

Radiologia industrial I

Radiologia industrial I

Maricéu Cunha de Campos

© 2016 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente
Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação
Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico
Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica
Rafaela Benatti de Oliveira

Editorial
Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C186r Campos, Maricéu Cunha de
Radiologia industrial I / Maricéu Cunha de Campos. –
Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016.
192 p.

ISBN 978-85-8482-689-6

1. Radiologia. 2. Radiologia industrial. 3. Radiologia
médica. I. Título.

CDD 616

2016
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 — Londrina — PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 A radiação na indústria	7
Seção 1.1 - Registro e processamento radiográfico	9
Seção 1.2 - Parâmetros radiográficos e sensibilidade radiográfica	21
Seção 1.3 - Fundamentação da radiologia industrial	29
Seção 1.4 - Raios X e raios gama	39
Unidade 2 Equipamentos em radiologia industrial	5
Seção 2.1 - Aplicações industriais das técnicas de exposição radiográfica	7
Seção 2.2 - Equipamentos em radiologia industrial I	17
Seção 2.3 - Equipamentos em radiologia industrial II	27
Seção 2.4 - Equipamentos em radiologia industrial III	37
Unidade 3 Técnicas radiológicas na indústria	5
Seção 3.1 - Introdução aos ensaios não destrutivos	7
Seção 3.2 - Balizamento	17
Seção 3.3 - Levantamento radiométrico	29
Seção 3.4 - Tomografia industrial	41
Unidade 4 Atuando com radiologia industrial	5
Seção 4.1 - Implementação do serviço de proteção radiológica	7
Seção 4.2 - Fiscalização dos procedimentos operacionais	17
Seção 4.3 - Treinamento de pessoal em radiologia industrial	25
Seção 4.4 - Procedimentos e cuidados em radiologia industrial	37

Palavras do autor

Caros alunos, neste momento iniciaremos o estudo da Radiologia Industrial. Conheceremos equipamentos, acessórios, aplicações industriais, princípios físicos, ensaio não destrutivo (END), normas e códigos e, sobretudo, como aplicar a proteção radiológica na área industrial.

Você já parou para pensar em como é importante estudarmos a Radiologia Industrial? É importante porque abrimos um leque para o mercado de trabalho onde podemos atuar, por exemplo, em raios-x de portos, aeroportos e presídios, na indústria naval, na metalurgia, na gamagrafia, na irradiação de alimentos, nas fábricas de bebidas, entre outros.

No decorrer da Unidade 1, estudaremos o registro radiográfico, o processamento de filmes, a radiologia digital e seus parâmetros radiográficos, a radioscopia, o controle da sensibilidade radiográfica, os princípios e fundamentos da radiologia industrial e as fontes de raios X e raios gama. Na Unidade 2 aprenderemos sobre as técnicas de exposição radiográfica, as aplicações industriais, os equipamentos e fontes de radiação utilizadas, equipamentos de Gamografia e equipamentos de Inspeção e Segurança por Raios X e Gama. Já na Unidade 3 abordaremos o uso das técnicas não intrusivas para determinar a integridade do material, o isolamento de área e seu cálculo, a medição e avaliação dos níveis de radiação e os fundamentos e conceitos da tomografia industrial. E, por fim, na Unidade 4 falaremos sobre as Normas de Proteção Radiológica, protocolos, treinamento, orientações e supervisão das atividades realizadas pela equipe de trabalho.

Ao final deste livro didático você será capaz de entender todo o processo e funcionamento dos equipamentos da Radiologia Industrial, bem como os protocolos e normas de segurança que devemos seguir. Vamos começar?

A Radiação na Indústria

Convite ao estudo

Caro aluno, você já se perguntou o porquê de estudar os conceitos da radiação na indústria? O estudo desses conceitos permite obter o conhecimento da importância da radiologia industrial, bem como seus parâmetros e fundamentação.

Desse modo, nesta unidade de ensino, vamos enfatizar os conceitos de registro e processamento de imagens, parâmetros radiográficos e sensibilidade radiográfica, fundamentação da caixa-baixa (cb) e os raios X e raios gama.

Devemos conhecer os princípios básicos da Radiologia Industrial relacionados à atuação do profissional de tecnologia em Radiologia. Conhecer a importância da radiação na indústria por meio dos registros radiográficos, processamentos de filmes, parâmetros e sensibilidade radiográfica, fundamentação da radiologia industrial e raios X e raios gama.

Os objetivos são: aprender os conceitos gerais em registros radiográficos e processamento de filmes; compreender os fundamentos e parâmetros da radiografia digital; bem como radioscopia e controle da sensibilidade radiográfica; conhecer os princípios e fundamentos da radiologia na indústria; conhecer e compreender as fontes de raios X e raios gama; aplicar o conhecimento adquirido no estudo em situações próximas da realidade profissional do Tecnólogo em Radiologia.

Para que possa assimilar e perceber a importância de todo esse conteúdo e assim cumprir os objetivos do tema "Registro e Processamento Radiográfico", apresentaremos uma situação hipotética para que você se aproxime dos conteúdos teóricos. Vamos lá!

Henrique é um jovem que terminou o ensino médio e é muito curioso. Ele decidiu pesquisar todas as áreas de atuação da Radiologia. Seu pai vive lhe dizendo que sem estudos ele não chegará a lugar algum. Seu pensamento é focado na importância da Radiologia Industrial. Ao fazer sua pesquisa, descobriu que poderá atuar em diversas áreas, como, no processo de fabricação, montagem, inspeção e manutenção de peças de grande porte. Fascinado com suas descobertas, ele se perguntou: como será o processo de aquisição e revelação de imagens tão grandes como aeronaves, veículos automotivos, navios, entre outros? A imagem projetada no filme radiográfico em um primeiro momento é uma imagem latente do interior de uma peça; seja ela de uma estrutura pequena, média ou grande, após o seu processamento esta imagem é revelada.

Com base neste estudo, você consegue perceber a importância de conhecer a Radiologia Industrial e como ela está inserida no nosso dia a dia.

Seção 1.1

Registro e processamento radiográfico

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo! A partir de agora você iniciará seus estudos sobre os conceitos gerais do registro e processamento radiográfico.

A leitura desta unidade irá ampliar sua compreensão sobre o registro e processamento radiográfico, e você conhecerá as técnicas e métodos da aquisição e processamento de filmes industriais. Para dar início ao estudo deste tema, é necessário o conhecimento básico da radiologia industrial e seu processo de formação da imagem.

Antes de iniciarmos, vamos voltar à situação realidade hipotética apresentada no convite ao estudo. Henrique é um jovem que terminou o Ensino Médio e é muito curioso, ele decidiu pesquisar todas as áreas de atuação da Radiologia. Ao efetuar sua pesquisa, descobriu que poderá atuar em diversas áreas, como, no processo de fabricação, montagem, inspeção e manutenção de peças de grande porte.

Tendo em mente o ato de Henrique, você saberia dizer qual a importância de conhecer a Radiologia Industrial e como ela está inserida no nosso dia a dia? O que você precisa conhecer para ser capaz de resolver a situação-problema? Para isso, você deve compreender a aquisição de imagem, os processamentos de registros fotográficos e os tipos de filme utilizados.

Não pode faltar

Você saberia dizer como os filmes radiológicos industriais são compostos?

Eles são compostos por uma emulsão muito fina de gelatina que contém inúmeros cristais de brometo de prata minúsculos. Essa emulsão é colocada sobre um suporte denominado base, que é geralmente fabricado de um material derivado da celulose – sua coloração é transparente levemente azulada, sua espessura é de aproximadamente 0,025 mm. A emulsão é encontrada nos dois lados da base.

Essas relações são importantes para o entendimento do conteúdo que será apresentado, no registro e processamento radiográfico.

Após a descoberta do Raio X em 1895, Roentgen não só efetuou a radiografia da mão de sua esposa, Ana Bertha, mas também realizou a imagem radiográfica de seu rifle de caça; nesta imagem foi possível a visualização de uma rachadura no rifle, neste momento foi constatado que o raio-X também serviria para o controle de qualidade de peças industriais.

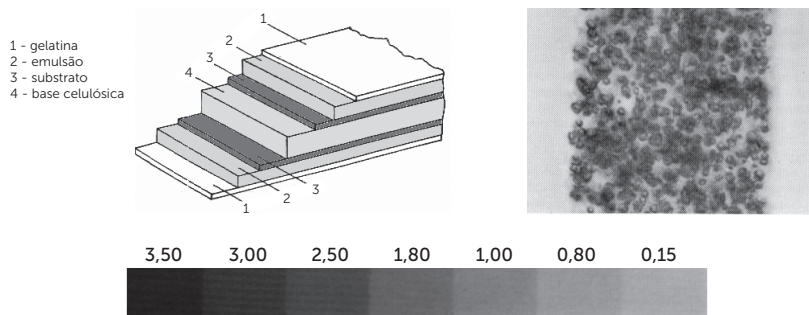
No processo de formação da imagem radiológica, quando os brometos de prata presentes na emulsão são atingidos pela luz, eles ficam susceptíveis a reagir com o revelado, que é um produto químico, e atuará sobre os microcristais enegrecendo as regiões do filme atingida por uma concentração de radiação, formando então áreas mais claras e outras mais escuras, dando formato a imagem do objeto radiografado, tornando-se uma imagem visível após o filme revelado.

Os filmes radiográficos na área industrial no Brasil são fabricados nos tamanhos 3.1/2" x 17", 4.1/2" x 17" ou 14" x 17"; podemos encontrar outras dimensões de filmes na Europa e Estados Unidos.

As imagens são formadas por diversas partículas de sais de prata que não são visíveis a olho nu; essas partículas se juntam formando uma granulação, a partir deste momento começa a formação da imagem. A granulação pode ocorrer de forma mais lenta ou mais rápida, dependendo do tempo de exposição do filme à radiação.

A densidade óptica significa a formação de imagem no filme radiográfico em relação às variações de enegrecimento. Na radiologia industrial, a densidade desses filmes é medida através de um equipamento chamado de densitômetro eletrônico. A densidade radiográfica aceitável é entre 1,8 e 4,0 para aparelhos de raios X e de 2,0 a 4,0 para aparelhos de raios gama.

Figura 1.1 | Processo de formação da imagem radiográfica



Fontes: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000044/0000448A.pdf>> e <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2016.



Exemplificando

Matematicamente falando sobre a densidade óptica, podemos dizer que ela é um logaritmo da razão entre a densidade da luz visível que incide no filme radiográfico e a intensidade de luz que podemos visualizar quando é transmitida.

Aplicando o conceito da densidade óptica, temos como base sua fórmula:

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

Onde:

I_o = intensidade da luz incidente

I = intensidade da luz transmitida

D = distância

Exemplo:

Se a intensidade radiográfica for de $D = 2,0$ então a razão será $\frac{I_o}{I} = 100$

O densitômetro eletrônico auxilia na leitura do filme fazendo com que sua interpretação fique clara; de acordo com a ASME Sec. V, art. 2, o prazo de validade após aberta a embalagem da fita densitométrica é de um ano, dessa forma é de extrema importância anotar a data de sua abertura na embalagem.

O processo da formação da imagem depende muito da quantidade de radiação emitida, do tempo de exposição e do tamanho da sua granulação (microcristais de brometo de prata). Quanto maior for o tamanho desses microcristais contidos na emulsão do filme, mais rápida será a aquisição de sua imagem, sendo assim é necessário uma menor quantidade de radiação para a aquisição da imagem.

A velocidade de radiação fica susceptível à característica de cada tipo de filme; se ele possui uma granulação maior, ou se possui uma granulação menor. A desvantagem de uma aquisição com filmes contento emulsão com microcristais grandes é que quanto maior o tamanho do cristal mais grosseira será a imagem, deixando-a granulada, porém nesta imagem há um menor tempo de exposição à radiação. Quando se tem um filme com uma menor granulação em sua emulsão, é possível adquirir uma imagem mais rica em detalhes e bem mais nítida, porém o seu tempo de exposição é mais longo.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a formação da imagem radiográfica na radiologia industrial no Capítulo 1 do seguinte texto: MARTINS, M. M. **O Serviço de**

Radiografia Industrial no Brasil sob o Aspecto da Proteção Radiológica. 1994. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/26/069/26069598.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2016.

Iniciando os conhecimentos sobre a classificação dos filmes radiológicos industriais, podemos dizer que temos uma variedade cuja classificação obedece às normas estabelecidas pela ASTM E-1815-96 (Disponível em: <http://www.kodak.com/eknec/documents/63/0900688a80626763/ASTM_Certification_Industrex_Films.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2016). Sendo assim, os filmes podem ser identificados em relação a sua velocidade e sensibilidade de exposição à radiação. Existem quatro tipos de classificações de filmes:

- **Tipo 1:** suas características principais são possuir uma granulação ultrafina, tendo um alto contraste e melhor qualidade na imagem; são indicados para a realização de ensaios de materiais leves ou pesados ou por uma seção espessa, utilizando radiação de alta energia.

- **Tipo 2:** sua característica principal é o filme possuir uma granulação muito fina contendo alta velocidade e alto contraste quando utilizado em conjunto com as telas intensificadoras.

- **Tipo 3:** é o filme mais utilizado na radiologia industrial por ter seu atendimento em qualidade de imagem e possuir uma maior produtividade; sua principal característica é que seu filme possui uma granulação muito fina tendo um alto contraste e velocidade de aquisição na imagem.

- **Tipo 4:** sua principal característica é em relação à granulação do filme, que é classificada como média, sendo assim pouco utilizado na radiologia industrial por não ter uma boa resolução de imagem.

Desse modo, a qualidade da imagem está relacionada com alguns parâmetros importantes ligados à emissão de radiação por uma fonte e a característica do filme utilizado, em que sua análise estabelece o padrão para a aceitação ou rejeição da imagem obtida. São eles: contraste, gradiente e definição. Até o momento, vimos como é realizada a formação da imagem e os tipos de filmes relacionados com as granulações existentes.

É importante enfatizar que o contraste é a diferença de densidade entre duas regiões adjacentes, isso significa que o contraste é a capacidade de o filme detectar a radiação através de intensidades e energias diferentes. O gradiente serve para avaliar o efeito que é formado na curva característica do filme. Já a definição é a quantidade de detalhes formados no filme radiográfico, sendo este de forma gradativa.



Assimile

Como saber quais são as vantagens e desvantagens do filme radiográfico industrial? Quais são suas características básicas em relação à granulação contida no filme? A escolha do material a ser utilizado é fundamental para termos uma boa qualidade na imagem radiografada; levamos em consideração a densidade da estrutura e o tempo de exposição.

No processamento manual do filme radiológico, devemos tomar alguns cuidados para a obtenção de um bom resultado na preparação do filme e dos banhos de revelação. Assim, é importante ter o conhecimento nos processos de limpeza, preparação dos banhos, manuseio do filme e o controle de temperatura e tempo no processo dos banhos:

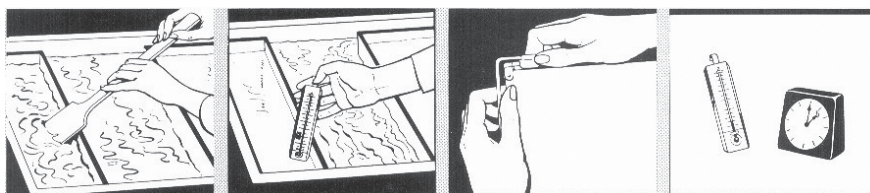
- **Limpeza:** o cuidado com a limpeza ao manusear o filme é fundamental para se obter uma imagem de qualidade, tanto a câmara escura como os componentes e acessórios devem estar limpos. Qualquer artefato – como, por exemplo, poeira – pode prejudicar e alterar a qualidade da imagem. É importante efetuar a lavagem dos equipamentos imediatamente após a utilização, para não correr o risco de contaminação.

- **Preparação dos banhos:** a preparação deve seguir as recomendações dos fabricantes, e em locais apropriados para esse procedimento.

- **Manuseio:** após a exposição do filme, ele deverá ser retirado do porta-filmes apenas quando estiver na câmara escura para não velar, e somente poderá contar com o auxílio da luz de segurança na câmara escura. Após a retirada do filme, ele deverá ser fixado nas colgaduras para o processo de revelação – é de extrema importância não pressionar o dedo no filme, pois isso pode provocar manchas permanentes, prejudicando a imagem adquirida.

- **Controle de temperatura e tempo:** devemos seguir as instruções dos fabricantes para o processo dos banhos de revelação, respeitando o tempo e temperatura dos químicos indicados.

Figura 1.2 | Processo de revelação manual do filme radiográfico



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2016.



Reflita

No processo de revelação manual, devemos seguir alguns parâmetros de acordo com as etapas descritas anteriormente: na preparação dos banhos, além de seguir as orientações do fabricante, devemos preparar os químicos de forma adequada, efetuando a agitação dos banhos com uma pá de borracha dura ou aço inoxidável (se utilizarmos outro material corremos o risco de ter uma absorção seguida de uma reação química, contaminando a solução). A temperatura ideal para o processo de revelação é de 20 °C, podendo ter uma variação que poderá ser compensada aumentando ou diminuindo o tempo de revelação. O manuseio do filme deve ser feito de forma correta para não alterar sua qualidade e causar artefatos desnecessários na imagem. O controle de temperatura deve ser efetuado com um termômetro, que deve ser lavado após sua utilização.

O processo da revelação é constituído por:

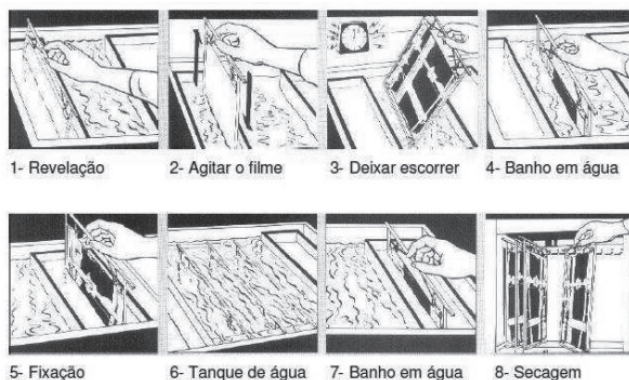
- **Revelação:** no processo da revelação ocorre uma ação do revelador com os cristais de brometo de prata contidos no filme e ela provoca uma degradação progressiva do revelador, que é lentamente oxidado pelo uso e pelo meio ambiente.
- **Agitação:** os filmes devem ser agitados na reveladora para que não ocorra a formação de bolhas que possam causar pontos mais claros na imagem por falta da ação do revelador naquele local.
- **Retirada do filme do revelador:** é importante deixar escorrer bem o revelador contido no filme; isso leva apenas alguns segundos.
- **Banho de parada:** é um banho interruptor do revelador, que tem a função de interromper a ação do revelador a partir do momento que o filme é retirado da processadora, evitando uma revelação desigual e com a presença de artefatos; sua composição é de água com ácido acético.
- **Fixação:** tem a função de remover os brometos de prata não expostos ao filme, sem afetar os que foram expostos a radiação. Outra função importante da fixação é o endurecimento da emulsão, permitindo sua secagem ao ar aquecido.
- **Lavagem dos filmes:** este processo ocorre para remover o fixador do filme, imergindo-o em água corrente por cerca de 30 minutos. Cada filme deve ser lavado em uma temperatura de aproximadamente 20 °C.
- **Secagem:** deve-se colocar os filmes nas colgaduras, e na secadora e deverão escorrer por cerca de 2 a 3 minutos.



Faça você mesmo

Para aprofundar os seus conhecimentos, pesquise sobre os tipos de filmes radiológicos industriais e a forma adequada de seu processamento de imagem.

Figura 1.3 | Etapas da revelação manual



Fonte: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000044/0000448A.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

O processamento de filmes também pode ser feito de forma automática. Nesse caso, seu ciclo de processamento é de aproximadamente 15 minutos, tornado possível devido à alta velocidade de processamento através de soluções químicas específicas; sua agitação é contínua e a secagem é mantida por jatos de ar aquecido. O tempo de revelação é de aproximadamente 25 segundos, a temperatura é mantida entre 32°C e 35°C. O fixador clareia os grãos de prata não expostos a radiação, a lavagem retira todo o resíduo químico contido no filme e por fim a secadora é a última etapa, e ocorre de forma automática, com o filme passando por uma câmara onde circula o ar quente.



Vocabulário

Banho de parada: método utilizado em revelação manual que consiste em diminuir a ação do revelador.

Densitômetro: é um instrumento de controle usado para medir a densidade óptica em cromos e opacos.

Porta-filmes: é um suporte metálico que mantém o filme radiográfico preso pelos cantos por presilhas.

Conforme pudemos ver nesta seção, o registro e processamento de imagens possui várias etapas a serem realizadas que são fundamentais para termos uma imagem de qualidade. Para isso podemos contar com as telas intensificadoras de imagens

que possuem a função de diminuir o tempo de exposição em ensaios radiográficos industriais.

Encontramos também as telas fluorescentes, que possuem a mesma função das telas intensificadoras, porém são pobres em detalhes e em definições radiográficas, e por este motivo elas não devem ser utilizadas na radiologia industrial.

Vale ressaltar que existem dois processos de revelação do filme radiológico, o processo manual e o automático, no qual o chassi utilizado serve para armazenar o filme antes de ser revelado e é fabricado no formato de um grande envelope de plástico duplo e reforçado, sendo ele flexível para acompanhar as peças a serem radiografadas sem que haja irregularidades. Dentro do chassi encontramos as telas intensificadoras, que ficam no meio do filme. O chassi é fechado com uma fita adesiva para evitar a entrada de luz.



Pesquise mais

Pesquise mais sobre os métodos de registro e processamento da imagem radiológica industrial a partir dos links abaixo.

FONSECA, V. B. **Tratamento de imagens radiográficas para melhoria de detecção de porosidade em cordões de solda**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014116.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2016.

TOPANOTTI, F. **Avaliação da toxicidade de revelador e fixador de radiografias provenientes de clínicas odontológicas utilizando *Daphia magna* e *Allium cepa* L.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)–Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000044/0000448A.pdf>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

Sem medo de errar

Após estudarmos os conceitos do registro e processamento radiográfico, vamos retomar a situação-problema apresentada no convite ao estudo e resolvê-la.

Tendo em mente o ato de Henrique, você saberia dizer qual a importância de conhecer a Radiologia Industrial e como ela está inserida no nosso dia a dia?

A Radiologia Industrial está inserida no nosso dia a dia de diversas maneiras, ela indiretamente nos rodeia como quando vamos viajar e nossa bagagem passa pela esteira detectora, isso nada mais é do que um scanner radiográfico para verificar

se estamos transportando algum objeto ilícito, ou para a realização do controle de qualidade de uma asa ou turbina de um avião.



Atenção

O processo de formação da imagem radiológica industrial depende muito da quantidade de radiação emitida, do tempo de exposição e do tamanho da sua granulação.

No decorrer das unidades subsequentes, veremos que a obtenção da imagem radiológica é fundamental para a Radiologia industrial, pois sem ela não temos a possibilidade de avaliar internamente peças de grande porte como, por exemplo, uma turbina de avião.

O que aconteceu com Henrique ao optar pelo curso de Radiologia? Ele descobriu que além de ser uma área inovadora ele poderá atuar em diversos segmentos, e seu foco será na Radiologia Industrial.

Avançando na prática

Registro e Processamento Radiográfico

Descrição da situação-problema

As imagens são formadas por diversas partículas de sais de prata que não são visíveis a olho nu. Essas partículas se juntam formando uma granulação. Com base nessa informação, consideramos que a granulação pode ocorrer de forma mais lenta ou mais rápida, dependendo de qual fator? E qual o fator fundamental para a avaliação de uma boa imagem?



Lembre-se

A Radiologia Industrial possui atuação em vários segmentos por meio dos quais podemos ingressar no mercado de trabalho.

Resolução da situação-problema

Com base nessa informação, consideramos que a granulação pode ocorrer de forma mais lenta ou mais rápida, dependendo de qual fator? E qual o fator fundamental para a avaliação de uma boa imagem?

A granulação pode ocorrer de forma mais lenta ou mais rápida dependendo do

tempo de exposição do filme à radiação. O fator fundamental para a avaliação de uma boa imagem é ter contraste, gradiente e definição.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os conceitos gerais e os fundamentos do registro e processamento radiográfico, descreva uma situação abordando um tema visto na seção e relacione um dos processos de revelação.

Faça valer a pena

1. No processo de formação da imagem radiológica, quando os brometos de prata presentes na emulsão são atingidos pela luz eles ficam susceptíveis a reagir com o revelado, que é um produto químico que atuará sobre os microcristais e enegrecerá as regiões do filme atingidas por uma concentração de radiação, formando então áreas mais claras e outras mais escuras, dando forma à imagem do objeto radiografado, tornando-se uma imagem visível após o filme revelado.

Os filmes radiográficos na área industrial no Brasil são fabricados nos tamanhos:

- a) 3.1/1" x 17", 4.1/4" x 17" ou 14" x 16".
- b) 3.1/2" x 17", 4.1/2" x 17" ou 14" x 16".
- c) 3.1/2" x 17", 4.1/2" x 17" ou 14" x 17".
- d) 3.1/1" x 17", 4.1/3" x 17" ou 14" x 18".
- e) 3.1/2" x 17", 4.1/3" x 17" ou 14" x 19".

2. Após a descoberta do raio X, em 1895, Roentgen não só efetuou a radiografia da mão de sua esposa, Ana Bertha, mas também realizou a imagem radiográfica de um objeto que serviria para o controle de qualidade de peças industriais.

O objeto radiografado por Roentgen que serviria para controle de qualidade de peças industriais foi:

- a) Cano de cobre.
- b) Canaleta de chumbo.
- c) Anel de ouro.
- d) Metralhadora.
- e) Rifle de caça.

3. A densidade óptica significa a formação de imagem no filme radiográfico em relação às variações de enegrecimento. Na radiologia industrial, a densidade desses filmes é medida por um equipamento chamado densitômetro eletrônico.

Quais são as densidades aceitáveis para os raios X e raios gama:

- a) A densidade radiográfica aceitável é entre 1,8 e 4,0 para aparelhos de raios X e de 2,0 a 4,0 para aparelhos de raios gama.
- b) A densidade radiográfica aceitável é entre 1,8 e 5,0 para aparelhos de raios X e de 2,0 a 4,0 para aparelhos de raios gama.
- c) A densidade radiográfica aceitável é entre 1,8 e 4,0 para aparelhos de raios X e de 2,0 a 5,0 para aparelhos de raios gama.
- d) A densidade radiográfica aceitável é entre 1,9 e 4,0 para aparelhos de raios X e de 2,0 a 4,0 para aparelhos de raios gama.
- e) A densidade radiográfica aceitável é entre 1,8 e 4,0 para aparelhos de raios X e de 2,5 a 4,0 para aparelhos de raios gama.

Seção 1.2

Parâmetros radiográficos e sensibilidade radiográfica

Diálogo aberto

Caros alunos, sejam bem-vindos à seção 1.2. A partir de agora você iniciará seus estudos sobre os Parâmetros Radiográficos e Sensibilidade Radiográfica.

A leitura desta unidade irá ampliar sua compreensão sobre a radiografia digital, parâmetros radiográficos, radioscopia e controle de sensibilidade radiográfica. Para dar início ao estudo deste tema, é necessário o conhecimento básico da radiação na indústria.

Antes de iniciarmos, vamos retomar a situação-realidade. Devido à curiosidade de Henrique, ele foi buscar mais conhecimento e aprender detalhadamente sobre aquisição de imagens. Qual tipo de imagem o radiologista industrial pode realizar? E Para que você seja capaz de resolver a situação-problema, você deve compreender a radiografia digital bem como os parâmetros radiográficos, radioscopia e controle de sensibilidade radiográfica.

Não pode faltar

Você sabe dizer como são formadas as radiografias digitais?

A obtenção ocorre através do filme radiográfico. A imagem é captada através da radiação e sua resolução é definida como a menor distância entre dois pontos que podem ser visualizados. A imagem digitalizada é formada por pixels e cada pixel possui uma única tonalidade de cor em escala de cinza. Sempre que ampliamos uma imagem digital ela perde sua definição, ficando muitas vezes distorcida.

Para uma boa avaliação da capacidade de resolução de diferentes tonalidades, o fator determinante é a quantidade de pixels que ela possui. O processo de digitalização

da imagem radiográfica pode ocorrer de duas formas: direta ou indireta.

Na digitalização direta, a radiação X ou gama atravessa o dispositivo detector através do eletrodo de microplacas, passando pela camada dielétrica, chegando ao semicondutor e por fim o eletrodo coletor na forma de um fino transistor, chegando então ao perfil do sinal.

Na digitalização indireta, temos três formas possíveis de aquisição da radiografia digital: 1- radiografia computadorizada – a radiação X ou gama atravessa a placa de fósforo e esta placa é levada a um leitor que o lerá através de um laser, para então chegarmos ao perfil do sinal; 2- dispositivo fotodiodo fluorescência do fósforo – a radiação X ou gama atravessa a tela intensificadora e seu sinal é captado pelo fotodiodo, chegando ao seu perfil de sinal; 3- dispositivo fotodiodo iodeto de cézio – a radiação X ou gama atravessa uma superfície refletora, passa pelos cristais cintiladores e seu sinal é captado pelo fotodiodo, chegando ao seu perfil de sinal.



Assimile

A capacidade de resolução é a imagem captada através da radiação, e sua resolução é definida como a menor distância entre dois pontos que podem ser visualizados. O fator que determina a quantidade de pixels são as diferentes tonalidades existentes no filme. As formas de processamento de digitalização da imagem podem ser manuais ou digitais.

Os parâmetros radiográficos são fundamentais para uma boa imagem, temos que nos atentar em relação à distância fonte-filme, pois se esta for muito pequena é impossível a sua leitura. A ampliação da imagem também significa um problema, pois ela poderá deformar a imagem adquirida, que não irá possuir uma boa qualidade de definição.

Para termos imagens bem definidas, devemos seguir os seguintes requisitos:

O diâmetro da fonte emissora de radiação deverá ser o menor possível.

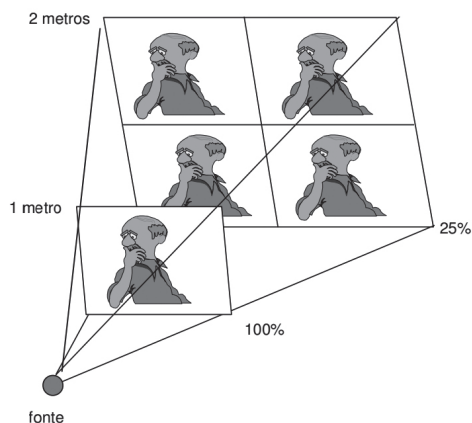
A fonte emissora deve estar posicionada o mais longe possível do material a ensaiar.

O filme radiográfico deverá estar o mais próximo do material.

O feixe de radiação deverá se aproximar o máximo da perpendicularidade em relação ao filme.

O plano do material e o plano do filme devem estar paralelos.

Figura 1.4 | Formação da imagem e suas dimensões



Fonte: Andreucci (2014, p. 76)

A Figura 1.4 mostra que quanto maior forem as dimensões da imagem em relação à fonte de radiação, menor será sua nitidez. Isso ocorre por causa da formação de uma penumbra radiográfica.



Refleta

Quando falamos da Radioscopia Industrial, devemos saber que é um meio usado para detectar a radiação emergente na peça, isto é, através de uma tela fluorescente que possui a propriedade de emitir luz em intensidade equivalente com a intensidade emitida pela radiação. Essa modalidade é utilizada em exames de pequenas peças e com pouca espessura. As principais aplicações estão na inspeção de rodas de alumínio, pontas de eixos automotivos, carcaças de direção hidráulica, pneus automotivos, em aeroportos para a verificação de bagagem, inspeção de componentes eletrônicos, entre outras diversas aplicações.

Como todas as modalidades, a Radioscopia possui suas vantagens e desvantagens. As vantagens são seu baixo custo e rapidez na realização do ensaio; já as desvantagens são apresentadas em três limitações: não permite a visualização de peças grandes, a quantidade de imagens na fluoroscopia não é tão boa e não permite a localização precisa de descontinuidades nas peças.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a Radioscopia na seguinte dissertação de mestrado: GONÇALVES, Elicardo Alves de Souza. **Desenvolvimento de um sistema de radioscopia analógica/digital**. 2010. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Metalúrgica e de Materiais)–Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/ElicardoAlvesDeSouzaGoncalves.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2016.

Quando realizamos o controle da Sensibilidade Radiográfica (IQIs), devemos seguir os padrões adotados pela ASME, Sec. V SE – 1025 (Disponível em: <<http://www.ie-ndt.co.uk/asmeastme1025plaquetypeiqi.html>>. Acesso em: 13 mar. 2016), nos quais a sensibilidade radiográfica deverá ser igual a 2% da espessura da peça a ser radiografada, em que a análise é efetuada sobre três furos e os diâmetros são chamados de 4T, 2T e 1T indicando a espessura da sensibilidade.

A inspeção é realizada por dois números: o primeiro representa a espessura percentual e o segundo o diâmetro do furo que deverá ser visualizado na radiografia. Para isso, seguimos alguns padrões em relação aos níveis comuns de qualidade:

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

O controle da sensibilidade radiográfica deve ser colocado sobre a peça ensaiada com sua face voltada para a fonte, de forma que ela fique plana para o feixe de radiação. Quando sua inspeção for realizada em soldas, o IQI tipo furos deverá ser colocado na base paralela da solda com uma distância mínima de 3 mm, e deverá incluir um reforço de ambos os lados da solda para que iguale a espessura da solda.

As imagens abaixo representam um IQI tipo placa ASME 1025 contendo 3 furos sendo 1x, 2x e 4x a espessura, e os tipos de IQI.

Figura 1.5 | Controle da Sensibilidade Radiográfica (IQIs)



Fonte: <<http://ndtsupply.com/media/catalog/product/cache/1/image/240x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/a/s/astm-e-1025-240n.jpg>>. Acesso em: 7 jun. 2016. Fonte: <<http://gammasonline.com/iqi-penetrameter-1631081.html>>. Acesso em: 7 jun. 2016.

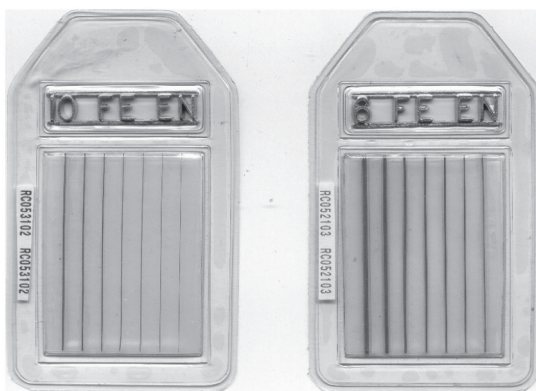


Exemplificando

O controle da Sensibilidade Radiográfica (IQIs) do tipo fio deve ser adquirido com certificado e calibração emitidos pela ASTM, assegurando os padrões e normas de segurança emitidas em sua fabricação. O leitor poderá observar um exemplo das tolerâncias indicadas através da certificação do fabricante. Para cada IQI existe um número de identificação que é rastreável pelo seu certificado.

Sempre que possível, o IQI deve ser colocado sobre a solda de forma que os arames estejam perpendiculares à linha da solda, dessa forma sua imagem irá aparecer na zona central da radiografia. O número da qualidade de imagem será representado pelo número do arame mais fino e visível na radiografia, que é definido para cada faixa de espessura do material. A inspeção deve ser efetuada de acordo com o projeto do equipamento.

Figura 1.6 | Indicador de Qualidade IQI



Fonte: Andreucci (2014, p. 72).

A Figura 1.6 representa um indicador de qualidade que consiste em um conjunto de fios com diferentes diâmetros. Seu material é semelhante ao material a ser radiografado, e é inserido em um invólucro de plástico transparente.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os conceitos gerais e os fundamentos do controle da sensibilidade radiográfica, descreva uma situação abordando um tema visto na seção e relacione um dos IQIs.



