

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Fernando Pereira de Carvalho

**MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA SERVIÇOS COM
RADIAÇÃO IONIZANTE NA ATIVIDADE INDUSTRIAL**

Taubaté – SP
2011

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Fernando Pereira de Carvalho

**MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA SERVIÇOS COM
RADIAÇÃO IONIZANTE NA ATIVIDADE INDUSTRIAL**

Monografia apresentada para obtenção do certificado de especialização em engenharia de segurança do trabalho do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. espec. João Alberto Bajerl

Taubaté – SP
2011

FERNANDO PEREIRA DE CARVALHO

**MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA SERVIÇOS COM RADIAÇÃO IONIZANTE NA
ATIVIDADE INDUSTRIAL**

Monografia apresentada para obtenção do certificado de especialização em engenharia de segurança do trabalho do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Taubaté.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. espec. João Alberto Bajerl

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Ms. Carlos Alberto Guimarães Garcez

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Profa. Ms. Maria Judith Marcondes Salgado Schmidt

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

*Dedico este trabalho aos meus familiares,
que me dão incentivo em todos os
momentos da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor engenheiro de segurança do trabalho João Alberto Bajerl pela orientação nesta presente monografia.

Agradeço ao professor Carlos Alberto Guimarães Garcez e a professora Maria Judith Marcondes Salgado Schmidt por todo conhecimento compartilhado durante o curso.

RESUMO

As radiações ionizantes existem no planeta Terra desde a origem deste, sendo, portanto, um fenômeno natural. Porém, a utilização de energia nuclear – tanto na geração de energia elétrica como em práticas médicas, industriais e de pesquisa – tem como grande oponente, em todo o mundo, a opinião pública. Devido à grande importância da radioproteção, este trabalho buscou revisar a literatura e apresentar medidas de proteção para os trabalhadores envolvidos em atividades industriais que utilizam a radiação ionizante. Os resultados do estudo, baseados em pesquisa exploratória, em portais especializados no assunto e nas normas vigentes de trabalho e da CNEN, permitiram sugerir procedimentos e medidas de proteção para eliminar ou reduzir os riscos envolvidos na operação.

Palavras-chave: Engenharia de segurança. Radiação ionizante. Radiografia. Gamagrafia.

ABSTRACT

Ionizing radiations are on the planet Earth since its origin, and therefore are a natural phenomenon. However, the use of nuclear energy – both in power generation and medical practices, industrial and research – has a great opponent, worldwide, public opinion. Due to the importance of radiation protection, this study aims to review the literature and provide protective measures for workers involved in industrial activities that use ionizing radiation. The study results, based on exploratory research, on specialized portals on the subject and the norms of work and from the CNEN, permitted us to develop procedures and measures to eliminate or reduce the risks involved in the operation.

Keywords: Safety engineering. Ionizing radiation. Radiography. Gammagraphy.

LISTA DE TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 1 Atividades e operações perigosas..... | 21 |
|--|----|

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Tipos de radiação..... | 14 |
| Figura 2 Penetração das radiações ionizantes na matéria..... | 16 |
| Figura 3 Inspeção de solda com aparelho de raios X..... | 18 |
| Figura 4 Inspeção com aparelho de gamagrafia..... | 19 |
| Figura 5 Radiografia industrial..... | 20 |
| Figura 6 Símbolo internacional de radiação ionizante..... | 23 |
| Figura 7 Exemplo de instalação fechada..... | 24 |
| Figura 8 Exemplo de instalação aberta..... | 25 |
| Figura 9 Exemplo de sinalização para delimitação de área..... | 26 |
| Figura 10 Exemplo de dosímetro para radiações ionizantes..... | 27 |
| Figura 11 Exemplo de medidor de radiação portátil..... | 28 |
| Figura 12 Exemplo de monitor individual com alarme..... | 28 |
| Figura 13 Exemplo de monitor de radiação permanentemente com alarme sonoro e visual..... | 29 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|----------|---|
| α | Alfa |
| β | Beta |
| γ | Gama |
| CLT | Consolidação das Leis de Trabalho |
| CNEN | Comissão Nacional de Energia Nuclear |
| END | Ensaio Não Destrutivo |
| Hz | Hertz |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |
| mSv | Milisievert |
| NR | Normas Regulamentadoras |
| TGO | Transaminase glutâmico-oxalacética |
| TGP | Transaminase glutâmico-pirúvica |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 Objetivo..... | 13 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 14 |
| 2.1 Radiação..... | 14 |
| 2.2 Tipos de Radiação..... | 14 |
| 2.2.1 Radiação não ionizante..... | 15 |
| 2.2.2 Radiação ionizante..... | 15 |
| 2.2.3 Efeitos da radiação ionizante no trabalhador..... | 17 |
| 2.2.4 Radiação ionizante na indústria..... | 18 |
| 2.2.5 Aspecto de periculosidade..... | 20 |
| 2.2.6 Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)..... | 21 |
| 3 MÉTODOS | 22 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 23 |
| 4.1 Medidas de Controle..... | 23 |
| 4.1.1 Instalação fechada..... | 24 |
| 4.1.2 Instalação aberta..... | 25 |
| 4.2 Equipamentos de Proteção..... | 26 |
| 4.2.1 Monitores de radiação..... | 27 |
| 4.3 Treinamento e Qualificação dos Profissionais..... | 30 |
| 4.4 Condições Operacionais..... | 30 |
| 4.5 Registros do Trabalhador..... | 31 |
| 4.5.1 Controle dosimétrico..... | 31 |
| 4.5.2 Controle médico..... | 31 |
| 5 CONCLUSÃO | 32 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 33 |

