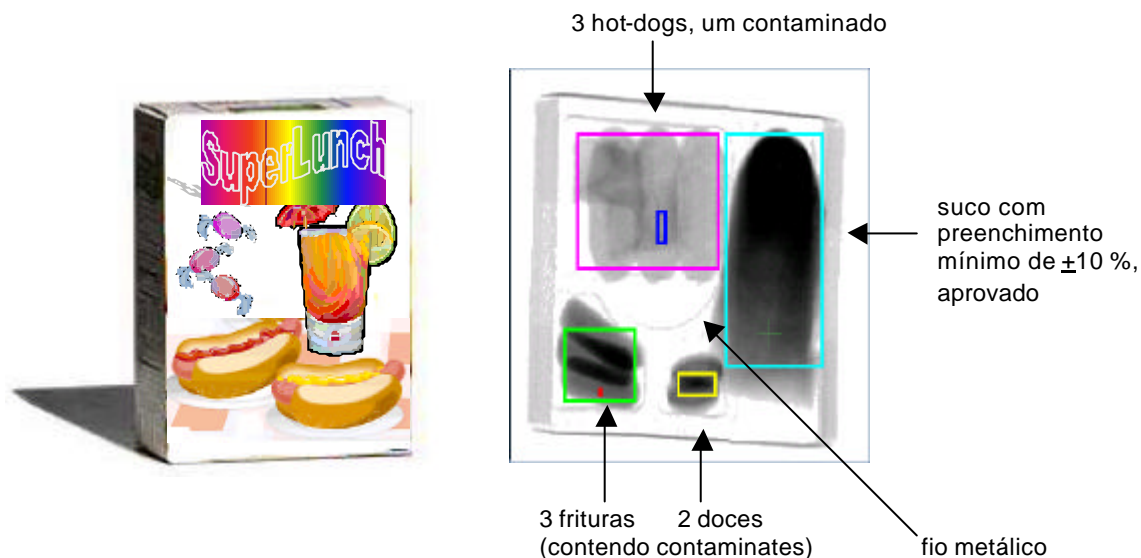


Instalação de uma radioscopia em uma linha de inspeção de produtos alimentícios embalados.

A análise das imagens produzidas pelo equipamento de radioscopia podem ser bastante sofisticadas, gerando imagens em 3 D, conforme mostrado abaixo. Para cada contaminante não aceitável, é destacado como um sinal identificável e nítido na imagem radioscópica.



A possibilidade da inspeção dos produtos embalados, representa uma vantagem muito grande em comparação com outros processos. Observe a caixa de um alimento contendo 2 doces, 1 suco, 3 hot-dogs, 3 frituras, e as marcas retangulares mostrando as contaminações detectadas.

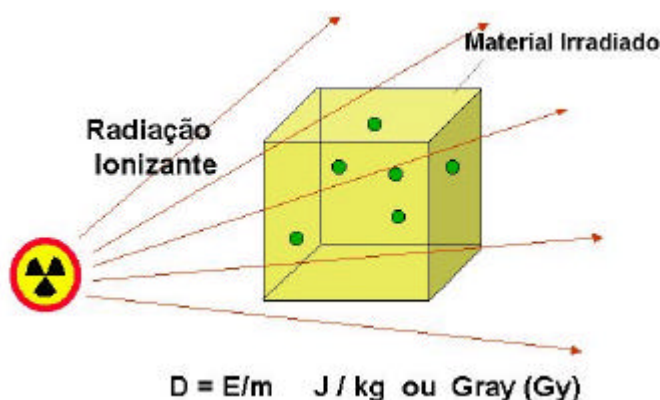


A Irradiação de Alimentos e sua Preservação

O Conceito de Dose Absorvida:

Quando a matéria é atravessada por qualquer forma de radiação ionizante, pares de íons são produzidos e átomos e moléculas são excitados, havendo absorção de parte dessa energia transferida. Estes pares de íons podem ter energia suficiente para produzir novas ionizações e excitações. Estas ionizações são as responsáveis pelos efeitos biológicos das radiações.

A Dose devida à exposição à radiação eletromagnética, elétrons, alfa, nêutrons, é definida como sendo a energia absorvida ou transferida por unidade de massa do produto ou objeto irradiado. Assim, a unidade de medida é **ergs/g ou Joule/kg**. Na unidade usual a dose absorvida é o **Gray (Gy)**.



$$1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gray (Gy)}$$

Nas unidades antigas a dose era medida em rads, que valia:
1 rad = 100 ergs/g ou seja 1 Gy = 100 rads

A título de exemplo, para uma massa de 1 g de água, exposta a $2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ (1 R) de radiação X ou Gama, a dose absorvida será de aproximadamente 9,3 mGy (0,93 rads). Como curiosidade, podemos citar que uma dose absorvida de 10 kGy por 1 g de água equivale à energia calorífica requerida para aumentar a temperatura de $2,4^\circ\text{C}$, por outro lado para elevarmos a temperatura de 1 g de gelo de zero até 20°C serão necessários 42 kGy.

A unidade de dose de radiação “**Gray**” é muito importante para o controle da exposição dos alimentos, assim como os efeitos que isso pode causar.