Vocabulário

Fluorescência: é a capacidade de uma substância de emitir luz quando exposta a radiações.

Sem medo de errar

Após estudarmos a radiografia digital, os parâmetros radiográficos, a radioscopia e o controle de sensibilidade radiográfica, vamos retomar e resolver a situação-problema apresentada no convite ao estudo.

Tendo em mente a curiosidade de Henrique, você saberia dizer qual tipo de imagem o radiologista industrial pode realizar? E qual sua inclusão no dia a dia?

A imagem na radiologia industrial pode ser adquirida por dois métodos: manual e digital. Sua inclusão no dia a dia é fundamental. Suas particularidades começam na forma de aquisição da imagem e na detecção de fissuras minúsculas, imperceptíveis a olho nu, porém se não solucionadas podem causar um transtorno muito grande para a população, como se estivermos em uma montadora de automóveis e uma das peças apresentar uma falha que não for detectada antes de ser liberada para o cliente, ela poderá causar danos fatais, então podemos concluir e comprovar a importância da verificação através da radiologia industrial.



Atenção

Para uma boa avaliação da capacidade de resolução de diferentes tonalidades de uma imagem, o fator determinante é a quantidade de pixels que ela possui. Deve-se prestar muita atenção no momento da aquisição da imagem e respeitar seus limites e recomendações através das normas da ASTM.

Avançando na prática

Radiografia Digital, Parâmetros Radiográficos, Radioscopia e Controle de Sensibilidade Radiográfica

Descrição da situação-problema

Quando falamos da radioscopia industrial, devemos saber que é um meio usado para detectar a radiação emergente na peça, isto é, através de uma tela fluorescente que possui a propriedade de emitir luz em intensidade equivalente com a intensidade emitida pela radiação. Essa modalidade é utilizada em exames de pequenas peças e com pouca espessura. Com base nessas informações podemos questionar: Quando falamos dos parâmetros radiográficos temos de nos atentar a itens básicos? Para termos uma boa capacidade de resolução da imagem, quais os fatores que são determinantes? A radioscopia possui vantagens e desvantagens, quais são elas?



Lembre-se

Na radiologia industrial, o leque para ingressar no mercado de trabalho é amplo, você pode escolher o segmento que você mais se identificar.

Resolução da situação-problema

Os parâmetros radiográficos são fundamentais para uma boa imagem. Temos de nos atentar em relação à distância fonte-filme.

Para uma boa avaliação da capacidade de resolução de diferentes tonalidades de uma imagem, o fator determinante é a quantidade de pixels que ela possui.

As vantagens da Radioscopia são seu baixo custo e rapidez na realização do ensaio; já as desvantagens são apresentadas em três limitações: não permite a visualização de peças grandes, a quantidade de imagens na fluoroscopia não é tão boa; e não permite a localização precisa de descontinuidades nas peças.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os parâmetros radiográficos e a sensibilidade radiográfica, descreva uma situação abordando um tema visto na seção e relacione um dos processos adotados pela ASME.

Faça valer a pena

1. A obtenção ocorre no filme radiográfico, a imagem é captada através da radiação e sua resolução.

Como é definida a obtenção do filme radiográfico?

- a) A maior distância entre três pontos que podem ser visualizados.
- b) A menor distância entre dois pontos que não podem ser visualizados.
- c) A menor distância entre três pontos que podem ser visualizados.
- d) A menor distância entre dois pontos que podem ser visualizados.
- e) A maior distância entre dois pontos que podem ser visualizados.

2. Na imagem direta, a radiação X ou gama atravessa o dispositivo detector através do eletrodo de microplacas, passando pela camada dielétrica, chegando ao semicondutor e por fim o eletrodo coletor na forma de:

- a) Um fino transistor.
- b) Um fino transdutor.
- c) Um longo transistor.
- d) Um longo transdutor.
- e) Um espesso transistor.

3. Como se chama a capacidade de uma substância de emitir luz quando exposta a radiações?

- a) Fotoiluminação.
- b) Fosforescência.
- c) Luz.
- d) Iluminação.
- e) Fluorescência.

Seção 1.3

Fundamentação da radiologia industrial

Diálogo aberto

Caros alunos, sejam bem-vindos à seção 1.3. Nesta seção estudaremos os fundamentos da Radiologia Industrial. O estudo e compreensão desta seção facilitará a resolução da próxima situação-problema que será apresentada, relacionada aos princípios e fundamentos da radiologia industrial.

Vamos voltar à situação de realidade apresentada no convite ao estudo desta Unidade?

Durante uma de suas pesquisas, Henrique descobriu que a fundamentação da Radiologia Industrial é baseada na Física, e sua satisfação é imensa pois esta é uma de suas matérias favoritas. Diante disso, o foco dele foi estudar a Natureza da Radiação Ionizante, que foi descoberta pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895. A partir da descoberta dos raios X, várias outras personalidades deram continuidade a esses estudos.

Henrique constatou ainda que a radiografia industrial serve para detectarmos variações de acordo com o material, espessura e também com a densidade em relação à região da peça a ser radiografada, em que a peça será analisada e comparada com uma região próxima, e isso depende dos Princípios e Fundamentos da Radiologia Industrial para termos uma imagem de excelência. Depende também da radioatividade e das partículas alfa, beta e gama, e cada uma destas possui uma forma de aquisição da imagem; seus cálculos são efetuados através do princípio físico e dos fundamentos da radiologia.

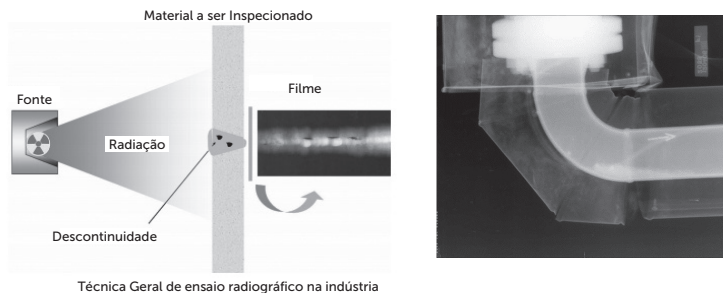
Diante do apresentado, você saberia dizer o que é radioatividade? Qual a importância dos princípios e fundamentos da radiologia industrial?

Na seção 1.3 vamos estudar a importância dos princípios e fundamentos da radiologia industrial.

Não pode faltar

Quando falamos da descrição genérica do método e aplicação da radiografia, podemos dizer que é um método usado para inspeção não destrutiva que se baseia na quantidade de absorção da radiação que irá penetrar nas peças inspecionadas. As peças podem apresentar diferenças de densidades e variações de acordo com o tipo de material inspecionado, e pode ocorrer uma descontinuidade na captação da imagem e na composição do material, resultando diferentes quantidades de radiação penetrantes na peça. A radiação poderá ser detectada através de um filme radiográfico industrial ou por detectores eletrônicos de radiação, que diagnosticarão a quantidade de radiação absorvida; com isso, os resultados indicarão se há ou não alguma falha ou defeito interno no material radiografado.

Figura 1.7 | Ilustração do ensaio radiográfico na indústria



Técnica Geral de ensaio radiográfico na indústria

Fontes: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>> e <<http://radiologia.blog.br/radiologia-industrial/conheca-os-equipamentos-utilizados-na-radiologia-industrial>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

A Figura 1.7 demonstra uma variação de descontinuidade da peça radiografada em sua parte interna; a não detecção desta pode causar danos irreparáveis.

Podemos afirmar que a radiografia industrial serve para detectarmos variações de acordo com o material, espessura e também com a densidade em relação à região da peça a ser radiografada. Ela será analisada e comparada com uma região próxima, e será possível detectar com excelência a sensibilidade dos defeitos volumétricos – conseguimos detectar os menores defeitos apresentados na peça.



Assimile

Os defeitos volumétricos, como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções, serão facilmente detectados desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça. Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, ou através de um tubo de imagem, ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação.

A natureza da radiação ionizante inicia-se com a descoberta do raio X, em 1895, por Wilhelm Conrad Roentgen. Após sua descoberta, diversos outros cientistas se destacaram com os estudos sobre a radioatividade e o modelo atômico.

A radiação penetrante é aquela que tem a propriedade de certas energias de atravessar materiais que são opacos à luz visível. Os raios X e raios gama são tipos de radiação penetrante utilizados na radiologia industrial porque se distinguem da luz visível por terem um comprimento de onda curto, permitindo então atravessar os materiais que irão absorver ou refletir a luz visível.



Refleta

Os raios X e raios gama são de natureza semelhante à velocidade da luz, possuem uma velocidade de propagação de 300.000 km/s (velocidade da luz) e se deslocam em linha reta, ou seja, não são afetados nem por campo elétrico e nem por campo magnético. Por esse motivo eles possuem a propriedade de impressionar emulsões fotográficas permitindo imagens industriais radiográficas dos objetos.

Na radiação penetrante ocorre um fenômeno chamado de refração, porém em escala muito baixa – é necessária a utilização de lentes para sua visualização. As seis propriedades da radiação penetrante são:

1. Deslocar-se em linha reta.
2. Atravessar materiais opacos à luz, que é parcialmente absorvida por esses materiais.
3. Impressionar partículas fotográficas formando a imagem.
4. Provocar o fenômeno da fluorescência.
5. Provocar efeitos genéticos.
6. Provocar ionização nos gases.

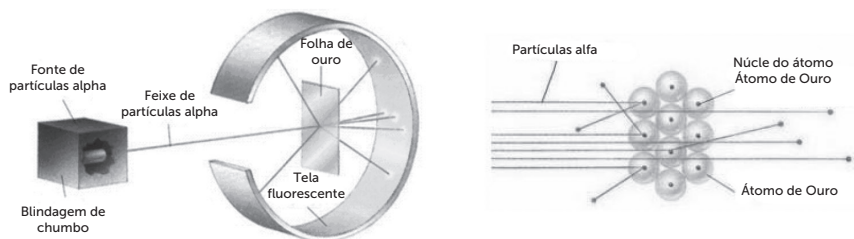


Pesquise mais

Saiba mais sobre a radiação ionizante na radiologia industrial: PINO, E. S.; GIOVEDI, C. Radiação ionizante e suas aplicações na indústria. **Revista UNILUS**: Ensino e Pesquisa, v. 2, n. 2, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://revista.lusiada.br/index.php/ruep/article/view/18/u2005v2n2e18>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

Os estudos sobre a estrutura da matéria iniciam-se em 1906 com os experimentos de Ernest Rutherford, que efetuou um bombardeio de partículas alfa em folhas de ouro. Rutherford achava que a radiação atravessava a fina folha de ouro, porém percebeu que ela desviava ao atingir a folha de ouro, isso levou-o, então, ao desenvolvimento do modelo atômico.

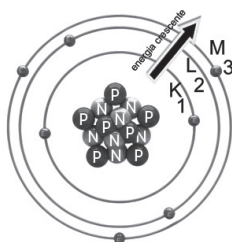
Figura 1.8 | Experimento de Ernest Rutherford em 1906



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

A Figura 1.8 retrata o experimento de Ernest Rutherford em 1906, quando constatou que as partículas alfas desviavam ao atingir a fina folha de ouro. Em seu modelo atômico, ele constatou que o núcleo do átomo contém cargas positivas, e constatou também que ao redor do átomo giram um número de elétrons.

Figura 1.9 | Modelo atômico de Ernest Rutherford



Fonte: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

A imagem do modelo atômico descreve que os elétrons ocupam níveis diferentes, causando o grande tamanho do átomo em comparação com o seu núcleo.



Exemplificando

O átomo consiste de um núcleo contendo um número de prótons e uma nuvem eletrônica com igual número de elétrons. Os níveis de energia para os átomos são representados por sete camadas denominadas pelas letras K, L, M, N, O, P e Q. À medida que as camadas se afastam do núcleo, aumentam as energias dos elétrons que nelas são localizados.

Quando falamos de variações e composições dos átomos e os tipos de radioisótopos, podemos falar que o átomo é composto por três partículas fundamentais:

- **Prótons** (com carga positiva) estão dentro do núcleo.
- **Nêutrons** (partículas neutras) estão dentro do núcleo.
- **Elétrons** (com carga negativa) estão em torno do núcleo, na eletrosfera.

Podemos classificar os conceitos fundamentais da estrutura atômica através de:

- **Número Atômico** (representado pela letra Z): é o número de prótons no núcleo de um átomo.

- **Número de Massa** (representado pela letra A): é a soma do número de prótons com o número de nêutrons (N) do núcleo de um átomo.

$$A = Z + N$$

- **Elemento Químico**: é o conjunto de átomos que apresentam o mesmo número atômico.

Exemplo: ${}_6\text{C}^{12}$ – o elemento Carbono apresenta:

Número atômico: 6.

Número de massa: 12.

Número de nêutrons: 6 (A - Z).

- **Isóbaros**: são elementos químicos diferentes que apresentam mesmo número de massa.

- **Isótonos**: são elementos químicos diferentes que apresentam mesmo número de nêutrons.

- **Isótopos**: são átomos de um mesmo elemento químico que apresentam diferentes números de nêutrons e, conseqüentemente, diferentes números de massa.

Exemplos:

${}_6\text{C}^{14}$ e ${}_7\text{N}^{14}$ (são isóbaros).

${}_{17}\text{Cl}^{37}$ e ${}_{20}\text{Ca}^{40}$ (são isótonos).

${}_{17}\text{Cl}^{35}$ e ${}_{17}\text{Cl}^{37}$ (são isótopos).

A radioatividade é definida como a emissão espontânea da radiação por núcleo atômico, que se encontra em um estado excitado de energia. São três os tipos de radiação, denominados como partículas Alfa (α), partículas Beta (β) e partículas Gama (γ).

As partículas alfa (α) constituem-se por dois nêutrons e dois prótons, caracterizando um núcleo atômico de Hélio. A radiação alfa possui pouco poder de penetração.

As partículas beta (β) constituem-se por elétrons e possuem uma velocidade próxima da velocidade da luz, com carga elétrica negativa. Seu poder de penetração é intermediário.

As partículas gama (γ) são de natureza ondulatória, não possuem carga nem massa. Possuem maior poder de penetração.

Conseguimos separar as partículas alfa, beta e gama por meio da aplicação de um campo elétrico ou de um campo magnético através de uma amostra de material radioativo. Podemos afirmar que as energias das radiações emitidas possuem uma importância fundamental no ensaio radiográfico, e podemos afirmar que as capacidades de penetração nos materiais associam-se com as propriedades da Equação de Planck, em que temos a seguinte fórmula:

$$E = \frac{h.c}{\lambda}$$

Onde:

E = energia (Joule).

h = constante de Planck (6.624×10^{-34} Joule x segundo).

c = velocidade da luz.

λ = comprimento de onda (Lambda).

Podemos afirmar que a equação que relaciona a energia com o comprimento de onda é a equação de Planck.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os parâmetros e a fundamentação da radiologia industrial, elabore uma situação abordando os conceitos e um tema visto na seção relacionado com o experimento de Ernest Rutherford.



Vocabulário

Anáclase: a refração ocorre em diferentes tipos de onda, embora seja mais comumente associada à luz.

Defeitos volumétricos: são defeitos tridimensionais como poros, trincas

e inclusões.

Refração: quando ocorre a mudança da direção de uma onda que se propaga em um determinado meio ao passar obliquamente para outro meio no qual a velocidade de propagação é alterada.

Sem medo de errar

Após estudarmos os princípios e fundamentos da radiologia industrial e descobrir a natureza da radiação ionizante, que teve sua descoberta pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, vamos tentar resolver a situação-problema apresentada no diálogo aberto. Diante do apresentado, você saberia dizer o que é radioatividade? Qual importância dos princípios e fundamentos da radiologia industrial?

Define-se “radioatividade” como sendo a emissão espontânea de radiação por um núcleo atômico, que se encontra num estado excitado de energia. E a importância dos princípios e fundamentos da radiologia industrial baseiam-se em diferentes tipos de radiação (alfa, beta e gama), que são absorvidas através da penetração nas peças e são inspecionadas. Sua principal função é indicar se há algum tipo de variação ou defeito na parte interior desses objetos.



Atenção

A radiografia industrial serve para detectarmos variações de acordo com o material, espessura e também com a densidade em relação à região da peça a ser radiografada, em que a peça será analisada e comparada com uma região próxima.

Avançando na prática

Princípios e fundamentos da radiologia na indústria

Descrição da situação-problema

Quando falamos da radiação penetrante, devemos saber que ela é aquela que tem a propriedade de certas energias de atravessar materiais que são opacos à luz visível. Quais são os tipos de radiação penetrante utilizados na radiologia industrial? Agora quando falamos de variações e composições dos átomos e os tipos de radioisótopos, podemos falar que átomo atômico é composto por três partículas fundamentais. Quais são elas? Já a Radioatividade é definida como a emissão espontânea da radiação por núcleo atômico, que se encontra em um estado excitado de energia. Quais são os três tipos de radiação nominadas como partículas?

**Lembre-se**

Os raios X e raios gama são de natureza semelhante à velocidade da luz e possuem uma velocidade de propagação de 300.000 km/s.

Resolução da situação-problema

Os raios X e raios gama são tipos de radiação penetrante utilizados na radiologia industrial porque se distinguem da luz visível por terem um comprimento de onda curto, podendo atravessar os materiais que irão absorver ou refletir a luz visível.

As partículas fundamentais para o átomo são os prótons (com carga positiva, estão dentro do núcleo), os nêutrons (partículas neutras, estão dentro do núcleo) e elétrons (com carga negativa, estão em torno do núcleo, na eletrosfera).

Os três tipos de radiação nominados como partículas são as partículas Alfa (α) partículas Beta (β) e partículas Gama (γ).

**Faça você mesmo**

Agora que você já é capaz de assimilar os princípios e fundamentos da radiologia na indústria, elabore uma situação abordando um tema visto na seção e relacione com o modelo atômico. Apresente para o professor utilizando imagens e recursos gráficos.

Faça valer a pena

1. Quando falamos da descrição genérica do método e aplicação da radiografia, podemos dizer que é um método usado para inspeção não destrutiva. O método radiográfico se baseia:

- a) Na quantidade de absorção da radiação que não irá penetrar nas peças inspecionadas.
- b) Na quantidade de diluição da radiação que irá penetrar nas peças inspecionadas.
- c) Na quantidade de absorção da radiação que irá penetrar nas peças inspecionadas.
- d) Na quantidade de absorção da radiação que irá penetrar nas peças não inspecionadas.
- e) Na quantidade de diluição da radiação que não irá penetrar nas peças inspecionadas.

2. A radiação pode ser detectada através de um filme radiográfico industrial ou por detectores eletrônicos de radiação. O que poderá ser diagnosticado nesses casos?

a) A quantidade de radiação absorvida, e com isso os resultados não indicarão se há ou não alguma falha ou defeito interno no material radiografado.

b) A quantidade de exibição absorvida, e com isso os resultados nos indicarão se há ou não alguma falha ou defeito interno no material radiografado.

c) A quantidade de visualização absorvida, e com isso os resultados nos indicarão se há ou não alguma falha ou defeito interno no material radiografado.

d) A quantidade de iluminação absorvida, e com isso os resultados nos indicarão se há ou não alguma falha ou defeito interno no material radiografado.

e) A quantidade de radiação absorvida, e com isso os resultados nos indicarão se há ou não alguma falha ou defeito interno no material radiografado.

3. Com base no conteúdo estudado, a radiação penetrante:

a) É aquela que tem a propriedade de certas energias de atravessar materiais que são opacos à luz visível. Os raios X e raios gama.

b) É aquela que não tem a propriedade de certas energias de atravessar materiais que são opacos à luz visível. Os raios X e raios gama.

c) É aquela que tem a propriedade de certas energias de não atravessar materiais que são opacos à luz visível. Os raios X e raios gama.

d) É aquela que tem a propriedade de certas energias de atravessar materiais que não são opacos à luz visível. Os raios X e raios gama.

e) É aquela que tem a propriedade de certas energias de atravessar materiais que são opacos à luz invisível. Os raios X e raios gama.

Seção 1.4

Raios X e raios gama

Diálogo aberto

Sejam bem-vindos à seção 1.4, em que estudaremos os raios X e raios gama, bem como os tipos de fontes radioativas, sua função e finalidade na Radiologia Industrial. Esta seção facilitará a compreensão para a resolução da próxima situação-problema relacionada com as fontes de raios X e raios gama.

Vamos voltar à situação-realidade apresentada no convite ao estudo desta Unidade?

Em meio a suas pesquisas, Henrique descobre que os raios X destinados ao uso na Radiologia Industrial são gerados em uma ampola com invólucro de vidro, denominada tubo de Coolidge, que possui duas partes distintas, chamadas de ânodo e cátodo, e o choque entre estas forma os raios X. Após a descoberta de como é formado o raio X na Radiologia Industrial, Henrique buscou novos conhecimentos e descobriu que os raios gama são formados artificialmente em reatores nucleares.

Henrique constatou, então, que as fontes de raios X e raios gama são de extrema importância para a aquisição da imagem radiográfica na Radiologia Industrial, e viu que uma das fontes de radiação é emitida através das camadas eletrônicas dos átomos e que sua emissão é de forma desordenada, porém possui um padrão. Já outra fonte de radiação tem fenômenos de ativação desenvolvidos pelo homem, em que elementos naturais são colocados no núcleo dos reatores, formando a radiação. Diante do apresentado, você consegue ajudar Henrique a distinguir como são gerados os raios X e os raios gama? Saberia ajudá-lo a descobrir o que é ânodo e cátodo?

Não pode faltar

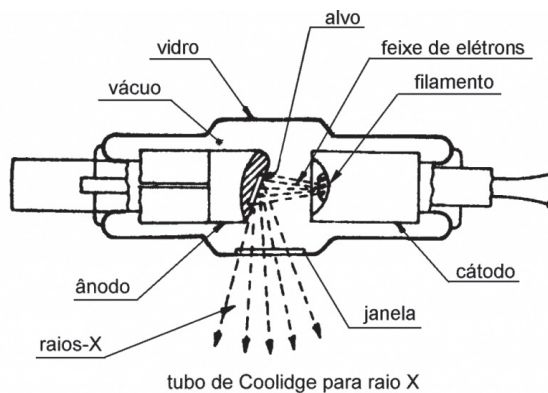
Quando falamos de fontes radioativas na Radiologia Industrial, é fundamental abordarmos os raios X e raios gama. Podemos dizer que os raios X são gerados em uma

ampola com invólucro de vidro, denominada tubo de Coolidge; o ânodo é constituído de tungstênio, denominado alvo, e possui polo positivo; e o cátodo é constituído por um pequeno filamento por onde passa uma corrente elétrica ordenada, em miliamperes, e possui polo negativo.

Os efeitos causados pelo ânodo (efeitos anódicos) são devido à diferença da radiação produzida ao atingir o lado do cátodo. Esses efeitos provocam variações espaciais na intensidade do feixe de luz resultando em uma variação de densidade óptica da imagem, isto é, em uma variação da escala de cinza no filme radiografado. Os efeitos causados pelo cátodo (efeitos catódicos) ocorrem por emissão termiônica, em que os elétrons são acelerados até o ânodo e atingem um ponto determinado denominado alvo.

Abaixo, veremos a ilustração do tubo de Coolidge, contendo todos os seus componentes estruturais.

Figura 1.10 | Ilustração do tubo de Coolidge



Fonte: <<http://odontoup.com.br/wp-content/uploads/2012/02/raiox.png>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

Ao ligar a corrente elétrica de um equipamento, o tubo de raios X é acionado automaticamente e o filamento é aquecido. Ele passa a emitir elétrons, que são atraídos em direção ao alvo, causando uma interação entre os elétrons e os átomos de tungstênio. Após essa interação ocorre uma desaceleração dos elétrons e acontece a transformação da energia cinética em emissão dos raios X.

Os raios X emitidos pelo tubo apresentam uma variação muito grande de comprimento de onda, tendo então uma descontinuidade de energia. Isso ocorre devido ao fato de os raios X serem gerados nas camadas eletrônicas dos átomos através de vários processos físicos, onde apresentarão um espectro de emissão contínua.

Os raios X possuem características específicas, como as seguintes:

- É radiação eletromagnética.

- Propaga-se no ar ou no vácuo com trajetória retilínea e velocidade da luz.
- São atenuados, espalhados e ultrapassam a matéria.
- Seus feixes são distribuídos em pequena quantidade de energia eletromagnética, denominados fótons.
- Sua radiação é classificada como artificial e ionizante.



Assimile

Os raios X são produzidos em tubos especiais também chamados de ampolas. Seus tamanhos são em função da tensão máxima do equipamento e apresentam uma variação muito grande de comprimento de onda, tendo uma descontinuidade em sua energia.

Uma atenção especial deve ser dada ao alvo (onde ocorre o choque do ânodo com o cátodo), contido no ânodo, pois quando sua superfície é atingida pelo fluxo eletrônico proveniente do filamento (denomina-se foco térmico), é muito importante que esta superfície seja grande para evitar um superaquecimento local, de outra forma o ânodo poderia ser deteriorado, permitindo uma rápida transmissão do calor.



Refleta

A formação dos raios X ocorre através do choque do ânodo com o cátodo, essa energia cinética é transformada em raios X e calor, dos quais 99% são transformados em calor e apenas 1% em radiação.

A partir do avanço na tecnologia, os reatores se aprimoraram na realização e produção artificial dos isótopos, sendo esses materiais radioativos. Isso ocorre através de reações nucleares de ativação, chamadas de raios gama.



Pesquise mais

Saiba mais sobre os raios X e Gama na Radiologia Industrial:

COSTA, Rui Miguel Matos Correia. **Estudo do campo de radiação na envolvente de instrumentação radiológica utilizada na indústria**. Lisboa: Universidade Nova Lisboa, 2009. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/2568/1/Costa_2009.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

Quando os elementos naturais são colocados junto ao núcleo de um reator que será irradiado por nêutrons térmicos, eles conseguem atingir o núcleo do átomo e o penetram, criando então uma quebra de equilíbrio energético, e ao mesmo tempo mudando sua massa atômica, caracterizando assim como um isótopo. Esse fenômeno é chamado de ativação. Já quando ocorre a liberação de energia na forma de raios gama, podemos dizer que o estabelecimento de energia do núcleo do átomo foi liberado.

Tempo de meia-vida é o tempo que o material leva para decair à metade de sua atividade radioativa. Essa radioatividade do radioisótopo se caracteriza através da desintegração que ocorre em um intervalo de tempo.

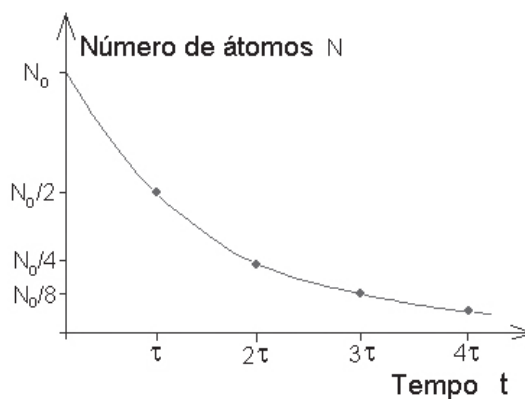
A meia-vida é classificada como a quantidade de tempo característica de um decaimento exponencial, isto é, se a quantidade que decai possui um valor no início do processo, na meia-vida a quantidade terá metade deste valor, sendo então 50% (cinquenta por cento).



Exemplificando

Quando o átomo é submetido ao processo de ativação, seu núcleo se encontra em um estado excitado de energia e passa a emitir radiação. Conforme passa o tempo, essa radiação diminui gradativamente, e esse processo é chamado de fenômeno de Decaimento Radioativo, ou propriamente dito tempo de meia-vida.

Figura 1.11 | Decaimento exponencial



Fonte: <<http://www.seara.ufc.br/donafifi/datacao/datacao1.htm>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

À medida que os elementos radioativos vão se desintegrando, no decorrer do tempo, a sua quantidade e atividade vão reduzindo e, por consequência, a quantidade

de energia emitida por ele, em razão da radioatividade, também é reduzida.

Os elementos radioativos, em virtude da desintegração, sofrem uma redução de massa: ela é reduzida pela metade nos períodos de semidesintegração, deixando ainda a outra metade por se desintegrar, que também passará pelo período de semidesintegração, e assim sucessivamente. Dessa forma, o decaimento radioativo é a atividade de certo elemento diminuir gradativamente, porém nunca se torna igual a zero.

A unidade-padrão de atividade para a radiação gama é o Becquerel, definida como a quantidade de qualquer material radioativo sofrer uma desintegração por segundo.

Os processos de meia-vida de um material (radioisótopo) são considerados como o tempo necessário para ocorrer à desintegração da metade desse elemento, e pode ocorrer em segundos ou até mesmo em bilhões de anos, dependendo do elemento.

A atividade de um radioisótopo é caracterizada pelo número desintegrações que ocorrem em certo intervalo de tempo. Como a atividade apresenta uma proporcionalidade com o número de átomos excitados presentes no elemento radioativo, podemos expressá-la por meio de uma fórmula semelhante à do Decaimento Radioativo, em que a constante da atividade é $A = \lambda \cdot N$ (número desintegrações). Sua fórmula é:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Onde:

A_0 = atividade inicial do elemento radioativo.

A = atividade do elemento radioativo depois de transcorrido certo intervalo de tempo.

λ = constante de desintegração.

t = tempo transcorrido.

Ao produzir uma fonte radioativa, colocamos em estado excitado certa quantidade de átomos na fonte, isso ocorre através da Lei do Decaimento Radioativo – esse número de átomos excitados diminui com o passar do tempo, segundo as características do elemento radioativo. Após certo intervalo de tempo, podemos ter no material radioativo exatamente a metade do número inicial de átomos excitados,

então se denomina meia-vida do elemento radioativo ao intervalo de tempo. Como a taxa em que os átomos se desintegram é diferente de um elemento para outro, a meia-vida também será uma característica de cada elemento. Podemos observar essa diferença na tabela periódica.

O intervalo de tempo em que ocorre a desintegração radioativa é chamado de meia-vida e é representado pelo símbolo "T1/2". Sua fórmula é:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Onde:

T1/2 = meia-vida do elemento

λ (lambda) = constante de desintegração radioativa

Figura 1.12 | Tabela periódica

Tabela periódica dos elementos

Elemento central destacado: **Fe** (Ferro), número atômico 26, configuração eletrônica [Ar] 3d⁶ 4s².

Legenda de propriedades químicas:

- metais alcalinos
- metais alcalino-terrosos
- outros metais
- metais de transição
- actinídeos

Legenda de propriedades físicas:

- semimetais
- não metais
- halogênios
- gases nobres
- propriedades químicas desconhecidas

Legenda de propriedades atômicas:

- metais alcalinos
- metais alcalino-terrosos
- outros metais
- metais de transição
- actinídeos

Diagrama de configuração eletrônica:

notas:

- * por exemplo, os elementos 113, 115, 117 e 119 são considerados metais.
- * 113 e 115 são considerados metais.
- * 117 e 119 são considerados não metais.
- * 113 e 115 são considerados metais.
- * 117 e 119 são considerados não metais.

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Periodic_table_large-pt_PT.svg>. Acesso em: 16 abr. 2016.

Na Tabela Periódica podemos identificar as características e propriedades dos elementos químicos, sendo possível prever o comportamento do átomo e das moléculas, além da verificação de propriedades como a eletronegatividade, raios iônicos e sua energia de ionização. Entre parênteses ficam os números de massa dos elementos radioativos.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de identificar os raios X e raios gama, assimile o conteúdo abordado efetuando um levantamento bibliográfico sobre os conceitos e fundamentos dos raios X e raios gama na Radiologia Industrial.

Relembrando o conteúdo visto na seção 1.3 deste livro, é importante ressaltar que a Radioatividade é definida como a emissão espontânea da radiação por núcleo atômico que se encontra em um estado excitado de energia. Há três tipos de radiação, denominados partículas Alfa (α), partículas Beta (β) e partículas Gama (γ).

As partículas Alfa (α) constituem-se por dois nêutrons e dois prótons, caracterizando um núcleo atômico de Hélio. A radiação alfa possui pouco poder de penetração.

As partículas Beta (β) constituem-se por elétrons (carga elétrica negativa) e possuem uma velocidade próxima da velocidade da luz. Seu poder de penetração é intermediário.

As partículas Gama (γ) são de natureza ondulatória, não possuem carga nem massa. Têm maior poder de penetração.



Vocabulário

Efeito anódico: é o efeito causado pela ligeira diferença da radiação produzida e que atinja a película do lado do cátodo com mais intensidade, provocando uma variação espacial na intensidade do feixe de luz que resulta na variação da densidade óptica da imagem que será formada no filme radiográfico.

Miliampères: equivale ao tempo em que seu ajuste é o fator primário para o controle da densidade óptica ou grau de enegrecimento do filme.

Sem medo de errar

Após estudarmos que as fontes de raios X e raios gama são de extrema importância para a aquisição da imagem radiográfica na Radiologia Industrial, ajude Henrique a resolver a situação-problema que se constitui em distinguir como são gerados os raios X e os raios gama e ainda a descobrir o que é ânodo e cátodo.

Estudando os raios X, constatou-se que a radiação é emitida através das camadas eletrônicas dos átomos e que sua emissão é de forma desordenada, porém possui um padrão. Já os raios gama são considerados como fenômenos de ativação

desenvolvidos pelo homem em que elementos naturais são colocados no núcleo dos reatores, formando então a radiação gama.

Define-se ânodo como pólo positivo do tubo de raios X, que serve de suporte para o alvo e atua como elemento condutor de calor. O cátodo é definido como pólo negativo do tubo de raios X, sua função é emitir elétrons e focalizá-los em forma de um feixe bem definido apontando para o ânodo.



Atenção

Quando ocorre a liberação de energia na forma de raios gama, podemos dizer que o estabelecimento de energia do núcleo do átomo foi liberado.

Avançando na prática

Fontes de Raios X e Raios Gama

Descrição da situação-problema

O tempo de meia-vida é o tempo que o material leva para decair à metade de sua atividade radioativa. Essa radioatividade do radioisótopo se caracteriza pela desintegração a qual ocorre em um intervalo de tempo. Explique como ocorre a desintegração de materiais radioativos.



Lembre-se

A unidade-padrão de atividade para a radiação gama é o Becquerel, definida como a quantidade de qualquer material radioativo que sofre uma desintegração por segundo.

Resolução da situação-problema

A meia-vida é classificada como a quantidade de tempo característica de um decaimento exponencial, isto é, se a quantidade que decai possui um valor no início do processo, na meia-vida a quantidade terá metade desse valor, sendo então 50% (cinquenta por cento).

À medida que os elementos radioativos vão se desintegrando, no decorrer do tempo, a sua quantidade e a sua atividade vão reduzindo e, por consequência, a quantidade de energia emitida por ele, em razão da radioatividade, também é reduzida.

**Faça você mesmo**

Agora que você já é capaz de assimilar os raios X e raios gama na Radiologia Industrial, elabore uma situação abordando um tema visto na seção e relacione-o com o decaimento radioativo. Apresente-o para o professor utilizando tabelas ilustrativas relacionadas ao tempo de meia-vida.

Faça valer a pena

1. Os raios X destinados ao uso da Radiologia Industrial são gerados em uma ampola com invólucro de vidro. Como é denominado esse invólucro de vidro?

- a) Tubo de Cooladge.
- b) Tubo de Corolidge.
- c) Tubo de Coolidge.
- d) Tubo de Caolidge.
- e) Tubo de Colledge.

2. São considerados como fenômenos de ativação desenvolvidos pelo homem em que elementos naturais são colocados no núcleo dos reatores. Assinale a alternativa correta:

- a) Raios X.
- b) Raios alfa.
- c) Raios beta.
- d) Raios gama.
- e) Raios neutro.