1 INTRODUÇÃO

As radiações ionizantes existem no planeta Terra desde a origem deste, sendo, portanto, um fenômeno natural. No final do século XIX, a utilização das radiações ionizantes em benefício do homem logo tornou evidentes seus efeitos na saúde humana. Ao longo da história, estes efeitos foram identificados e descritos, principalmente a partir de situações nas quais o homem encontrava-se exposto de forma aguda, em decorrência de acidentes ou uso médico inadequado.

Por essa razão, a utilização de energia nuclear, na geração de energia elétrica, bem como em práticas médicas, industriais e de pesquisa, tem na opinião pública uma grande oponente em todo o mundo. Tanto pelo fato de a radiação ionizante não poder ser diretamente detectada pelos cinco sentidos, como pela falta de conhecimento básico sobre suas propriedades.

Para reverter esse quadro e permitir que a sociedade se beneficie das inúmeras vantagens que a tecnologia nuclear oferece, é preciso colocar na correta perspectiva os reais riscos associados à radiação ionizante, bem como transmitir conhecimentos sobre os requisitos de segurança e proteção radiológica a serem adotados de modo a tornar tais riscos insignificantes.

Nesse sentido, o presente trabalho está dividido de forma a introduzir primeiramente os conceitos e teorias relacionadas às radiações ionizantes para posteriormente apresentar os procedimentos e exigências legais para a utilização dessa radiação no setor industrial.

No Capítulo 2 relatam-se os conceitos básicos da radiação, abordando seus efeitos no corpo humano e como a mesma é utilizada no meio industrial.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia aplicada para a realização do presente trabalho, tanto quanto os meios de pesquisas utilizados.

No Capítulo 4 encontram-se os resultados obtidos através da metodologia proposta. A apresentação detalhada inclui os procedimentos normativos necessários, os meios de instalações para a realização da atividade, os equipamentos de proteção a serem utilizados pelo trabalhador, além de estabelecer as condições seguras de trabalho.

Por fim, no Capítulo 5 descrevem-se as conclusões sobre o desenvolvimento do trabalho, destacando-se a importância das medidas de segurança nos serviços com radiação ionizante na atividade industrial.

1.1 Objetivo

Apresentar as normas e os procedimentos técnicos para a utilização de radiação ionizante no setor industrial, os quais contribuem para as condições seguras de trabalho nesta área.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Radiação

Segundo Bulgarelli et al. (2001), a radiação compreende ondas eletromagnéticas ou partículas que se propagam com alta velocidade, portando energia, eventualmente carga elétrica e magnética, e que, ao interagir, podem produzir variados efeitos sobre a matéria. Elas podem ser geradas por fontes naturais ou por dispositivos construídos pelo homem. Possuem energia variável desde valores pequenos até muito elevados.

A principal separação entre radiações é quanto à sua característica física, podendo ser de material particular, como elétrons, prótons e nêutrons, ou de ondas eletromagnéticas, como os raios X, a luz visível ou as ondas de rádio. Porém, quando se trata da segurança dos seres humanos, a mais importante divisão das radiações compreende radiações não ionizantes e radiações ionizantes.

2.2 Tipos de Radiação

Uma radiação pode ser descrita como não ionizante ou ionizante, dependendo de sua frequência, conforme mostrado na Figura 1.