Os Tipos de Contaminantes, Bactérias e Patogénias mais Comuns nos Alimentos

A Salmonela

As **Salmonelas** são bactérias Gram-negativas e constituem um gênero extremamente heterogêneo, composto por duas espécies, *Salmonella bongori* e *S. enterica*, essa última possuindo quase 2000 sorotipos. Dentre os de maior importância para a saúde humana destacam-se *Salmonella enterica* sorotipo Typhi (*S. typhi*), que causa infecções sistêmicas e febre tifóide – doença endêmica em muitos países em desenvolvimento – e *Salmonella enterica* sorotipo Typhimurium (*S. typhimurium*), um dos agentes causadores das gastroenterites.

A Salmonela é transmitida ao homem através da ingestão de alimentos contaminados com fezes animais. Os alimentos contaminados apresentam aparência e cheiro normais e a maioria deles é de origem animal, como carne de gado, galinha, ovos e leite. Entretanto, todos os alimentos, inclusive vegetais, podem tornar-se contaminados. É muito freqüente a contaminação de alimentos crus de origem animal.

Por ser um patógeno intracelular, *S. enterica* tem sido um dos organismos preferidos pelos microbiologistas moleculares para identificar e elucidar fatores de virulência bacterianos. Nos últimos anos, acumulam-se informações sobre os mecanismos de interação e patogenia da *Salmonella* com as células hospedeiras. Esse conhecimento se deve principalmente à grande similaridade dessa bactéria com a *Escherichia coli*, permitindo a utilização de instrumentos e técnicas em genética já desenvolvidos e conhecidos.

Muitos trabalhos já comprovaram a habilidade de linhagens vivas atenuadas de *Salmonella* em induzir potente resposta imunológica, celular e humoral, após vacinação. Além disso, já foram estabelecidos alguns sistemas eficientes para a produção heteróloga de proteínas em *Salmonella*. Isto torna particularmente atrativo o uso dessas bactérias como sistemas de administração de antígenos de diversos patógenos como vírus, bactérias e parasitos, proporcionando uma base para o desenvolvimento de novas vacinas.



Bactéria do gênero *Salmonella* vista por microscopia eletrônica.
(www.uea.ac.uk/.../images/large/salmonella.jpg)

Clostrídios

A bactéria responsável por esse tipo de intoxicação alimentar, o *Clostridium prefringes*, pode se permanecer ativa durante o cozimento dos alimentos. Os pratos à base de carne, como os ensopados e as tortas, por exemplo, são particularmente suscetíveis ao ataque desses germes. Essas bactérias, que estão presentes no ar, na poeira e no chão, disseminadas pelas moscas, são indestrutíveis e sobrevivem à fervura durante horas seguidas. Em temperatura abaixo de 20°C, ou acima de 60°C, elas se mantêm inativas. Porém, entre esses dois limites, elas se multiplicam rapidamente, contaminando o alimento é mantido aquecido durante várias horas após o cozimento, quando, quando ele é esfriado lentamente e em seguida não obtém uma refrigeração adequada ou quando ele é requeitado durante vários dias seguidos.

Os sintomas desse tipo de intoxicação surgem em geral entre 12 e 24 horas após a ingestão do alimento contaminado. Na maioria dos casos, o paciente tem fortes e persistentes dores abdominais seguidas de diarreia,. Entretanto, a temperatura permanece normal e é rara a ocorrência de vômitos. Embora a pessoa se sinta bastante indisposta durante todo o tempo em que os sintomas persistirem, eles desaparecem depois de um ou dois dias. Se os sintomas continuarem presentes por mais tempo, é possível que o problema tenha uma causa completamente diferente.

Estafilococos

O *Staphylococcus aureus*, um microorganismo que causa uma outra forma muito comum de intoxicação alimentar, geralmente está presente na superfície da pele, principalmente em torno do nariz, e também em certas infecções cutâneas, tais como cortes sépticos, espinhas e furúnculos. Um corte infeccionado na mão ou no braço de uma dona de casa que prepara uma refeição para sua família, por exemplo, pode contaminar os alimentos se eles não forem cozidos a uma temperatura de 60°C ou mais durante no mínimo meia hora. Se os alimentos contaminados por esta bactéria forem ingeridos crus ou parcialmente cozidos, eles podem provocar uma intoxicação alimentar que, na verdade, não é causada pela própria bactéria, mas sim pela toxina que ela produz.

Os alimentos comumente relacionados com esse tipo de intoxicação são presunto, língua, carnes defumadas (os conservantes usados nesses alimentos, infelizmente não eliminam as bactérias), pasta de carne, maionese, sorvetes, confeitos e doces industrializados.

Os sintomas surgem de uma a quatro horas após a ingestão do alimento contaminado e costumam ser bastante acentuados. Logo no início, o paciente sente tonturas e náuseas. Esses primeiros sintomas são acompanhados de vômitos abundantes que duram entre quatro e seis horas. Algumas pessoas também têm diarreia, sobretudo se ingerirem uma grande quantidade de toxina. A maioria dos pacientes se recupera em um período de 24 horas, mas as crianças e as pessoas idosas costumam levar mais tempo para se fazer.