3. Como ocorre o efeito causado pelo cátodo? Assinale a alternativa correta:

- a) Ocorre por emissão termiônica.
- b) Ocorre por emissão iônica.
- c) Ocorre por emissão biônica.
- d) Ocorre por emissão monômera.
- e) Ocorre por emissão fotômetro.

Referências

ANDREUCCI, Ricardo. **Aspectos industriais: proteção radiológica**. São Paulo: ABENDI, 2014. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

BETELLI, Thomaz. **Física e dosimetria das radiações**. São Paulo: Atheneu, 2006.

BONTRAGER, Kenneth L. **Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada**. 7. ed. São Paulo: Elsevier, 2010.

COSTA, Rui Miguel Matos Correia. **Estudo do campo de radiação na envolvente de instrumentação radiológica utilizada na indústria**. Lisboa: Universidade Nova Lisboa, 2009. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/2568/1/Costa_2009.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2016.

FONSECA, V. B. **Tratamento de imagens radiográficas para melhoria de detecção de porosidade em cordões de solda**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014116.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

GONÇALVES, Elicardo Alves de Souza. **Desenvolvimento de um sistema de radioscopia analógica/digital**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais)–Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/ElicardoAlvesDeSouzaGoncalves.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2016.

MARTINS, M. M. **O Serviço de radiografia industrial no Brasil sob o aspecto da proteção radiológica**. 1994. Dissertação (Mestrado em Biologia)–Instituto de Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/26/069/26069598.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2016.

NOBREGA, Almir Inácio. **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem**. 3. ed. São Paulo: DCL, 2006.

PINO, E. S.; GIOVEDI, C. Radiação ionizante e suas aplicações na indústria. **Revista UNILUS: Ensino e Pesquisa**, v. 2, n. 2, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://revista.lusiada.br/index.php/ruep/article/view/18/u2005v2n2e18>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

TAUHARA, Luiz et al. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003.

TOPANOTTI, F. **Avaliação da toxicidade de revelador e fixador de radiografias provenientes de clínicas odontológicas utilizando *Daphia magna* e *Allium cepa* L.** 2010. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)–Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000044/0000448A.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

Equipamentos em radiologia industrial

Convite ao estudo

Prezado aluno, daremos continuidade ao estudo de equipamentos em Radiologia Industrial. Nesta unidade de ensino, estudaremos as aplicações industriais das técnicas de exposição radiográficas, bem como os equipamentos de Radiologia Industrial.

Na Seção 2.1, estudaremos as técnicas de exposição radiográficas, as aplicações industriais, abordando os medidores nucleares, traçadores radioativos, raios X de bagagens, irradiadores industrial e de alimentos.

Em seguida, na Seção 2.2, veremos os equipamentos e fontes de radiação utilizadas em Radiologia Industrial.

Já na Seção 2.3, abordaremos os equipamentos de gamagrafia, raios X e aceleradores industriais.

Por fim, na Seção 2.4, estudaremos os equipamentos de inspeção de segurança por raios X e raios gama, que são compostos por escâneres fixos e móveis.

O objetivo desta unidade de ensino é enfatizar os conceitos e técnicas das aplicações industriais, bem como os equipamentos utilizados em Radiologia Industrial e, para isso, apresentaremos uma situação realidade para que você se aproxime dos conteúdos teóricos. Vamos lá!

Anna Julia e Paulo Gabriel foram ao aeroporto da cidade onde moram e começaram a analisar o embarque das bagagens, como é realizada a vistoria e a identificação de objetos metálicos e de drogas ilícitas nas bagagens, e como

ocorrem os raios X das pessoas que embarcam para viagens. Ambos ficaram fascinados ao perceberem que o computador capta a imagem no interior das bagagens e interpreta os dados recebidos pelos receptores, identificando na tela se há ou não objetos metálicos no interior das malas. Essa identificação ocorre através de cores diferentes em relação ao tipo de material. Ao saírem do aeroporto, começaram a pesquisar mais sobre o processo de embarque e desembarque das bagagens, levantando questões de como ocorre a inspeção, quais os métodos de segurança das fontes de radiação ionizante no setor aeroviário, como esses equipamentos funcionam, como ocorre a segurança radiológica deles, qual a capacidade exigida para os operadores do equipamento e qual o potencial de dano à população. Além disso, Anna e Paulo também iniciaram uma vasta pesquisa sobre as técnicas e aplicações industriais e seus equipamentos equivalentes em relação à exposição radioativa.

Seção 2.1

Aplicações industriais das técnicas de exposição radiográfica

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo! A partir de agora, iniciaremos os estudos sobre as aplicações industriais das técnicas de exposição radiográfica.

A leitura desta unidade irá ampliar sua compreensão sobre as técnicas de exposição radiográfica, aplicações industriais como medidores nucleares, traçadores radioativos, raios X de bagagens, irradiadores industrial e de alimentos. Para dar início ao estudo deste tema é necessário o conhecimento básico da Radiologia Industrial e seu processo de formação e aquisição da imagem.

Vamos retomar a situação realidade, em que dois jovens resolvem discutir as aplicações industriais em relação às técnicas de exposição à radiação e os métodos de medi-la.

Anna Julia e Paulo Gabriel foram ao aeroporto da cidade onde moram e analisaram o processo de captação das imagens de raios X das pessoas e de suas bagagens. Ao saírem do aeroporto, começaram a pesquisar mais sobre o processo de embarque e desembarque das bagagens, levantando questões de como ocorre a inspeção, quais os métodos de segurança das fontes de radiação ionizante no setor aeroviário, como esses equipamentos funcionam, como ocorre a segurança radiológica deles, qual a capacidade exigida para os operadores do equipamento e qual o potencial de dano à população.

Com base nas pesquisas e questionamentos de Anna e Paulo, você saberia dizer qual o processo dos detectores de metais para bagagens e passageiros nos aeroportos? Como deve ser o protocolo de inspeção e segurança das fontes de radiação ionizante industrial em relação ao funcionamento dos equipamentos?

O que você precisa conhecer para ser capaz de resolver a situação-problema? Para isso, você deve compreender e identificar as técnicas de exposição radiográficas.

Não pode faltar

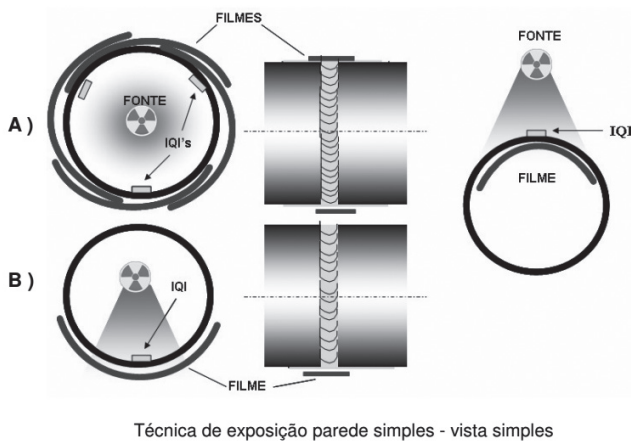
Você saberia dizer como ocorrem as Técnicas de Exposição Radiográfica?

Para entendermos melhor, essas técnicas são recomendadas por normas e especificações nacionais e internacionais que se baseiam nas disposições e arranjos geométricos entre a fonte de radiação, a peça e o filme, seguindo padrões de qualidade para realizar uma boa imagem.

Classificam-se então as Técnicas de Exposição Radiográfica em: técnicas de paredes simples, técnicas de exposição panorâmica e técnica de paredes duplas.

As técnicas de paredes simples são as mais utilizadas, porém sua interpretação é mais difícil de ser realizada. O arranjo referente ao posicionamento da peça entre a fonte de radiação, peça e filme ficam mais distantes, fazendo com que haja uma descontinuidade na imagem radiografada. Somente a seção da peça que está próxima ao filme terá sua projeção inspecionada em uma única espessura de material, conforme a ilustração da Figura 2.1.

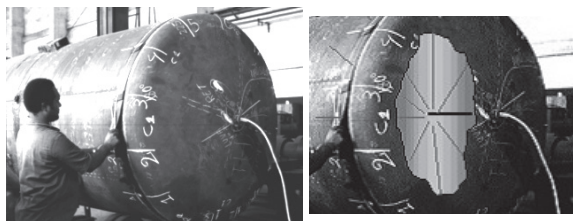
Figura 2.1 | Imagem radiográfica das técnicas de paredes simples



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

Já as técnicas de exposição panorâmica ocorrem da mesma forma que as de paredes simples, porém proporcionam alta produtividade e rapidez nas imagens de soldas e juntas circulares com acesso interno, permitindo uma única exposição onde os filmes são irradiados igualmente e sua disposição é de 360 graus, possibilitando uma captação de imagem mais completa, visualizando toda a sua circunferência, conforme Figura 2.2

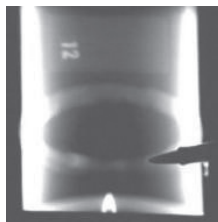
Figura 2.2 | Imagem radiográfica das técnicas de panorâmicas



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

E a técnica de paredes duplas pode ser de forma simples ou dupla, pois ambas atravessam duas seções da peça. Quando falamos de parede dupla simples, o feixe de radiação proveniente da fonte atravessa a espessura da peça, porém só projeta no filme a seção mais próxima. Já a técnica de parede dupla, o feixe de radiação proveniente da fonte também atravessa duas espessuras, porém consegue projetar no filme a imagem de duas seções da peça. A grande diferença é que na técnica simples sua utilização é para espessura com mais de 3 ½ polegadas em tubulações fechadas, e a dupla é utilizada para espessura com menos de 3 ½ polegadas em tubulações fechadas.

Figura 2.3 | Imagem radiográfica das técnicas de parede dupla



Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAANOMAG/radiologia-industrial?part=9>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

Na Figura 2.3, podemos observar que o feixe de radiação atravessa duas espessuras e sua projeção é realizada em duas seções no filme.



Exemplificando

É importante compreendermos as disposições e arranjos geométricos entre a fonte de radiação, a peça, e o filme, para a visualização de falhas e descontinuidades projetadas através das imagens. Para isso, devemos seguir as normas e especificações nacionais e internacionais.

- **Medidor nuclear**

Medidores nucleares são dispositivos que utilizam fontes radioativas para medidas de parâmetros, tais como: espessura, densidade, umidade e nível, que normalmente

incorporam uma fonte radioativa selada, um detector de radiação e um obturador. Embora a radiação seja emitida o tempo todo, o obturador pode ser fechado para blindar o feixe de radiação.

O **medidor nuclear** é um dispositivo de controle de qualidade que emprega as propriedades das radiações ionizantes, possui métodos modernos e automáticos para controlá-lo e assegurar a qualidade dos produtos em que empregam fontes seladas, sendo elas sem contato com o meio externo, devendo ser armazenadas em um irradiador e servir de porta fonte e blindagem para a radiação. Sua principal função é controlar os processos de alta velocidade, materiais com temperaturas extremas ou propriedades químicas nocivas, materiais suscetíveis a danos por contato e produtos envasados.

Os medidores nucleares podem ser classificados como: Medidores de transmissão, Medidores de retrodispersão ou retroespalhamento, Medidores reativos, Medidores de espessura, Medidores de nível e Medidores de fluxo.

- **Traçadores radioativos**

Possuem esse nome porque as radiações emitidas por radioisótopos podem atravessar a matéria dependendo de sua energia, e são detectadas de onde estiverem, através de aparelhos apropriados, denominados detectores de radiação. Dessa forma, o deslocamento de um radioisótopo pode ser acompanhado.

Os **traçadores radioativos** são substâncias marcadas com um átomo radioativo que permite fácil detecção e medição. São usados nos segmentos industriais de óleo e gás, químico, alimentos e tabaco, bem como na gestão de recursos hídricos e pesquisas científicas, além de aplicações médicas.



Pesquise mais

Saiba mais sobre os Traçadores Radioativos e fontes Radioativas Seladas no site do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN. Disponível em: <https://www.ipen.br/portaL_por/portal/interna.php?secao_id=735>. Acesso em: 25 abr. 2016.

- **Raios X de bagagens**

São equipamentos que obedecem todas as normas nacionais e internacionais (CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear) aplicáveis às radiações ionizantes, na área de saúde e segurança do trabalho.

Quando falamos de raios-X de bagagens, podemos dizer que é a medida de segurança classificada como uma das mais importantes nos aeroportos, cujo objetivo

é confirmar a identidade de funcionários e passageiros, verificando, se há algum material suspeito nas bagagens. Após a identificação, são liberados para a área interna do aeroporto (embarque). O acesso do público é realizado através do terminal onde cada passageiro passa por um detector de metal e sua bagagem de mão passa pela máquina de raios X, cuja função é identificar se no interior da bagagem há objetos metálicos ou drogas ilícitas. Já nos passageiros, é verificado se carregam algum objeto metálico e, caso possuam, o portal irá emitir um sinal sonoro (um apito), tornando possível identificar facilmente se algum passageiro estiver portando algum tipo de armamento ou droga.



Assimile

Os equipamentos de raios X de bagagens trabalham com um alto grau de energia, capaz de atravessar qualquer material orgânico e misto. A intensidade com que os raios X atravessam cada objeto vai depender do material de que ele é composto. Podemos dizer que os materiais orgânicos são radiotransparentes, pois conseguimos visualizar nitidamente, já que deixam passar toda a radiação. Quando temos materiais metálicos, não conseguimos visualizar nitidamente seu interior, pois são radiopacos e barram a passagem de radiação. Esse tipo de aquisição da imagem de bagagens é classificado de duas formas: quando há um bloqueio da imagem objeto, será classificada como radiação fraca; quando há a passagem livre da radiação, é classificada como radiação forte.

No processo de detecção dos raios X de bagagens, podemos dizer que o computador, ao captar a imagem, interpreta os dados recebidos pelos receptores das primeiras e segundas camadas, caso a radiação não chegue à primeira, significa que há um metal na mala, caso chegue, significa que não possui metal na mala, se chegar à segunda camada, podemos dizer que o material no interior da bagagem é orgânico.

De acordo com a Figura 2.4, podemos observar que o computador pinta os objetos com cores diferentes, de acordo com o material.

Figura 2.4 | Raios X de bagagens



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gp_raiox.jpg>. Acesso em: 25 abr. 2016.



Reflita

O processo dos detectores de metais para bagagens e passageiros nos aeroportos ocorre através de um portal em que, por meio de um campo eletromagnético, capta a presença de metal tanto em bagagens como em pessoas e animais domésticos. O aparelho percebe a mudança de frequência no campo e apita.

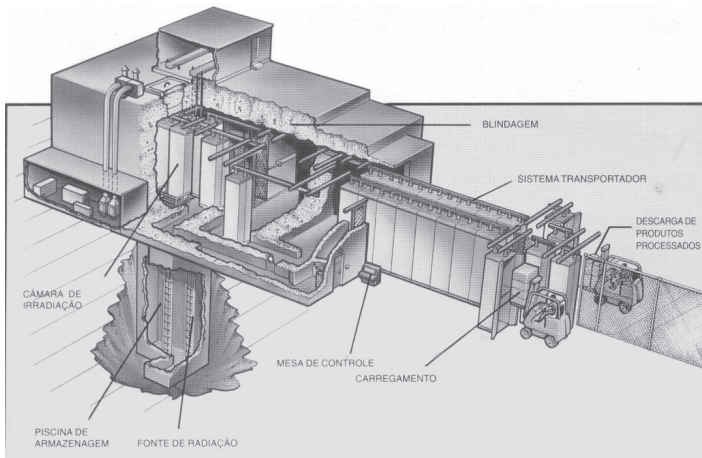
- **Irradiadores**

Quando abordamos os **irradiadores industriais** de grande porte, podemos dizer que eles utilizam fontes radioativas que emitem radiações ionizantes de alta energia e são muito penetrantes, como no processo de esterilização de produtos médicos, na conservação de alimentos, em tratamentos de resinas e revestimentos de superfícies, quando os níveis de radiação dentro da sala de irradiação são muito altos. É muito importante que ninguém esteja presente dentro da sala no momento da irradiação, a não ser que a fonte radioativa esteja na posição totalmente blindada ou a alta tensão tenha sido desligada.

Os **irradiadores de alimentos** são equipamentos constituídos por uma fonte de Cobalto 60, instalado em uma câmara de irradiação cujas paredes são blindadas com concreto baritado. Quando a fonte não está sendo utilizada, ela fica armazenada em uma piscina blindada de aço inox e, em seu interior, a fonte fica submersa com água tratada para a realização do seu resfriamento, conforme ilustração da Figura 2.5.

O processo de irradiação dos alimentos ocorre através de uma dose programada de radiação gama, quando os alimentos são colocados em containers e estes são conduzidos para o interior da câmara de irradiação através de esteiras. Assim, o operador do equipamento controla e monitora todo o processo de irradiação através de um console que se localiza fora da câmara de irradiação.

Figura 2.5 | Irradiador de alimentos



Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABUCEAK/historia-radiologia-irradiacao-alimentos>>. Acesso em: 25 abr. 2016.



Faça você mesmo

Para aprofundar mais seus conhecimentos, pesquise sobre Radiação de Alimentos, efetuando um levantamento de seus benefícios e malefícios.

Um dos principais processos de irradiação de alimentos é prolongar o tempo de durabilidade como de frutas frescas, vegetais e carnes. Esse processo também esteriliza os alimentos, eliminando as bactérias e matando larvas e ovos de insetos sem prejuízo no alimento.



Vocabulário

Produtos Envasados: produtos que foram colocados em um recipiente.

Retrodispersão: dispersão de radiação (ou partículas) através de ângulos maiores do que 90° em relação à direção inicial do movimento.

Retroespalhamento: espalhamento de uma partícula em que ocorre um desvio maior que 90° na sua trajetória; retrodifusão, retrodispersão.

Sem medo de errar

Com base nas pesquisas e questionamentos de Anna e Paulo, você saberia dizer qual o processo dos detectores de metais para bagagens e passageiros nos aeroportos? Como deve ser o protocolo de inspeção e segurança das fontes de radiação ionizante industrial em relação ao funcionamento dos equipamentos?

O processo ocorre através de um portal em que, por meio de um campo eletromagnético, capta a presença de metal tanto em bagagens como em pessoas e animais domésticos. O aparelho percebe a mudança de frequência no campo e apita. Os protocolos de inspeção de segurança devem seguir os padrões e protocolos da Anvisa, cujas ações de Vigilância Sanitária são do Estado, tornando indispensável reconhecer as necessidades de aplicações da imposição legal de poder e dever de fiscalizar e autuar os responsáveis por práticas que apresentem riscos à saúde individual e coletiva, situação que determina a de investir/designar os profissionais para o exercício da função de fiscal.



Atenção

O processo de irradiação dos alimentos ocorre através de uma dose programada de Radiação Gama.

Avançando na prática

Aplicações Industriais das técnicas de exposição radiográfica

Descrição da situação-problema

No processo de raios X de bagagens, ao analisar o interior das malas, foi observado com cores diferenciadas tudo o que continha em seu interior, como: notebook, alicate, carregador e todos os objetos que continham algo metálico. Podemos afirmar que na bagagem de mão não é permitido o transporte de líquidos e materiais cortantes, dessa forma, os passageiros deverão entregá-los ao funcionário responsável do aeroporto para realizar o embarque, caso se recusem serão impedidos de seguir viagem. Esses conceitos seguem quais normas?



Lembre-se

Os medidores nucleares podem ser classificados como: medidores de transmissão, medidores de retrodispersão ou retroespalhamento, medidores reativos, medidores de espessura, medidores de nível e medidores de fluxo.

Resolução da situação-problema

Eles obedecem todas as normas nacionais e internacionais (CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear), aplicáveis às radiações ionizantes, na área de saúde e segurança do trabalho.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os conceitos gerais e os fundamentos das aplicações industriais e técnicas de exposição radiográficas, faça um levantamento sobre suas classificações, listando-as e, após isso, discuta em sala de aula os pontos mais relevantes.

Faça valer a pena

1. As técnicas de _____ são recomendadas através de normas e especificações nacionais e internacionais, que se baseiam nas disposições e arranjos _____ entre a fonte de radiação, a peça, e o filme, seguindo padrões de _____ para realizar uma boa imagem.

Assinale a alternativa que complete corretamente as lacunas:

- a) Exploração, geométricos, qualidade.
- b) Exposição, geométricos, quantidade.
- c) Exploração, trigonométricos, qualidade.
- d) Exploração, geométricos, quantidade.
- e) Exposição, geométricos, qualidade.

2. São as mais utilizadas, porém sua interpretação é mais difícil de ser realizada. O arranjo referente ao posicionamento da peça entre a fonte de radiação, peça e filme ficam mais distantes, fazendo com que haja uma descontinuidade na imagem radiografada, somente a seção da peça que está próxima ao filme terá sua projeção inspecionada em uma única espessura de material.

Assinale a alternativa correta em relação à técnica descrita acima:

- a) Técnicas de Paredes Composta.
- b) Técnicas de Paredes Duplas.
- c) Técnicas de Paredes Simples.
- d) Técnicas de Paredes Divergentes.
- e) Técnicas de Paredes Convergentes.

3. As classificações das Técnicas de Exposição Radiográfica são divididas em três tipos diferentes de aquisições de imagens.

Com base no conteúdo, assinale a alternativa correta:

- a) Paredes Simples, Exposição Panorâmica e Parede Dupla.
- b) Paredes Simples, Exposição Panorâmica e Parede Tripla.
- c) Paredes Composta, Exposição Panorâmica e Parede Dupla.
- d) Paredes Simples, Exposição Panorâmica e Parede Tripla.
- e) Paredes Composta, Exposição Panorâmica e Parede Dupla.

Seção 2.2

Equipamentos em radiologia industrial I

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à Seção 2.2. Nesta seção, estudaremos os equipamentos e as fontes de radiação utilizadas na Radiologia Industrial. O estudo e compreensão desta seção facilitarão a resolução da próxima situação-problema apresentada, que está relacionada aos equipamentos em Radiologia Industrial.

Vamos voltar à situação realidade apresentada na Seção 2.1?

Anna Julia e Paulo Gabriel foram ao aeroporto da cidade onde moram e, ao saírem de lá, começaram a pesquisar mais sobre o processo de embarque e desembarque das bagagens, levantando questões de como ocorre a inspeção e quais os métodos de segurança das fontes de radiação ionizante no setor aeroviário e como esses equipamentos funcionam, como procede a segurança radiológica deles, qual a capacidade exigida para os operadores do equipamento e qual o potencial de dano à população. Além disso, Anna e Paulo também iniciaram uma vasta pesquisa sobre as técnicas e aplicações industriais e seus equipamentos equivalentes em relação à exposição radioativa.

De modo a auxiliar a pesquisa de Anna e Paulo, descreva como deve ser feita a segurança radiológica dos equipamentos utilizados na Radiologia Industrial. Ainda, auxilie no entendimento do processo de embarque das bagagens e como a radiação coopera com os processos de segurança em aeroportos.

Na Seção 2.2, vamos estudar a importância dos equipamentos e das fontes de radiação.

Não pode faltar

Quando falamos de equipamentos de radiação ionizante e de fontes de radiação, podemos dizer que são produzidos em ampolas especiais, onde seu tamanho é em função da tensão máxima que o aparelho pode operar. É preciso se atentar ao alvo

contido no ânodo, pois sua superfície tem que ser grande o suficiente para ser atingida pelo fluxo eletrônico gerado pelo filamento, sendo, então, denominado como foco térmico. Caso não seja o suficiente, ocorrerá um superaquecimento no local, que irá deteriorar o ânodo, permitindo uma pequena transmissão de calor. Obtemos imagens com nitidez máxima quando as dimensões do foco óptico estiverem o menor possível, as especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões que devemos utilizar, a unidade de medida da carga focal é Watts por milímetro quadrado (W/mm^2).

Figura 2.6 | Equipamento gerador de radiação ionizante industrial



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 6 mai. 2016.

A Figura 2.6 representa um equipamento gerador de radiação ionizante industrial direcional, pesando 24 kg e a unidade de comando 13 kg, tamanho focal 1,5 mm, com tensão de 20 a 200 kV e corrente de 0,5 a 10 mA.



Assimile

A energia transmitida pelo choque do cátodo e do ânodo dentro da ampola gera a radiação, a qual podemos afirmar que 99% é calor e apenas 1% é radiação, e para que isso ocorra, é necessária a refrigeração do ânodo, que pode ser de três formas: refrigeração por irradiação, por convecção ou por circulação forçada de água.

Na refrigeração por irradiação, o bloco de tungstênio, que compõe o alvo, se aquece e o calor se irradia pelo ânodo.

Na refrigeração por convecção, o calor irradiado pelo ânodo é transmitido ao prolongamento de cobre, o qual está imerso em óleo ou gás e refrigera por convecção natural, ou por circulação.

Já a refrigeração por circulação forçada de água ocorre através da circulação de água por uma serpentina interna à unidade geradora, sendo muito eficaz e permitindo o uso do aparelho por longos períodos.

Podemos classificar os equipamentos de radiação ionizante como de alta e de baixa energia. Quando falamos em alta energia, temos a voltagem superior a 120 Kv (quilovoltagem), e são chamados de raios X duros; já os de baixa energia são inferiores a 50 Kv, e são chamados de raios X moles. Esse conceito se refere à quantidade de radiação produzida, sendo assim, quando aumentamos a corrente do filamento, fazemos com que ele aqueça mais rapidamente e libere um maior número de elétrons, o que irá gerar um aumento na intensidade da radiação gerada. Dessa forma, podemos dizer que a energia da radiação se relaciona com a capacidade de penetração no material desejado, já a intensidade se relaciona com a exposição da radiação.

A Figura 2.7 ilustra os tipos e os calibres dos equipamentos de radiação ionizante, sendo eles classificados de acordo com a espessura do objeto a ser radiografado.

Figura 2.7 | Equipamento de radiação ionizante e inspeção radiográfica de soldas em tubos



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 6 mai. 2016.



Refleta

Na Radiografia Industrial, os raios X e raios gama podem revelar falhas escondidas em materiais metálicos, tais como soldas em tubulações. Os termos radiografia por raios X e gamagrafia já indicam o tipo de radiação utilizada.

O operador de Radiologia Industrial precisa da cooperação dos outros trabalhadores de modo a realizar o trabalho com segurança. Necessita também da autorização do responsável pelo local de trabalho para dar início às operações de radiografia. Ele deve avisar com a devida antecedência a respeito de seu trabalho aos responsáveis pela área, pelo local e aos demais trabalhadores. Um operador e o responsável pelo local devem verificar os procedimentos para a realização da radiografia. Assim, devem ser colocadas informações nos locais em que se encontram as barreiras, de modo a

explicar as restrições de acesso e o significado dos sinais de aviso, conforme ilustrado na Figura 2.8.

Figura 2.8 | Placa de orientação: perigo de radiações ionizantes



Fonte: <<http://www.portaldasplacas.com.br/placa-perigo-de-radiacoes-ionizantes>>. Acesso em: 6 mai. 2016.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a Proteção Radiológica na Radiologia Industrial: LEOCADIO, João C.; TAUHATA, Luiz; CRISPIM, Vergínia R. **Análise da radioproteção em instalações abertas de radiografia industrial**. Rio de Janeiro: Programação de engenharia nuclear, 1999. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/1999/PDF/CG12BD.PDF>>. Acesso em: 6 mai. 2016

O operador de Radiologia Industrial deve fazer uso do detector de radiação ionizante de modo a verificar que:

- A fonte radioativa esteja no interior do irradiador antes do início do trabalho.
- As barreiras estejam posicionadas corretamente, ou que as taxas de exposição ao redor das barreiras se encontrem dentro dos limites estipulados.
- A fonte radioativa se encontre realmente no interior do irradiador ao final dos trabalhos de radiografia.
- A área demarcada de trabalho (balizamento) volte a ficar livre ao término das operações de radiografia.
- Os equipamentos de raios X estejam realmente desligados ao término das exposições de radiografia.

Figura 2.9 | Detector de radiação ionizante



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 6 mai. 2016.

A Figura 2.9 se refere a um detector de radiação ionizante, também conhecido como radiômetro, medidor de radiação ionizante ou contador geiger, cuja função é medir a radiação ionizante ou radiação eletromagnética. Ele detecta as radiações ionizantes alfa, beta, gama e raios X.



Exemplificando

Para a segurança da equipe que trabalha na Radiologia Industrial, é de extrema importância verificar e seguir as normas nacionais e internacionais de segurança e proteção radiológica, efetuando todos os procedimentos de forma coerente e correta, para minimizar ao máximo o risco de acidentes.

Para a segurança de quem opera os equipamentos de Radiologia Industrial é importante:

- Seguir todos os procedimentos de segurança nacional e internacional.
- Utilizar equipamentos apropriados, incluindo os colimadores.
- Se certificar de que não haja nenhuma outra equipe trabalhando na área que será realizada a radiografia.
- Fazer o uso de sinais e sinalizações claras e legíveis.
- Preparar um arranjo para áreas controladas e as necessárias barreiras.
- Certificar-se da posição em que ficará a fonte ou que durante o uso equipamentos de raios X sejam usadas barreiras para que não haja radiação, fazendo uso de medidores.

- Assegurar-se de que as fontes radioativas ou os equipamentos de raios X estejam armazenados quando não estiverem sendo usados.
- Sempre utilizar os seus dosímetros pessoais para que, mensalmente, possa ser efetuada a sua leitura, informando a quantidade de radiação que o operador do equipamento foi exposto.
- Devemos alertar todos os trabalhadores de que somente pessoas autorizadas podem ter acesso ao local onde se encontra a fonte radioativa; que devem respeitar as placas de sinalizações, devendo relatar qualquer alteração que ocorra na fonte, bem como qualquer tipo de acidente e nunca mexer ou remover equipamentos de radiografia industrial se não for qualificado ou autorizado.



Vocabulário

Convecção: transferência de calor através de um fluido que ocorre devido ao movimento do próprio fluido.

Foco óptico: é o ponto em que os raios de luz originários de um ponto no objeto convergem.

Watts: símbolo W: é a unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades (SI).

Sem medo de errar

Anna Julia e Paulo Gabriel, após a visita ao aeroporto, iniciaram uma vasta pesquisa sobre as técnicas e as aplicações industriais e seus equipamentos equivalentes em relação à exposição radioativa.

De modo a auxiliar a pesquisa de Anna e Paulo, descreva como deve ser feita a segurança radiológica dos equipamentos utilizados na Radiologia Industrial. Ainda, auxilie no entendimento do processo de embarque das bagagens e como a radiação coopera com os processos de segurança em aeroportos.

O operador de Radiologia Industrial precisa da cooperação dos outros trabalhadores de modo a realizar o trabalho com segurança. Necessita também da autorização do responsável pelo local de trabalho para dar início às operações de radiografia. Ele deve avisar com a devida antecedência a respeito de seu trabalho aos responsáveis pela área, pelo local e aos demais trabalhadores. Um operador e o responsável pelo local devem verificar os procedimentos para a realização da radiografia.

O objetivo da segurança da aviação em relação ao embarque e desembarque de bagagens é impedir atos de interferência ilícita, sobretudo vedando a entrada

nas aeronaves com objetos perigosos, como armas e explosivos e, para que isso ocorra, é necessária uma fiscalização através de scanner tanto de bagagem como de passageiros.



Atenção

A Radiografia Industrial serve para detectarmos variações de acordo com o material, espessura e também com a densidade em relação à região da peça a ser radiografada, onde a peça será analisada e comparada com uma região próxima.

Avançando na prática

Equipamentos e fontes de radiação utilizada em Radiologia Industrial

Descrição da situação-problema

Quando falamos da classificação dos equipamentos de radiação ionizante com alta e baixa energia, dizemos que na alta energia temos a voltagem superior a 120 Kv (quilovoltagem), e são chamados de raios X duros; já os de baixa energia são inferiores a 50 Kv, e são chamados de raios X moles. Esse conceito se refere à quantidade de radiação produzida. Explique como ela ocorre.



Lembre-se

É preciso se atentar ao alvo contido no ânodo, pois sua superfície tem de ser grande o suficiente para ser atingida pelo fluxo eletrônico gerado pelo filamento, sendo, então, denominado como foco térmico. Caso não seja o suficiente, ocorrerá um superaquecimento no local, que irá deteriorar o ânodo, permitindo uma pequena transmissão de calor.

Resolução da situação-problema

Esse conceito se refere à quantidade de radiação produzida, sendo assim, quando aumentamos a corrente do filamento, fazemos com que ele aqueça mais rapidamente, liberando um maior número de elétrons, o que irá gerar um aumento na intensidade da radiação gerada. Dessa forma, podemos dizer que a energia da radiação se relaciona com a capacidade de penetração no material desejado, já a intensidade se relaciona com a exposição da radiação.

**Faça você mesmo**

Agora que você já é capaz de assimilar os equipamentos e as fontes de radiação utilizadas em Radiologia Industrial. Faça um levantamento literário, focando na segurança radiológica dos equipamentos relacionados com os operadores de Radiologia Industrial.

Faça valer a pena

1. Quando falamos de _____ de radiação ionizante e fontes de radiação, podemos dizer que são produzidos em _____ especiais, onde seu tamanho é em função da _____ máxima que o aparelho pode operar.

Assinale a alternativa que complete corretamente as lacunas:

- a) Diâmetros, ampolas, tensão.
- b) Equipamentos, amplificação, tensão.
- c) Equipamentos, ampolas, tensão.
- d) Diâmetros, ampolas, recessão.
- e) Equipamentos, ampolas, pressão.

2. Assinale a alternativa correta de acordo com a obtenção da imagem na Radiologia Industrial:

- a) Obtemos imagens com nitidez máxima quando as dimensões do foco óptico não estiverem o menor possível, as especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões do foco óptico que devemos utilizar, a unidade de medida da carga focal é Watts por milímetro quadrado (W/mm^2).
- b) Obtemos imagens com nitidez máxima quando as dimensões do foco óptico estiverem o maior possível, as especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões do foco óptico que devemos utilizar, a unidade de medida da carga focal é Watts por milímetro quadrado (W/mm^2).
- c) Obtemos imagens com nitidez máxima quando as dimensões do foco óptico estiverem o menor possível, as especificações de aparelhos geralmente não mencionam as dimensões do foco óptico que devemos utilizar, a unidade de medida da carga focal é Watts por milímetro quadrado (W/mm^2).
- d) Obtemos imagens com nitidez máxima quando as dimensões do

foco óptico estiverem o menor possível, as especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões do foco óptico que devemos utilizar, a unidade de medida da carga focal não é Watts por milímetro quadrado (W/mm^2).

e) Obtemos imagens com nitidez máxima quando as dimensões do foco óptico estiverem o menor possível, as especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões do foco óptico que devemos utilizar, a unidade de medida da carga focal é Watts por milímetro quadrado (W/mm^2).

3. A energia transmitida pelo choque do cátodo e do ânodo dentro da ampola gera a radiação, a qual podemos afirmar que 99% é calor e apenas 1% é radiação. E, para que isso ocorra, é necessária a refrigeração do ânodo, que pode ser de três formas:

De acordo com o conteúdo ensinado e a afirmação apresentada, assinale a alternativa correta:

a) Refrigeração por irradiação, por convecção ou por circulação forçada de água.

b) Refrigeração por intoxicação, por convecção ou por circulação forçada de água.

c) Refrigeração por irradiação, por conversação ou por circulação forçada de água.

d) Refrigeração por irradiação, por convenção ou por captação forçada de água.

e) Refrigeração por intoxicação, por convenção ou por circulação forçada de água.

Seção 2.3

Equipamentos em radiologia industrial II

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à Seção 2.3. Nesta seção, estudaremos os equipamentos da Radiologia Industrial. O estudo e compreensão desta seção facilitarão a resolução da próxima situação-problema apresentada, que está relacionada aos equipamentos de gamagrafia, raios X e aceleradores.