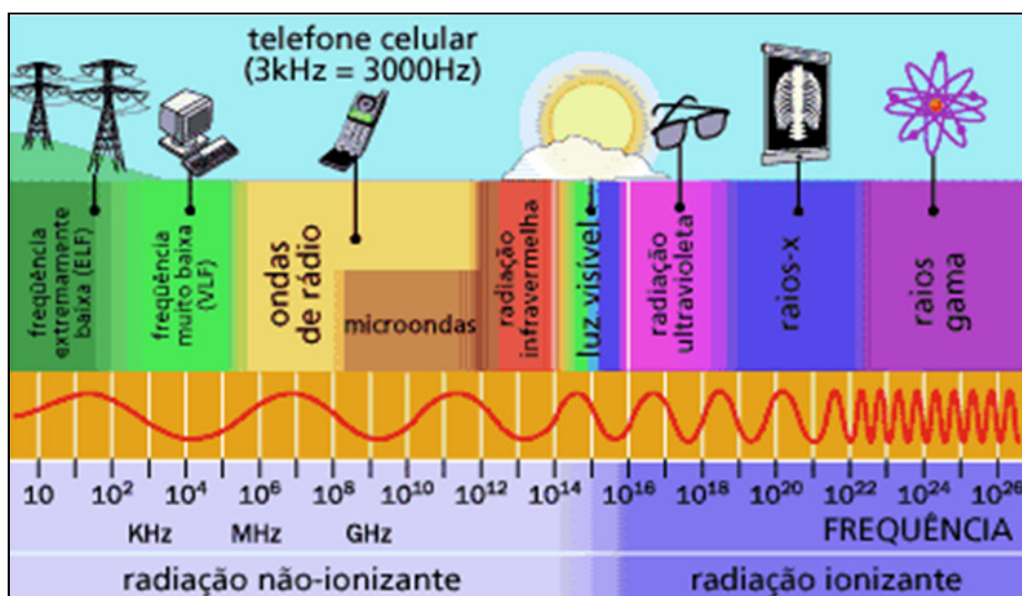


Figura 1 Tipos de radiação

Fonte: Silva, 2011.

2.2.1 Radiação não ionizante

Segundo Elbern (2011), radiações não ionizantes, como o nome diz, são as que não produzem ionizações, ou seja, não possuem energia capaz de produzir emissão de elétrons de átomos ou moléculas com os quais interagem. Possuem radiações de frequência igual ou menor que 10^{14} Hz (Figura 1).

2.2.2 Radiação ionizante

Segundo Nouailhetas (2003), radiação ionizante é aquela cuja energia é superior à energia de ligação dos elétrons de um átomo com o seu núcleo; radiações cuja energia é suficiente para arrancar elétrons de seus orbitais. A interação das radiações ionizantes com a matéria é um processo que se passa em nível atômico. Ao atravessarem um material, estas radiações transferem energia para as partículas que forem encontradas em sua trajetória. Caso a energia transferida seja superior à energia de ligação do elétron com o restante da estrutura atômica, este é ejetado de sua órbita.

As radiações ionizantes são provenientes de materiais radioativos como é o caso dos raios alfa (α), beta (β) e gama (γ), ou são produzidas artificialmente em equipamentos, como é o caso dos raios X.

As partículas alfa (α) são constituídas de dois prótons e dois nêutrons, com bastante energia cinética, emitida por núcleos instáveis de elevada massa atômica. As intensidades e as energias das radiações alfa emitidas por um nuclídeo servem para identificá-lo numa amostra. Muitos radionuclídeos naturais como urânio, tório, bismuto e radônio emitem várias radiações alfa, em suas transições nucleares.

As partículas beta (β) consistem de um elétron negativo (β^-) ou positivo (β^+) emitido pelo núcleo na busca de sua estabilidade, quando um nêutron se transforma em próton ou um próton se transforma em nêutron, respectivamente, acompanhado de uma partícula neutra de massa desprezível, denominada de neutrino. Por compartilhar, aleatoriamente, a energia da transição com o neutrino, sua energia é variável, apresentando um espectro contínuo até um valor máximo.

Esses dois tipos de partículas possuem cargas elétricas e, portanto, podem ser desviados por campos magnéticos. Seu poder de penetração é reduzido e

depende de sua energia; além disso, seu alcance é pequeno, limitando-se a poucos centímetros no ar.

Ao contrário das radiações alfa (α) e beta (β), que são constituídas por partículas, a radiação gama é formada por ondas eletromagnéticas emitidas por núcleos instáveis logo em seguida à emissão de uma partícula alfa (α) ou beta (β).

Os raios gama são radiações emitidas pelo núcleo atômico com excesso de energia (no estado excitado), após transição de próton ou nêutron para nível de energia com valor menor, gerando uma estrutura mais estável.

Já os raios X não vêm do centro dos átomos, como os raios gama. Para obtê-lo, uma máquina acelera elétrons e os fazem colidir contra uma placa de chumbo ou outro material. Na colisão, os elétrons perdem a energia cinética, ocorrendo uma transformação; a maioria dos elétrons acelerados é absorvida ou espalhada, produzindo aquecimento no alvo. Cerca de 5% dos elétrons sofrem reduções bruscas de velocidade e a energia dissipada se converte em ondas eletromagnéticas, denominadas de raios X.

As radiações eletromagnéticas do tipo gama e X, são as mais penetrantes e, dependendo de sua energia, podem atravessar desde vários centímetros do tecido humano até metros de blindagem de chumbo, conforme mostrado na Figura 2. Por isso, são muito utilizadas em indústrias, tendo principal aplicação no controle de qualidade através dos ensaios não destrutíveis.