Cisticercose

A cisticercose suína é uma doença parasitária originada a partir da ingestão de ovos de *Taenia solium*, cujas formas adultas têm o homem como hospedeiro final; normalmente, os suínos apresentam apenas a forma larval (*Cysticercus cellulosae*). O quadro clínico da teníase no homem pode acarretar dor abdominal, anorexia e outras manifestações gastrointestinais, sem provocar conseqüências mais sérias.

A teníase, no entanto, pode conduzir à cisticercose humana, cuja localização cerebral é a sua manifestação mais grave, podendo levar o indivíduo à morte.

A infecção pode permanecer assintomática durante muitos anos e nunca vir a se manifestar. Nas formas cerebrais a sintomatologia pode iniciar-se por crises convulsivas, o quadro clínico tende a agravar-se à medida que aumente a hipertensão intercraniana, ou na dependência das estruturas acometidas, evoluindo para meningoencefalite e distúrbios de comportamento.

Taenia solium, o verme do porco causa infecção intestinal com a forma adulta e somática com a larva (cisticercos). O homem adquire teníase quando ingere carne suína, crua ou parcialmente cozida, contendo cisticercos. Os suínos, por outro lado, adquirem cisticercose quando ingerem ovos de *T. solium*, presentes no ambiente contaminado por matéria fecal de seres humanos contaminados. Do mesmo modo que o suíno, o homem pode adquirir cisticercose a partir da ingestão de ovos de *T. solium*, presentes em alimentos contaminados com matéria fecal de origem humana, sobretudo verduras cruas, ou por auto-infecção, através das mãos e roupas contaminadas com as próprias fezes.

Ascariadíase

A ascariadíase é causada pelo *Ascaris lumbricoides*, verme vulgarmente denominado lombriga, cujo corpo é alongado e cilíndrico, com as extremidades afiladas. O comprimento varia entre 15 a 35 centímetros. Os machos apresentam a cauda enrolada e são menores que as fêmeas. A dimensão do corpo destes vermes varia de acordo com o seu número e intensidade do parasitismo. O número pode chegar a 600 exemplares num mesmo hospedeiro.

Sua cutícula é lisa, brilhante, de coloração branco-amarela. Na porção anterior, fica a boca ladeada por três grandes lábios. A transmissão desta verminose dá-se por ingestão de ovos embrionados, através de mãos sujas de terra, por alimentos ou água contaminados. Cada fêmea põe mais de 200 mil ovos por dia. Portanto, se considerarmos o grande número de pessoas portadoras da verminose e, principalmente, as condições precárias de higiene e saneamento, é fácil perceber a facilidade de se contrair a doença. Ao evacuar no solo e ao ingerir alimentos e água contaminados, as crianças expõem-se com maior facilidade, desrespeitando, assim, as mais elementares regras de higiene. São consideradas, portanto, o grupo mais parasitado por este verme.

Os ovos ingeridos liberam larvas que rompem a parede intestinal, caindo na circulação, iniciando um percurso pelo fígado, coração e pulmões. Dos pulmões, as larvas passam para as vias respiratórias (brônquios, traquéias, laringe) e depois para o tubo digestivo. No tubo digestivo, evoluem para as formas adultas que se reproduzem, reiniciando o ciclo. O único hospedeiro é o homem. Na fase pulmonar, os principais sintomas são: dificuldade respiratória, tosse seca, febre e irritação brônquica. Na fase digestiva, ocorrem desde flatulência, dor abdominal, cólica, digestão difícil, náusea, vômito, diarreia e até presença de vermes nas fezes. Podem ocorrer sintomas alérgicos, como dermatoses, rinites e conjuntivites. Complicações mais graves podem ocorrer, como a pneumonia, abscesso hepático e choque anafilático. Nas parasitoses maciças em crianças, pode ocorrer a oclusão intestinal e até a morte. Há outras espécies de lombrigas, como a *Ascaris suum*, que parasita o porco.

As Técnicas Existentes para Conservação dos Alimentos

Os processos de conservação que são utilizados na indústria de alimentos têm por objetivo evitar as alterações, sejam elas de origem microbiana, enzimática, física ou química.

Conservação pelo calor;
Conservação pelo frio;
Conservação pelo controle da umidade;
Conservação pela adição de um soluto;
Conservação por defumação;
Conservação por fermentação;
Conservação pela adição de aditivos;
Conservação pelo uso da Irradiação.

a) Conservação pelo Calor:

Baseia-se no emprego de temperaturas ligeiramente acima das máximas que permitem a multiplicação dos microrganismos, que já é capaz de provocar a morte ou a inativação de suas células vegetativas.

Os principais métodos de conservação por Calor são:

Pasteurização
Esterilização
Tindalização
Apertização

b) Conservação pelo Frio:

Temperaturas abaixo das que se tem registrados no ambiente são utilizadas para retardar as reações químicas e as atividades enzimáticas, bem como para retardar ou inibir o crescimento e a atividade dos microrganismos nos alimentos

- Refrigeração
- Congelamento

c) Conservação pelo Controle da Umidade:

- Secagem natural
- Desidratação ou secagem artificial (liofilização)

d) Conservação pela Adição de Solutos:

A adição elevada de quantidades de açúcar ou sal ao alimento pode reter quantidades variadas de água, o que resulta em um estado qualificado como pressão osmótica.