Vamos voltar à situação realidade apresentada no convite ao estudo desta unidade?

Anna e Paulo continuam se aprofundando na pesquisa e ficaram fascinados com o funcionamento dos equipamentos que emitem radiação. Eles descobriram que o controle dos trilhos de metros e trens é inspecionado através da radiação, que avalia se os mesmos se encontram íntegros. Assim, resolveram se aprofundar nos estudos sobre controle de qualidade e segurança em relação aos equipamentos de proteção individual e coletiva na Radiologia Industrial. Dentro desse contexto de segurança e equipamentos na Radiologia Industrial, você saberia dizer qual a finalidade da gamagrafia no nosso dia a dia? Qual a capacitação que os operadores de equipamentos em Radiologia Industrial precisam ter?

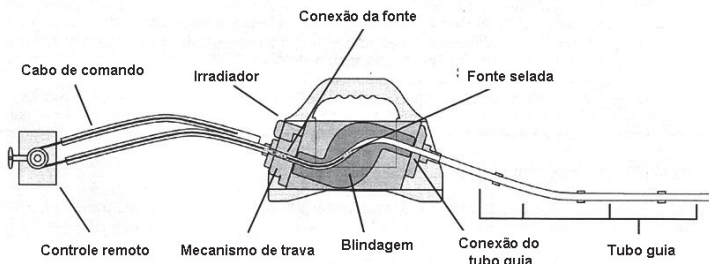
Não pode faltar

Quando falamos de equipamentos de Radiologia Industrial II, englobamos os aparelhos de raios X, gamagrafia e aceleradores.

A gamagrafia, podemos dizer, são equipamentos portáteis e compostos por vários acessórios e um irradiador, que permitem que a manipulação das fontes radioativas à distância, que geram uma maior segurança ao operador. O irradiador do equipamento possui uma blindagem segura e eficaz, sendo constituída por uma liga metálica de urânio exaurido, com peso de aproximadamente 30 quilos. Esse material é bem mais eficiente que o chumbo.

O controle do conjunto fonte e a conexão do equipamento são realizados através de um cabo de aço conectado à mesa de comando. Para a realização do deslocamento da fonte, é necessário possuir conduítes espirais de material metálico, devendo ser resistentes e flexíveis, conectados na parte frontal do irradiador. Esses acessórios podem ser acionados tanto manualmente como mecanicamente, facilitando o seu funcionamento e, em alguns casos, dispensando a energia elétrica para funcionar. A finalidade da gamagrafia é identificar a presença de falhas em soldas, corrosões e erosões em tubulações, contrações na parte interna das peças, entre outros.

Figura 2.10 | Ilustração do irradiador gama para a radiologia industrial

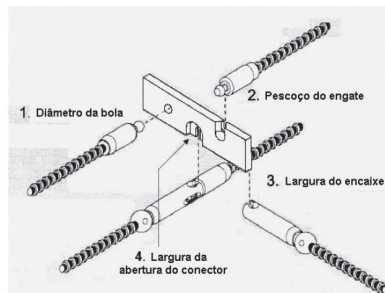


Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.

A Figura 2.10 ilustra os acessórios e a conexão para o funcionamento do irradiador de gamagrafia.

Com o tempo de uso do equipamento, o cabo de conexão do comando pode sofrer desgastes, sendo necessária a realização de testes de qualidade com frequência, os quais são feitos por meio de gabaritos fornecidos pelos fabricantes, mantendo, então, uma segurança para os operadores. A Figura 2.11 ilustra os acessórios de segurança, em que o gabarito possui um furo onde será testada a conexão do comando. Esse acessório deverá acompanhar o irradiador e seu teste deverá ser realizado antes de qualquer operação.

Figura 2.11 | Acessórios de segurança na gamagrafia



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.



Assimile

As fontes de radiação podem ser fornecidas com diversas atividades e cada elemento radioativo possui uma energia de radiação própria, uma característica muito importante dos irradiadores a qual temos de nos atentar, na qual a blindagem é a sua capacidade, relacionando com a área a ser irradiada. Dessa forma, cada blindagem é dimensionada para conter um elemento radioativo específico, sendo então desaconselhável usar um irradiador projetado para um determinado radioisótopo, com fontes radioativas de elementos diferentes e com outras atividades que aquela especificada.

Quando falamos de equipamentos de gamagrafia, devemos seguir as normas da CNEN como base para o projeto do equipamento, em que serão determinados os níveis de radiação na superfície externa dos irradiadores, visando sempre a proteção e a segurança do operador.



Refleta

Os equipamentos não podem ser armazenados em qualquer local, devemos ter um respaldo, pois o mesmo é emissor de radiação. Sendo assim, eles devem ser armazenados em casamatas blindadas, no subsolo ou em locais que permitem o controle tanto da radiação emitida como do acesso ao equipamento, e esse sempre deve estar em responsabilidade da empresa proprietária do mesmo.

O transporte dos equipamentos de gamagrafia deve ser de forma correta, seguindo os padrões da *International Atomic Energy Agency* (IAEA), seguindo os níveis de radiação para transporte de embalados contendo material radioativo, conforme a ilustração da Figura 2.12.

Figura 2.12 | Tabela de níveis de radiação para transporte com segurança na gamagrafia

Categoria da Etiqueta	Nível de Radiação na superfície	Nível de Radiação a 1 m da superfície
Branco I 	0.5 mRem/hr (0.005 mSv/hr)	nenhum
Amarelo II 	50 mRem/hr (0.5 mSv/hr)	1.0 mRem/hr (0.01 mSv/hr)
Amarelo III 	200 mRem/hr (2 mSv/hr)	10 mRem/hr (0.1 mSv/hr)

Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a gamagrafia na Radiologia Industrial: SHINOHARA, Armando Hideki; ACIOLI, Eduardo; KHOURY, Helen Jami. **Avaliação da técnica de radiografia digital em gamagrafia**. Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/ingles/sitio/biblioteca/material/pdf/cote216.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2016.

É importante ressaltarmos que para atuar na Radiologia Industrial o profissional deve ter conhecimento técnico e científico dos equipamentos, acessórios, aplicações industriais, princípios físicos, métodos de análise, interpretação de resultados, ensaios não destrutivos, capacitação técnica, normas e códigos de aplicação da proteção radiológica.

O uso dos equipamentos de raios X na Radiologia Industrial é de extrema importância, pois a formação da imagem poderá ser diferente, dependendo do material utilizado. Se o seu ângulo tiver variações, ocorrerá uma distorção na imagem. Podemos relembrar os princípios de formação da imagem, voltando à Unidade 1 deste livro, nas Seções 1.1 e 1.4.

Devemos ter em mente que o transporte de fontes radioativas deve ser realizado de forma segura e sinalizada. Ele deve possuir blindagem para evitar a fuga da radiação para o seu exterior. O meio de transporte deverá possuir um aviso através de adesivo ou placa informando que em seu interior está sendo transportado material radioativo, seguindo, então, todas as especificações recomendadas pelo Ministério dos Transportes.

Para isso, os veículos que efetuarem o transporte de fontes de raios-X deverão conter a sinalização no painel, nas laterais e na traseira do veículo, de acordo com a ilustração 2.13, e é de extrema importância que o veículo seja novo e em boas condições de conservação.

Figura 2.13 | Sinalização de Veículos que transportam fontes de raios X



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.



Exemplificando

O irradiador que contém a fonte radioativa é acondicionado em uma caixa metálica fixada no veículo onde será mantido trancado, com o símbolo internacional de radiação e sinalizado com o informativo de perigo radioativo ou que contém fonte radioativa em seu interior, devendo ser manuseado somente por pessoas que receberam instruções e treinamento adequados. Deve conter, também, as informações do nome da empresa, telefone e pessoa de contato responsável pela fonte.

Os aceleradores na Radiologia Industrial, são equipamentos que possuem sistemas especiais que aceleram partículas carregadas, como elétrons, a grandes velocidades, que se chocam contra um alvo com pequeno ponto focal, liberando altas energias de radiação eletromagnética denominadas raios X, as quais podem ser de até quatro MeV (unidade de medida) para os aparelhos industriais, capazes de atravessar com facilidade 100 mm até 300 mm de aço.

Figura 2.14 | Acelerador linear



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.

A Figura 2.14 ilustra um acelerador linear, usado para Radiografia Industrial de peças com espessura de 20 a 300 mm de aço. É importante ressaltar que esses equipamentos não são portáteis e necessitam de instalação adequada de acordo com as normas da CNEN, que vão desde o ponto de vista de movimentação do aparelho, até as espessuras das paredes de concreto requeridas (podendo alcançar cerca de um metro). Em toda área interna deverá haver um sistema de monitoramento e segurança contendo câmeras e monitores de área.

O Acelerador Betatron (Figura 2.15) é do tipo portátil e foi projetado para produzir um feixe de radiação de até 7,5 Mev, com ponto focal bastante reduzido de aproximadamente dois milímetros, ele é indicado para radiografias de peças com espessuras de aço acima de 100 mm até 300 mm. Mesmo sendo um equipamento portátil, ele produz imagens radiográficas de alta qualidade.

Figura 2.15 | Acelerador betatron



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Uplod/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2016.



Vocabulário

Casamata: é uma instalação fortificada fechada e abobadada, independente ou integrada numa fortificação maior, à prova dos projéteis inimigos. O termo é utilizado de um modo bastante genérico, podendo designar instalações de vários tipos e tamanhos, normalmente construídas em betão (concreto).

Conduítes: tubo flexível, em metal ou plástico, usado para fazer com que os fios elétricos, cabos, etc. passem por dentro da parede.

MeV: (mega eV): 1 milhão de elétrons-volt = 106 elétrons-volt.

Urânio exaurido: urânio empobrecido é ainda menos radioativo que o urânio natural (emite o equivalente a cerca de 60% da radiação emanada do urânio natural).

Sem medo de errar

Retomando a problematização desta seção, a pesquisa de Anna e Paulo continua e os mesmos descobriram que o controle dos trilhos de metrô e trens é inspecionado através da radiação, que avalia se os mesmos se encontram íntegros. Os dois, então, foram estudar mais a fundo o controle de qualidade e segurança em relação aos equipamentos de proteção individual e coletiva, amplamente utilizados na Radiologia Industrial. Dentro desse contexto de segurança e equipamentos na Radiologia Industrial, você saberia dizer qual a finalidade da gamagrafia no nosso dia a dia? Qual a capacitação que os operadores de equipamentos na Radiologia Industrial precisam ter?

A finalidade da gamagrafia é identificar a presença de falhas em soldas, corrosões e erosões em tubulações, contrações na parte interna das peças, entre outros, visando que os produtos, como os trilhos de metrô e trens, estejam sempre seguros para a segurança da população. Da mesma forma, esse conceito é aplicado em peças de aviões, entre outros.

O profissional para atuar na Radiologia Industrial deve ter conhecimento técnico e científico dos equipamentos, acessórios, aplicações industriais, princípios físicos, métodos de análise, interpretação de resultados, ensaios não destrutivos, capacitação técnica, normas e códigos de aplicação da proteção radiológica.



Atenção

É importante ressaltar que o acelerador linear e o acelerador betatron devem seguir as normas da CNEN.

Avançando na prática

Equipamentos de gamagrafia, raios-x e aceleradores

Descrição da situação-problema

Os equipamentos aceleradores na Radiologia Industrial possuem sistemas especiais que aceleram partículas carregadas. Em um irradiador gama, por exemplo, lembre como acontece a relação entre o controle do conjunto fonte e a conexão do equipamento e exemplifique como ela é realizada.



Lembre-se

Devemos ter em mente que o transporte de fontes radioativas deve ser realizado de forma segura e sinalizada. Ele deve possuir uma blindagem para evitar a fuga da radiação para o seu exterior.

Resolução da situação-problema

Relembrando como acontece a relação entre o controle do conjunto fonte e a conexão do equipamento, ela ocorre através de um cabo de aço conectado à mesa de comando e os conduítes espirais metálicos são conectados na parte frontal do irradiador.

Podemos exemplificar esse sistema especial dos equipamentos aceleradores, os quais aceleram partículas carregadas através dos elétrons que possuem grandes

velocidades, se chocam contra um alvo com pequeno ponto focal, liberando altas energias de radiação eletromagnéticas denominadas raios-X, as quais podem ser de até quatro MeV (unidade de medida) para os aparelhos industriais, capazes de atravessar com facilidade 100 mm até 300 mm de aço.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os parâmetros e fundamentos dos equipamentos de gamagrafia, raios X e aceleradores industriais, faça um comparativo entre o acelerador linear e o betatron, listando as vantagens e desvantagens de cada um.

Faça valer a pena

1. O controle do conjunto fonte e a conexão do equipamento são realizados através de um cabo de aço conectado à mesa de comando, para a realização do deslocamento da fonte é necessário possuir conduítes espirais metálicos, devendo ser resistentes e flexíveis, os quais são conectados na parte frontal do irradiador. De acordo com o texto, assinale a alternativa correta:

- a) Esses acessórios não podem ser acionados tanto manualmente como mecanicamente, facilitando o seu funcionamento e, em alguns casos, dispensando a energia elétrica para funcionar.
- b) Esses acessórios podem ser acionados tanto manualmente como mecanicamente, facilitando o seu funcionamento e, em alguns casos, dispensando a energia elétrica para funcionar.
- c) Esses acessórios podem ser acionados tanto manualmente como artificialmente, facilitando o seu funcionamento e, em alguns casos, dispensando a energia elétrica para funcionar.
- d) Esses acessórios podem ser acionados tanto manualmente como mecanicamente, dificultando o seu funcionamento e, em alguns casos, dispensando a energia elétrica para funcionar.
- e) Esses acessórios podem ser acionados tanto manualmente como mecanicamente, facilitando o seu funcionamento e, em alguns casos, não dispensam a energia elétrica para funcionar.

2. O _____ do equipamento possui uma blindagem segura e _____, sendo constituída por uma liga metálica de urânio exaurido, seu peso é de aproximadamente trinta quilos, um material bem mais _____ que o chumbo.

Complete as lacunas e assinale a alternativa correta:

- a) Irradiador, deficiente, eficiente.
- b) Irradiador, ineficaz, eficiente.
- c) Irradiador, eficaz, suficiente.
- d) Irradiador, eficaz, eficiente.
- e) Irradiador, insuficiente, eficiente.

3. Com o tempo de uso do _____, o cabo de conexão do comando pode sofrer _____, sendo então necessária a realização de testes de qualidade com frequência, os quais serão _____ através de gabaritos fornecidos pelos fabricantes, mantendo uma _____ para os operadores.

Complete as lacunas e assinale a alternativa correta:

- a) Equipamento, desgastes, avaliados, segurança.
- b) Equipamento, desgastes, visualizados, insegurança.
- c) Equipamento, engastes, avaliados, segurança.
- d) Equipamento, desgastes, avaliados, insegurança.
- e) Equipamento, desgastes, visualizados, segurança.

Seção 2.4

Equipamentos em radiologia industrial III

Diálogo aberto

Seja bem-vindo à Seção 2.4, na qual estudaremos os equipamentos de inspeção de segurança por raios X e gama. Esta seção facilitará a compreensão para a resolução da próxima situação-problema, relacionada com os escâneres fixos e móveis.

Vamos retomar à situação realidade apresentada?

Em meio a muitas pesquisas, Anna Julia e Paulo Gabriel continuam a aprofundar seus conhecimentos no assunto e descobrem que os crimes praticados por quadrilhas organizadas ou pessoas mal-intencionadas acontecem de diversas maneiras, pois não medem esforços para usar a criatividade a serviço do crime. Geralmente, eles estão associados à tentativa de passar por fronteiras com drogas ou com armas escondidas em caminhões ou containers, podendo, também, conter o tráfico de pessoas e animais, ou estar associados aos visitantes de detentos em penitenciárias para transporte de celulares ou até mesmo de armas e, em outros casos, em bagagens com cargas ou materiais ilícitos.

Anna e Paulo constataram que através da Radiologia é aplicada uma inspeção de segurança que permite, através de equipamentos adequados, detectar todos os tipos de transgressões, conseguindo visualizar uma possível tentativa de entrar em um presídio com algum objeto, identificar armas e drogas em caminhões ou visualizar drogas que foram ingeridas para serem transportadas no estômago de um passageiro.

Nessa etapa da pesquisa que Anna e Paulo direcionaram no decorrer das seções, ajude-os a identificar quais são os três efeitos que podem ocorrer quando os raios X passam através de qualquer matéria. Ressalte qual a importância do Efeito Compton para a Radiologia Industrial. Ainda, durante as pesquisas, eles levantaram vários questionamentos a respeito dos equipamentos utilizados na Radiologia Industrial, dessa forma, elabore um protocolo de inspeção e segurança para o uso das fontes de radiações ionizantes industriais, mas lembre-se de citar se os próprios equipamentos fornecem segurança ao operador e informam o potencial dano à população.

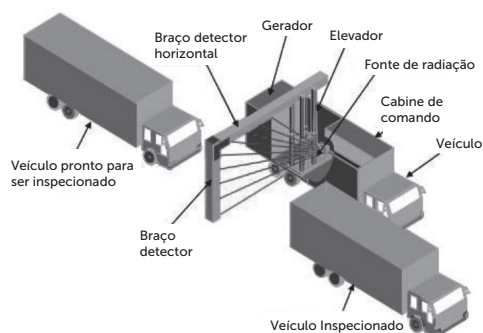
Não pode faltar

Quando falamos de efeitos de interação da radiação ionizante pela matéria, podemos dizer que são a base de entendimento dos princípios que norteiam os equipamentos usados na inspeção de bagagens, containers e pessoas. Destacamos entre eles a Tecnologia Convencional Digital de Sistemas de Inspeção e a Tecnologia "Backscatter" ou B-Scan para Sistemas de Inspeção.

Na inspeção de containers e caminhões, os raios X são gerados por aceleradores lineares com energia aproximadamente na faixa de quatro a seis Mev, sendo capazes de atravessar cerca de 200 a 300 milímetros de aço maciço, operado por um sistema que pode inspecionar cerca de 40 caminhões pelo modo de passagem a 7 km/h pelo portal, onde a varredura do feixe de raios X é efetuada com velocidade entre 12 e 30 m/min.

Os raios X emitidos pelo equipamento gerador de radiação atravessam por completo o objeto a ser inspecionado, projetando a imagem no detector digital de um sistema Direct Radiography (DR), que tem o formato de uma coluna estreita com a função de transmitir a imagem direta para o computador, que fica situado no veículo de inspeção ou a uma base de operação. O sistema de inspeção é equipado com detector de material radioativo. A Figura 2.16 ilustra a varredura do feixe de raios X, projetando a imagem no detector digital de um sistema DR.

Figura 2.16 | Tecnologia convencional digital de sistemas de inspeção



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2016.

Podemos dizer que para inspeção de bagagens e malas, a maioria dos sistemas de detecção é o DR, em que o equipamento de raios X é capaz de atravessar 12 mm de aço para inspecionar as bagagens. Os fabricantes de equipamentos que realizam inspeções de bagagens classificam o poder de resolução do sistema de inspeção através do padrão americano para fios e cabos elétricos *American Wire Gauge* (AWG), que relaciona o diâmetro de fios de metal com um número de código.

A Figura 2.16 ilustra uma radioscopia tradicional com raios X de aproximadamente 140 kV, usando detector no estado sólido e sistema digital para inspeção de bagagens com resolução AWG.

Figura 2.17 | Inspeção de bagagens com resolução AWG



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2016.



Assimile

Os melhores sistemas de inspeção por raios-X operam com resoluções acima de 30 AWG, sendo capazes de visualizar fios de metal com diâmetro de 0,25 milímetros ou menores.

As imagens tradicionais formadas por meio da transmissão dos raios-X, como a Radioscopia Industrial, resultam quando a radiação passa através da peça, atingindo o detector ou placa do lado oposto, deixando áreas claras ou mais brilhantes quando a radiação atinge em maior intensidade, e áreas escuras quando atinge com menor intensidade, que é a base para formação da imagem, e podemos classificá-la como o grau de enegrecimento. O sistema tradicional não possui boa eficiência, quando objetos orgânicos ou com baixo número atômico "Z", tais como explosivos plásticos, drogas, armas em cerâmicas que são objetos de inspeção de segurança por radioscopia. E quando falamos da tecnologia "backscatter" ou B-Scan, temos radiações retro espalhadas que capturam os dados vindos dos raios-X espalhados no objeto, no sentido do detector. Esse efeito de espalhamento primário é conhecido como Espalhamento Compton.



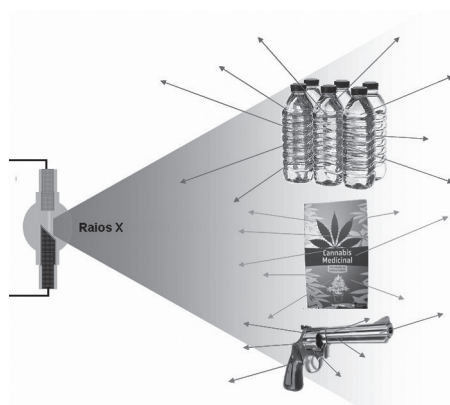
Refleta

Objetos com altas densidades atenuam mais raios X que os objetos menos densos, ou seja, muitos materiais orgânicos possuem baixa densidade e menor poder de absorção quando interagem com estes.

Quando a radiação possui uma energia maior do que 100 keV, o efeito predominante é o espalhamento conhecido como Compton, quando o raio incidente cede parte da sua energia a um elétron do átomo que ganha velocidade. Entretanto ainda resta energia em forma de radiação, que irá percorrer dentro do material em outra direção e com uma energia menor, sendo então denominada como radiação espalhada.

A Figura 2.18 ilustra o desvio das radiações ao interagirem com objetos, causados pelo Efeito Compton.

Figura 2.18 | Efeito do espalhamento dos raios X por diferentes objetos



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 28 mai.o 2016.

Observamos na Figura 2.18 que os raios X emitidos pela ampola atingem os diferentes objetos e se espalham em diferentes intensidades. Isso ocorre em razão das diferentes densidades específicas dos objetos, estabelecendo um sistema eletrônico de detecção das radiações espalhadas, o qual é capaz de identificar os objetos que causam efeitos em função de sua densidade.



Pesquise mais

Saiba mais sobre inspeção de segurança: CAMPOS, Felipe Henrico Leite Ferraz de; RODRIGUES FILHO, Otávio. **Aplicação de manutenção preditiva em um sistema de descarregamento de caminhões e vagões tanque.** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3046/1/CT_COMET_2013_2_07.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.

Quando falamos de formação de imagem por backscatter ou B-Scan, podemos dizer que o feixe estreito de raios-X tem o formato de um lápis e o aparelho é fixado e centrado em uma roda que gira com velocidade acima de cem resoluções por

minuto, em que a resolução do sistema é dada pela abertura do feixe de raios-X e pelo tamanho focal do alvo.



Exemplificando

O escaneamento de imagem é realizado pelo feixe de raios X, sendo realizada uma varredura verticalmente do objeto, enquanto ele se move horizontalmente pela base com velocidade da ordem de 30 cm/s (trinta centímetros por segundo). Os detectores são em número de dois e captam a radiação espalhada pelo objeto, registrando-as no computador e identificando a posição de cada feixe detectado de radiação.

Os raios-X, pelo método de backscatter ou B-Scan, incidem em vários objetos inspecionados e se espalham com intensidades e energia diferentes, dependendo da sua densidade e composição, até que o detector consiga verificar essas diferenças e enviar um sinal elétrico que será interpretado pelo computador, e crie a imagem. Porém, é uma técnica apropriada para objetos com acesso somente de um lado.

A aquisição de imagem possui um brilho claro quando provém de materiais orgânicos, tais como: explosivos, cigarros, pessoas e drogas, mesmo os objetos ou materiais inorgânicos, como metais, também são passíveis de formação de imagem.

Figura 2.19 | Inspeção de segurança pela técnica backscatter



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2016.

A Figura 2.19 mostra a inspeção de segurança em veículos por uma técnica em que o transporte dos equipamentos de raios X trafega lentamente de forma a escanear os veículos estacionados e identificar seus conteúdos internos.

Essa técnica tem acesso somente a um lado do objeto a ser inspecionado, sendo, então, o aparelho de raios X posicionado apenas de um lado, no qual o detector da radiação de espalhamento também se encontrará. Esse tipo de técnica também é utilizado para a inspeção de segurança em aeroportos e penitenciárias.



Vocabulário

Transgressões: significam a ação humana de atravessar, exceder, ultrapassar noções que pressupõem a existência de uma norma que estabelece e demarca limites; crimes, delitos, violações ou infrações.

Anteparos: é tudo aquilo que pode auxiliar de modo seguro nas necessidades de reparar os danos materiais.

Sem medo de errar

Anna e Paulo constataram que na Radiologia é aplicada uma inspeção de segurança que permite, através de equipamentos adequados, detectar todos os tipos de transgressões, conseguindo visualizar uma possível tentativa de entrar em um presídio com um objeto, ou até de identificar armas e drogas em caminhões, visualizar drogas que foram ingeridas para serem transportadas no estômago de um passageiro.

Nessa etapa da pesquisa que Anna e Paulo direcionaram no decorrer das seções, ajude-os a identificar quais são os três efeitos que podem ocorrer quando os raios X passam através de qualquer matéria. Ressalte qual a importância do Efeito Compton para a Radiologia Industrial. Ainda, durante as pesquisas, eles levantaram vários questionamentos a respeito dos equipamentos utilizados na Radiologia Industrial, dessa forma, elabore um protocolo de inspeção e segurança para o uso das fontes de radiações ionizantes industriais, mas lembre-se de citar se os próprios equipamentos fornecem segurança ao operador e informam o potencial dano à população.

Quando os raios X passam através da matéria, eles podem sofrer os seguintes efeitos: passar através do objeto; ser absorvidos parcialmente ou sofrer espalhamento pelo objeto. O Efeito Compton é o grande responsável pelo desvio das radiações ao interagirem com paredes, objetos, anteparos, blindagens, sendo possível estabelecer um sistema eletrônico de detecção das radiações espalhadas, identificando os objetos que causaram o efeito em função da densidade deste. Na inspeção de containers e caminhões, os raios-X são gerados por aceleradores lineares com energia aproximadamente na faixa de quatro a seis Mev, sendo capaz de atravessar cerca de 200 a 300 milímetros de aço maciço, operado por um sistema que pode inspecionar cerca de quarenta caminhões pelo modo de passagem a 7km/h (sete quilômetros por hora) pelo portal, onde a varredura do feixe de raios X é efetuada com velocidade entre 12 e 36 m/min (doze e trinta e seis metros por minutos).

Protocolo de inspeção e segurança para o uso das fontes de radiações ionizantes industriais:

- O operador de Radiologia Industrial:

- Precisa da cooperação dos outros trabalhadores.
- Precisa da autorização do responsável pelo local de trabalho para dar início às operações de radiografia.
 - Um operador e o responsável pelo local devem verificar os procedimentos para a realização da radiografia.
 - Os protocolos de inspeção de segurança:
 - Devem seguir os padrões e protocolos da ANVISA.
 - Devem reconhecer as necessidades de aplicações, da imposição legal de poder e dever de fiscalizar.
 - Autuar os responsáveis por práticas que apresentem riscos à saúde individual e coletiva, situação que determina a de investir/designar os profissionais para o exercício da função de fiscal.
 - O profissional para atuar na Radiologia Industrial.
 - Deve ter conhecimento técnico e científico dos equipamentos, acessórios, aplicações industriais, princípios físicos, métodos de análise, interpretação de resultados, ensaios não destrutivos, capacitação técnica, normas e códigos de aplicação da proteção radiológica.



Atenção

O nível de dose de radiação do indivíduo inspecionado é baixo, menor que $1 \mu\text{Sv}$, conforme informe de alguns fabricantes dos equipamentos e também em razão dos raios-X emitidos serem de baixa energia.

Avançando na prática

Equipamentos de inspeção de segurança por raios-x e gama

Descrição da situação-problema

Os raios-X pelo método de backscatter ou B-Scan incidem em vários objetos inspecionados e se espalham com intensidades e energia diferentes, dependendo da sua densidade e composição, até que o detector consiga verificar essas diferenças e enviar um sinal elétrico que será interpretado pelo computador, e crie a imagem, porém é uma técnica apropriada para objetos que somente se tem acesso de um lado. Explique a aquisição de imagem e como ocorre o seu escaneamento. Dessa

forma, imagine o escaneamento de uma bagagem nos raios X do aeroporto contendo uma garrafa de água, um alicate e um notebook e faça uma analogia da densidade dos materiais, informando se a pessoa que possui a bagagem poderá embarcar com esses materiais.



Lembre-se

A imagem da radiação retroespalhada possui um brilho claro quando provém de materiais orgânicos, tais como: explosivos, cigarros, pessoas e drogas.

Resolução da situação-problema

A aquisição de imagem possui um brilho claro quando provém de materiais orgânicos, tais como: explosivos, cigarros, pessoas e drogas, mesmo os objetos ou materiais inorgânicos, como metais, também são passíveis de formação de imagem.

O escaneamento de imagem é realizado pelo feixe de raios-X, quando é realizada uma varredura verticalmente do objeto, enquanto ele se move horizontalmente pela base com velocidade da ordem de 30 cm/s (trinta centímetros por segundo).

De acordo com as regras de embarque e desembarque de bagagens, se a bagagem for de mão, ou seja, for junto com o passageiro, ele não poderá embarcar com a água e o alicate, por medidas de segurança, mas poderá embarcar com o notebook. Entretanto, se a bagagem for despachada não há problema algum em relação à segurança dos passageiros.



Faça você mesmo

Ilustre de forma prática como ocorre o espalhamento dos raios-X por diferentes objetos, estabelecendo um sistema eletrônico de detecção das radiações espalhadas e relacionando com o Efeito Compton. Apresente-o para o professor, utilizando tabelas e gráficos ilustrativos.

Faça valer a pena

1. As tecnologias convencionais digitais e a tecnologia “Backscatter” ou B-Scan são utilizadas para que tipo de sistema? Assinale a alternativa correta:

- a) Sistemas de inspeção.
- b) Sistemas de mapeamento.

- c) Sistemas de digitalização.
- d) Sistemas de contaminação.
- e) Sistemas de visualização.

2. Na inspeção de containers e de caminhões, os raios-X são gerados através de:

- a) Aceleradores alfa.
- b) Aceleradores betas.
- c) Aceleradores gama.
- d) Aceleradores lineares.
- e) Aceleradores inertes.

3. Qual o nome do sistema de inspeção equipado com detector de material radioativo, que realiza a varredura do feixe de raios-X? Assinale a alternativa correta:

- a) Sistema LR.
- b) Sistema GR.
- c) Sistema DR.
- d) Sistema FR.
- e) Sistema BR.

Referências

ANDREUCCI, Ricardo. **Aspectos industriais: proteção radiológica**. 1. ed. São Paulo: ABENDI, 2014.

ANDREUCCI, Ricardo. **Radiologia industrial**. 1. ed. São Paulo: ABENDI, 2014.

BETELLI, Thomaz. **Física e dosimetria das radiações**. 1. ed. São Paulo: Atheneu, 2006.

BRITO, Ricardo R. **Guia prático em segurança radiológica para contratação de serviços de radiografia industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2000.

BONTRAGER, Kenneth L. **Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada**. 7. ed. São Paulo: Elsevier, 2010.

NOBREGA, Almir Inácio. **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem**. 3. ed. São Paulo: DCL, 2006.

CAMPOS, Felipe Henrico Leite Ferraz de; RODRIGUES FILHO, Otávio. **Aplicação de manutenção preditiva em um sistema de descarregamento de caminhões e vagões tanque**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

IPEN. **Traçadores Radioativos e fontes Radioativas Seladas**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN. Disponível em: <https://www.ipen.br/portaL_por/portaL_interna.php?secao_id=735>. Acesso em: 30 jun. 2016.

LEOCADIO, João C.; TAUHATA, Luiz; CRISPIM, Vergínia R. **Análise da radioproteção em instalações abertas de radiografia industrial**. Instituto de Radioproteção e Dosimetria – CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) / Programa de Engenharia Nuclear – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. [s.d]. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/1999/PDF/CG12BD.PDF>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

SHINOHARA, Armando Hideki; ACIOLI, Edmundo; KHOURY, Helen Jamil. Avaliação da técnica de radiografia digital em gamagrafia. In: **6ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos**. Salvador: COTEQ, 2002. Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/ingles/sito/biblioteca/material/pdf/cote216.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

Técnicas radiológicas na indústria

Convite ao estudo

Prezado aluno, neste momento daremos continuidade ao estudo das técnicas radiológicas na indústria.

Na Seção 3.1 estudaremos a introdução aos ensaios não destrutivos, o uso de técnicas não intrusivas para determinar a integridade do material, peça ou estrutura.

Em seguida na Seção 3.2 veremos o balizamento, isolamento de área e cálculo do balizamento de áreas para os raios X e outras fontes de radiação.

Já na Seção 3.3 abordaremos o levantamento radiométrico, medição dos níveis de radiação junto ao comando dos aparelhos e nas áreas circunvizinhas à sala de aplicação de raios X e avaliação se os níveis são compatíveis com os limites de dose.

Por fim, na Seção 3.4, estudaremos os equipamentos de tomografia industrial, seus fundamentos, conceitos e aplicações da tomografia industrial.

Desse modo, o objetivo desta unidade de ensino é enfatizar os conceitos e técnicas radiológicas na indústria, bem como suas aplicações, de modo que apresentaremos uma situação hipotética para que você se aproxime dos conteúdos teóricos. Vamos lá!

Beatriz e Gustavo são fascinados por tudo o que é relacionado com aeronaves, automóveis, metrô, trens, navios e submarinos; pesquisam incansavelmente como ocorre o desempenho dessas modalidades desde o projeto mecânico até os processos de fabricação e montagem, levando

sempre em consideração a inspeção e manutenção dessas modalidades para obter um bom controle de qualidade. Em suas pesquisas, concluem que toda a tecnologia aplicada na radiologia industrial visa à proteção e o bom funcionamento dos equipamentos.

Em meio aos estudos, Beatriz e Gustavo decidem visitar um polo industrial para acompanhar e avaliar as imagens radiográficas de matérias com suspeita de descontinuidade, rupturas e trincas em seu interior. Ambos avaliam o uso de técnicas não intrusivas para determinar a integridade do material, peça ou estrutura. Tendo em mente o ato de Beatriz e Gustavo, você saberia dizer o que são descontinuidades em uma peça ou material? Como podemos garantir que os materiais que foram utilizados para inspeção possuem a qualidade adequada?

O que você precisa conhecer para ser capaz de resolver a situação-problema? Para isso você deve compreender e identificar o processo de ensaios não destrutivos.

Seção 3.1

Introdução aos ensaios não destrutivos

Diálogo aberto

Caros alunos, sejam bem-vindos! A partir de agora iniciaremos os estudos sobre a introdução aos ensaios não destrutivos, bem como o uso de suas técnicas para determinar a integridade do material.

A leitura desta unidade irá ampliar sua compreensão sobre a introdução aos ensaios não destrutivos, balizamento, levantamento radiométrico e tomografia industrial. E para dar início ao estudo deste tema é necessário o conhecimento básico da radiologia industrial para a obtenção de um bom resultado final na aquisição da imagem.

Vamos retomar a situação-realidade na qual dois jovens resolvem discutir as modalidades da radiologia industrial e o seu controle de qualidade, com o objetivo de uma inspeção adequada.

Beatriz e Gustavo são fascinados por tudo o que é relacionado com aeronaves, automóveis, metrô, trens, navios e submarinos; pesquisam incansavelmente como ocorre o desempenho dessas modalidades desde o projeto mecânico até os processos de fabricação e montagem, levando sempre em consideração a inspeção e manutenção dessas modalidades para obter um bom controle de qualidade. Em suas pesquisas, concluem que toda a tecnologia aplicada na radiologia industrial visa à proteção e o bom funcionamento dos equipamentos.