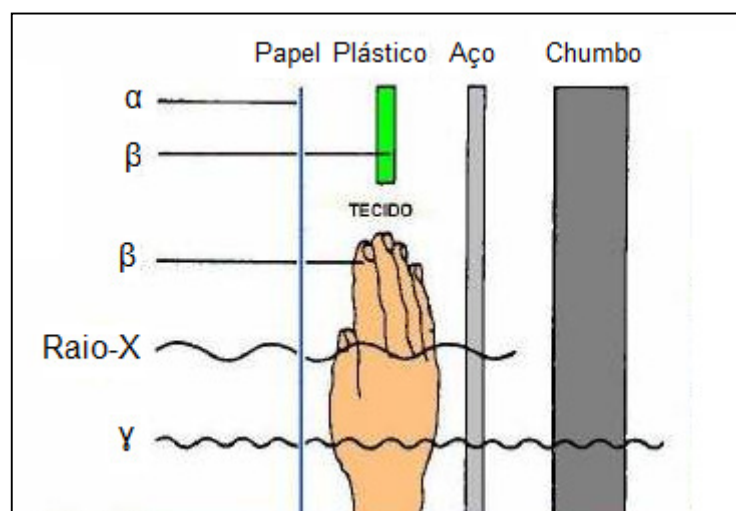


Figura 2 Penetração das radiações ionizantes na matéria

Fonte: Cardoso, M., 2011.

Como citado anteriormente, apesar de tanto os raios gama como os raios X serem ondas, a fonte de emissão é diferente. Os raios gama são liberados pelo núcleo dos átomos, no processo de decaimento atômico de alguns materiais, e os raios X são gerados eletricamente com a excitação de elétrons e colisão destes em placas de chumbo ou outros materiais. Esta diferença na fonte de radiação implica que os raios X podem ser desligados com o corte do fornecimento de eletricidade, mas os raios gama não podem ser desligados; devem ser bloqueados na fonte emissora, através de blindagem, para impedir o risco de danos por radiação ionizante (AMORIM, 2010).

Uma das principais preocupações quanto à exposição à radiação é o potencial risco à vida da célula. Se uma radiação ionizante entrar numa célula viva, pode ionizar os átomos que a compõem. Já que um átomo ionizado é quimicamente diferente de um átomo eletricamente neutro, isto pode causar problemas dentro da célula viva (KUROIVA, 2000).

A radiação não pode ser percebida pelos órgãos dos sentidos. O que se percebe são seus efeitos, que podem se manifestar no futuro, se medidas de proteção radiológica não forem adequadamente adotadas no presente (LOTUFO, 1990).

2.2.3 Efeitos da radiação ionizante no trabalhador

De acordo com Nouailhetas (2003), o efeito das radiações ionizantes em um indivíduo depende basicamente da dose absorvida (alta/baixa), da taxa de exposição (crônica/aguda) e da forma da exposição (corpo inteiro/ localizada).

Os efeitos biológicos da radiação podem ser somáticos ou hereditários. O primeiro ocorre na soma do indivíduo irradiado, enquanto que os hereditários se originam da introdução de danos na linhagem germinativa do sujeito e se manifestam em sua descendência.

As alterações químicas provocadas pela radiação podem afetar uma célula de várias maneiras, resultando em morte prematura. O impedimento ou retardo de divisão celular ou modificação permanente que é passada para as células de gerações posteriores pode induzir ao câncer, levando até a morte (SECRETÁRIA DA SAÚDE DO ESTADO DE PARANÁ, 2011).

2.2.4 Radiação ionizante na indústria

Os ensaios não destrutivos (END) tornaram-se essenciais no desenvolvimento da indústria moderna, de forma a melhor garantir o controle sobre eventuais defeitos. Por permitir um registro permanente e grande facilidade para avaliação do ensaio volumétrico da peça ou da solda, a radiografia industrial ocupa um lugar importante dentre as técnicas de END, fazendo com que materiais e equipamentos tenham sua qualidade de acordo com as normas de projeto e montagem. Sua imensa aplicabilidade pode ser constatada em diversos setores industriais: naval, bélico, eletrônico, caldeiraria, fundição, aeronáutico, nuclear, mecânica pesada, petroquímico, etc. Sua utilização progressiva, em níveis mundial e nacional, comprova a vantagem da técnica, pela sua eficiência, praticidade e qualidade, tornando-a, em alguns casos, a única possível (LEOCADIO, 2007).

Na radiografia industrial podem ser utilizados os aparelhos de raios X (Figura 3) e os equipamentos de gamagrafia (Figura 4), também chamado de irradiadores, que utilizam uma fonte de raios gama.



Figura 3 Inspeção de solda com aparelho de raios X

Fonte: Oliveira, 2011.