- Adição de sal
- Adição de açúcar

e) Conservação por Fermentação:

É um processo que utiliza o crescimento controlado de microrganismos selecionados, capazes de modificar sua textura, sabor e aroma, como também suas propriedades nutricionais.

- Fermentação alcoólica
- Fermentação acética
- Fermentação láctica

f) Conservação pela Utilização de Aditivos

Os aditivos podem contribuir muito para a conservação dos alimentos. Mas essa prática deve ser encarada com bastante atenção, uma vez que, a ingestão excessiva de alimentos conservados por aditivos químicos pode provocar perturbações no equilíbrio fisiológico do consumidor.

O Tratamento dos Alimentos pela Radiação

O tratamento de alimentos através da radiação gama para redução de contagem microbiana e preservação, já é um método conhecido e aprovado pela legislação brasileira desde 1985.

A irradiação é uma técnica eficiente na conservação dos alimentos pois reduz as perdas naturais causadas por processos fisiológicos (brotamento, maturação e envelhecimento) além de eliminar ou reduzir microrganismos, parasitas e pragas, sem causar qualquer prejuízo ao alimento, tornando-os também mais seguros ao consumidor. Uma grande vantagem do processo de esterilização por radiação está na possibilidade de esterilizar os itens em suas próprias embalagens invioladas, que só serão abertas para o uso final do produto.

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

A irradiação pode impedir a multiplicação de microrganismos que causam a deterioração do alimento, tais como bactérias e fungos, pela alteração de sua estrutura molecular, como também inibir a maturação de algumas frutas (veja a foto abaixo à direita) e legumes, através de alterações no processo fisiológico dos tecidos da planta.



Cebolas irradiadas há seis meses (direita) e cebolas não irradiadas (esquerda) Banana Irradiada Banana não irradiada
(fotos extraídas do website do CENA)

Princípios da Irradiação

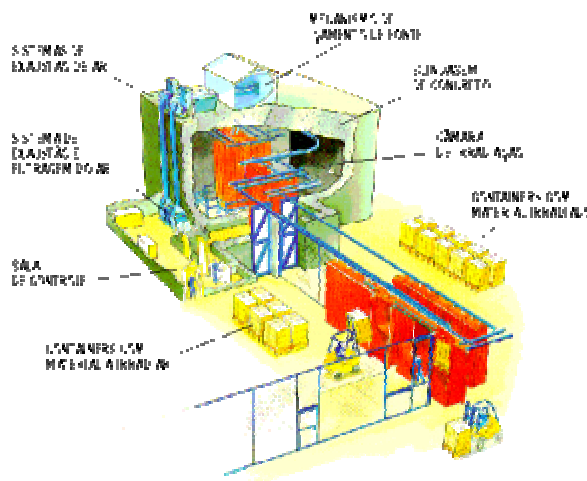
O tratamento de alimentos através da radiação gama para redução de contagem microbiana e preservação, já é um método conhecido e aprovado pela legislação brasileira desde 1985.

A irradiação de alimentos é um método efetivo para destruir bactérias tais como: E.Coli, Sallmonella, Listeria e outras. Tal método só é possível com o uso de fontes de radiação com alta intensidade, tais como o Cobalto-60 com atividades de milhares de Curies que porporciona altas doses de radiação em poucos minutos de exposição, necessária para a redução dos organismos microbiológicos.

O processo de irradiação é influenciado pela temperatura, umidade e tensão de oxigênio do meio, assim como pelo estado físico do material a ser irradiado. Por este motivo, para cada produto a ser irradiado são estabelecidos procedimentos específicos, inclusive diferentes doses de radiação.

Métodos de Irradiação

Os principais alimentos irradiados são: Especiarias, Condimentos, Ervas, Carnes, Frangos, Frutas secas, Peixes, Vegetais. Os alimentos são irradiados embalados, sem o contato manual.



Desenho esquemático do sistema de irradiação – extraída do website CTMSP

Podemos reunir em três grupos os principais processos de irradiação de alimentos: Radurização, Radicidação e Radapertização., conforme segue:

Radurização

Neste método se usa dose baixas (em média de 50 a 1 kGy) com a finalidade de inibir brotamentos (batata, cebola, alho,etc), retardar o período de maturação (frutas) e de deterioração fúngica de frutas e hortaliças (morango, tomate, etc) e controle de infestação por insetos e ácaros (cereais, farinhas, frutas, etc).

Radicidação ou radiopasteurização

Neste método se usa doses intermediárias (de 1 a 10 kGy) com o fim de pasteurizar sucos, retardar a deterioração de carnes frescas, controle de *Salmonella* em produtos avícolas, etc.

Radapertização ou esterilização comercial

Neste método se usa doses elevadas (10 a 70 kGy) na esterilização de carnes, dietas e outros produtos processados.



Filé e peito de peru embalados foram irradiados pela NASA (EUA) para alimentação de astronautas



Símbolo internacional dos Produtos Irradiados denominado “Radura”

Níveis de Doses e Tratamentos de Principais Alimentos

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

Efeitos da Exposição dos Alimentos à Radiação com Alta Dose

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

A quantidade de produtos radiolíticos podem ser os únicos que podem afetar a saúde, mas tais efeitos existem sómente na teoria, pois ainda não foram identificados.