Em meio aos estudos, Beatriz e Gustavo decidem visitar um polo industrial para acompanhar e avaliar as imagens radiográficas de matérias com suspeita de descontinuidade, rupturas e trincas em seu interior. Ambos avaliam o uso de técnicas não intrusivas para determinar a integridade do material, peça ou estrutura. Tendo em mente o ato de Beatriz e Gustavo, você saberia dizer o que são descontinuidades em uma peça ou material? Como podemos garantir que os materiais que foram utilizados para inspeção possuem a qualidade adequada?

Para ser capaz de resolver a situação-problema, você deve compreender e identificar o processo de ensaios não destrutivos.

Não pode faltar

As técnicas radiológicas na indústria focadas nos ensaios não destrutivos foram desenvolvidas e aplicadas para proteger e assegurar a vida dos que dependem do bom funcionamento e proteção perante a radiação, seja ela em indústrias automobilísticas, plataformas de petróleo e petroquímicas, na geração de energia, incluindo a energia nuclear, siderúrgica, plataforma naval, aeroviária e aeronáutica.

Com o avanço da tecnologia nos segmentos industriais ocorreu um aumento considerável do número de projetos e produtos de forma multinacional, englobando uma série de modalidades, de modo que a corrida pelos menores custos começou, e isso pode pôr em risco a qualidade de sua inspeção. Você saberia dizer quais os métodos que inspecionam as peças internamente?

A investigação de defeitos internos ocorre através de aquisição da imagem radiográfica, seja ela através da radiografia ou ultrassom, métodos estes que detectam com alta eficiência e sensibilidade as descontinuidades que apresentam poucos milímetros de extensão e são utilizadas em diversas modalidades, como na área petrolífera, nuclear, indústria alimentícia, farmacêutica, para a geração de energia na qual será efetuada a inspeção de soldas e fundidos, indústria bélica em que será inspecionado os explosivos, armamento e mísseis, entre outros.

Quando falamos de juntas e soldas podemos dizer que tanto a radiografia (Figura 3.1) como o ultrassom são métodos que devem seguir o código de fabricação das peças e estruturas, para obtermos um bom resultado final da imagem.

Figura 3.1 | Técnico preparando a inspeção radiográfica de uma junta soldada, utilizando um aparelho de Raios X



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

Os critérios de aceitação referente aos componentes inspecionados através de radiografias devem ser avaliados de acordo com a norma ou código de projeto de construção. Quando falamos dos critérios referentes aos ensaios radiográficos de soldas, estes foram extraídos do Código ASME séc. VIII (american society of mechanical engineers) para vasos de pressão e são divididos em dois grupos: soldas projetadas para ensaio radiográfico total e soldas projetadas para ensaio radiográfico Spot.



Refleta

Podemos dizer que a Radiologia Industrial desempenha um importante papel na documentação e controle de qualidade do material ou peça inspecionada, na qual sua imagem é projetada no filme radiográfico representando a parte interna da peça radiografada, mostrando o que nenhum outro ensaio não destrutivo é capaz de mostrar na área industrial, ajudando então a verificar se há ou não alguma alteração em sua estrutura, como por exemplo, rachaduras e descontinuidades.

As soldas projetadas para ensaio radiográfico total seguem o Código ASME, devendo ser radiografadas por completo. Podemos citar o exemplo das soldas longitudinais do casco e conexões e circulares do casco e emendas de fundos, sendo assim consideradas soldas circulares de conexões, as quais são menores que 10 polegadas de diâmetro.

Já as soldas projetadas para ensaios radiográficos Spot devem seguir o Código ASME no qual sua eficiência deverá ser de 0,85 milímetros e seguir os padrões do ensaio Spot para ser radiografado. O ensaio deverá ser aplicado individualmente ou em conjunto de soldadores que participaram da soldagem do casco ou fundos do vaso, estes profissionais devem seguir corretamente todos os parâmetros de extensão mínima e a solda deve ser de 150 milímetros. Antes atentamente as normas de segurança e proteção radiológicas para que não ocorra nenhum acidente com os trabalhadores.



Vocabulário

Spot: ponto luminoso refletido pelo espelho de determinados instrumentos de medida (um galvanômetro) que se desloca ao longo de uma escala graduada.

Balizamento: ato ou efeito de balizar, de demarcar com balizas; balizagem.

Caldeiraria: oficina em que trabalha o caldeireiro.

Estatisticamente falando, atualmente no Brasil todas as qualificações e certificações de pessoal para ensaios não destrutivos são realizados por instituições, fundações governamentais ou por organizações de classe como associações. O treinamento, certificação e qualificação dos profissionais que atuam nessa área e trabalham com esses métodos é classificado como requisito importante para o sistema da qualidade.



Exemplificando

A qualificação mais importante em relação aos parâmetros de segurança é o Sistema Nacional de Qualificação e Certificação (SNQ&C), sendo então gerenciado pela Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), possuindo reconhecimento aprovado pelo Inmetro. Além disso, suas certificações de pessoal são dirigidas a segmentos industriais, tais como: siderurgia, aeronáutica, caldeiraria, petróleo e petroquímica, entre outros.

Classificamos as **descontinuidades** como quaisquer variações na homogeneidade apresentada em uma peça ou material, na qual pode ser apresentada tanto na sua estrutura como na sua forma. Identifica-se então a análise de influência da peça ou material e os critérios de aceitabilidade.

As descontinuidades podem ser causadas por diferentes fatores, podendo ocorrer durante o próprio processo de fabricação do material, o processamento ou durante o uso de equipamento em serviço. As mais comuns são: rupturas, trincas de filete, trincas de esmerilhamento, trincas de tratamento térmico e escamas de hidrogênio.

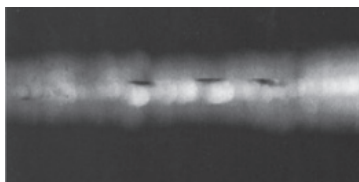


Pesquise mais

Saiba mais sobre o Controle de Qualidade no Artigo de Samuel Guimarães Filho, **Controle da qualidade em indústrias mecânicas pesadas**. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2009/Artigos/Art_TCC_052_2009.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

Em relação às descontinuidades, as **rupturas** (Figura 3.2) são típicas do processamento, podendo ocorrer tanto em materiais ferrosos como em materiais não ferrosos, elas consistem em cavidades classificadas como pequenas, irregulares e superficiais. Essas rupturas ocorrem durante a operação de forjamento, extrusão ou laminação, devido a temperaturas muito baixas, material excessivamente trabalhado ou por movimentação do material durante o processo.

Figura 3.2 | Rupturas em uma peça metálica



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

Já as **trincas de filete** são as que ocorrem com o uso do equipamento. Geralmente são trincas superficiais e se localizam na junção dos filetes onde se propagam para o inferior da peça. Ocorrem quando acontece uma brusca mudança de diâmetros, tal como na união da cabeça de um parafuso com a haste, existindo então um grande acúmulo de tensões. Esses tipos de defeitos geralmente não são detectados pelo ensaio radiográfico, dessa forma, as discontinuidades e superfícies desse tipo são de difícil avaliação na radiografia por causa de sua pequena dimensão da trinca em relação à espessura do material.

As **trincas de esmerilhamento** ocorrem durante o processamento das peças, tanto em materiais ferrosos quanto não ferrosos, e classificam-se como discontinuidades de pouca profundidade e muito finas, geralmente semelhantes a trincas ocasionadas por tratamento térmico e geralmente em ângulos retos com a direção de usinagem. Encontramos esses tipos de trincas em materiais que sofreram tratamento térmico, endurecimento superficial e de materiais cerâmicos que sofrem usinagem. Essas trincas térmicas são causadas por superaquecimento localizado na superfície usinada. Podemos dizer que o superaquecimento é causado por falha de refrigeração e velocidade muito alta ou alta velocidade de corte.

As **trincas de tratamento térmico** são classificadas como falhas de processamento que ocorrem em materiais ferrosos e não ferrosos, fundidos e forjados, geralmente são falhas superficiais, as quais podem possuir grande profundidade e em forma de forquilha. Normalmente ocorrem em áreas onde houve bruscas mudanças de espessura, ou áreas onde outras discontinuidades estejam expostas à superfície do material, sendo causadas por tensões que podem exceder a tensão de ruptura do material, provocando as trincas.

E por fim, as **escamas de hidrogênio** ocorrem durante o processamento característico dos materiais ferrosos, e consistem em discontinuidades pequenas e finas, geralmente aos grãos. Apresentam fissuras e uma superfície fraturada, são representadas por áreas com um brilho prateado. Essas escamas são fissuras internas atribuídas a tensões produzidas por uma transformação localizada por um decréscimo na solubilidade do hidrogênio durante o resfriamento após o trabalho a quente e geralmente encontrado apenas em aços forjados de alta liga, sendo então difíceis de serem visualizadas por Radiografias.

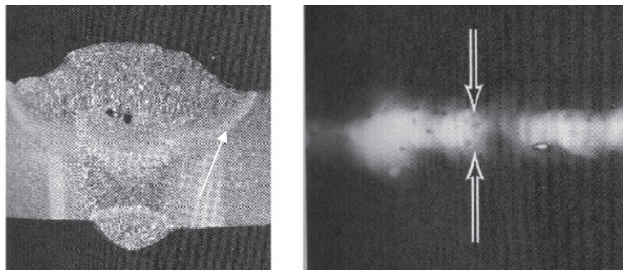


Assimile

A existência de descontinuidades em uma junta não significa que a mesma seja defeituosa; isso dependerá da aplicação destinada ao componente onde é identificado pela comparação das descontinuidades que são observadas ou propriedades medidas com níveis estabelecidos em um código, projeto ou contrato pertinente. Assim, considera-se que uma junta soldada contém defeitos quando esta apresenta descontinuidades ou propriedades que não atendam ao exigido, por exemplo, por um dado código.

As descontinuidades internas de juntas e soldas podem ser classificadas como: inclusões gasosas, trincas e falta de fusão. Quando falamos de **inclusões gasosas** (Poros), podemos dizer que durante a fusão da solda pode haver o aprisionamento da mesma, isso ocorre devido a várias razões como, por exemplo, o tipo de eletrodo utilizado, má regulagem do arco, deficiência na técnica do operador, umidade, entre outras. Essas inclusões gasosas podem ter a forma esférica ou cilíndrica na qual sua aparência radiográfica é sob a forma de pontos escuros com o contorno nítido conforme mostra a Figura 3.3.

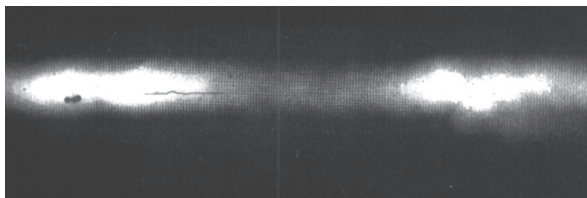
Figura 3.3 | Solda contendo porosidade



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Uplod/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

As inclusões gasosas apresentam uma forma alongada, cilíndrica e sua imagem radiográfica depende da orientação relacionada ao feixe de radiação no qual incide. Outra forma de inclusão é a que apresenta aparência parecida com um galho ramificado, podendo ser chamada de porosidade vermiforme. Já as **trincas** são classificadas como descontinuidades e são produzidas por rupturas no metal obtendo resultados de tensões produzidas no mesmo durante a soldagem, ficando mais visíveis na radiografia. Isso ocorre quando o feixe de radiação incide sobre a peça em uma direção sensivelmente paralela ao plano onde contém a trinca, produzindo então uma imagem radiográfica no formato de uma linha escura. As trincas apresentam direção irregular e a largura da linha dependerá da largura da trinca. Podemos visualizar na Figura 3.4 onde a direção do plano que contém a trinca coincide com o feixe de radiação, cuja imagem será bem escura.

Figura 3.4 | Seção de uma solda contendo poro e uma trinca longitudinal no cordão

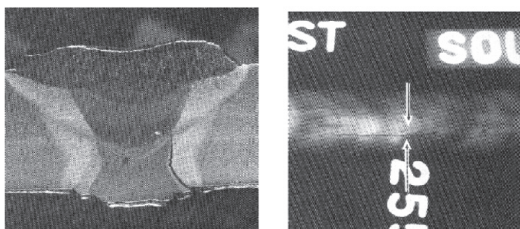


Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

Conforme as trincas são classificadas como o mais grave defeito de uma solda, devemos ter uma atenção especial para a sua detecção, pois a imagem das trincas, especialmente em filmes de granulação grossa, pode não ser muito clara.

Por fim, na **falta de fusão** ocorrem descontinuidades em duas dimensões, devido a uma falta de fusão entre o metal depositado e o metal base. Dessa forma, são caracterizadas em uma radiografia quando apresentarem a direção do feixe incidente coincidindo com o plano do defeito. De acordo com a Figura 3.5 podemos visualizar a imagem radiográfica da falta de fusão onde é uma linha escura, estreita, paralela ao eixo da solda, apresentada nos dois lados.

Figura 3.5 | Seção de uma solda contendo uma falta de fusão junto ao chanfro no cordão



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.



Vocabulário

Forquilha: pequena forcada de três pontas. Vara, pau ou tronco; utensílio agrícola constituído por uma haste de madeira rematada por dois ou mais dentes da mesma madeira ou de ferro; forçado.

Sem medo de errar

Beatriz e Gustavo são fascinados por tudo o que é relacionado com aeronaves, automóveis, metrô, trens, navios e submarinos; pesquisam incansavelmente como ocorre o desempenho dessas modalidades desde o projeto mecânico até os processos de fabricação e montagem, levando sempre em consideração a inspeção

e manutenção dessas modalidades para obter um bom controle de qualidade. Em suas pesquisas, concluem que toda a tecnologia aplicada na radiologia industrial visa à proteção e o bom funcionamento dos equipamentos.

Em meio aos estudos Beatriz e Gustavo decidem visitar um polo industrial para acompanhar e avaliar as imagens radiográficas de matérias com suspeita de descontinuidade, rupturas e trincas em seu interior. Ambos avaliam o uso de técnicas não intrusivas para determinar a integridade do material, peça ou estrutura. Tendo em mente o ato de Beatriz e Gustavo, você saberia dizer o que são descontinuidades em uma peça ou material? Como podemos garantir que os materiais que foram utilizados para inspeção possuem a qualidade adequada?

As descontinuidades são classificadas como quaisquer variações na homogeneidade de uma peça ou material, tanto em sua estrutura como em sua forma.

Devemos investigar a qualidade dos materiais sem que haja a deterioração dos mesmos, mantendo a sua integridade, sempre seguindo os padrões dos ensaios não destrutivos, os quais são constituídos de ferramentas necessárias para o controle da qualidade desses produtos produzidos pela indústria moderna da radiologia industrial.



Atenção

A investigação de defeitos internos ocorre através de aquisição da imagem radiográfica, seja ela através da radiografia ou ultrassom, métodos estes que podem detectar com alta sensibilidade as descontinuidades com poucos milímetros de extensão.

Avançando na prática

Introdução aos ensaios não destrutivos

Descrição da situação-problema

Podemos dizer que no processo de soldagem de peças em geral podem ser geradas descontinuidades diferentes das usuais, as quais são apresentadas para soldas por fusão. Dessa forma, quais são os aspectos importantes para a qualidade da solda?



Lembre-se

Quando falamos de juntas e soldas podemos dizer que tanto a radiografia como o ultrassom são métodos que devem seguir o código de fabricação das peças e estruturas para obtermos um bom resultado final da imagem.

Resolução da situação-problema

Os aspectos importantes para a qualidade da solda são a aparência superficial, dimensões da solda, resistência da junta, descontinuidades internas, separação das peças, expulsão de metal fundido e variabilidade das características de um conjunto de soldas.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os conceitos gerais das descontinuidades nas peças, diferencie e apresente detalhadamente ao professor os tipos mais comuns que foram abordados nesta unidade de ensino.

Faça valer a pena

1. As técnicas radiológicas na indústria focadas nos ensaios não destrutivos foram desenvolvidas e aplicadas para _____ e _____ a vida dos que dependem do bom funcionamento e proteção perante a _____.

Com base no texto assinale a alternativa que complete corretamente as lacunas:

- a) proteger, assegurar, radiação.
- b) prometer, assegurar, irradiação.
- c) prometer, segurar e irradiação.
- d) prometer, segurar, irradiação.
- e) proteger, segurar, radiação.

2. Podemos dizer que a investigação de defeitos internos ocorre através de aquisição da imagem radiográfica por meio de que exames industriais?

Assinale a alternativa correta em relação aos exames industriais:

- a) Radiografia ou ultrassônico.
- b) Endoscopia ou ultrassom.
- c) Radioterapia ou ultrassom.
- d) Radiografia ou ultrassom.
- e) Radioscopia ou ultrassônico.

3. Quando falamos de juntas e soldas podemos dizer que tanto a Radiografia como o Ultrassom são métodos que devem seguir o código de fabricação das peças e estruturas, para obtermos um bom resultado final do quê?

Com base no conteúdo estudado assinale a alternativa correta:

- a) Espelho
- b) Base
- c) Figura
- d) Postagem
- e) Imagem

Seção 3.2

Balizamento

Diálogo aberto

Caros alunos, sejam bem-vindos à Seção 3.2. Nesta seção estudaremos o isolamento de área (balizamento); cálculo do balizamento de áreas para os raios X e outras fontes de radiação. O estudo e compreensão desta seção facilitarão a resolução da próxima situação-problema que será apresentada, relacionada ao balizamento em Radiologia Industrial.

Vamos voltar à situação-realidade apresentada na Seção 3.1?

Beatriz e Gustavo são fascinados por tudo o que é relacionado com aeronaves, automóveis, metrô, trens, navios e submarinos; pesquisam incansavelmente como ocorre o desempenho dessas modalidades desde o projeto mecânico até os processos de fabricação e montagem, levando sempre em consideração a inspeção e manutenção dessas modalidades para obter um bom controle de qualidade. Em suas pesquisas, concluem que toda a tecnologia aplicada na radiologia industrial visa à proteção e o bom funcionamento dos equipamentos.

Beatriz e Gustavo, fascinados com todas as suas descobertas, chegam à conclusão que o processo de espalhamento da radiação ocorre após ela ser emitida pela fonte na qual os mesmos números de raios gerados se espalham ocupando cada vez mais áreas maiores, além disso, descobriram que a radiação decai por meio da camada semirredutora e da camada décimo redutora. Tendo em mente o processo dessa descoberta de Beatriz e Gustavo, você saberia dizer o que significa a camada décimo redutora (TVL)?

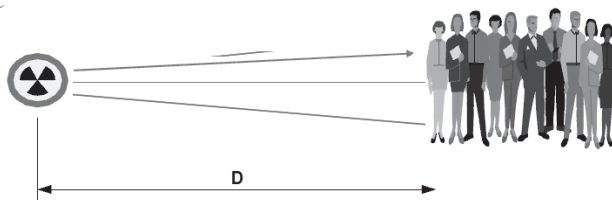
Para ser capaz de resolver a situação-problema, você deve compreender e identificar o balizamento industrial.

Não pode faltar

O isolamento de área e seus cálculos de balizamento são de extrema importância e é preciso muito cuidado em relação à segurança de todos os envolvidos nessa

operação para minimizar a dose de exposição à radiação. Devemos ressaltar que a distância é uma forma de proteger e prevenir contra a radiação ionizante. Com base nisso usa-se a distância como fator de diminuição da exposição, e podemos classificar a distância como um meio seguro e principalmente de baixo custo. De acordo com a Figura 3.6 podemos observar que o controle da distância é fundamental, e para entendermos melhor iremos relembrar a Lei do Inverso do Quadrado da Distância.

Figura 3.6 | Controle da distância



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

Quando falamos da intensidade de radiação emitida pela fonte de Raios X ou Gama, podemos dizer que ela diminui à medida que nos afastamos dela, e consequentemente a exposição radiológica e a dose de radiação diminuem na mesma proporção.

Esse fenômeno ocorre através da Lei do Inverso do Quadrado da Distância, na qual pequenos afastamentos de uma fonte radioativa podem causar grande redução na intensidade da radiação.

Definindo então a Lei do Inverso do Quadrado da Distância, falamos que a sua intensidade radioativa é emitida pelas fontes de Raios X ou Raios Gama, sendo esta diminuída à medida que nos afastamos da fonte, consequentemente essa exposição de dose radioativa reduz sua intensidade na mesma proporção em que aumenta a distância.

A Lei do Inverso do Quadrado da Distância deve ser sempre utilizada como forma de proteção, pois consiste num meio rápido, barato, seguro e de fácil aplicação, especialmente em áreas abertas, sem proteção física. Ao dobrarmos a distância, sua intensidade de radiação será reduzida para $\frac{1}{4}$ de intensidade de radiação original.

A fórmula para calcularmos a Lei do Inverso do Quadrado da Distância é descrita como:

$$\frac{I(1)}{I(2)} = \frac{[D(2)]^2}{[D(1)]^2}$$

Onde:

- I_1 = intensidade de radiação na distância D_1
- D_1 = distância mais próxima da fonte
- I_2 = intensidade de radiação na distância D_2
- D_2 = distância mais afastada da fonte

Para entendermos melhor vamos exemplificar:

A 1 m da ampola o operador está exposto a 100 mR de radiação. Qual seria a Intensidade de radiação a 2 m?

$$\begin{array}{l} D_1 = 1 \text{ m} \\ D_2 = 2 \text{ m} \\ I_1 = 100 \text{ mR} \\ I_2 = ? \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{I_1}{I_2} = \frac{(D_2)^2}{(D_1)^2} \rightarrow \frac{100}{I_2} = \frac{(2)^2}{(1)^2} \rightarrow \frac{100}{I_2} = \frac{4}{1} \rightarrow 4 \cdot I_2 = 100 \rightarrow I_2 = \frac{100}{4} \rightarrow I_2 = 25 \text{ mR} \end{array}$$

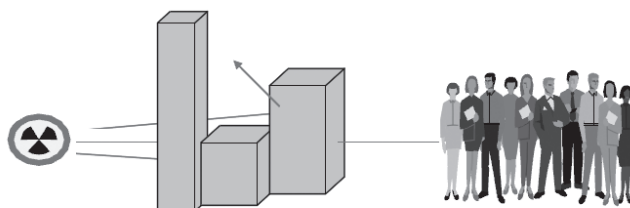


Assimile

Após a radiação espalhada ser emitida pela fonte radioativa ocorre uma divergência do número de raios gerados ocupando então áreas muito grandes. Sendo assim, o trabalhador que estiver próximo da fonte recebe uma carga radioativa muito grande e isso ocorre devido ao recebimento de um feixe de radiação mais concentrado.

A blindagem é uma forma de proteção contra a radiação ionizante a qual envolve um custo maior, porém podemos observar na Figura 3.7 onde se classifica como um meio seguro e permite que o trabalhador manipule altas dosagens de radiação.

Figura 3.7 | Controle por método de blindagem



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

Ao citarmos os cálculos simplificados da barreira para fontes Gama, dizemos que seu processo pode ocorrer de duas formas:

- 1º: HVL ou CSR.
- 2º: Cálculos de barreiras através do método geral.

Ao abordarmos a camada CSR é importante sabermos que ela é definida em inglês como *Half Value Layer* (HVL), sendo então classificada como a espessura de um material que é capaz de absorver 50 % da intensidade dessa radiação a qual é medida sem barreira. Dessa forma, a CSR é considerada proporcionalmente inversa ao coeficiente de atenuação linear, sendo calculada através da fórmula:

$$\mu = \frac{0,693}{CSR} \quad \text{ou} \quad CSR = \frac{0,693}{\mu}$$

Exemplo:

Sendo CSR = 2 cm, calcule o valor do coeficiente de atenuação.

R: $\mu = \frac{0,693}{CSR}$ $\mu = \frac{0,693}{2 \text{ cm}}$ $\mu = 0,35 \text{ cm}^{-1}$

Dizemos então que a camada decido redutora reduz a espessura de um material em dez vezes referente à intensidade da radiação (TVL). O mesmo ocorre em alguns materiais demonstrados de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 | Valores ilustrados aproximadamente para obtenção da voltagem de um pico em um tubo direcionado.

FONTE DE RADIAÇÃO	Alumínio 2,7 g/cm ³ (cm)		Chumbo 12 g/cm ³ (cm)		Concreto 2,35 g/cm ³ (cm)		Aço 7,8 g/cm ³ (cm)	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
Raios X 100 kVp	10,24	34,00	0,027	0,088	1,60	5,30	0,08	0,30
Raios X 200 kVp	2,20	7,32	0,052	0,17	2,50	8,40	0,30	0,90
Raios X 250 kVp *	-	-	0,088	0,29	0,28	0,94	0,35	1,10
Raios X 300 kVp *	-	-	0,147	0,48	3,10	10,4	0,40	1,30
Raios X 400 kVp *	-	-	0,25	0,83	3,30	10,9	0,60	1,80
Iridio 192	3,66	12,16	0,60	2,00	4,30	14,70	1,30	4,30
Cobalto 60	5,36	17,80	1,20	4,00	6,20	20,60	2,10	6,90
Césio 137	4,17	13,85	0,65	2,16	4,80	15,70	1,60	5,30

Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

Para calcularmos a CSR devemos seguir algumas regras, nas quais o “n” significa o número de CSR contido na espessura de uma barreira; o “lo” significa a capacidade de radiação inicial, sem barreiras onde então podemos obter uma relação de acordo

com o fator de diminuição descrito na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 | Relação entre “n” e I

n (Nr. de HVL)	I (intensidade de radiação)
1	$I = I_0 / 2^1$
2	$I = I_0 / 2^2$
3	$I = I_0 / 2^4$
n	$I = I_0 / 2^n$

Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

O fator de redução é classificado pela fórmula do I_0/I , já o fator de transmissão é o inverso classificado pela fórmula I/I_0 , sendo expressos através das fórmulas abaixo:

$$I = \frac{I_0}{2^n} \quad \text{ou} \quad 2^n = \frac{I_0}{I} \quad \text{onde} \quad n = \text{Espessura} / \text{HVL}$$

Podemos dizer em geral que o método para calcularmos as barreiras visa uma proteção através de blindagem, na qual um dos métodos considerados mais simples para esse conceito é a CSR, e para calcular sua espessura “x” de uma parede, sendo esta capaz de reduzir a intensidade de radiação de um valor inicial “ I_0 ” para um valor final “I”, utilizamos a fórmula seguinte:

$$x = 1 / \mu \cdot \ln [I_0/I + 1n B(\mu, x)]$$

Sendo:

μ = significa coeficiente de atenuação linear

$B(\mu, x)$ = significa fator de Build up, que depende da energia das radiações a serem atenuadas do material e da espessura.

A CSR significa a espessura de determinado material que irá reduzir a intensidade de radiação pela metade.

Alguns fatores que podem reduzir o nível da radiação pela metade:

- Aumento da distância.
- Uso de absorvedores (CSR).
- Coeficiente de atenuação (μ) dos absorvedores.
- Densidade dos absorvedores.
- Energia da radiação.

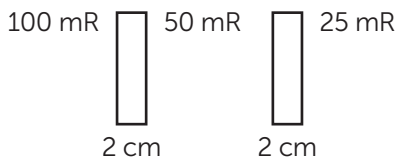
Observação:

Quanto mais denso for o material, menor será a CSR.

Exemplo:

Sendo a CSR 2 cm de cobre para Raios X de 200Kv, determine a espessura necessária para reduzir a intensidade de radiação de 100 mR para 25 mR.

R:



$$2 + 2 = 4 \text{ cm}$$

Espessura = 4 cm

**Refleta**

Quando abordamos a Lei do Inverso do Quadrado da Distância, quais são os itens fundamentais para calcularmos o balizamento de forma correta, levando em consideração a intensidade da radiação?

Quando falamos de cálculos de barreiras, devemos considerar as barreiras para equipamentos geradores de Raios X, visando sempre à proteção radiológica, e para isso deve ser seguido os seguintes parâmetros:

- Tipo do aparelho.
- Tensão aplicada no tubo.
- Corrente aplicada no tubo.
- Fabricante do aparelho.
- Projeto elétrico do aparelho.
- Filtros inerentes ao tubo.
- Unidade geradora.
- Tipo do tubo de Raios X e ânodo.
- Feixe útil, radiação de fuga ou retroespalhada.
- Distâncias.

Para obtermos um bom cálculo para paredes de proteção, devemos avaliar as taxas de doses envolvidas em função da tensão e corrente aplicadas que são fornecidas pelo fabricante.



Pesquise mais

Saiba mais sobre os cálculos de balizamento na tese: AQUINO, J. O. **Procedimentos de Proteção Radiológica em Aplicações Industriais da Radiografia Computadorizada**. Tese de doutorado – UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2009. Disponível em: <http://antigo.nuclear.ufrj.br/DScTeses/teses2009/tese_josilito.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

As paredes de proteção são calculadas através da distância do ponto a ser protegido à distância "d", a máxima dose aceitável "P", os fatores de carga "W", de uso "U" e de ocupação "T", expressa pela fórmula:

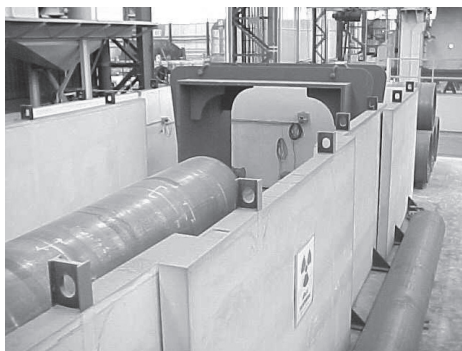
$$K_{ux} = \frac{P \cdot d^2}{WUT}$$

O valor de Kux determina a espessura da parede para vários materiais mais comuns, por método gráfico.

A *National Concil on Radiation Protection and Measurements* (NCRP) descreve os métodos de cálculo para gerador de Raios X e Aceleradores com energias na faixa de 0,1 a 100 MeV.

A Figura 3.8 demonstra uma instalação de radiografia industrial, com proteção de paredes móveis construídas em concreto baritado, no qual a blindagem biológica permite a proteção adequada dos funcionários da fábrica.

Figura 3.8 | Instalação para radiografia de tubos de aço



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.



Exemplificando

Podemos afirmar que o controle do tempo de exposição da fonte de radiação é um fator associado à carga de trabalho do equipamento no qual as condições de trabalho não permitem reduzir a taxa de exposição ambiental e a carga de trabalho consiste na ferramenta indispensável para compensar a dose recebida por trabalhadores.



Vocabulário

Parâmetros: é um substantivo masculino bastante usado na matemática que consiste em uma linha constante e invariável, que pertence a uma equação ou que faz parte da construção de uma reta. Em alguns casos essa palavra é usada como sinônimo de norma ou padrão.

Camada semirredutora: espessura de um material especificado que, introduzido no feixe de raios X, reduz a taxa de kerma no ar à metade. Nesta definição, considera-se excluída a contribuição de qualquer radiação espalhada que não estava presente inicialmente no feixe considerado.

Sem medo de errar

Beatriz e Gustavo, fascinados com todas as suas descobertas, chegam à conclusão de que o processo de espalhamento da radiação ocorre após ela ser emitida pela fonte onde os mesmos números de raios gerados se espalham ocupando cada vez mais áreas maiores. Além disso, eles também descobriram que a radiação decai por meio da camada semirredutora e da camada décima redutora. Tendo em mente o ato de Beatriz e Gustavo, você saberia dizer o que significa a camada décima redutora (TVL)? Para calcularmos a TVL devemos seguir algumas regras.

A Camada Décimo Redutora (TVL) é a espessura particular de material capaz de reduzir em 10 vezes a intensidade de radiação.

Para calcularmos a camada semirredutora devemos seguir algumas regras. O n significa o número de camadas semirredutoras contidas na espessura de uma barreira; o I_0 significa a intensidade inicial de radiação, sem barreiras. Então podemos obter uma relação de acordo com o fator de redução.



Atenção

A radiação refletida na parede tem a mesma energia que o feixe de Raios X incidente nesta, isto para energias menores que 500 keV.

Avançando na prática

Equipamentos e fontes de radiação utilizada em radiologia industrial

Descrição da situação-problema

Quando falamos de cálculos de barreiras, devemos levar em consideração as barreiras para equipamentos geradores de Raios X, visando sempre à proteção radiológica, e para isso quais os parâmetros que devemos seguir? Após descrever os parâmetros, calcule a Lei do Inverso do Quadrado da Distância onde a 3 m de distância de um aparelho a exposição é de 200 mR. Qual a exposição em 2 m?



Lembre-se

A CSR é definida em inglês como *Half Value Layer* (HVL), sendo então classificada como a espessura de um material que é capaz de absorver 50 % da intensidade de radiação medida sem barreira, simbolizada por $X_{1/2}$, desta forma, a CSR é considerada proporcionalmente inversa ao coeficiente de atenuação linear.

Resolução da situação-problema

Devemos seguir o tipo do aparelho, a tensão aplicada no tubo, a corrente aplicada no tubo, o fabricante do aparelho, o projeto elétrico do aparelho, os filtros inerentes ao tubo, a unidade geradora, o tipo do tubo de Raios X e ânodo, o feixe útil, radiação de fuga ou retroespalhada e a distância.

Para calcular a Lei do Inverso do Quadrado da Distância onde a 3 m de distância de um aparelho a exposição é de 200 mR, utiliza-se a fórmula abaixo:

$$\begin{array}{l} D1 = 2 \text{ m} \\ D2 = 3 \text{ m} \\ I1 = ? \\ I2 = 200 \text{ mR} \end{array} \quad \frac{I1}{I2} = \frac{(D2)^2}{(D1)^2} \rightarrow \frac{I1}{200} = \frac{(3)^2}{(2)^2} \rightarrow \frac{I1}{200} = \frac{9}{4} \rightarrow I1 \cdot 4 = 1.800 \rightarrow I1 = \frac{1.800}{4} \rightarrow I1 = 450 \text{ mR}$$

Então, a exposição a 2 m é de 450 mR.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar os cálculos de balizamento, faça um levantamento literário e apresente as principais vantagens e desvantagens relacionadas com a segurança e proteção radiológica envolvendo todos os trabalhadores da Radiologia Industrial.

Faça valer a pena

1. Devemos ressaltar que a _____ é uma forma de proteger e prevenir contra a radiação _____, com base nisso usa-se a distância como fator de diminuição da exposição, e podemos classificar a distância como um meio seguro e principalmente de baixo _____.

Assinale a alternativa que complete corretamente as lacunas:

- a) distância, ionizante, custo.
- b) estância, amplificação, benefício.
- c) distância, ampolas, custo.
- d) diâmetros, ionizante, recessão.
- e) distância, ampliações, custo.

2. Quando falamos de Camada Semirredutora podemos afirmar que ela reduz 50% da capacidade de radiação. De acordo com essa informação resolva a questão.

Sendo CSR 4 cm de alumínio para Raios X de 200kV, determine a espessura necessária para reduzir o nível de radiação de 1000 mR para 125mR.

- a) Espessura = 10 cm.
- b) Espessura = 11 cm.
- c) Espessura = 12 cm.
- d) Espessura = 13 cm.
- e) Espessura = 14 cm.

3. A Lei do Inverso do Quadrado da Distância deve ser sempre utilizada como forma de proteção, pois consiste num meio rápido, barato, seguro e de fácil aplicação, especialmente em áreas abertas, sem proteção física. Ao dobrarmos a distância sua intensidade de radiação será reduzida para $\frac{1}{4}$ de intensidade de radiação original.

De acordo com o texto acima calcule: A 1 m da ampola o paciente está exposto a 200 mR de radiação. Qual seria a intensidade de radiação a 2 m?

- a) I2 = 10 mR.
- b) I2 = 20 mR.
- c) I2 = 30 mR.

d) $I_2 = 40 \text{ mR}$.

e) $I_2 = 50 \text{ mR}$.