Figura 4 Inspeção com aparelho de gamagrafia

Fonte: Meca & Rebocho Lda, 2011.

Na radiografia industrial, utiliza-se o mesmo princípio da radiografia clínica. Coloca-se o material a ser ensaiado entre uma fonte emissora de radiação e um filme. Uma parte dos raios emitidos é absorvida pelo material e a outra parte irá atravessá-lo, sensibilizando o filme e produzindo nele uma imagem do material ensaiado. Após a revelação, tem-se uma chapa radiográfica para ser analisada e interpretada por um técnico especializado, conforme mostrado na Figura 5.

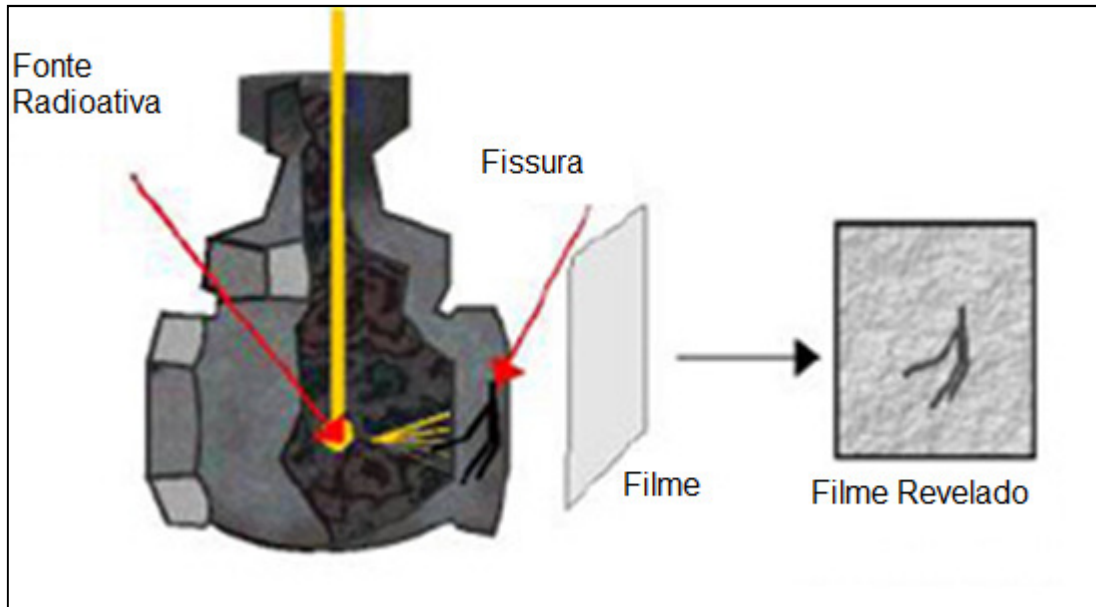


Figura 5 Radiografia industrial

Fonte: Alves, 2011.

As radiações ionizantes, quando utilizadas em apoio à indústria, onde são de alta importância para execução de ensaios não destrutivos, não são fonte causadora de catástrofes, desde que seu uso obedeça aos procedimentos técnicos preconizados principalmente nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

2.2.5 Aspecto de periculosidade

A Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT) é a principal norma brasileira no que se refere ao direito dos trabalhadores no Brasil. Promulgada em 1º de maio de 1943, ela passou a exigir condições melhores de emprego, e por meio da Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977, obrigou cuidados com a segurança do trabalho. No ano seguinte, a Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978, instituiu as Normas Regulamentadoras (NR), como a diretriz principal de segurança do trabalho para as empresas brasileiras.

Em nossa legislação, as radiações ionizantes encontram-se contempladas, tanto na CLT (normas regulamentadoras e portarias), como em diplomas legais específicos (lei e decreto), constituindo-se como causador de periculosidade, de acordo com a NR 16, que dispõe sobre as atividades e operações perigosas, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 Atividades e operações perigosas

| Anexo da NR 16 | |
|----------------|---|
| Item | Atividades e operações perigosas com radiações ionizantes ou substâncias radioativas |
| 4 | Atividades de operação com aparelhos de raios X, com irradiadores de radiação gama, radiação beta ou radiação de nêutrons, incluindo: |
| 4.3 | Radiografia Industrial, gamagrafia e nêutron radiografia. |

Fonte: NR 16 – Atividades e operações perigosas, 1977.

Portanto, segundo a NR 16, o exercício do trabalho em condições de periculosidade, como são classificadas as atividades relativas ao uso de radiação ionizante na indústria, assegura aos profissionais a percepção do adicional de 30% incidente sobre o salário do trabalhador.

2.2.6 Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é uma autarquia federal criada em 10 de outubro de 1956 e vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Como órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e de fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e, além disso, licencia, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil. A CNEN desenvolve ainda pesquisas na utilização de técnicas nucleares em benefício da sociedade.