QUESTÕES PARA ESTUDO:

Assunto: Controle Radiológico de Alimentos

1. Qual a diferença entre irradiação e contaminação ?
2. Qual a diferença entre controle da qualidade e preservação dos alimentos?
3. Qual a finalidade da radurização de alimentos ?
4. Qual a dose de radiação necessária para a radiopasteurização de alimentos ?
5. Que efeitos conseguimos ao irradiar frutas com doses até 0,35 kGy ?

O Processo de Esterilização de Materiais

A qualidade microbiológica dos produtos e matérias-primas tem alta importância para as indústrias farmacêuticas e cosmética. A radiação pode ser utilizada para a esterilização total ou redução da contagem microbiana inicial, de forma adequada à necessidade do produto em questão.

Características ideais de um esterilizante químico.

- Amplo espectro de ação microbicida.
- Ação rápida.
- Compatibilidade com os materiais.
- Alta capacidade de penetração.
- Não tóxico para os seres humanos e para o meio ambiente.
- Baixo odor (fraco).
- Não corrosivo.
- Não ser inativo na presença de matéria orgânica.
- Possuir meios de monitoramento fáceis e precisos da concentração do princípio ativo.
- Fácil de usar.
- Validade do produto e da solução em uso prolongado.
- Relação custo-benefício positiva.



Ao contrário do processo térmico, muito pouca energia da radiação é consumida em aumentar a energia térmica das moléculas que a absorvem. Além disso, a energia necessária para esterilização pela radiação é de cerca de 50 vezes menor da requerida para esterilização pelo calor. Por isso é chamada de “**esterilização a frio**”, onde doses variando de 10 a 70 kGy são necessárias para o processo.

Na esterilização de medicamentos e fármacos, devem ser observados os efeitos da radiação nos princípios ativos dos produtos em questão.

Na indústria cosmética, os itens de destaque para análise levam em conta os aspectos estéticos - cor, odor, textura - e aspectos de uso e processo como viscosidade e pH.



A radiação gama mata todos os microorganismos por meio da ruptura da estrutura do seu DNA, não afetando o produto em si.. Devido ao alto poder de penetração da radiação na matéria, o processo pode ser executado com os produtos já na sua embalagem final para o consumidor, e o produto pode ser usado imediatamente após o processo.

O processo não provoca aumento de temperatura, sendo uma alternativa para a esterilização de materiais termossensíveis. A radiação gama não deixa resíduos tóxicos e não induz radioatividade nos produtos, pois as energias envolvidas são insuficientes para interações com os núcleos.



QUESTÕES PARA ESTUDO:

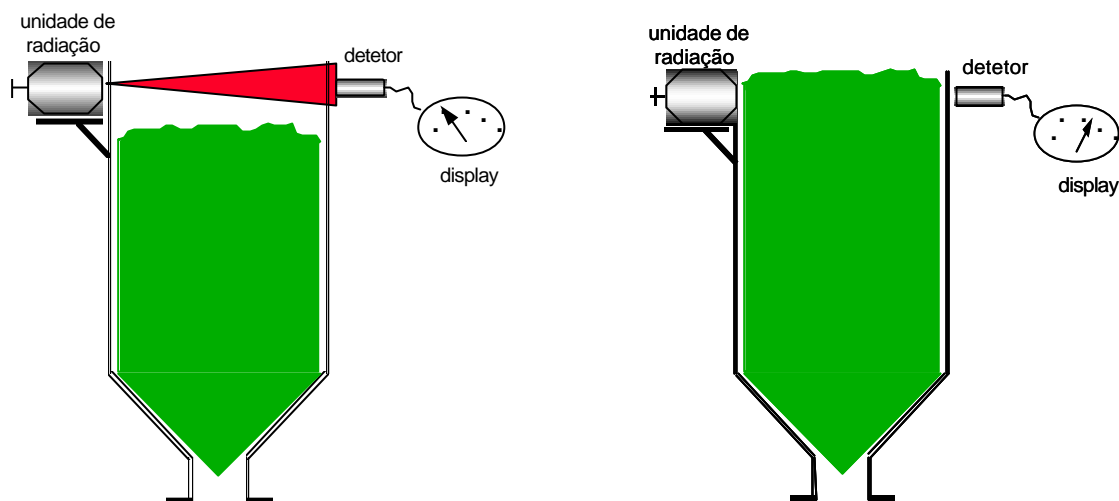
Assunto: Esterilização de produtos

1. Qual a dose de radiação necessária para se ter o efeito de esterilização de produtos ?
2. Cite 3 principais vantagens da esterilização por irradiação quando comparado com outras técnicas.
4. A esterilização por irradiação pode deixar resíduos tóxicos ou induz radioatividade nos produtos ?

CAPÍTULO 4

OS MEDIDORES NUCLEARES

Esses equipamentos são projetados de forma mais simples, pois sua função é unicamente abrigar a fonte radioativa selada em seu interior. A fonte fica presa internamente à blindagem, de modo a proporcionar um feixe de radiação dirigido sob ângulo definido no projeto, em direção a um detetor do tipo G.M, que ligado a circuitos especiais, oferecerá uma leitura ou registro da intensidade de radiação no display do aparelho.