Seção 3.3

Levantamento radiométrico

Diálogo aberto

Caros alunos, sejam bem-vindos à Seção 3.3. A partir de agora você iniciará seus estudos sobre o levantamento radiométrico e suas modalidades.

A leitura desta seção irá ampliar sua compreensão sobre a medição dos níveis de radiação junto ao comando dos aparelhos e nas áreas circunvizinhas à sala de aplicação de Raios X, bem como avaliar se os níveis são compatíveis com os Limites de Tolerância para as radiações ionizantes.

Antes de iniciarmos, vamos retomar a situação-realidade apresentada na Seção 3.1.

Devido às pesquisas efetuadas por Beatriz e Gustavo, ambos chegaram à conclusão de que tudo o que é relacionado com aeronaves, automóveis, metrô, trens, navios e submarinos devem passar por um levantamento radiométrico, visando à segurança e integridade de todos os trabalhadores da radiologia industrial. Para isso, Beatriz e Gustavo avaliaram a importância de respeitar os limites de tolerância da radiação comparando o trabalhador da radiologia industrial com as demais pessoas que não fazem parte dessa atividade, com isso analisaram atentamente as Diretrizes Básicas de Radioproteção (CNEN 3.01). De acordo com as pesquisas efetuadas, você saberia dizer quais são os limites de tolerância da dose efetiva para o indivíduo ocupacionalmente exposto e para o público em geral? Esses limites são avaliados em que periodicidade? Qual o valor médio nas regiões avaliadas?

Para ser capaz de resolver essa problematização, você deve compreender e identificar os limites de radiação para efetuar o levantamento radiométrico.

Não pode faltar

Você sabe dizer quais são os métodos da detecção de radiação?

O processo para detectar a radiação ocorre através de detectores eletrônicos que são conhecidos como: contador de Geiger-Müller, câmara de ionização, contadores

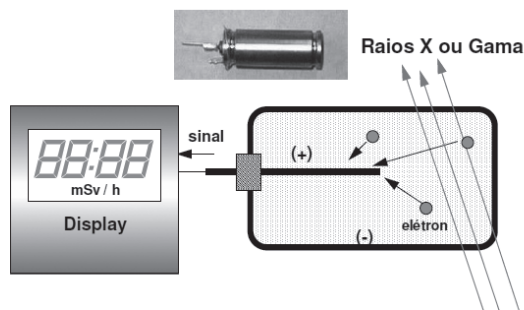
proporcionais e cintiladores. O processo da detecção de radiação associa-se a um sistema que realiza os registros eletrônicos, sendo este capaz de efetuar a conta de cada sinal que é emitido através da passagem da radiação pelo detector. Esse dispositivo é capaz de transformar a energia recebida pela radiação em impulsos elétricos, os quais podem ser medidos.

Os modelos dos detectores gasosos podem ser Geiger-Müller ou Câmara de Ionização, os quais possuem uma câmara contendo em seu interior uma mistura gasosa que geralmente é composta por álcool etílico e halogênios, cujo volume varia de acordo com sua aplicação, e dessa forma produz pulso elétrico com amplitude constante que independem da natureza ou energia de radiação a qual iniciou o processo de ionização em seu interior.

Podemos dizer que uma das qualidades do detector de Geiger-Müller é a sua alta sensibilidade à radiação.

A Figura 3.9 ilustra os modelos de detectores gasosos de Geiger-Müller e Câmara de Ionização.

Figura 3.9 | Detector gasoso



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2016.

Nos detectores gasosos ocorrem oscilações de tensão no tubo que podem gerar problemas de condição da carga de bateria, porém não ocasiona alterações nas leituras realizadas. Sua propagação de ionização através do volume gasoso é processada em microssegundos, onde os elétrons serão apanhados através do ânodo e conduzirão os pulsos elétricos para o amplificador.



Assimile

O detector Geiger-Müller é classificado como o mais importante para utilização em proteção radiológica devido às suas características de robustez, estabilidade, portabilidade, leituras com precisão aceitável a cerca de 20 % e independente de pressão e temperatura.

Podemos exemplificar alguns aparelhos detectores de radiação no modelo Geiger-Müller através de:

- Monitores de área.
- Detectores portáteis de radiação.
- Integradores eletrônicos.
- Medidores de nível.
- Detector sonoro.

A Figura 3.10 ilustra um dosímetro digital de leitura direta, sendo ele um monitor sonoro, operado com o detector de Geiger-Müller.

Figura 3.10 | Monitor sonoro



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

A Figura 3.11 ilustra o detector Geiger-Müller digital. Ele atua em uma faixa de energia de quarenta keV até três MeV com o grau de variação de resultados de uma medição classificada aproximadamente 20 %, e possui escalas de contagem automáticas de um microsievert até 9,99 milisievert por hora e seu peso é aproximadamente de quinhentos gramas.

Figura 3.11 | Detector digital



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

A Figura 3.12 ilustra um equipamento que tem a função de medir e monitorar as áreas sonoras e luminosas que atua com detector Geiger-Müller.

Figura 3.12 | Medidor e monitor Geiger-Müller



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilardioprotecao.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

Ao abordarmos a câmara de ionização podemos dizer que são detectores utilizados para medir os feixes de radiação corpuscular ou eletromagnética com baixa energia, tendo então uma variação de pressão e tensão nas câmaras de ionização, acarretando alterações e variações na leitura dosimétrica do aparelho.



Refleta

As câmaras de ionização são usadas como detectores que não possuem pulso, neste caso a carga elétrica total recolhida pelo ânodo é proporcional ao número de partículas detectadas e também pela intensidade da radiação.

A câmara de ionização é formada por meio de material que se constitui pelas leis da física e influencia o seu desempenho. Sua classificação pode ser: equivalente-ar, que é formada por material de baquelite, e equivalente-tecido, que é construída em nylon com polietileno, carbono, fluoreto de cálcio e sílica. Em relação aos seus volumes podemos dizer que se relacionam com a sensibilidade esperada.

Classificamos os detectores de radiação que utilizam câmara de ionização em:

- Dosímetro de bolso, sendo este classificado como leitura direta.
- Monitores de áreas.

Na Figura 3.13 podemos observar que o dosímetro de leitura direta é utilizado para quantificar as grandezas, sendo essas de leituras analógicas que se graduam na faixa entre zero a duzentos milliroentgen ou zero a quinhentos milliroentgen, sendo então utilizado o dosímetro como detector em uma pequena câmara de ionização, a qual fica preparada na parte do meio do dosímetro e sua aplicação é útil nas situações

em que o conhecimento da dose recebida é imediato e identifica o fator crucial para tomar qualquer tipo de decisão em relação ao operador do equipamento emissor de radiação.

Figura 3.13 | Dosímetro de leitura direta



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

O dosímetro de leitura indireta é classificado como detectores que possuem propriedades de dispor efeitos físico-químicos que estão em proporção ao grau de exposição em relação à radiações recebidas através de um período de tempo, na qual a finalidade é efetuar o registro da radiação recebida por trabalhadores. O dosímetro de leitura indireta deve ser fornecido pela CNEN, e seu uso é obrigatório para todos os trabalhadores que atuam com materiais radioativos. Além disso sua função é estabelecer os registros dosimétricos do trabalhador, avaliando a quantidade de radiação a qual o indivíduo foi exposto. É importante ressaltar que esse equipamento não irá proteger diretamente o trabalhador, mas sim informá-lo da quantidade de radiação a qual foi exposto.

Na Figura 3.14 podemos observar a forma correta de utilização do dosímetro de leitura indireta.

Figura 3.14 | Dosímetros de leitura indireta



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

Os dosímetros de leitura indireta são classificados através do tipo de filmes fotográficos, os quais enegrecem proporcionalmente em relação à quantidade de radiação que recebe e são chamados Dosímetros Termoluminescentes (TLD) que são constituídos por um cristal, sendo este geralmente de sulfato de lítio, com a função de armazenar a quantidade de radiação que recebe e liberar proporcionalmente essa resposta na forma de fluorescência, isso ocorre quando o dosímetro é aquecido a uma temperatura de 200 °C.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a monitoração de área dosimétrica: M.L.G. Andrade e M.P.A. Potiens. **Monitoração de área em instalações de baixo risco.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN-SP, 2006. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2006/eventos/15483.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

Quando falamos de dosímetros híbridos de leitura direta e indireta podemos dizer que eles possuem condições para o registro das doses, desde a ordem de fundo da radiação até doses altas, com precisão total e com métodos de informatização, sendo capazes de efetuar os registros referentes às distribuições de doses em seu período decorrente. Esse dosímetro é com meses de integração, possuindo o formato de um cartão de crédito contendo um minúsculo detector no estado sólido ligado a um circuito especial de contagem microprocessada com uma memória não volátil e um display de cristal líquido para leitura de suas funções e dose integrada.

Esse tipo de dosímetro pode ser programado para indicar doses acumuladas de 1 μSv até 10 Sv ou até mesmo as taxas de doses desde 1 $\mu\text{Sv/h}$ até 10 Sv/h. Dessa forma ele consegue fornecer um histórico acurado de doses recebidas abordando seus valores de doses diárias dos últimos três meses ou mensais dos últimos cinco anos.



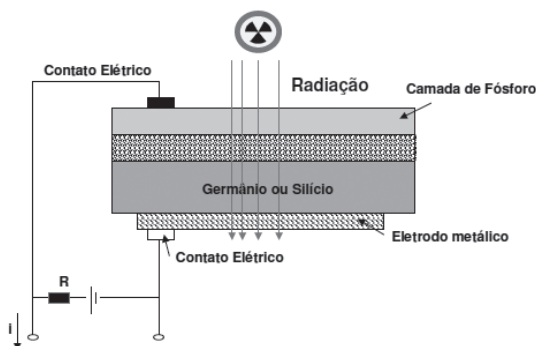
Exemplificando

Os dosímetros eletrônicos digitais de leitura direta pessoal têm o tamanho aproximado de um cartão. Eles são capazes de registrar as doses por um período, podendo chegar até um ano de registros contínuos e de oito horas diárias, obtendo resultados de doses acumuladas nos quais são lidos diretamente no módulo de leitura que se localiza acoplado ao computador e à impressora. Esse sistema foi desenvolvido para o tipo de dosimetria individual que trabalha diretamente com instalações radioativas, e sua principal vantagem é a rapidez de processamento e registro das

doses, assim como os parâmetros que cercam a dose recebida, sendo muito importante nos casos de acidentes, apresentando o valor da dose e o tempo de exposição adquirida. Possui, dessa forma, informações básicas para tomada de decisão quanto a acompanhamento médico.

Os detectores do estado sólido capturam a imagem em formato de sinal elétrico. Esse processo é realizado através de detectores de radiação no estado sólido, tornando possível a conversão da radiação ionizante em sinal elétrico. De acordo com a Figura 3.15 podemos observar que os detectores de estado sólido são constituídos de uma parte superior e contêm um material composto de base de fósforo que emite luz através da passagem da radiação, incidindo o núcleo do detector que através do efeito foto elétrico emite elétrons. Dessa forma origina-se uma corrente elétrica no terminal do detector, proporcional ao fóton de radiação de entrada, em que a corrente elétrica poderá ser utilizada para gerar imagem em uma televisão, gravação em vídeo, digitalização, entre outros.

Figura 3.15 | Detector de estado sólido



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostilaradioprotecao.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

Quando falamos de testes e calibração relacionados ao instrumento de medição, sabemos que os detectores de radiação (dosímetros) são fundamentais na proteção radiológica, sendo sua função é avaliar, medir e quantificar as doses de radiação. Para o bom funcionamento é necessário que ocorram calibrações periódicas anualmente conforme determinado pela CNEN.

De acordo com a CNEN 3.01 a exposição dos indivíduos deve ser diminuída de tal modo que nem a dose efetiva e nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse causados pelas possíveis combinações das exposições originadas por práticas autorizadas sejam excedidas, conforme o limite de dose ilustrado na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 | Limite de doses anuais

Limites de Dose Anuais [a]			
Grandeza	Órgão	<i>Indivíduo ocupacionalmente exposto</i>	<i>Indivíduo do público</i>
<i>Dose efetiva</i>	Corpo inteiro	20 mSv [b]	1 mSv [c]
<i>Dose equivalente</i>	Cristalino	20 mSv	15 mSv
	Pele [d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

Fonte: <http://www.lcr.uerj.br/downloads/ne_301.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2016.

Segundo a CNEN 3.01:

[a] é utilizado para o controle administrativo realizado pela CNEN, no qual seu termo dose anual deve ser considerado no período anual de janeiro a dezembro.

[b] é a média analisada no período de cinco anos consecutivos, porém não pode exceder cinquenta mSv em qualquer ano.

[c] a CNEN pode autorizar um valor de dose efetiva de até cinco mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de cinco anos consecutivos não exceda a um mSv por ano.

[d] o valor médio em um centímetro cúbico de área na região mais irradiada na qual os valores de dose efetiva se aplicam à soma das doses efetivas, causadas por exposições externas, com as doses efetivas comprometidas (integradas em 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para crianças), causadas por incorporações ocorridas no mesmo ano.



Vocabulário

Baquelite: é uma resina sintética, quimicamente estável e resistente ao calor, que foi o primeiro produto plástico.

Halogênios: são os elementos que se encontram na família 17 ou VII A da Tabela Periódica.

Microssegundos: é uma unidade de tempo do SI igual a um milionésimo (10⁻⁶) de segundo.

Polietileno: é um dos plásticos mais importantes da atualidade, principalmente entre os termoplásticos, que são aqueles que se deformam com o calor.

Robustez: característica do que é robusto, vigoroso, força, robusteza, robustidão.

Sílica: é um material usado para absorver umidade. É um produto sintético, produzido pela reação de silicato de sódio e ácido sulfúrico.

Volátil: cuja opinião ou ponto de vista muda com facilidade; inconstante, volúvel.

Sem medo de errar

Beatriz e Gustavo avaliaram a importância de respeitar os limites de tolerância da radiação comparando o trabalhador da radiologia industrial com as demais pessoas que não fazem parte dessa atividade, com isso analisaram atentamente as Diretrizes Básicas de Radioproteção (CNEN 3.01). De acordo com as pesquisas efetuadas você saberia dizer quais são os limites de tolerância da dose efetiva para o indivíduo ocupacionalmente exposto e para o público em geral? Esses limites são avaliados em que periodicidade? Qual o valor médio nas regiões avaliadas?

De acordo com a CNEN 3.01 a dose efetiva do corpo inteiro para o indivíduo ocupacionalmente exposto é de 20 milisievert (mSv) e para o público em geral é de 1 mSv.

A periodicidade de avaliação dos limites de dose é anual e deve seguir as recomendações da CNEN. Porém, em circunstâncias especiais, a mesma poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos não exceda a 1 mSv por ano.

O valor médio avaliado nas regiões é de um cm^2 de área, na região mais irradiada.



Atenção

De acordo com a CNEN 3.01 a exposição dos indivíduos deve ser diminuída de tal modo que nem a dose efetiva e nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse causados pelas possíveis combinações das exposições originadas por práticas autorizadas sejam excedidas conforme o limite de dose.

Avançando na prática

Detecção de radiação

Descrição da situação-problema

O processo da detecção de radiação está associado a um sistema de registro

eletrônico capaz de contar cada sinal emitido através da passagem da radiação pelo mesmo. O detector é um dispositivo capaz de transformar a energia recebida pela radiação em impulsos elétricos mensuráveis. Quando falamos dos modelos dos detectores gasosos do tipo Geiger-Müller e Câmara de Ionização podemos dizer que eles são constituídos de quê? O que eles produzem? Quando um indivíduo ultrapassa a quantidade de radiação permitida, qual procedimento é realizado?



Lembre-se

A câmara de ionização é formada por meio de material que se constitui pelas leis da Física e influencia o seu desempenho; sua classificação pode ser: equivalente-ar que é formada por material de baquelite, equivalente-tecido que é construída em nylon com polietileno, carbono, fluoreto de cálcio e sílica.

Resolução da situação-problema

Geiger-Müller ou Câmara de Ionização possuem uma câmara contendo em seu interior uma mistura gasosa que geralmente é composta por álcool etílico e halogênios cujo volume varia conforme sua aplicação.

Produz pulso elétrico com amplitude constante que independem da natureza ou energia de radiação na qual iniciou o processo de ionização em seu interior.

Quando for constatado que um indivíduo recebeu uma dose superior aos limites estabelecidos pela CNEN, aquele deve ser submetido a uma avaliação clínica, sendo realizado um hemograma para verificar se houve ou não alterações sanguíneas. Caso seja constatada a alteração, o indivíduo deverá ser afastado do trabalho e obrigatoriamente deve realizar o hemograma mensalmente até que seja constatada a sua normalização, podendo então voltar às suas funções.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de avaliar o levantamento radiométrico, faça uma análise e assimile os conceitos de dosimetria com a CNEN 3.01, efetuando uma apresentação dos limites de dose, incluindo a dose efetiva e a dose equivalente.

Faça valer a pena

1. De acordo com a detecção da radiação através de detectores eletrônicos podemos dizer que ela ocorre de quatro formas, assinale a alternativa correta:

- a) Contador de Geiger-Müller, Câmara de Radiação, Contadores Proporcionais e Cintiladores.
- b) Contador de Geiger-Müller, Câmara de Ionização, Contadores Proporcionais e Cintiladores.
- c) Contador de Geiger-Müller, Câmara de Ionização, Contadores Propiciais e Cintiladores.
- d) Contador de Geiger-Müller, Câmara de Ionização, Contadores Proporcionais e Indicadores.
- e) Catador de Geiger-Müller, Câmara de Ionização, Contadores Proporcionais e Cintiladores.

2. O processo da detecção de radiação está associado a um sistema de registro eletrônico que é capaz de contar cada sinal emitido através da passagem da radiação pelo mesmo. O detector é um dispositivo capaz de transformar a energia recebida pela radiação em:

Assinale a alternativa correta.

- a) Impulsos elétricos mensuráveis.
- b) Impulsos elétricos imensuráveis.
- c) Impulsos fotoelétricos mensuráveis.
- d) Pulsos elétricos mensuráveis.
- e) Impulsos fotoelétricos imensuráveis.

3. Os modelos dos detectores gasosos podem ser Geiger-Müller ou Câmara de Ionização, os quais possuem uma _____ contendo em seu interior uma mistura gasosa que geralmente é composta por _____ e halogênios cujo volume varia de acordo com sua aplicação, produzindo pulso elétrico com amplitude constante que independem da natureza ou energia de radiação que iniciou o processo de _____ em seu interior.

Com base no texto assinale a alternativa que complete corretamente as lacunas:

- a) câmara, álcool etílico, ionização.

- b) câmara, álcool etileno, ionização.
- c) câmara, álcool etílico, radiação.
- d) câmara, álcool etileno, ionização.
- e) câmara, álcool etílico, ionização.

Seção 3.4

Tomografia industrial

Diálogo aberto

Caros alunos, sejam bem-vindos à Seção 3.4. A partir de agora você iniciará seus estudos sobre a Tomografia Industrial. A leitura desta seção irá ampliar sua compreensão em relação aos fundamentos, conceitos e aplicações da tomografia industrial.

Vamos voltar à situação-realidade apresentada no convite ao estudo desta unidade?

Beatriz e Gustavo aprofundam seus conhecimentos sobre o funcionamento da Tomografia Computadorizada Industrial, buscando como ocorre a aquisição da imagem e qual a sua finalidade. Decidem então estudar a fundo essa modalidade, e começam uma intensa pesquisa sobre o assunto. Durante os estudos, notam que a capacidade dessa técnica em reproduzir os detalhes das peças a serem analisadas é surpreendente e ainda produz imagens detalhadas e com alta resolução, podendo ajudar de forma minuciosa a análise de defeitos de peças industriais, porém o entusiasmo deles chegou ao fim ao saber que a técnica não era muito aplicada nas indústrias. Você saberia dizer por que a tomografia industrial é classificada como um ensaio pouco aplicado na indústria? E qual o significado da escala de Hounsfield na aplicação dessa técnica?

Para ser capaz de resolver essas problematizações, você deve ter a compreensão em relação aos fundamentos, conceitos e aplicações da tomografia industrial.

Não pode faltar

Quando falamos de tomografia industrial não podemos deixar de falar do funcionamento de um tomógrafo e suas características. Para entendermos melhor, veremos os princípios físicos e o processo de formação da imagem tomográfica, na qual obtemos as imagens através da intersecção de linhas e colunas.

A história da tomografia iniciou-se nos anos 1970 com a invenção do aparelho de Tomografia Computadorizada por Godfrey Newbold Hounsfield na Inglaterra. Sua

invenção lhe rendeu o Prêmio Nobel em Medicina.

Os avanços na Tomografia Computadorizada (TC) têm permitido o seu uso no campo industrial para a metrologia, além da inspeção visual usado principalmente no campo da medicina.

Podemos dividir o processo de formação da imagem na tomografia em escaneamento e reconstrução, de modo que no escaneamento o tubo de Raios X gira ao redor da estrutura e o feixe é atenuado, diferenciando as estruturas com a interação da energia, e os detectores são atingidos por uma quantidade diferenciada de fótons. Em cada momento que estes chegam aos detectores, são medidos o logaritmo da intensidade do sinal analógico; já na reconstrução, os sinais analógicos são lidos através dos detectores e enviam o sinal para um conversor digital no sistema computacional, que, por sua vez, são convertidos em sinais digitais e em seguida é produzida a imagem.

A tomografia classifica-se como um método de diagnóstico por imagem, na qual a capacidade de reproduzir detalhes das peças e objetos é surpreendente, pois a utilização de Raios X através de tubos de alta potência com computadores faz com que seja capaz de processar um grande volume de informações e produzir imagens detalhadas e com alta resolução.

Para identificarmos as estruturas classificamos se são de alta ou baixa resolução, sempre levando em consideração a escala de Hounsfield (HU) que significa o grau de enegrecimento do filme através de suas densidades, nas quais são lidas em diversos pontos de uma matriz e cada um dos pontos é denominado como pixel. Os detectores do tomógrafo recebem a energia e a transformam em corrente elétrica, sendo posteriormente transformada em informações digitais, formando então as imagens bidimensionais e tridimensionais.

A escala de unidade Hounsfield significa uma transformação da medida original do coeficiente de atenuação linear para uma escala sem dimensão, na qual a radiodensidade da água destilada sob condições-padrão de temperatura e pressão será definida com o numeral zero da unidade de Hounsfield e a radiodensidade do ar na condição padrão de temperatura e pressão será definida como -1000 Hounsfield; geralmente essa escala é utilizada entre -1000 HU e 3000 HU.

Podemos dizer que na tomografia o valor de um dado material é determinado em relação ao coeficiente de atenuação linear da água, sendo ele representado pela fórmula:

$$\text{Valor CT} = 1000 \times \frac{\mu - \mu_{H_2O}}{\mu_{H_2O}}$$

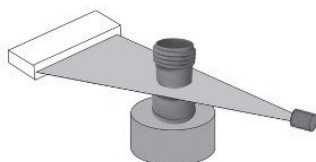
μ da água (H_2O) significa o coeficiente de atenuação linear da água, sendo então μ o coeficiente de atenuação linear do material em questão, no qual percebemos que uma mudança em uma unidade Hounsfield (HU) representa uma mudança de 0,1 %

do coeficiente de atenuação linear da água.

A unidade do número CT (Tomografia Computadorizada) é a unidade Hounsfield (HU).

Os scanners de linha (Figura 3.16) são classificados como a primeira geração de scanners de tomografia industrial, nos quais os Raios X são produzidos e o feixe é colimado para criar uma linha. Em seguida ela é traduzida em toda a estrutura e os dados são recolhidos através do detector, no qual os dados são então reconstituídos para criar um processamento chamado de volume três dimensões (tridimensionais).

Figura 3.16 | Scanners de linha



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_computed_tomography>. Acesso em: 15 jul. 2016.

Durante a tomografia industrial a peça é colocada sobre uma mesa giratória, na qual inicia as captações de imagens através do cone de Raios X, produzindo aproximadamente 1.300 imagens de duas dimensões (bidimensionais) que são recolhidos pelo detector. As imagens bidimensionais são processadas para criar uma representação de geometrias externas e internas da parte, sendo estas em volume tridimensional, conforme ilustração da Figura 3.17.

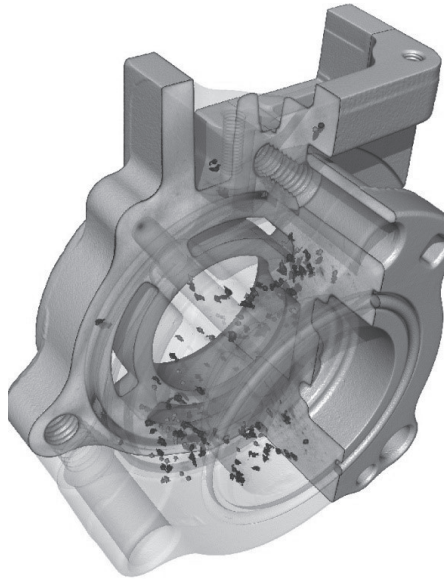
Figura 3.17 | Scanner de feixe cônico



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_computed_tomography>. Acesso em: 15 jul. 2016.

As técnicas de inspeção incluem: a comparação das peças, montagem, análise de defeitos, análise de vazio, análise de espessura de parede, geração de dados para os requisitos de engenharia reversa, requisitos de dimensionamento geométrico e tolerância do processo de aprovação das peças de produção.

Figura 3.18 | Tomógrafo Industrial



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_computed_tomography>. Acesso em: 15 jul. 2016.

A Figura 3.18 ilustra um equipamento de tomografia computadorizada industrial, onde é realizada a fundição de alumínio para identificar falhas internas, tais como espaços vazios. Todas as partículas de cor coordenadas dentro da fundição estão vazias, o que significa porosidade ou presença de ar e podem ainda ser medidas de acordo com o seu tamanho.

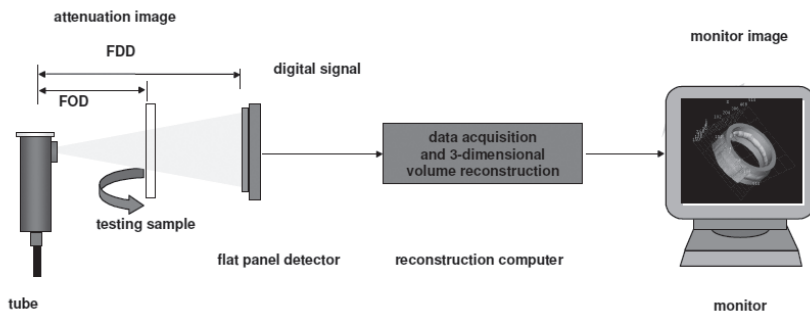


Assimile

Os detectores do tomógrafo recebem a energia e a transformam em corrente elétrica, a qual posteriormente será transformada em informações digitais, formando então as imagens bidimensionais e tridimensionais.

Podemos falar que a tomografia industrial é considerada como um método de inspeção não destrutivo que não utiliza o filme radiográfico para registro dos resultados de aquisição da imagem, conforme é utilizado na radioscopia convencional. Nessa 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 (Figura 3.19). Esse processo é feito através de um sistema que permite visualizar a imagem de uma peça tridimensionalmente e separar as imagens por planos ou camadas na peça.

Figura 3.19 | Esquema do sistema de inspeção por tomografia industrial



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2016.



Refleta

A aplicação clássica da Tomografia Computadorizada Industrial tridimensional é a inspeção e medição tridimensional das fundições de metal e plástico, porém a tecnologia de Raios X de alta resolução cria uma variedade de novas aplicações em campos como tecnologia de sensores, componentes eletrônicos, ciência de materiais e várias outras ciências naturais.

A tomografia industrial é classificada como um ensaio pouco aplicado na indústria devido ao seu alto custo, e também por não poder ser realizada em grandes estruturas, sendo suas aplicações restritas a pequenas peças.



Pesquise mais

Saiba mais sobre a Tomografia Industrial: MOREIRA, I. V. M. **Desenvolvimento do PSIRT para Tomografia Industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso Recife – Pernambuco, 2012. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~tg/2012-1/ivmm.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

Classificamos então a tomografia industrial como uma das técnicas que possuem tendência para aplicação como ensaio não destrutivo em peças de pequeno porte, podendo ser aplicada na caracterização de vários materiais, como o concreto no estado endurecido, serem analisados diversos parâmetros como a formação e a propagação de trincas, vazios, volume de agregados, argamassa e armaduras, além da identificação de possíveis corpos estranhos contidos no mesmo.



Exemplificando

Durante a Tomografia Industrial a peça é colocada sobre uma mesa giratória, que inicia as captações de imagens através do cone de Raios X, produzindo aproximadamente 1.300 imagens de duas dimensões (bidimensionais) nas quais são recolhidos pelo detector.



Vocabulário

Bidimensionais: orientado em duas dimensões.

Escaneamento: ação ou resultado de escanear.

Metrologia: estudo e descrição dos pesos e medidas de todos os povos e épocas.

Sinal analógico: são sinais contínuos cuja variação em relação ao tempo é a representação proporcional de outra variável temporal.

Tridimensionais: orientado em três dimensões.

Sem medo de errar

Beatriz e Gustavo aprofundam seus conhecimentos sobre o funcionamento da Tomografia Computadorizada Industrial, buscando como ocorre a aquisição da imagem e qual a sua finalidade. Decidem então estudar a fundo essa modalidade, e começam uma intensa pesquisa sobre esse assunto. Durante os estudos notam que a capacidade dessa técnica em reproduzir os detalhes das peças a serem analisadas é surpreendente e ainda produz imagens detalhadas e com alta resolução, podendo ajudar de forma minuciosa a análise de defeitos de peças industriais, porém o entusiasmo deles chegou ao fim ao saber que a técnica não era muito aplicada nas indústrias. Você saberia dizer por que a tomografia industrial é classificada como um ensaio pouco aplicado na indústria? E qual o significado da escala de Hounsfield na aplicação dessa técnica?

A tomografia industrial é classificada como um ensaio pouco aplicado na indústria devido ao seu alto custo, e também por não poder ser realizada em grandes estruturas, sendo suas aplicações restritas a pequenas peças.

A escala de Hounsfield é utilizada para identificar as estruturas e classificar se são de alta ou baixa resolução de acordo com o grau de enegrecimento do filme através de suas densidades que são lidas em diversos pontos de uma matriz e cada um dos pontos é denominado como pixel.



Atenção

Classifica-se a tomografia industrial como uma das técnicas que possuem aplicação de ensaio não destrutivo em peças de pequeno porte, podendo ser aplicada na caracterização de vários materiais.

Avançando na prática

Tomografia industrial

Descrição da situação-problema

A tomografia classifica-se como um método de diagnóstico por imagem, na qual a capacidade de reproduzir detalhes das peças e objetos é surpreendente, pois a utilização de Raios X através de tubos de alta potência com computadores faz com que seja capaz de processar um grande volume de informações e produzir imagens detalhadas e com alta resolução. Qual a função dos detectores no tomógrafo? Como é classificado o scanner de linha?



Lembre-se

As técnicas de inspeção incluem a comparação das peças, montagem, análise de defeitos, análise de vazio, análise de espessura de parede e geração de dados para os requisitos de engenharia reversa e requisitos de dimensionamento geométrico e tolerância do processo de aprovação das peças de produção.

Resolução da situação-problema

Os detectores do tomógrafo recebem a energia e a transformam em corrente elétrica, a qual posteriormente será transformada em informações digitais, formando então as imagens bidimensionais e tridimensionais.

Os scanners de linha são classificados como a primeira geração de scanners de tomografia industrial, na qual os Raios X são produzidos e o feixe é colimado para criar uma linha, e em seguida essa linha é traduzida em toda a estrutura e os dados são recolhidos através do detector, no qual os dados são então reconstituídos para criar um processamento chamado de volume três dimensões.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de compreender a Tomografia Industrial, faça uma análise e assimile as técnicas de aplicações e segmentos da indústria onde são utilizadas. Apresente os resultados em forma de tópicos explicativos.

Faça valer a pena

1. Podemos dividir o processo de formação da imagem na tomografia em duas formas, quais são elas? Assinale a alternativa correta:

- a) Escaneamento e reconstrução.
- b) Escoramento e reconstrução.
- c) Escaneamento e reconstituição.
- d) Escoamento e reconstrução.
- e) Escaneamento e retração.

2. No escaneamento tomográfico o tubo de Raios X gira ao redor da estrutura e o feixe é atenuado, diferenciando as estruturas com a interação da energia. Os detectores são atingidos por uma quantidade diferenciada de:

Assinale a alternativa correta.

- a) Quantidade diferenciada de focos.
- b) Quantidade diferenciada de fios.
- c) Quantidade diferenciada de fótons.
- d) Quantidade diferenciada de filmes.
- e) Quantidade diferenciada de fatos.

3. Em cada momento em que os fótons chegam aos detectores, estes medem o _____ da intensidade do sinal analógico, já na _____ os sinais analógicos são lidos através dos detectores e enviam o sinal para um conversor digital no sistema computacional, que por sua vez são _____ em sinais digitais e em seguida é produzida a imagem.

Com base no texto assinale a alternativa que complete corretamente as lacunas:

- a) ritmo, construção, convertidos.
- b) logaritmo, reconstrução, invertido.
- c) ritmo, reconstrução, convertido.
- d) logaritmo, reconstrução, convertidos.
- e) logaritmo, construção, invertidos.

Referências

ANDREUCCI, Ricardo. **Aspectos industriais: proteção radiológica**. São Paulo: ABENDI, 2014.

AQUINO, Joselito Oliveira. **Procedimentos de proteção radiológica em aplicações industriais da radiografia computadorizada**. 2009. 81 f. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear) Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://antigo.nuclear.ufrj.br/DScTeses/teses2009/tese_josilito.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.

BETELLI, Thomaz. **Física e dosimetria das radiações**. São Paulo: Atheneu. 2006.

BONTRAGER, Kenneth L. **Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada**. 7. ed. São Paulo: Elsevier Editora, 2010.

GUIMARÃES FILHO, Samuel. **Controle da qualidade em indústrias mecânicas pesadas**. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2009/Artigos/Art_TCC_052_2009.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.

MOREIRA, Ícaro Valgueiro Malta. **Desenvolvimento do PSIRT para tomografia industrial**. 2012. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2012. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~tg/2012-1/ivmm.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

NOBREGA, Almir Inácio. **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem**. 3. ed. São Paulo: DCL, 2006.

PRANDO, Adilson. **Fundamentos de radiologia e diagnóstico por imagem**. São Paulo: Elsevier Editora, 2007.

TAUHARA, Luiz et al. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. 5. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003.

Atuando com radiologia industrial

Convite ao estudo

Prezado aluno, neste momento, daremos continuidade ao estudo das Técnicas radiológicas na indústria I. Para que haja um conhecimento profundo, estudaremos a seguir:

Na Seção 4.1, estudaremos a implementação dos serviços de proteção radiológica, a norma CNEN-NN-3.01 e as áreas de atuação do tecnólogo em Radiologia. Em seguida, na Seção 4.2, veremos como ocorre a fiscalização dos procedimentos operacionais, enfatizando a definição e a garantia do cumprimento dos protocolos utilizados no serviço. Já na Seção 4.3, abordaremos o treinamento de pessoas em radiologia industrial envolvidas nos procedimentos radiológicos. Por fim, na Seção 4.4, estudaremos os procedimentos e os cuidados em radiologia industrial, efetuando a orientação e a supervisão das atividades da equipe de trabalho; técnicas e procedimentos de trabalho em situações normais e de emergência; verificação e validação dos resultados obtidos; cuidados com os equipamentos utilizados na radiologia industrial e alterações de estruturas submetidas à radiação industrial.

Desse modo, o objetivo desta unidade de ensino é enfatizar os conceitos e as técnicas radiológicas na indústria, bem como sua forma de proteção e segurança. Apresentaremos um contexto de aprendizagem para que você se aproxime dos conteúdos teóricos. Vamos lá!