Tendo como missão garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nuclear e correlatas, visando ao bem estar da população, traduz a preocupação com a segurança e o desenvolvimento do setor, orientando sua atuação pelas expectativas da sociedade, beneficiária dos serviços e produtos.

3 MÉTODOS

A metodologia adotada para a presente monografia foi baseada em pesquisa, com levantamento bibliográfico de normas regulamentadoras referentes ao uso de radiações ionizantes no meio de trabalho. Além disso, utilizou-se fontes de pesquisas de portais especializados de '*internet*', nacionais e internacionais, sobre radiação e as normas pertinentes para estabelecer condições seguras de trabalho, dentre essas, as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Medidas de Controle

De acordo com CNEN 3.01/004:2011 (2011), as áreas designadas para serviços com radiações ionizantes devem contar com as seguintes medidas de controle:

- sinalização da área com o símbolo internacional de radiação ionizante (Figura 6), bem como afixação de instruções pertinentes nos pontos de acesso e em outros locais apropriados no interior dessas áreas;

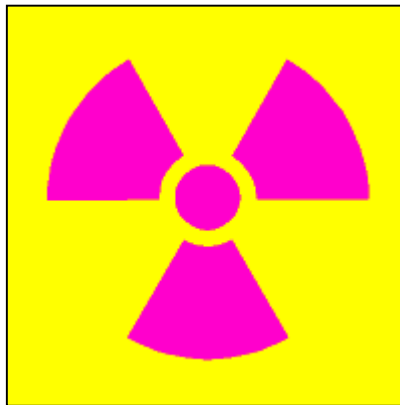


Figura 6 Símbolo internacional de radiação ionizante

Fonte: Cardoso, E., 2003.

- implementação das medidas de proteção ocupacional, incluindo regras internas e procedimentos apropriados a essas áreas;
- restrição do acesso por meio de procedimentos administrativos e por meio de barreiras físicas. O grau de restrição de acesso deve ser adequado à magnitude e à probabilidade de ocorrência das exposições esperadas;
- manutenção da disponibilidade nas entradas dessas áreas, conforme apropriado, de equipamento, vestimenta de proteção e instrumento de monitoração;
- manutenção nas saídas dessas áreas, quando apropriado, de:
 - Instrumentos para monitoração de contaminação de pele e de vestimenta;
 - instrumentos para monitoração da contaminação de qualquer objeto ou substância sendo retirada da área;

- meios para descontaminação, como chuveiro ou pia;
- local adequado para coleta de equipamentos e vestimentas de proteção contaminados.

Também deve ser avaliada nos trabalhos com radiação ionizante a área de instalação onde o serviço será realizado. O sistema de classificação das áreas de instalação é proposto para auxiliar o controle das exposições ocupacionais. A norma CENEN NN-6.04 estabelece que as áreas podem ser classificadas como instalação fechada ou instalação aberta.

4.1.1 Instalação fechada

Segundo CNEN (1989), instalação fechada é a instalação de radiografia industrial, em que o armazenamento e o uso de fontes de radiação se realizam em recintos especiais fechados, com blindagem permanente especialmente projetada para atender às respectivas funções.

Os recintos blindados devem possuir paredes e portas construídas com materiais e espessuras suficientes para blindar as radiações emitidas e também podem ser usados como locais de armazenamento de irradiadores e fontes seladas para gamagrafia (Figura 7).



Figura 7 Exemplo de instalação fechada

Fonte: Leocadio, 2007.

Com relação às instalações fechadas, devem ser atendidos os seguintes requisitos:

- apresentação de previsão de comportamento, com relação à radioproteção, dos principais sistemas e componentes da instalação;
- provisão de sinais sonoros e visuais;
- provisão de portas com fechaduras, para prevenir o acesso de pessoas durante a irradiação;
- provisão, em seu interior, de meios efetivos para pronta interrupção da irradiação.

4.1.2 Instalação aberta

Segundo o CNEN (1989), instalação aberta é a instalação de radiografia industrial, na qual o armazenamento e o uso de fontes de radiação se realizam em espaço isolado ou cercado, com proteção específica para cada eventual localização.

As instalações abertas caracterizam-se como locais temporários nos quais são executadas as radiografias industriais e para onde irradiadores ou aparelhos de raios X necessitam ser deslocados. Estes locais podem ser situados em diferentes partes do terreno de uma empresa, devendo, porém, obedecer aos requisitos de delimitação da área. A Figura 8 mostra o exemplo de serviço em instalação aberta.



Figura 8 Exemplo de instalação aberta

Fonte: Leocadio, 2007.

Com relação às instalações abertas, quando da realização de radiografias industriais, devem ser atendidos os seguintes requisitos:

- preferencialmente realizadas durante as horas em que houver o menor número de pessoas nas vizinhanças do local de irradiação;
- provisão de sinais sonoros e visuais;
- sinalização adequada para delimitação da área a ser utilizada e seus pontos de acesso (Figura 9);



Figura 9 Exemplo de sinalização para delimitação de área

Fonte: Towbar, 2011.