Sistema comum para medidores de nível. O desenho à esquerda mostra um tanque contendo algum produto, com seu volume ainda não completo. O desenho da direita mostra o mesmo tanque com o volume completado.

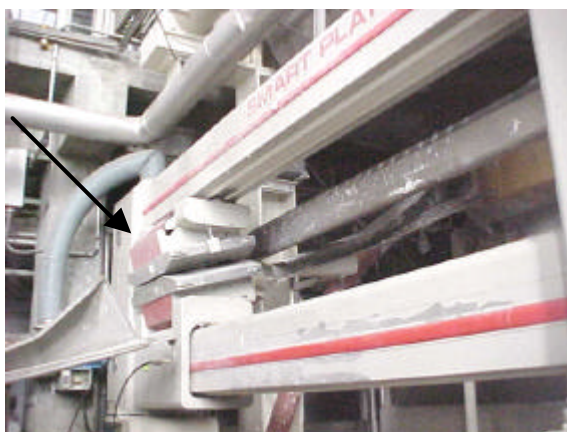
Em geral os medidores de nível, e de espessuras, são dotados de fontes radioativas com meia-vida muito longa, como Cs-137 ou Co-60, com atividades da ordem de milicuries, sendo sua operação bastante segura, uma vez que a fonte radioativa não opera fora da blindagem. Entretanto, operações de manutenção dos equipamentos, estocagem e controle de fontes com baixa atividade podem ser responsáveis por acidentes causados por pessoas sem treinamento ou conhecimento básico das regras de segurança radiológica para estes tipos de aparelhos.

Características do Césio - 137 (^{137}Cs , $Z=55$)

O Césio-137 é um dos produtos da fissão do Urânio-235. Este é extraído através de processos químicos que o separam do Urânio combustível e dos outros produtos de fissão. Suas principais características são:

- Meia - Vida = 33 anos
- Energia de Radiação = 0,66 MeV
- Fator Gama (Γ) = 0,081 mSv/h .GBq a 1m

Outras aplicações radioativas são largamente empregadas para controlar espessuras de materiais como papel, chapas de aço, ou ainda para controlar densidades de produtos industriais. Todas essas aplicações utilizam fontes com meia-vida longa e de baixa atividade o que otimiza os sistemas de radioproteção.



Controlador de Espessura de papel usando fonte de Promécio-147 (vide seta)
(Foto cedida por VOITH PAPER)

A foto acima apresenta a seção de controle da espessura de papel produzida numa máquina de fabricação de papel. A unidade de controle, mostrada pela seta, desliza por toda a largura do papel produzido, para controle total. O controle da espessura é feita através da radiação beta produzida pela fonte de **Promécio-147**.

Controles específicos do papel produzido assim como aperfeiçoamento da tecnologia pode ser realizada com um medidor de gramatura de papel, de bancada como mostrado na foto abaixo. Ele incorpora uma fonte de Promécio-147, com 5 mCi de atividade e é operado por um computador que fornece relatórios detalhados sobre o papel sob análise.



CAPÍTULO 5

ASPECTOS DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA INDUSTRIAL

A Empresa contratada para prestação de serviços radiográficos, deverá estar em conformidade com a legislação oficial específica sobre radiações ionizantes e normas editadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear e Secretaria da Saúde, devendo ser apresentado, antes do início dos trabalhos de inspeção, a Autorização Específica para Operação, emitida pela Autoridade Regulatória (CNEN). A principal norma que regula as operações de radiologia industrial é a CNEN NN-6.04 onde é estabelecido que a empresa deve ter um programa de Radioproteção para se assegurar que as doses recebidas pelos indivíduos estejam dentro dos limites aceitáveis. Para tanto, é necessário classificar as áreas quanto ao risco, sendo necessário que seja feito um **planejamento** do ponto de vista da radioproteção.

Este planejamento é elaborado pelo responsável da instalação radioativa e aprovado pela direção da instalação, e recebe o nome de **Plano de Radioproteção**, devendo conter todos os itens relativos à segurança radiológica, e que aborde no mínimo aspectos de:

- responsabilidades do pessoal de operação ;
- controle das áreas ;
- situações de emergência ;
- treinamento do pessoal diretamente e indiretamente ligado a área radiativa ;
- controle médico do pessoal envolvido ;
- transporte de fontes radioativas

Algumas vezes o planejamento da radioproteção deve ser feito de modo a atender a uma situação específica transitória, como por exemplo trabalhos com fontes radioativas em obras de campo ou em zonas urbanas. Neste caso o conteúdo do Plano deve ser aquele determinado pela autoridade regulatória competente.

Equipe mínima de Técnicos

A equipe de técnicos para radiografia deve ser composta dos seguintes:

- Dois ou mais supervisores de radioproteção qualificados ;
- No mínimo 3 técnicos para áreas abertas e 2 técnicos para áreas fechadas, todos qualificados.