Allan se formou tecnólogo em Radiologia e pensa em trabalhar com radiologia industrial. Assim, decide fazer uma vasta pesquisa em relação à segurança e à integridade do trabalhador dessa área, buscando os métodos

corretos e seguros das instalações, também aprofunda suas pesquisas, buscando quais as formas adequadas de proteção, analisando atentamente como devem ocorrer as fiscalizações nos setores industriais. Através de sua pesquisa, ele conclui que a proteção radiológica é um fator crucial para essa área, pois por se tratar de altas doses de radiação, não podemos descuidar, um acidente na radiologia industrial poderá gerar danos severos.

Com base no conteúdo estudado, Allan decide efetuar uma visita técnica em uma empresa de radiologia industrial, percorrendo as instalações de gamagrafia. No dia da visita, ele pôde acompanhar uma fiscalização que ocorria naquele momento, cujo foco era avaliar se a empresa está ou não dentro dos padrões exigidos pela CNEN, com base no plano de radioproteção. No decorrer das seções, veremos o desfecho dessa pesquisa e da visita.

A leitura desta unidade irá ampliar sua compreensão sobre a implementação do serviço de proteção radiológica, fiscalização dos procedimentos operacionais, treinamento de pessoal em radiologia industrial e procedimentos e cuidados em radiologia industrial. Para dar início ao estudo deste tema é necessário o conhecimento básico de proteção radiológica e das normas de segurança estabelecidas pela CNEN.

Seção 4.1

Implementação do serviço de proteção radiológica

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo! A partir de agora, iniciaremos os estudos de como devemos atuar na Radiologia Industrial, bem como na implementação dos serviços de proteção radiológica, norma da CNEN e as áreas de atuação do tecnólogo em Radiologia.

Retomando a situação realidade, Allan se formou tecnólogo em Radiologia e pensa em trabalhar com radiologia industrial. Por isso, resolve pesquisar e conhecer as instalações de uma empresa de radiologia industrial. Ao efetuar a visita em uma instalação de gamagrafia, Allan questiona o seu monitor sobre quais as formas adequadas de trabalho, considerando que a área possui um grau de radiação muito elevado quando é acionada, e indaga, também, o que pode ser feito para evitar acidentes, além de discutir a norma da CNEN em relação às suas diretrizes e aos profissionais atuantes nesse segmento. Com esses questionamentos, você saberia dizer o quais são as áreas de atuação do tecnólogo em Radiologia? Qual o meio de verificação das condições gerais de operação do equipamento de gamagrafia?

Para ser capaz de resolver a situação-problema, você deve entender as normas e procedimentos de proteção radiológica, bem como a implementação dos serviços de radiologia industrial.

Não pode faltar

O Plano de Radioproteção é fundamental para garantir que as doses recebidas pelos indivíduos estejam dentro dos limites aceitáveis pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) e que as classificações das áreas dentro da instalação radioativa sejam observadas. Para isso, é necessário um planejamento que aborde o ponto de vista da radioproteção, o qual deverá ser elaborado pelo responsável da instalação radioativa e aprovado pela direção da instalação, sendo nomeado de

Plano de Radioproteção, e deve conter todos os itens relativos à segurança radiológica embasada na indústria.

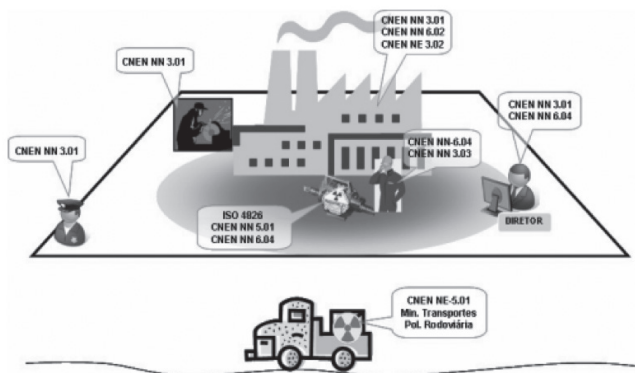
Para o plano de radioproteção devemos abordar um conteúdo que abrange as várias áreas no setor industrial, sendo aplicável em técnicas analíticas, como espectroscopia por Raios-X, difratômetros, fluorescência por Raios X e outros equipamentos assemelhados e medidores nucleares.

É fundamental seguir alguns parâmetros para o bom andamento do plano de radioproteção, como possuir todos os dados cadastrais da empresa e do responsável pelo seu funcionamento, descrição da instalação abordando qual tipo de fonte será utilizada, descrição do setor de radioproteção incluindo todos os equipamentos que possuem na instalação, controle de segurança apresentando o mapa de risco da instalação, informar o programa de controle dos instrumentos de medição, incluindo os testes para verificar o nível de radiação, medições e plano de calibração dos equipamentos, apresentar o programa de monitoração de área, bem como sua classificação, efetuar o levantamento radiométrico, sua periodicidade e os registros dos testes, é fundamental incluir, também, o programa de treinamento de funcionários, embasando nas instruções de radioproteção, efetuar a dosimetria pessoal e exames médicos nos funcionários, efetuar o controle de armazenamento dos equipamentos e o programa de transporte dos mesmos, ter um programa de emergência contendo auditorias e investigação de acidentes, apresentar a planta das instalações.

O termo de responsabilidade do diretor da instalação deve ser feito de modo a atender toda situação específica transitória, por exemplo, os trabalhos com fontes radioativas em obras de campo ou em zonas urbanas. Nesse caso, o conteúdo do plano de radioproteção deve ser determinado pela autoridade regulatória competente.

As normas da CNEN que devem ser seguidas para a segurança e proteção dos indivíduos são: CNEN NN 3.01, 3.02, 3.03, 5.01, 6.02, 6.04 (Figura 4.1).

Figura: 4.1 | Aplicação das normas da CNEN em função das atividades de uma empresa



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2016.

De acordo com as normas da CNEN, podemos dizer que é fundamental para a segurança e proteção do indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE's), o que segue:

- Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica - norma CNEN-NN-3.01.
- Serviços de Radioproteção - norma CNEN-NN-3.02.
- Certificação da Qualidade de Supervisores de Radioproteção - norma CNEN-NN-3.03.
- Transporte de Materiais Radioativos - norma CNEN-NN-5.01.
- Licenciamento de Instalações Radiativas - norma CNEN-NN-6.02.
- Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial - norma CNEN-NN-6.04.



Refleta

O termo de responsabilidade do diretor da instalação deve ser feito de modo a atender toda situação específica transitória, por exemplo, os trabalhos com fontes radioativas em obras de campo ou em zonas urbanas. Nesse caso, o conteúdo do plano de radioproteção deve ser determinado pela autoridade regulatória competente.

Na rotina de radioproteção em gamagrafia, devemos seguir alguns parâmetros, como exposto no roteiro a seguir:

- Verificar a condição geral de operação do equipamento através do relatório de vistoria atualizado do irradiador e acessórios emitido pelo IPEN.
- Assegurar-se de que a fonte radioativa está no irradiador correto através do relatório de vistoria atualizado do irradiador e acessórios, verificando se o número da fonte corresponde à identificação do irradiador.
- Assegurar-se de que o medidor de radiação disponível está operando corretamente através de teste de bateria e de aferição, usando uma fonte de baixa atividade de Césio-137 ou Cobalto-60 específicas para isso, o certificado de calibração também deve estar atualizado.
- Assegurar-se de que não há vazamentos de radiação ou falha na blindagem do irradiador, efetuando o uso do medidor portátil de radiação, monitorando se os níveis de radiação ao redor do irradiador são aceitáveis.
- Assegurar-se de que o tubo guia está em perfeita condição de operação, fazendo inspeção visual no tubo guia. Apontar defeitos, como: cortes, emendas temporárias, ruptura do espiral de aço interno, amassamentos e outros, pois não são aceitáveis.

- Assegurar-se de que as conexões do cabo de comando e do porta fonte estão em condições de segurança, realizando os testes com o “gabarito de teste”, também conhecido como No-Go Gage. Esse teste refere-se a uma ferramenta de inspeção usada para verificar uma peça de trabalho, indicando as suas tolerâncias.
- Assegurar-se de que o cabo de comando está operando corretamente, fazendo teste de funcionamento do comando. Essa operação deve ser macia sem esforços, caso contrário, necessita de reparos ou limpeza.
- Assegurar-se de que os engates rápidos estão funcionando bem, fazendo teste de funcionamento dos engates rápidos, os quais não podem soltar-se facilmente.
- Assegurar-se de que o sistema de travamento do irradiador e a chave/fechadura estão funcionando bem, fazendo teste de funcionamento do travamento, esta operação deve ser macia sem esforços, caso contrário, necessita de reparos ou limpeza.
- Assegurar-se de que placas de sinalização e cordas para isolamento da área estão disponíveis, fazendo verificação visual desses acessórios, os quais devem estar em bom estado.

Dependendo da empresa onde os serviços serão executados, outros documentos, verificações e acessórios poderão ser necessários.

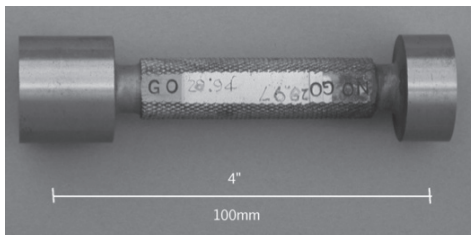


Exemplificando

O No-Go Gage é uma ferramenta de inspeção usada para verificar a tolerância de uma peça, cuja designação refere-se ao tipo de utilização englobando um calibre passa/não passa e são realizados dois testes de tolerância: no primeiro, a peça tem que passar e, no segundo, não pode passar. O calibre passa/não passa é uma ferramenta utilizada nos processos de controle de qualidade na indústria, servindo para assegurar a compatibilidade entre diferentes peças.

Quando falamos de No-Go Gage (Figura 4.2), podemos dizer que é uma ferramenta de medição, sendo utilizado no sentido convencional, que apresenta o estado da peça, a qual pode ser classificada como aceitável, quando está dentro da tolerância ou como não aceitável quando está fora da tolerância e deve ser recusada.

Figura: 4.2 | No-Go Gage: Calibre passa/não passa para furos: lado "passa" à direita e lado "não passa" à esquerda



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Go/no_go_gauge>. Acesso em: 5 ago. 2016.

Podemos dizer então que o No-Go Gage é adequado para ser usado no setor de produção de uma fábrica, uma vez que requer pouca formação para ser usado com eficiência e é suficientemente robusto para resistir à ambientes hostis.



Pesquise mais

Saiba mais sobre as Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (CNEN-NN-3.01), RESOLUÇÃO CNEN Nº 027, DE 17 DE DEZEMBRO DE 2004, disponível em: <<http://www.abfm.org.br/upload/normas/norma12.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2016.

Quando falamos da norma da CNEN-NN-3.01, podemos dizer que ela aborda:

- Critérios de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica.
- Fatores de ponderação para as grandezas de proteção radiológica.
- Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos.
- Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas.
- Critérios de cálculo de dose efetiva a partir da monitoração individual.
- Medidas de proteção e critérios de intervenção em situações de emergência.
- Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica.
- Programa de monitoração radiológica ambiental.
- Modelo para elaboração de relatórios de programa de monitoração radiológica ambiental.
- Níveis de dose para notificação à CNEN.
- Coeficientes de dose para exposição do público.

A norma da CNEN-NN-3.02 tem como objetivo estabelecer os requisitos relativos à implantação e ao funcionamento de serviços de radioproteção e aplica-se às instalações nucleares e às instalações radiativas.

Já a norma da CNEN-NN-3.03 tem por objetivo estabelecer os requisitos necessários à certificação da qualificação de supervisores de radioproteção, e aplica-se às pessoas físicas candidatas à certificação da qualificação de supervisores de radioproteção em instalações nucleares ou em instalações radiativas sujeitas à autorização da CNEM, bem como aquelas que estejam no exercício das atividades de supervisores de radioproteção.

Quando falamos da norma CNEN-NN-5.01, sabemos que ela tem por objetivo estabelecer, com relação ao transporte de materiais radioativos, requisitos de radioproteção e segurança a fim de garantir um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante, compreendendo:

- a) Especificações sobre materiais radioativos para transporte.
- b) Seleção do tipo de embalado.
- c) Especificação dos requisitos de projeto e de ensaios de aceitação de embalados.
- d) Disposições pertinentes ao transporte propriamente dito.
- e) Responsabilidades e requisitos administrativos.

A norma CNEN-NN-6.02 dispõe sobre o licenciamento de instalações radiativas que utilizam fontes seladas, fontes não seladas, equipamentos geradores de radiação ionizante e instalações radiativas para produção de radioisótopos.

E, por fim, a norma CNEN-NN-6.04 dispõe sobre os requisitos de segurança e proteção radiológica necessários para o funcionamento das instalações de radiografia industrial, de acordo com resolução específica sobre licenciamento de instalações radiativas.



Assimile

Ao abordarmos as normas da CNEN-NN-3.03 é importante estabelecer alguns pontos fundamentais, como seguir corretamente as diretrizes referentes às normas e certificações, visando à proteção dos trabalhadores em questão.

Para atuar na radiologia industrial, o tecnólogo deverá ser habilitado e é importante ressaltar e classificar os campos de atuação na área. Primeiramente, o candidato à habilitação deverá comprovar suas competências e atribuições em uma ou mais

especialidades, sendo elas:

- I – Radiografia industrial.
- II – Irradiação industrial.
- III – Radioinspeção de segurança.
- IV – Perfilagem de poços.
- V – Medidores nucleares.

Quando:

A radiografia industrial é considerada um método usado para inspeção não destrutiva que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça inspecionada. A irradiação industrial é outra importante aplicação das técnicas nucleares na indústria, sendo usada para aumentar o tempo de duração dos produtos, por exemplo, para esterilização de produtos médico-hospitalares, como: seringas, luvas, cateteres, agulhas, implantes, suturas, cremes, cosméticos, entre outros. Já a radioinspeção de segurança significa a utilização de radiação ionizante em técnicas analíticas e de inspeção na indústria e em atividades de serviços, e de radiação ionizante na segurança e inspeção de cargas, produtos e pessoas. A perfilagem de poços é um método geofísico que envolve a introdução gradual de uma sonda ao longo de um poço, que pode medir grande variedade de propriedades físicas das rochas circundantes. E, por fim, os medidores nucleares são dispositivos que utilizam fontes radioativas para medidas de parâmetros, tais como: espessura, densidade, umidade e nível, que normalmente incorporam uma fonte radioativa, um detector de radiação e um obturador.



Vocabulário

Difratômetros: os difratômetros de Raios-X são equipamentos de análise não destrutiva, os quais permitem a análise qualitativa do material, bem como a determinação dos parâmetros de rede, medidas de tensões residuais e outras possíveis aplicações. Por meio de análise quantitativa, é possível através do cálculo das áreas dos picos.

Espectroscopia: conjunto de métodos para análise de substâncias, baseados na produção e interpretação de seus espectros de emissão ou absorção de radiações eletromagnéticas (por exemplo, nas regiões do infravermelho, ultravioleta, raios X, visível).

Robusto: de constituição física muito forte, resistente, potente, vigoroso.

Sem medo de errar

Ao efetuar a visita em uma instalação de gamagrafia, Allan questiona o seu monitor sobre quais as formas adequadas de trabalho, levando em consideração que a área possui um grau de radiação muito elevado ao ser acionada. Ele indaga, também, o que pode ser feito para evitar acidentes, discute a norma da CNEN em relação às suas diretrizes e aos profissionais atuantes neste segmento. Com esses questionamentos, você saberia dizer o quais são as áreas de atuação do tecnólogo em radiologia? Qual o meio de verificação das condições gerais de operação do equipamento de gamagrafia?

O tecnólogo em radiologia habilitado em radiologia industrial poderá atuar nos seguintes segmentos: radiografia industrial; irradiação industrial; radioinspeção de segurança; perfilagem de poços; medidores nucleares.

A forma de verificação das condições gerais de operação do equipamento de gamagrafia ocorre por meio do relatório de vistoria atualizado do irradiador e acessórios, emitido pelo IPEN.



Atenção

A CNEN tem por objetivo garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear e desenvolver tecnologias nuclear e correlatas, visando o bem-estar da população.

Avançando na prática

Introdução aos ensaios não destrutivos

Descrição da situação-problema

As normas da CNEN são fundamentais para a segurança e proteção do indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE). Dentro desse contexto, quais parâmetros e quais normas devem ser seguidos?



Lembre-se

Para o plano de radioproteção, devemos abordar um conteúdo que abrange as várias áreas no setor industrial, sendo aplicáveis em técnicas analíticas, como espectroscopia por raios-X, difratômetros, fluorescência por raios X e outros equipamentos assemelhados e medidores nucleares.

Resolução da situação-problema

Devem seguir as Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica - norma CNEN-NN-3.01; Serviços de Radioproteção - norma CNEN-NN-3.02; Certificação da Qualidade de Supervisores de Radioproteção - norma CNEN-NN-3.03; Transporte de Materiais Radioativos - norma CNEN-NN-5.01; Licenciamento de Instalações Radiativas - norma CNEN-NN-6.02; Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial - norma CNEN-NN-6.04



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar as áreas de atuação do tecnólogo em Radiologia, habilitado na radiologia industrial, liste e apresente detalhadamente ao professor qual dessas áreas mais lhe interessou, apresentando o porquê de sua escolha.

Faça valer a pena

1. O Plano de Radioproteção é fundamental para garantir que as _____ pelos indivíduos estejam dentro dos limites aceitáveis pela _____ e que as classificações das áreas dentro da instalação radioativa sejam observadas, para isso, é necessário que seja feito um _____ abordando o ponto de vista da radioproteção.

Com base no texto, assinale a alternativa que complete corretamente as lacunas:

- a) Doses recebidas, IPEN, planejamento.
- b) Doses absorvidas, CNEN, planejamento.
- c) Doses recebidas, CNEN, planejamento.
- d) Doses recebidas, CNEN, loteamento.
- e) Doses absorvidas, IPEN, planejamento.

2. Para o plano de radioproteção, devemos abordar um conteúdo que abrange as várias áreas no setor industrial, sendo aplicáveis em técnicas analíticas, como, espectroscopia por raios-X, difratômetros, fluorescência por raios X e outros equipamentos assemelhados e medidores nucleares.

De acordo com a frase acima, analise as afirmativas e assinale a alternativa que contém a afirmativa correta:

I. É fundamental seguir alguns parâmetros para o bom andamento do plano de radioproteção.

II. Possuir todos os dados cadastrais da empresa responsável pelo seu funcionamento.

III. Os parâmetros são os mesmos seguidos pelo IPEN.

- a) I, II e III.
- b) I e II.
- c) I.
- d) II.
- e) III.

3. As normas da CNEN são fundamentais para a proteção e prevenção de acidentes, e devem seguir um padrão de segurança. Quais são as normas que abrangem essa categoria?

Com base no conteúdo estudado, assinale a alternativa correta:

- a) CNEN NN 3.01, 3.02, 3.03, 5.01, 6.02, 6.03.
- b) CNEN NN 3.01, 3.02, 3.03, 5.01, 6.02, 6.04.
- c) CNEN NN 3.01, 3.02, 3.03, 5.01, 6.02, 6.05.
- d) CNEN NN 3.01, 3.02, 3.03, 5.01, 6.02, 6.06.
- e) CNEN NN 3.01, 3.02, 3.03, 5.01, 6.02, 6.07.

Seção 4.2

Fiscalização dos procedimentos operacionais

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à Seção 4.2. Nesta seção, estudaremos a fiscalização dos procedimentos operacionais utilizados na radiologia industrial. O estudo e compreensão desta seção facilitarão a resolução da próxima situação-problema, que será relacionada às definições e garantias do cumprimento dos protocolos utilizados no serviço de radiologia industrial.

Vamos voltar ao contexto de aprendizagem apresentado no convite ao estudo, na Seção 4.1?

Allan, fascinado com a visita técnica que realizou em uma instalação industrial, decide aprofundar seus conhecimentos e estudar todas as normas e regulamentos que abordam a radiologia industrial. Em meio a seus estudos, ele comprova a importância de um supervisor de proteção radiológica e analisa os critérios para a validação do seu treinamento.

De modo a auxiliar a pesquisa de Allan, descreva quais são os órgãos de fiscalização de acordo com a Portaria 453/98. Auxilie-o no entendimento das atribuições dos Conselhos Regionais dos Técnicos/Tecnólogos de Radiologia (CRTLs) no processo de fiscalização embasados nas Leis nº 6.839/1980 e 7.394/1985.

Não pode faltar

Quando falamos de definição e garantia do cumprimento dos protocolos utilizados, bem como da fiscalização dos procedimentos operacionais, devemos ressaltar que a radiologia industrial é um campo de trabalho que está em crescimento no Brasil, e que abrange uma gama muito grande de modalidades com empregabilidade em diversos setores, como nas fábricas de bebidas, alimentos, cosméticos, papel e celulose, medicamentos. Deve-se ressaltar que para a atuação com segurança nessas áreas é necessário que o profissional seja capacitado para a atuação na função e, para isso, deve ser um técnico/tecnólogo em radiologia habilitado em radiologia industrial. Esse treinamento deve ser aplicado por profissionais qualificados e com certificação

pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em que será abordado um treinamento focado para a proteção radiológica.

Quais são os critérios para a contratação de um profissional em radiologia industrial perante o regimento e a fiscalização?

Podemos dizer que por se tratar de uma área que trabalha com a radiação ionizante em grande escala, é necessário comprovar o conhecimento em proteção radiológica através do certificado de treinamento, que contenha, no mínimo, 80 horas, sendo importante ressaltar que, para ter validade, esse treinamento deverá ser aplicado por um supervisor de proteção radiológica, qualificado e habilitado pela CNEN, com mais de cinco anos comprovados de atuação na indústria. Caso contrário, esse treinamento só terá validade para fins didáticos, não podendo atuar na indústria.

É importante ressaltar que os riscos que envolvem a radiologia industrial são muito maiores do que os que abrangem o diagnóstico por imagem. Isso ocorre devido à emissão de radiação ionizante se feita por equipamentos de raios-X de alta energia. Por isso, para evitar acidentes, é importante seguir todos os procedimentos e protocolos estabelecidos pela empresa de forma correta.

De acordo com a Portaria 453/98 do Ministério da Saúde, além da fiscalização pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), as áreas que envolvem a indústria e a pesquisa científica também devem ser fiscalizadas pela CNEN, quando serão avaliados os equipamentos de radiologia industrial (figura 4.3), medidores de espessura, microscópios eletrônicos, difratômetros, técnicas analíticas em gelar, entre outros.

Figura 4.3 | Avaliação de equipamento na radiologia industrial

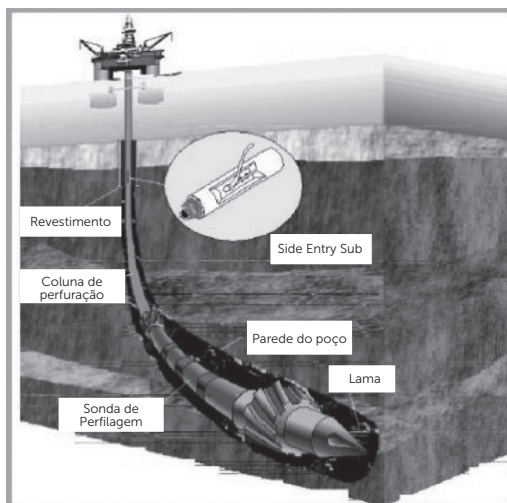


Fonte: <http://tnpetroleo.com.br/media/revista/TN_89_COMPLETA_PARA_O_SITE.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2016.

Dentro da radiologia industrial encontramos diversas áreas de atuação com segmentos diferenciados, sendo assim, para uma boa aplicação, devemos escolher e nos aprimorar em uma área específica, como a radiografia industrial, cuja medição da densidade radiográfica na área de interesse a ser radiografada deverá ser realizada com

o uso de um densitômetro eletrônico; os medidores nucleares, que são dispositivos que utilizam fontes radioativas para medidas de parâmetros, tais como: espessura, densidade, umidade e nível; a inspeção de cargas e contêineres, possibilitando a identificação de objetos ou de substâncias no interior de bagagens ou de cargas sem que haja o processo de inspeção manual; as técnicas analíticas, que são utilizadas para gerenciar projetos e prever possíveis resultados; a perfilagem de poços e petróleo (Figura 4.4), que tem a habilidade de medir as propriedades dos poços a uma determinada profundidade e seu objetivo é fornecer todas as informações necessárias sobre o reservatório analisado; a irradiação industrial, que, por exemplo, possui a função de aumentar o estado de conservação dos alimentos; a tomografia industrial, que é considerada como um método de inspeção não destrutivo; a radioscopia, que consiste em detectar a radiação que emerge da peça através de uma tela fluorescente ou através de uma placa digital; entre outros.

Figura 4.4 | Ilustração da perfilagem de poços e petróleo



Fonte: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABbDsAH/perfilagem>>. Acesso em: 15 ago. 2016.



Assimile

Assim como qualquer atividade profissional, podemos dizer que o uso das radiações ionizantes exige regras básicas de segurança, pois quando ocorre um acidente, os impactos sociais e ambientais podem ser contornados, comprometendo uma pequena parte da população e do meio ambiente, porém quando um acidente nuclear ocorre devido à negligência relacionada às regras de segurança, gera consequências catastróficas para toda a sociedade e ao meio ambiente, havendo impactos capazes de comprometer nossas vidas e as gerações futuras devido aos efeitos da radiação no organismo. Podemos citar como um

grande impacto o ocorrido em Goiânia, em 27 de setembro de 1987, um dos maiores acidentes radiológicos conhecidos na história como CÉSIO 137 - o brilho da morte. Saiba mais no link disponível em: <<http://www.cesio137goiania.go.gov.br/>>. Acesso em: 30 set. 2016.

Atualmente, no campo da radiologia industrial, devido à falta de profissionais técnicos/ tecnólogos em Radiologia com habilitação em radiologia industrial, há uma abertura para que profissionais de outras áreas operem equipamentos específicos da Radiologia, porém o risco de acidente com a radiação ionizante aumenta, pois eles não possuem o conhecimento de uma formação específica na área. Essa irregularidade finalmente começou a ser extinta. Hoje, o Conselho de Radiologia (CRTR), juntamente com a CNEN, fiscaliza as indústrias e as instituições de ensino, buscando um profissional regularmente habilitado e qualificado para essa área de atuação.

Uma das principais atribuições dos Conselhos Regionais dos Técnicos/s de Radiologia (CRTRs) é a fiscalização do exercício profissional, que busca combater a atuação de pessoas inabilitadas a exercerem as funções de tecnólogo, técnico e auxiliar em Radiologia, através da aplicação de multas às empresas e aos profissionais que atuam em desacordo com a legalidade da profissão, prevista nas Leis nº 6.839/1980 e 7.394/1985, respectivamente.



Refleta

O uso da radiação ionizante na indústria é de extrema importância, e através de qualificações específicas é que o técnico ou tecnólogo em radiologia industrial se destaca no mercado de trabalho. É importante ressaltar que para ter validade na sua habilitação, o supervisor que irá fazer o treinamento deverá ter, no mínimo, cinco anos de atuação, sendo comprovado e reconhecido pela CNEN.

Podemos dizer que atualmente o mercado de trabalho da radiologia industrial está em crescimento, com grandes oportunidades de trabalho, sempre respeitando as normas da CNEN. Por isso, destacamos a CNEN NN 7.02 (Resolução) e CNEN 144/13 de 2013 (Norma), ambas publicadas em 2013, com o título: Registro de operadores de radiologia.



Pesquise mais

Saiba mais sobre as Leis nº 6.839/1980 e 7.394/1985, que regulamentam o exercício da profissão e habilitação para atuação na Radiologia. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6839.htm> e <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7394.htm>. Acesso em: 15 ago. 2016.

Conforme a Lei nº 7.394/1985, assinada por Jose Sarney, todo operador de radiologia industrial deverá possuir qualificações e atestado de conhecimento técnico, sendo necessário ter formação técnica ou tecnológica em Radiologia para posteriormente se habilitar nas técnicas industriais.



Exemplificando

Para a segurança da equipe que trabalha na radiologia industrial é de extrema importância verificar e seguir as normas nacionais e internacionais de segurança e proteção radiológica, efetuando todos os procedimentos de forma coerente e correta, para minimizar ao máximo o risco de acidentes.



Vocabulário

Abrange: ação de abranger, de conter em si, em seus limites, de alcançar, de atingir ou de abarcar em seu interior ou limite: a constituição não faz distinção e abrange todos os cidadãos brasileiros.

Catastróficas: que é relativo a catástrofe, a algo que prejudicou ou arruinou algo ou alguém.

Ressaltar: revelar, destacar, tornar saliente, dar relevo. Difratometros: são equipamentos de análise não destrutiva os quais permitem a análise qualitativa do material.

Sem medo de errar

Allan, fascinado com a visita técnica que realizou em uma instalação industrial, decide aprofundar seus conhecimentos e estudar todas as normas e regulamentos que abordam a radiologia industrial. Em meio a seus estudos, comprova a importância de um supervisor de proteção radiológica e analisa os critérios para a validação do seu treinamento.

De modo a auxiliar a pesquisa de Allan, descreva quais são os órgãos de fiscalização de acordo com a Portaria 453/98. Ainda, auxilie o entendimento das atribuições dos Conselhos Regionais dos Técnicos/Tecnólogos de Radiologia (CRTRs) no processo de fiscalização embasados nas Leis nº 6.839/1980 e 7.394/1985.

De acordo com a Portaria 453/98 do Ministério da Saúde, além da fiscalização pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), as áreas que envolvem a indústria e a pesquisa científica também devem ser fiscalizadas pela CNEN, quando serão avaliados

os equipamentos de radiologia industrial, medidores de espessura, microscópios eletrônicos, difratômetros, técnicas analíticas em geral, entre outros.

Uma das principais atribuições dos Conselhos Regionais dos Técnicos/Tecnólogos de Radiologia (CRTRs) é a fiscalização do exercício profissional, que busca combater a atuação de pessoas inabilitadas a exercerem as funções de tecnólogo, técnicos e auxiliares em Radiologia, através da aplicação de multas às empresas e aos profissionais que atuam em desacordo com a legalidade da profissão, prevista nas Leis nº 6.839/1980 e 7.394/1985, respectivamente.



Atenção

A radiografia industrial serve para detectarmos variações de acordo com o material, espessura e também com a densidade em relação à região da peça a ser radiografada, em que a peça será analisada e comparada com uma região próxima.

Avançando na prática

Fiscalização dos procedimentos operacionais em radiologia industrial

Descrição da situação-problema

Quando falamos de definição e garantia do cumprimento dos protocolos utilizados, bem como da fiscalização dos procedimentos operacionais, o que devemos ressaltar? Como deve ser aplicado o treinamento para profissionais de radiologia industrial?



Lembre-se

Na radiologia industrial temos um leque de opções para atuação no mercado de trabalho, por isso devemos nos aperfeiçoar e aprimorar nosso conhecimento em uma área específica, a qual iremos atuar. Para a área escolhida de atuação é importante seguir todas as normas de segurança e proteção, pois atuaremos com fontes de alta intensidade de radiação.

Resolução da situação-problema

Devemos ressaltar que a radiologia industrial é um campo de trabalho que está em crescimento no Brasil, onde abrange uma gama muito grande de modalidades com empregabilidade em diversos setores, como nas fábricas de bebidas, alimentos, cosméticos, papel e celulose, medicamentos, entre outros.

Esse treinamento deve ser aplicado por profissionais qualificados e com certificação

pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em que será abordado um treinamento focado para a proteção radiológica.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de assimilar a fiscalização e os procedimentos operacionais da radiologia industrial, faça uma análise das normas e regulamentações, apresentando os principais aspectos benéficos e debata o que poderia ser incluído e atualizado nessas normas.

Faça valer a pena

1. O treinamento para atuar na _____ deve ser aplicado por profissionais _____ e com certificação pela _____, quando será abordado um treinamento focado para a proteção radiológica.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas:

- a) Gamagrafia industrial, qualificados, CNEN.
- b) Radiologia industrial, qualificados, IPEN.
- c) Inspeção industrial, qualificados, CONTER.
- d) Resolução industrial, qualificados, CRTR.
- e) Radiologia industrial, qualificados, CNEN.

2. Assinale a alternativa correta de acordo com as normas e regulamentações da radiologia industrial:

- a) Podemos dizer que por se tratar de uma área que trabalha com a radiação ionizante em grande escala, é necessário comprovar o conhecimento em proteção radiológica através do certificado de treinamento, que contenha, no mínimo, trinta horas.
- b) Podemos dizer que por se tratar de uma área que trabalha com a radiação ionizante em grande escala, é necessário comprovar o conhecimento em proteção radiológica através do certificado de treinamento, que contenha, no mínimo, quarenta horas.
- c) Podemos dizer que por se tratar de uma área que trabalha com a radiação ionizante em grande escala, é necessário comprovar o conhecimento em proteção radiológica através do certificado de treinamento, que contenha, no mínimo, cinquenta horas.
- d) Podemos dizer que por se tratar de uma área trabalha com a radiação

ionizante em grande escala, é necessário comprovar o conhecimento em proteção radiológica através do certificado de treinamento, que contenha, no mínimo, sessenta horas.

e) Podemos dizer que por se tratar de uma área que trabalha com a radiação ionizante em grande escala, é necessário comprovar o conhecimento em proteção radiológica através do certificado de treinamento, que contenha, no mínimo, oitenta horas.

3. É importante ressaltar que os riscos que envolvem a radiologia industrial são muito maiores do que os que abrangem o diagnóstico por imagem. Isso ocorre:

- a) Devido à emissão de radiação ionizante ser feita por equipamentos de Raios-Gama de alta energia.
- b) Devido à emissão de radiação ionizante ser feita por equipamentos de raios-X de alta energia.
- c) Devido à emissão de radiação ionizante ser feita por equipamentos de raios-X de baixa energia.
- d) Devido à emissão de radiação ionizante ser feita por equipamentos de Raios-Gama de baixa energia.
- e) Devido à emissão de radiação ionizante ser feita por equipamentos de raios-Infravermelhos de alta energia.

Seção 4.3

Treinamento de pessoal em radiologia industrial

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à Seção 4.3. Nesta seção, abordaremos o treinamento de pessoas atuantes na radiologia industrial. O estudo e a compreensão desta seção facilitarão a resolução da próxima situação-problema, relacionada ao treinamento do pessoal envolvido nos procedimentos radiológicos da radiologia industrial.

Vamos, agora, continuar o contexto de aprendizagem que mostra a trajetória de Allan descobrindo a radiologia industrial. Com tantas informações novas, Allan decide se aprofundar mais em relação ao processo de treinamento para atuação na radiologia industrial, quando analisou a qualidade dos ensaios não destrutivos e descobriu que, para essa atuação, o profissional deve ser técnico ou tecnólogo em Radiologia e possuir treinamento específico por um profissional qualificado e habilitado para esta função.

Com base nas descobertas de Allan, descreva qual a finalidade da qualificação e treinamento na radiologia industrial. Ainda, enfatizando suas descobertas, auxilie no entendimento do processo que aborda o meio mais eficaz para evitar uma exposição acidental.

Não pode faltar

Antes de abordarmos os treinamentos de pessoal em radiologia industrial, é importante voltarmos na Seção 3.1 e lembrar o que é um Ensaio Não Destrutivo (END), podemos defini-lo como teste, inspeção, exame ou avaliação, que pode ser aplicado a um material ou objeto para determinar a sua integridade, composição, dimensões, propriedades elétricas ou térmicas, por uma técnica que não afete a utilização futura do mesmo, ou seja, sem causar mudanças em quaisquer dessas características.