- devem ser designadas tantas pessoas quantas sejam necessárias para vigiar a área restrita, a fim de impedir a entrada de pessoas não autorizadas nessa área;
- o poço de armazenamento de fontes radioativas deve estar situado em um local isolado e cercado.

4.2 Equipamentos de Proteção

A presença de um campo de radiação ionizante não pode ser percebida pelos cinco sentidos do ser humano, o que torna imprescindível, portanto, a existência de dispositivos capazes de detectá-lo e quantificá-lo. O princípio utilizado para a detecção da radiação está baseado em sua interação com um determinado meio material; tal interação pode resultar na geração de cargas elétricas ou de luz ou, ainda, na sensibilização de películas fotográficas, entre outros fenômenos.

Um detector de radiação consiste, em linhas gerais, de um elemento ou material sensível à radiação e de um sistema, na maioria das vezes eletrônico, que registra o resultado da interação, expressando-o em termos de uma grandeza de medição dessa radiação que interagiu com o elemento ou meio empregado. Assim,

um detector pode ser considerado um transdutor, uma vez que transforma um tipo de informação (radiação) em outro que pode ser um sinal elétrico ou luminoso.

Os equipamentos e a instrumentação dos serviços relacionados à radioproteção devem ser apresentados pelos manuais dos fabricantes, devendo todos os monitores e medidores de radiação ser calibrados, anualmente e após cada manutenção, por uma instituição autorizada pela CNEN, conservando-se os respectivos registros.

4.2.1 Monitores de radiação

Os funcionários que trabalham com radiação ionizante devem ser monitorados quanto à dose de radiação a que estão expostos na realização de suas atividades. Tal monitoramento é feito por medidores individuais de leitura indireta, também chamados de dosímetro (Figura 10).

Um medidor individual de leitura indireta consiste em um dispositivo que é aplicado às vestes ou ao corpo de uma pessoa, destinado à medida de exposição, de acordo com regras de utilização específicas.

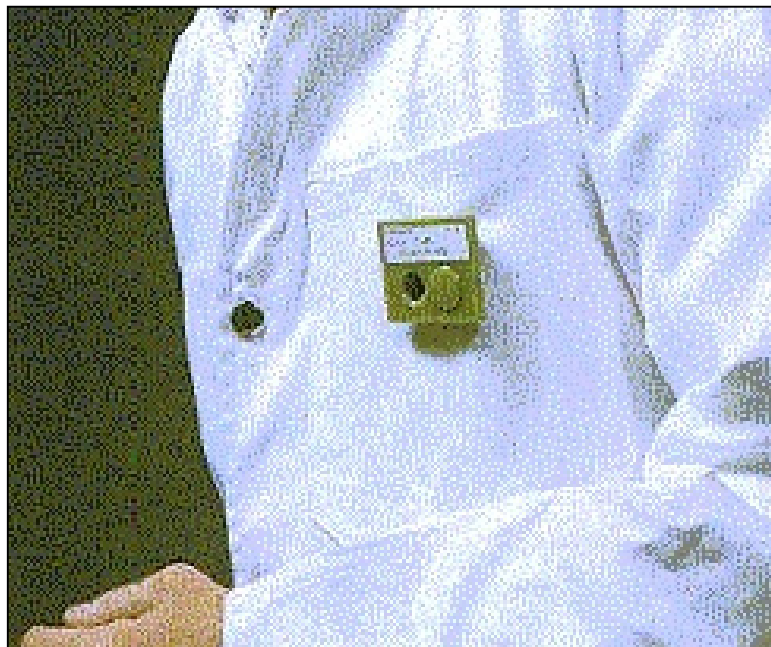


Figura 10 Exemplo de dosímetro para radiações ionizantes

Fonte: Fiocruz, 2011.

Segundo a CNEN (1989), cada instalação deve possuir, além dos medidores individuais de leitura indireta, monitores individuais e medidores de radiação portáteis.

Medidores de radiação portáteis (Figura 11) são instrumentos de medição de grandezas associadas à radiação ionizante; já os monitores individuais (Figura 12) são medidores de radiação que também possuem a função de fornecer sinais de alerta ou alarme em condições específicas.



Figura 11 Exemplo de medidor de radiação portátil

Fonte: Autor.



Figura 12 Exemplo de monitor individual com alarme

Fonte: Autor.

Os instrumentos apresentados devem satisfazer os seguintes requisitos:

- estar em bom estado de conservação;
- terem sido projetados, submetidos a ensaios segundo a norma NBR-10.011 do INMETRO: “Medidores e monitores portáteis de taxa de exposição de raios X e gama, para uso em radioproteção”, e calibrados, de modo a fornecer um resultado com uma incerteza máxima de $\pm 20\%$ da taxa de exposição real.