Cálculo da Taxa de Dose a partir de uma Fonte Radioativa

Para fontes radioativas ideais, ou seja, aquelas cujas dimensões possam ser consideradas desprezíveis em relação à distância entre ela e o ponto considerado para a medida da dose, a equação, fruto da observação, que se constitui fundamental é enunciada como: "o dose-rate" de uma fonte gama puntiforme num dado ponto, é diretamente proporcional à atividade da fonte e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a fonte e o ponto considerado", e matematicamente escreve-se:

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

onde: " Γ " é uma constante característica de cada fonte radioativa, e seu valor pode ser encontrado em tabelas.

.Seu nome é "Fator característico da emissão gama da fonte" ou simplesmente "Fator Gama".

A = atividade da fonte

d = distância da fonte ao ponto considerado

Exemplos de Aplicação:

1. Qual será a taxa de dose equivalente a 5 m de distância de uma fonte de Ir-192 com atividade de 400 GBq ?

Solução:
A taxa de dose pela será:

$$P = \Gamma \cdot \frac{A}{d^2} = 0,13 \times \frac{400}{5^2} \text{ mSv / h}$$

$$P = 2,08 \text{ mSv / h}$$

2. A taxa de dose de 1 mGy/h é medida a 15 cm de uma fonte radioativa de Cs-137 . Qual é a atividade da fonte ?
Solução:
1 mGy / h = 1 mSv / h para Raios gama

$$1 \text{ mSv/h} = \Gamma \cdot \frac{A}{d^2} = 0,0891 \times \frac{A}{0,15^2} \text{ mSv / h}$$

$$A = \frac{1 \times 0,0225}{0,0891} = 0,25 \text{ GBq}$$

Limites de Doses

Os Limites Primários Anuais de Doses Equivalentes são valores normativos reguladas no Brasil pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN , que através da norma NN-3.01 estabelece tais limites para os indivíduos expostos às radiações ionizantes (IOE-indivíduo ocupacionalmente exposto), e que são mostradas no quadro abaixo.

As doses equivalentes máximas especificadas na norma CNEN NN-3.01, para o corpo todo , são:

Para adultos profissionais , IOE..... 20 mSv por ano
Para indivíduos do público 1 mSv por ano

É importante salientar que as doses que estão estabelecidas no quadro, são aquelas derivadas da exposição provocadas por instalações radioativas onde é utilizado radioisótopos ou aparelhos de Raios-X, não devendo ser levado e conta outras exposições devidos à tratamentos, radiodiagnóstico, radiação ambiental, exames clínicos e outros. O controle da dose individual de cada técnico deve ser realizada através da dosimetria pessoal.

Assim sendo, as doses limites recomendadas devem ser consideradas como sendo o acréscimo de dose que o indivíduo ou trabalhador está sujeito decorrente de seu trabalho diretamente ou indiretamente associado ao uso e manuseio das fontes de radiação ionizante para fins industriais. Para indivíduos que trabalham em áreas controladas, necessariamente devem receber tratamento especial do ponto de vista da radioproteção, como por exemplo: utilização de dosímetros de leitura indireta , treinamento supervisionado , qualificação , exames clínicos periódicos.



Localização do dosímetro pessoal para controle da dose

(foto cedida pela VOITH PAPER)

Os indivíduos que necessitam trabalhar em áreas supervisionadas, e portanto a exposição radiológica não faz parte de sua atividade principal, neste caso esses indivíduos requerem um treinamento específico para familiarizar com os procedimentos de radioproteção (placas de aviso, sinais, áreas proibidas, etc.) porém a limitação de dose para estes indivíduos são os mesmos que para o público. Pessoas que trabalham ou permanecem em locais classificados como área livre, não requerem nenhuma regra especial de segurança, sob o ponto de vista da radioproteção.



Instalação Radiográfica Aberta, para inspeção de tubos com Ir-192 e Raios X, com até 10 m de comprimento. As paredes de 25 cm de concreto baritado, são móveis, podendo ser montados em qualquer área da fábrica. (Foto cedida por VOITH PAPER)

Segurança dos Equipamentos de Irradiação - Irradiadores

Os irradiadores devem ter sido vistoriados e certificados para uso, conforme mostra o exemplo abaixo.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
SÃO PAULO

RELATÓRIO DE VISTORIA CNEN/SP: 071/00

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

1 - ENGATES	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
2 - TELECOMANDO	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
3 - CONDUITE DO CABO GUIA	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
4 - IRRADIADOR		
ESTADO GERAL DE CONSERVAÇÃO	(X) BOM	() MAU
SISTEMA DE TRAVAGEM	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
BLINDAGEM	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO
SINALIZAÇÃO	(X) ADEQUADO	() INADEQUADO

IDENTIFICAÇÃO DO IRRADIADOR:

EMPRESA : SAUERWEBER
 CONTEÚDO MÁXIMO: 200 Ci
 FABRICANTE : SAUERWEBER
 MODELO : TI-F... N. SÉRIE: 321
 N. DO CERTIFICADO DE APROVAÇÃO DO PROJETO:
 ACESSÓRIOS APRESENTADOS: CABO DE COMANDO E TUBO GUIA
 NÚMERO DO ACESSÓRIO : V-03
 FONTE N. : INS 348

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

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

OBS.: 2 -

DATA: 05/06/2000

SUPERVISOR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA RESF. P/ PRODUÇÃO DE
RICARDO ANDREUCCI
Engenheiro de Segurança