Podemos subdividir o treinamento para a radiologia industrial em três etapas: geral, específico e prático.

Na etapa geral, ensina-se o conhecimento básico incluindo os objetivos, características, vantagens e limitações.

Quando abordamos a etapa geral, os conhecimentos são ampliados conforme as normas e exemplos de procedimentos, sendo eles tanto gerais como específicos, focados a um método de ensino.

Já no ensinamento prático, abordam-se os conhecimentos obtidos no treinamento teórico, com foco em ambientar as pessoas e orientá-las em relação ao meio ambiente e sobre os equipamentos, procedimentos, técnicas, materiais e acessórios utilizados nos métodos que serão utilizados nessas etapas.

Devemos enfatizar que a qualificação em ensaios não destrutivos significa a somatória e comprovação do treinamento técnico, em que o conhecimento, a prática e a habilidade são aplicáveis para o bom desempenho de um nível.

A finalidade da qualificação e treinamento na radiologia industrial é propiciar ao profissional a função de exercer as atividades de ensaios não destrutivos em seu nome, embora a autorização ainda dependa da satisfação de requisitos adicionais, sendo classificada como auxiliar de supervisão.

No treinamento é importante abordar as respostas a qualquer tipo de emergência que possa ocorrer, incluindo o local para monitorar a radiação e checagem de materiais radioativos. A equipe deve reconhecer os símbolos da radiação ionizante e os procedimentos necessários caso ocorra alguma intercorrência.

Podemos dizer que o meio mais eficaz para evitar exposição acidental é conhecer o material radioativo, bem como sua sinalização através dos símbolos, possuindo organização e responsabilidade. Esse conjunto protege não só o trabalhador de radiologia industrial, como também o público ao redor e o meio ambiente.

Figura 4.5 | Treinamento para avaliação de materiais radioativos através da sinalização



Fonte: <<https://www.iaea.org/sites/default/files/sealedradsourc1013.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

A Figura 4.5 demonstra como usar um contador de radiação (Geiger Muller) durante o curso de formação de profissionais, seguindo as orientações da AIEA (Agência Nacional de Energia Atômica).

Para um bom treinamento e qualidade é importante enfatizar que o profissional deva escolher uma área específica na qual queira se qualificar, visando, assim, diminuir os riscos de acidentes tanto com os indivíduos como com o meio ambiente, pois dessa forma ele estará treinado e capacitado para a função. O método de ensaio não destrutivo ressalta que uma pessoa somente pode exercer as funções em que for qualificada, por exemplo, uma pessoa que foi qualificada e capacitada em líquidos penetrantes estará inapta para atuar em outras funções, a menos que também seja qualificada nesses outros métodos, desse modo, não é admitida equivalência de qualificação entre os métodos, a não ser entre as várias técnicas de um mesmo método. Esse procedimento aumenta a qualidade do trabalhador e evita maiores riscos de acidentes.

Podemos dizer que existem técnicas dentro de um método que necessitam de treinamento complementar ou especial, o qual será aplicado mediante o equipamento específico em que o operador irá trabalhar, sempre seguindo as regras e normas dos fabricantes.

No processo de qualificação, os profissionais conhecem as aplicações e limitações relacionadas aos diversos métodos utilizados para os ensaios não destrutivos, cujo foco é identificar e avaliar descontinuidades em um objeto (Figura 4.6), devendo seguir os procedimentos e interpretações dos resultados e, para isso, é necessário ter pessoas qualificadas e autorizadas para a prática confiável dos ensaios não destrutivos.

Figura 4.6 | Treinamento de ensaios não destrutivos (END)



Fonte: <http://www.vidisco.com/ndt_solutions/ndt_info_center/ndt_wiki_x_ray>. Acesso em: 25 ago. 2016.



Assimile

Para o treinamento na área da radiologia industrial, o indivíduo deve ter conhecimento dos equipamentos e acessórios, bem como das aplicações industriais, dos princípios físicos dos métodos, análise e interpretação de resultados, ensaios não destrutivos, capacitação técnica, normas, códigos e a aplicação da proteção radiológica na indústria.

Ao abordarmos o treinamento profissional é importante ressaltar que o período de estágio é fundamental, o qual deverá seguir alguns requisitos básicos: o estagiário deverá possuir os manuais de equipamentos, ter conhecimento dos materiais e dados técnicos de cada equipamento, possuir todos os catálogos e especificações dos acessórios, blocos de referências gerais e específicas para cada calibração, entre outros.



Refleta

Para atuar na radiologia industrial é necessário realizar o curso de capacitação com profissionais qualificados e habilitados para esta função e o curso deverá atender às Resoluções nº 18/2006, 21/2006, 13/2009 e 10/2011 do CONTER, além de oferecer estágio.

Para entendermos melhor os métodos de treinamento é necessário o conhecimento das siglas e seus significados:

- END – Ensaios não destrutivos.
- LP – Ensaios por líquidos penetrantes.
- PM – Ensaios por partículas magnéticas.
- CP – Ensaios por correntes parasitas.
- US – Ensaios por ultrassom.
- RI – Ensaios radiográficos.
- TG – Ensaios por termografia.
- SG – Ensaios por shearografia.
- Entre outros ensaios por métodos emergentes.

Devemos ter a consciência de que para sermos aprovados no treinamento de radiologia industrial, passaremos por um programa de treinamento que aborda as seguintes fases:

- Conhecimento e treinamento técnico especializado, sendo ele geral, específico e prático.
- Efetuar os exames teóricos, classificados como conhecimento geral e específico.
- Efetuar os exames práticos para a aprovação.



Pesquise mais

Saiba mais sobre o acordo entre a ABENDI e o CONTER, que enfatiza a atuação e o treinamento de profissionais na radiologia. Disponível em: <<http://conter.gov.br/pdf/upload/upload/acordoabendi.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

Podemos classificar as atribuições de cada nível de qualificação como nível um, dois e três.

No nível um, o estudante deverá ter o conhecimento necessário de todas as preparações das peças antes e após o ensaio, devendo seguir os procedimentos de preparação dos métodos em que foi qualificado, ter a capacidade de receber orientação de um profissional autorizado e qualificado, que possua o nível três e que poderá executar um ensaio simples através de um determinado método de ensaio.

Assim, no nível dois, o estudante deverá seguir todos os procedimentos do nível um e também possuir conhecimento específico, ter habilidade para o manuseio dos equipamentos que deverá montar, ajustar e calibrar. Os equipamentos de ensaios não destrutivos deverão ser conduzidos de forma correta, seguindo os procedimentos específicos. O profissional deverá organizar e interpretar de forma avaliativa, dando, então, um conceito de aceitação ou rejeição, e deverá documentar todos os resultados utilizados e se familiarizar com o escopo e com as limitações do método para o qual está qualificado, devendo fornecer treinamentos para os estagiários, sempre seguindo os códigos, normas, e outros documentos regulatórios que controlam os métodos usados no setor.

Já no nível três, o estudante deverá seguir os protocolos dos níveis um e dois e ainda conduzir as atividades do profissional qualificado de nível dois, sendo capaz de selecionar os métodos e as técnicas para inspeções específicas, e de selecionar equipamentos e blocos de referência, interpretando seus códigos, suas normas, e quaisquer outros documentos regulatórios, elaborando procedimentos e métodos para a verificação do exercício da profissão e informar se são adequados. O estudante deve possuir conhecimento geral de todos os outros métodos de ensaio, sendo capaz de ministrar ou coordenar um treinamento e uma avaliação escrita para pessoas que estejam no nível um, dois e três, no método no qual é qualificado e autorizado.



Exemplificando

A classificação de níveis deve ser seguida de acordo com as qualificações e treinamentos adquiridos. É importante sempre seguir todas as medidas de proteção radiológica para evitar quaisquer tipos de intercorrências. A qualificação profissional é a fundamental segurança do profissional e do meio ambiente.

Para garantirmos a segurança dos profissionais da radiologia industrial é necessário conhecermos os significados dos símbolos utilizados. O símbolo básico de radiação ionizante (Figura 4.7-A) significa a presença de radiação ionizante e identifica fontes e dispositivos que emitem essa radiação, já o símbolo suplementar (Figura 4.7-B), significa um aviso de radiação ionizante que informa a presença de alto nível de radiação a partir de uma fonte selada.

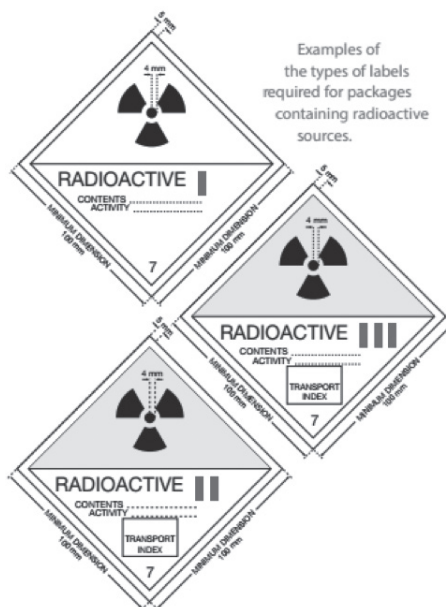
Figura 4.7 | Símbolos de sinalização da radiologia industrial



Fonte: <<https://www.iaea.org/sites/default/files/sealedradsources1013.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

É importante também ressaltarmos que os requisitos para o transporte de material radioativo se aplicam a todas as modalidades de transporte, sendo elas: terrestre, aquática (fluvial e marítima) e aérea e englobam todas as operações e condições relativas ao transporte, tais como: desenho, fabricação, manutenção e reparo de embalagens, descarga, recepção, armazenamento em trânsito, entre outras. Todo transporte que contenha material radioativo deverá ser sinalizado de forma correta, sendo ele etiquetado (Figura 4.8) conforme a Norma da CNEN-NE 5.01.

Figura 4.8 | Exemplo de etiquetas necessárias para pacotes contendo materiais radioativos



Fonte: <<https://www.iaea.org/sites/default/files/sealedradsources1013.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2016.



Vocabulário

Enfatizar: dar ênfase ou especial destaque a; ressaltar.

Propiciar: proporcionar as condições para a realização de (algo); assegurar, permitir.

Sem medo de errar

Com tantas informações novas, Allan decide se aprofundar mais em relação ao processo de treinamento para atuação na radiologia industrial, quando analisou a qualidade dos ensaios não destrutivos e descobriu que, para essa atuação, ele deve ser técnico ou tecnólogo em radiologia e possuir treinamento específico por um profissional qualificado e habilitado para a função.

Com base nas descobertas de Allan, descreva qual a finalidade da qualificação e treinamento na radiologia industrial. Ainda, enfatizando suas descobertas, auxilie no entendimento do processo que aborda o meio mais eficaz para evitar uma exposição accidental.

A finalidade da qualificação e treinamento na radiologia industrial é propiciar ao

profissional a função de exercer as atividades de ensaios não destrutivos em seu nome, embora a autorização ainda dependa da satisfação de requisitos adicionais, sendo classificada como auxiliar de supervisão.

Podemos dizer que o meio mais eficaz para evitar exposição acidental é conhecer o material radioativo, bem como sua sinalização através dos símbolos, e possuir organização e responsabilidade. Esse conjunto protege não só o trabalhador de radiologia industrial, como também o público ao redor e o meio ambiente.



Atenção

Para a proteção do profissional no ato do treinamento é importante seguir as normas de proteção radiológica, cujo princípio de otimização impede a exposição desnecessária de pessoas às radiações ionizantes. O treinamento prático pode ser considerado como fonte de exposição desnecessária. Consulte a legislação aplicável CNEN/CRTR/CONTER.

Avançando na prática

Treinamento do pessoal envolvido nos procedimentos radiológicos

Descrição da situação-problema

Quando falamos de treinamento de pessoal para a qualificação na radiologia industrial, quais os tipos de respostas que devemos ter em relação às emergências? O que é importante enfatizar para termos um bom treinamento?



Lembre-se

Quando falamos em qualificação profissional, os estudantes devem conhecer todas as aplicações e limitações relacionadas aos diversos métodos utilizados para o END, cujo foco é identificar toda e qualquer descontinuidade em um objeto, fazendo com que a avaliação da peça ou do objeto seja eficaz.

Resolução da situação-problema

No treinamento é importante abordar as respostas a qualquer tipo de emergência que possa ocorrer, incluindo o local para monitorar a radiação e checagem de materiais radioativos. A equipe deve reconhecer os símbolos da radiação ionizante e os procedimentos necessários, caso ocorra alguma intercorrência.

Para um bom treinamento e qualidade é importante enfatizar que o profissional

deve escolher uma área específica na qual queira se qualificar, visando, assim, diminuir os riscos de acidentes tanto com os indivíduos como com o meio ambiente, pois, dessa forma, o mesmo estará treinado e capacitado para a função. O método de ensaio não destrutivo ressalta que uma pessoa somente pode exercer as funções para a qual foi qualificada. Por exemplo, uma pessoa que foi qualificada e capacitada em líquidos penetrantes estará inapta a atuar em outras funções, a menos que também seja qualificada nesses outros métodos. Desse modo, não é admitida equivalência de qualificação entre os métodos, a não ser entre as várias técnicas de um mesmo método. Esse procedimento aumenta a qualidade do trabalhador e evita maiores riscos de acidentes.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de identificar melhor o método de treinamento na radiologia industrial, faça uma resenha relacionando as siglas e seus significados e indique o que poderia ser incluso ou melhorado para os treinamentos.

Faça valer a pena

1. Para um bom treinamento e qualidade é importante enfatizar que o profissional deve escolher uma área específica na qual queira se qualificar, visando diminuir os riscos de acidentes tanto com os indivíduos como com o meio-ambiente, pois o mesmo estará treinado e capacitado para esta função. De acordo com o texto, assinale a alternativa correta:

- a) O método de ensaio não destrutivo ressalta que uma pessoa somente pode exercer as funções em que for qualificada, por exemplo, uma pessoa que foi qualificada e capacitada em líquidos penetrantes estará inapta para atuar em outras funções, a menos que também seja qualificada nesses outros métodos.
- b) O método de ensaio destrutivo ressalta que uma pessoa somente pode exercer as funções em que for qualificada, por exemplo, uma pessoa que foi qualificada e capacitada em líquidos penetrantes estará inapta para atuar em outras funções, a menos que também seja qualificada nesses outros métodos.
- c) O método de ensaio não destrutivo ressalta que uma pessoa somente pode exercer as funções em que for qualificada, por exemplo, uma pessoa que foi qualificada e capacitada em líquidos penetrantes estará apta para atuar em outras funções, a menos que também seja qualificada nesses outros métodos.
- d) O método de ensaio destrutivo ressalta que uma pessoa somente pode exercer as funções em que for qualificada, por exemplo, uma

pessoa que foi qualificada e capacitada em líquidos penetrantes estará apta para atuar em outras funções, a menos que também seja qualificada nesses outros métodos.

e) O método de ensaio não destrutivo ressalta que uma pessoa pode exercer as funções sem qualificação, por exemplo, uma pessoa sem qualificação poderá atuar em líquidos penetrantes, mas estará inapta para atuar em outras funções, a menos que seja qualificada nesses outros métodos.

2. Podemos defini-lo como teste, inspeção, exame ou avaliação, que pode ser aplicado a um material ou objeto para determinar a sua integridade, composição, dimensões, propriedades elétricas ou térmicas, por uma técnica que não afete a utilização futura do mesmo, ou seja, sem causar mudanças em quaisquer dessas características.

Assinale a alternativa correta:

- a) RI – Ensaios radiográficos.
- b) LP – Ensaios por líquidos penetrantes.
- c) SG – Ensaios por shearografia.
- d) END – Ensaios não destrutivos.
- e) PM – Ensaios por partículas magnéticas.

3. No ensinamento prático são abordados os conhecimentos obtidos no treinamento teórico, com foco em ambientar as pessoas e orientar em relação ao meio ambiente, e sobre os equipamentos, procedimentos, técnicas, materiais e acessórios utilizados nos métodos que serão utilizados nessas etapas.

Em relação aos ensaios não destrutivos, assinale a alternativa correta:

- a) Devemos enfatizar que a qualificação em ensaios não destrutivos não significa a somatória e comprovação do treinamento técnico, quando o conhecimento, a prática e a habilidade são aplicáveis para o bom desempenho de um nível.
- b) Devemos enfatizar que a qualificação em ensaios não destrutivos significa a somatória e comprovação do treinamento técnico, quando o conhecimento, a prática e a habilidade são aplicáveis para o bom desempenho de um nível.
- c) Devemos enfatizar que a qualificação em ensaios não destrutivos significa a somatória e comprovação do treinamento técnico, quando o conhecimento, a prática e a habilidade não são aplicáveis para o bom desempenho de um nível.

d) Devemos enfatizar que a qualificação em ensaios destrutivos significa a somatória e comprovação do treinamento técnico, quando o conhecimento, a prática e a habilidade são aplicáveis para o bom desempenho de um nível.

e) Devemos enfatizar que a qualificação em ensaios não destrutivos não significa a somatória e comprovação do treinamento técnico, quando o conhecimento, a prática e a habilidade não são aplicáveis para o bom desempenho de um nível.

Seção 4.4

Procedimentos e cuidados em radiologia industrial

Diálogo aberto

Caro aluno, seja bem-vindo à Seção 4.4. Nesta seção, abordaremos o processo de orientação e supervisão das atividades em relação às equipes técnicas e procedimentos de trabalho em situações normais e de emergência, verificação e validação dos resultados obtidos, cuidados com os equipamentos utilizados na radiologia industrial, alterações de estruturas submetidas à radiação industrial. O estudo e a compreensão desta seção facilitarão na resolução da próxima situação-problema, que será relacionada aos procedimentos e cuidados na radiologia industrial.

Vamos retornar à situação realidade apresentada na Seção 4.1?

Allan, fascinado com todas as suas descobertas, decide buscar mais conteúdo e informações sobre os procedimentos e cuidados que devem ser realizados na radiologia industrial depois que descobriu que, para uma maior segurança, os equipamentos de raios-X que inspecionam malas e bagagens operam com uma tensão de 90 quilovolt a 0,5 miliampères, sendo capazes de atravessar 12 milímetros de aço.

Através das descobertas de Allan, descreva como é realizado o escaneamento de bagagens através da inspeção de imagens. Enfatizando as suas descobertas, auxilie Allan no entendimento e no processo da formação da imagem através da interação da radiação com o objeto alvo. Ainda para reforçar os seus conhecimentos, apresente por meio de uma ilustração ao professor os procedimentos de aquisição de imagem em radiologia industrial.

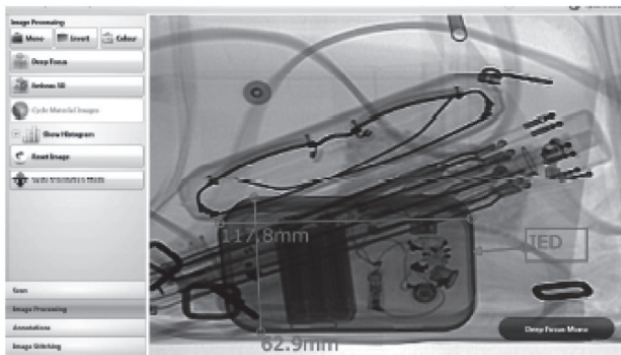
Não pode faltar

Quando falamos de procedimentos e cuidados na radiologia industrial, não podemos deixar de lado o sistema de inspeção que engloba a segurança de bagagens e containers com novas tecnologias. Para isso, vamos retornar à Seção 2.4, em que foram abordados os equipamentos em radiologia industrial e sua segurança.

Os procedimentos de cuidados abordam as diversas aplicações na radiologia industrial, como a verificação de drogas e armas escondidas em cargas, tais como caminhões e containers, o tráfico de animais silvestres, transporte de celulares e drogas em presídios, entre outros. Para isso, é fundamental ressaltar que a radiologia industrial realiza inspeções de segurança com equipamentos adequados e capacitados, e capazes de sofrer efeitos quando expostos aos equipamentos de raios-X, como os objetos são detectados ao passar pelos raios-X, a radiação é absorvida parcialmente pelo objeto, sendo, então, capaz de identificá-lo, e a radiação sofre um espalhamento pelo objeto. Esses tipos de efeito da interação da radiação com a matéria são comuns e auxiliam nos procedimentos de trabalho em situações normais e de emergência.

Para maior segurança, os equipamentos de raios-X que inspecionam malas e bagagens operam com uma tensão de 90 kV (quilovolt) a 0,5 mA (miliampères), sendo capazes de atravessar 12 milímetros de aço. Conforme a Figura 4.9, os raios-X detectam fios e cabos de aço com apenas 0,1 milímetros, tendo, então, o padrão americano para a resolução de inspeção do sistema *American Wire Gauge* (AWG).

Figura 4.9 | Inspeção de segurança em bagagens no sistema AWG

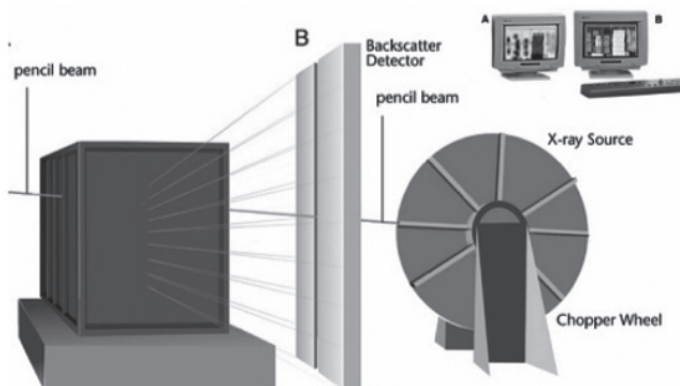


Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2016.

Na inspeção de imagens, o escaneamento é realizado pelo feixe de raios X, realizando uma varredura vertical do objeto, de forma que ele se mova através da esteira em posição horizontal e com velocidade aproximada de 30 cm/s. A partir desse processo, os detectores de radiação captam a radiação espalhada pelo objeto e registram cada feixe detectado, transformando-a em imagem.

Conforme os raios X são emitidos e incidem nos objetos a serem inspecionados, espalham-se com energias e intensidades diferentes (Figura 4.10), dependendo da densidade de composição dos materiais no interior do local a ser inspecionado. Dessa forma, é possível visualizar diversos tipos de materiais, como materiais orgânicos, drogas, pessoas, materiais inorgânicos, que possuam algum tipo de metal em seu interior, etc.

Figura 4.10 | Objeto sob inspeção em movimento



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2016.

Relembrando a tecnologia Backscatter, já estudada na Seção 2.4, é um sistema de inspeção que tem o poder de atravessar altas densidades através da radiação retroespalhada (Efeito Compton), porém só capta a imagem de um lado. Essa técnica pode ser utilizada nos processos móveis, como um carro que possui o equipamento de escaneamento, ou nos processos fixos, como é o exemplo nas instalações em aeroportos e penitenciárias ou até mesmo em empresas específicas para a inspeção de containers e caminhões conforme, Figura 4.11.

Figura 4.11 | Inspeção de container e caminhões



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2016.



Assimile

O sistema de inspeção na radiologia industrial está equipado com um detector de material radioativo que eventualmente pode ser transportado por caminhão ou container e os raios-X emitidos pelo equipamento gerador de radiação atravessam todos os objetos a serem inspecionados.

Quando falamos de situações de emergências na radiologia industrial, as estamos relacionando-as com determinados acidentes. As normas da CNEN NE-3.01 definem acidente como qualquer desvio inesperado e significativo das condições normais de operação de uma instalação que possa resultar em danos ao trabalhador e ao meio ambiente.

De acordo com os requisitos do plano de proteção radiológica, as normas da CNEN são subdivididas em:

- Instalações nucleares.
- Salvaguardas, proteção física e contra incêndio.
- Radioproteção.
- Materiais, minérios e minerais nucleares.
- Transporte.
- Instalações radiativas.
- Certificação de pessoas.
- Rejeitos radioativos.

Segundo a CNEN, quando uma área é classificada como controlada, se faz necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança visando garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos do princípio ALARA: justificação, otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das exposições radioativas.

Caso ocorra, em uma instalação, qualquer tipo de acidente envolvendo um equipamento ou uma fonte radioativa, é necessário coletar todas as informações do acidente imediatamente e detalhadamente. A coleta desses dados é essencial para a estimativa da magnitude do acidente, para limitar a extensão do dano e principalmente para estabelecer medidas de precaução, evitando futuros acidentes. Após a ocorrência, deve ser enviado para a CNEN um relatório detalhado contendo os dados do acidente e, caso este envolva uma fonte radioativa, deverá conter os dados da fonte.

Podemos exemplificar os dados do acidente relatando o que aconteceu, quando ocorreu, o que ocorreu, quais as possíveis causas da ocorrência, quem foi notificado em relação ao acidente, quais medidas foram tomadas, quem foi exposto à radiação, se houve vítimas, se teve contaminação local ou do solo que medidas foram tomadas para evitar novas ocorrências. Caso haja acidentes com fontes radioativas, é importante relatar o nome ou símbolo do radioisótopo; sua forma, especial ou não; se o material é sólido, líquido ou gasoso; qual o estado da sua atividade atual; qual o tipo de embalagem; rótulo e índice de transporte, caso o acidente tenha ocorrido no

transporte; qual a estimativa de dose das pessoas envolvidas e os resultados obtidos na leitura dos dosímetros.



Refleta

Para uma área ser classificada como controlada, se faz necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança, visando garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos do princípio ALARA.



Pesquise mais

Saiba mais sobre o controle de fontes de radiação no Brasil, disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/go10anosdep/Cnen/doc/manu72.PDF>>. Acesso em: 5 set. 2016.

Conforme a história dos acidentes envolvendo radiação, pode-se citar que são classificados de acordo com sua gravidade. É fundamental termos todas as medidas de segurança e prevenção para evitar novos acidentes.

Em ordem cronológica, podemos citar os acidentes nucleares que marcaram a história:

- Canadá – 1952 e 1958 – Acidente Nuclear na Usina de Chalk River.
- Rússia – 1957 – Acidente Nuclear de Mayak.
- Estados Unidos – 1979 – Acidente Nuclear na Usina Theree Mile Island.
- França – 1980 – Acidente Nuclear no NPP Saint Laurent des Eaux.
- Brasil – 1987 – Acidente Nuclear em Goiânia.
- Japão – 1999 – Acidente Nuclear na Usina de Tratamento de Tokaimura combustível de urânio.
- Japão – 2011 – Acidente Nuclear na usina de Fukushima.

Muitos dos acidentes citados poderiam ser evitados se as medidas de proteção tivessem sido realizadas de forma adequada. Para isso, é fundamental um bom plano de proteção radiológica e de prevenção de acidentes, e devemos ressaltar que qualquer ocorrência deve ser notificada imediatamente a CNEN.



Exemplificando

Devido aos acidentes nucleares mais conhecidos terem ocorrido em usinas de energia nuclear, é importante ressaltar que eles podem acontecer em outros centros que trabalham com energia nuclear, como em hospitais ou laboratórios de pesquisa.



Vocabulário

Inorgânicos: são as substâncias químicas que contêm na sua estrutura Carbono e Hidrogênio e, muitas vezes, com Oxigênio, Nitrogênio, Enxofre, Fósforo, Boro, Halogênios e outros.

Magnitude: o valor da energia emitida num terremoto e mensurada pela escala Richter.

Sem medo de errar

Allan, fascinado com todas as suas descobertas, decide buscar mais conteúdo e informações sobre os procedimentos e cuidados que devem ser realizados na radiologia industrial, quando descobriu que para maior segurança, os equipamentos de raios-X que inspecionam malas e bagagens operam com uma tensão de 90 quilovolt a 0,5 miliampères, sendo capazes de atravessar 12 milímetros de aço.

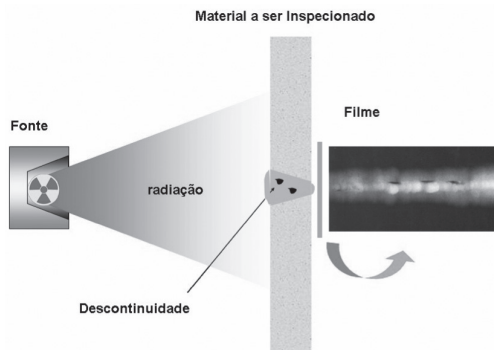
Através das descobertas de Allan, descreva como é realizado o escaneamento de bagagens através da inspeção de imagens. Enfatizando as suas descobertas, auxilie Allan no entendimento e no processo de formação da imagem através da interação da radiação com o objeto alvo. Ainda, para reforçar os seus conhecimentos, apresente uma ilustração ao professor com os procedimentos de aquisição de imagem em radiologia industrial.

Na inspeção de imagens, o escaneamento é realizado pelo feixe de raios X, realizando uma varredura verticalmente do objeto, de forma que ele se mova através da esteira em posição horizontal e com velocidade aproximada de 30 cm/s. A partir desse processo, os detectores de radiação captam a radiação espalhada pelo objeto e registram cada feixe detectado, transformando-a em imagem.

Conforme os raios X são emitidos e incidem nos objetos a serem inspecionados, espalham-se com energias e intensidades diferentes, dependendo da densidade de composição dos materiais no interior do local a ser inspecionado. Dessa forma, é possível visualizar diversos tipos de materiais, como materiais orgânicos, drogas, pessoas, materiais inorgânicos, que possuam algum tipo de metal em seu interior.

A imagem a seguir ilustra o procedimento de aquisição da imagem na área da radiologia industrial.

Figura 4.12 | Técnica geral de ensaio radiográfico na indústria *



Fonte: <<http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/Radiologia-Jul-2014.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2016.



Atenção

É fundamental ressaltar que a radiologia industrial realiza inspeções de segurança com equipamentos adequados e capacitados, os quais são capazes de sofrer efeitos quando expostos aos equipamentos de raios X. Dessa forma, os objetos são detectados ao passar pelos raios X, a radiação é absorvida parcialmente pelo objeto, sendo capaz de identificá-lo, e a radiação sofre um espalhamento pelo objeto. Esses tipos de efeito da interação da radiação com a matéria são comuns e auxiliam nos procedimentos de trabalho em situações normais e de emergência.

Avançando na prática

Treinamento do pessoal envolvido nos procedimentos radiológicos

Descrição da situação-problema

Segundo a CNEN, quando uma área é classificada como controlada, se faz necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança, quais são elas? De acordo com os requisitos do plano de proteção radiológica, as normas da CNEN são subdivididas em quais categorias?



Lembre-se

Muito dos acidentes poderiam ser evitados se as medidas de proteção fossem realizadas de forma adequada. Para isso, é fundamental um bom plano de proteção radiológica e de prevenção de acidentes. Devemos ressaltar que qualquer ocorrência que haja deve ser notificada imediatamente a CNEN.

Resolução da situação-problema

Visam garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos do princípio ALARA: justificação, otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das exposições radioativas.

Instalações nucleares; salvaguardas, proteção física e contra incêndio; radioproteção; materiais, minérios e minerais nucleares; transporte; instalações radiativas; certificação de pessoas; rejeitos radioativos.



Faça você mesmo

Agora que você já é capaz de identificar os procedimentos e cuidados na radiologia industrial, faça um plano de proteção radiológica listando todos os pontos fundamentais para o bom andamento em uma instalação, lembrando-se de seguir como referência o princípio de ALARA.

Faça valer a pena

1. Para maior segurança, os equipamentos de raios-X que inspecionam malas e bagagens operam com uma tensão de:

Assinale a alternativa correta:

- a) 90 kV (quilovolt) a 0,3 mA (miliampères)
- b) 90 kV (quilovolt) a 0,4 mA (miliampères)
- c) 90 kV (quilovolt) a 0,5 mA (miliampères)
- d) 90 kV (quilovolt) a 0,6 mA (miliampères)
- e) 90 kV (quilovolt) a 0,7 mA (miliampères)

2. Na inspeção de imagens, o escaneamento é realizado pelo _____ de raios-X, realizando uma _____ verticalmente do objeto, de forma que ele se mova através da esteira em posição horizontal e com velocidade aproximada de 30 cm/s. A partir desse processo, os _____ de radiação captam a radiação espalhada pelo objeto e registram cada feixe detectado, transformando-a em imagem.

Complete as lacunas e assinale a alternativa correta:

- a) Filamento, varredura, calibradores.
- b) Feixe, inspeção, observadores.
- c) Detector, indução, reação.

- d) Feixe, visualização, calibradores.
- e) Feixe, varredura, detectores.

3. Conforme os raios-X são emitidos e incidem nos objetos a serem inspecionados, espalham-se com energias e intensidades diferentes dependendo do que?

Assinale a alternativa correta:

- a) Dependendo da densidade de composição dos materiais no interior do local a ser inspecionado, dessa forma é possível visualizar diversos tipos de materiais, como materiais orgânicos, drogas, pessoas, materiais inorgânicos, que possuam algum tipo de metal em seu interior, etc.
- b) Dependendo da densidade de composição dos materiais no exterior do local a ser inspecionado, dessa forma é possível visualizar diversos tipos de materiais, como materiais orgânicos, drogas, pessoas, materiais inorgânicos que possuam algum tipo de metal em seu interior, etc.
- c) Dependendo da densidade de composição dos materiais no interior do local não inspecionado, dessa forma é possível visualizar diversos tipos de materiais, como materiais orgânicos, drogas, pessoas, materiais inorgânicos que possuam algum tipo de metal em seu interior, etc.
- d) Dependendo da intensidade de composição dos materiais no interior do local a ser inspecionado, dessa forma é possível visualizar diversos tipos de materiais, como materiais orgânicos, drogas, pessoas, materiais inorgânicos que possuam algum tipo de metal em seu interior, etc.
- e) Dependendo da densidade de reação dos materiais no interior do local a ser inspecionado, dessa forma é possível visualizar diversos tipos de materiais, como materiais orgânicos, drogas, pessoas, materiais inorgânicos que possuam algum tipo de metal em seu interior, etc.

Referências

ABENDI. **Acordo entre Abendi e o Conter, que enfatiza a atuação e treinamento de profissionais na radiologia**. Disponível em: <<http://conter.gov.br/pdf/upload/upload/acordoabendi.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2016.

ANDREUCCI, Ricardo. **Aspectos industriais: proteção radiológica**. São Paulo: ABENDI, 2014.

ANDREUCCI, Ricardo. **Radiologia industrial**. São Paulo: ABENDI, 2014.

BETELLI, Thomaz. **Física e dosimetria das radiações**. São Paulo: Atheneu, 2006.

BRITO, Ricardo R. **Guia prático em segurança radiológica para contratação de serviços de radiografia industrial**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2000.

BONTRAGER, Kenneth L. **Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia associada** 7. ed. São Paulo: Elsevier, 2010.

BRASIL. **Lei nº 6.839/80, de 30 outubro de 1980**. Regulamenta o exercício da profissão e habilitação para atuação na Radiologia. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6839.htm>. Acesso em: 3 out. 2016.

BRASIL. **Lei nº 7.394/85, de outubro de 1985**. Regulamentam o exercício da profissão de Técnico em Radiologia. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7394.htm>. Acesso em: 3 out. 2016.

CONTROLE DE FONTES DE RADIAÇÃO NO BRASIL – IPEN. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/go10anosdep/Cnen/doc/manu72.PDF>>. Acesso em: 5 set. 2016.

DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA (CNEN-NN-3.01), **Resolução CNEN Nº 027, 17 de Dezembro de 2004**. Disponível em: <<http://www.abfm.org.br/upload/normas/norma12.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2016.

NOBREGA, Almir Inácio. **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem**. 3. ed. São Paulo: DCL, 2006.

PRANDO, Adilson. **Fundamentos de radiologia e diagnóstico por imagem**. São Paulo: Elsevier, 2007.

TAUHARA, Luiz; et al. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. 5. rev. Rio de Janeiro: IRD/ CNEN, 2003.



ISBN 978-85-8482-689-6



9 788584 826896 >