RESF. P/ PRODUÇÃO DE
RICARDO ANDREUCCI
Engenheiro de Segurança

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

TABELAS ÚTEIS

UNIDADES ESPECIAIS

Atividade (Ci-curie/Bq-Bequerel)		Doses Equivalente (rem/sievet)	Doses Absorvida (rad/gray)
1 pCi = 37 mBq	1 Bq = 27 pCi	10 µrem = 0.1 µSv	1 mrad = 0.01 mgy
1 nCi = 37 Bq	1 KBq = 27 nCi	100 µrem = 1 µSv	10 mrad = 0.1 mgy
1 µCi = 37 KBq	1 MBq = 27 µCi	1 mrem = 0.01 mSv	100 mrad = 1 mgy
1 mCi = 37 MBq	1 GBq = 27 mCi	10 mrem = 0.1 mSv	1 rad = 0.01 gy
1 Ci = 37 GBq	1 TBq = 27 Ci	100 mrem = 1 mSv	10 rad = 0.1 gy
1 KCi = 37 TBq	1 PBq = 27 KCi	1 rem = 0.01 Sv	
1 MCi = 37 PBq	1 Ebq = 27 MCi	10rem = 0.1 Sv	
1 GCi = 37 EBq			
Prefixos			
a(ato)	= 10 ⁻¹⁸	k(kilo)	= 10 ³
f(femto)	= 10 ⁻¹⁵	M(mega)	= 10 ⁶
p(pico)	= 10 ⁻¹²	G(giga)	= 10 ⁹
n(nano)	= 10 ⁻⁹	T(tera)	= 10 ¹²
µ(micro)	= 10 ⁻⁶	P(peta)	= 10 ¹⁵
m(mili)	= 10 ⁻³	E(exa)	= 10 ¹⁸

Fonte: Guia Prático em Segurança Radiológica para contratação de Serviços de Radiografia Industrial

TABELA DE CONVERSÃO ENTRE POLEGADAS E MILÍMETROS

Pol.	mm	Pol.	mm	Pol.	mm
1/64	0,39	12	304,8	28	711,2
1/32	0,79	12.1/2	317,5	28.1/2	723,9
1/16	1,58	13	330,2	29	736,6
1/8	3,17	13.1/2	342,9	29.1/2	749,3
1/4	6,35	14	355,6	30	762,0
5/16	7,93	14.1/2	368,3	30.1/2	774,7
3/8	9,52	15	381,0	31	787,4
1/2	12,7	15.1/2	393,7	31.1/2	800,1
5/8	15,87	16	406,4	32	812,8
3/4	19,05	16.1/2	419,1	32.1/2	825,5
1	25,4	17	431,8	33	838,2
1.1/2	38,1	17.1/2	444,5	33.1/2	850,9
2	50,8	18	457,2	34	863,6
2.1/2	63,5	18.1/2	469,9	34.1/2	876,3
3	76,2	19	482,6	35	889,0
3.1/2	88,9	19.1/2	495,3	35.1/2	901,7
4	101,6	20	508,0	36	914,4
4.1/2	114,3	20.1/2	520,7	36.1/2	927,1
5	127,0	21	533,4	37	939,8
5.1/2	139,7	21.1/2	546,1	37.1/2	952,5
6	152,4	22	558,8	38	965,2
6.1/2	165,1	22.1/2	571,5	38.1/2	977,9
7	177,8	23	584,2	39	990,6
7.1/2	190,5	23.1/2	596,9	39.1/2	1003,3
8	203,2	24	609,6	40	1016,0
8.1/2	215,9	24.1/2	622,3	40.1/2	1028,7
9	228,6	25	635,0	41	1041,4
9.1/2	241,3	25.1/2	647,7	41.1/2	1054,1
10	254,0	26	660,4	42	1066,8
10.1/2	266,7	26.1/2	673,1	42.1/2	1079,5
11	279,4	27	685,8	43	1092,2
11.1/2	292,1	27.1/2	698,5	43.1/2	1104,9

BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

Andreucci, Ricardo , "Radiologia Industrial" , São Paulo/SP , ABENDE , Jun./2003

Andreucci, Ricardo, "Proteção Radiológica da Industria - Aspectos Básicos", São Paulo, ABENDE, Jul./2003

Código ASME Sec. V e VIII Div.1 "American Society of Mechanical Engineer, New York, Ed.2004

Leite, P. GP, "Curso de Ensaios Não Destrutivos", São Paulo, 8ª ed.

USA, EASTMAN KODAK COMPANY, "Radiography in Modern Industry" , 4ª Ed. New York, 1974

Sanchez,W. ; "Ensaios Não Destrutivos pela Técnica de Raios X e Gama", Informação Nr.29 IEA, Instituto de Energia Atômica, São Paulo , 1974

Bélgica , Agfa Gevaert, "Radiografia Industrial"

BRYANT,L., Nondestructive Testing Handbook - Radiography and Radiation Testing , 2ª Edição, Ohio/USA , ASNT , vol. 3

FMI-Food Marketing Institute , "Backgrounder", Washington DC , Fev./ 2000

Matthias Purschke, "The X Ray Inspection", GE-Inspection Technologies, Alemanha, 2004