Não só os trabalhadores, mas também a área de trabalho deve ser monitorada para averiguação dos níveis de radiação e da eficiência das blindagens e dos dispositivos de segurança.

O local onde são realizados os serviços com radiação ionizante deve possuir medidores de radiação para casos de acidente ou situações de emergência. O número de monitores e medidores de radiação do serviço deve ser compatível com o número de fontes radioativas presente na instalação. Monitores e medidores de radiação devem estar disponíveis pelo menos:

- nas instalações fechadas, um monitor de radiação permanentemente ligado, com alarme sonoro e visual (Figura 13);
- nas instalações abertas, onde estiver sendo realizada a operação de radiografia industrial, um medidor de radiação portátil;
- um equipamento de reserva para substituição imediata quando necessário.



Figura 13 Exemplo monitor de radiação permanentemente com alarme sonoro e visual

Fonte: MRA - Indústria de equipamentos eletrônicos Ltda, 2011.

4.3 Treinamento e Qualificação dos Profissionais

As pessoas envolvidas em atividades com fontes de radiação devem estar adequadamente treinadas de modo a assimilar a necessidade de respeitar os regulamentos de segurança radiológica, estando sempre cientes dos riscos associados ao emprego de radiações ionizantes.

A qualificação é a comprovação e verificação formal de características e habilidades, por meio de procedimentos escritos e com resultados documentados, que permitem a um indivíduo exercer determinadas tarefas como profissional.

Dentro do contexto de uma cultura de segurança, programas de treinamento e reciclagem devem ser periodicamente ministrados, de modo a encorajar uma atitude de aprendizado e questionamento quanto aos aspectos de segurança radiológica, desestimulando atitudes complacentes e colocando em perspectiva que assuntos relacionados à proteção e segurança devem receber a prioridade compatível com sua importância, tendo em mente a saúde do trabalhador e do público em geral bem como a preservação do meio ambiente.

4.4 Condições Operacionais

O procedimento de irradiação adotado deve ser o mais seguro possível, com o objetivo de reduzir a um mínimo a exposição à radiação, por meio da adequação dos fatores blindagem, distância e tempo de operação, devendo, além disso, serem levados em conta os seguintes tópicos:

- sempre que possível, a juízo da CNEN, as operações de radiografia industrial devem ser realizadas em instalações fechadas;
- os equipamentos de radiografia gama e aparelhos de raios-X, bem como os medidores de radiação, devem ser cuidadosamente verificados antes da irradiação, a fim de se confirmar ou não a adequação de seu funcionamento;
 - todos os trabalhadores devem portar medidor individual de leitura indireta;
 - os trabalhadores que operam equipamento de radiografia gama devem portar monitor individual;
- o local de irradiação deve ser isolado com cordas, sinais luminosos e/ou sonoros e sinalizado com o símbolo internacional de presença de radiação;

- as operações de radiografia industrial não podem ser executadas por apenas um único trabalhador;
- o feixe de radiação, sempre que possível, deve ser dirigido para áreas não ocupadas por pessoas, ou para áreas adequadamente blindadas;
- as fontes e instalações devem ser mantidas em condições de segurança tais que sejam prevenidos de roubos, avarias e quaisquer ações de pessoas físicas ou jurídicas não autorizadas.

4.5 Registros do Trabalhador

Devem ser feitos e conservados na sede do serviço, bem como mantidos à disposição dos inspetores da CNEN os seguintes registros: controle dosimétrico e controle médico.

4.5.1 Controle dosimétrico

As doses mensais recebidas pelos trabalhadores devem ser registradas e arquivadas em fichas individuais, contendo os respectivos dados pessoais, a data de admissão na instituição e as doses acumuladas, incluindo as anteriores à admissão.

A dose limite é de 20 mSv (milisievert) por ano em uma média de cinco anos, sendo que não pode ultrapassar 50 mSv por ano.

4.5.2 Controle médico

Devem ser registrados individualmente os seguintes exames médicos de todos os trabalhadores:

- Semestral: exame clínico completo, hemograma completo, contagem de plaquetas;
- Anual: Transaminase glutâmico-pirúvica (TGO), transaminase glutâmico-oxalacética (TGP), sorologia para lues, parasitológico de fezes e sumário de urina;
- Bianual: radiografia de tórax, exame oftalmológico e avaliação psicológica.

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que, se seguindo as normas e os procedimentos técnicos, os serviços que utilizam a radiação ionizante no meio industrial tornam-se controlados e adequados ao trabalhador, oferecendo condições seguras para a atividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L. **Aplicações dos elementos radioativos**. Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/fisica/aplicacoes-dos-elementos-radioativos.htm>>. Acesso em ago. 2011.

AMORIM, N. L. **NR 32 e os serviços de radiografia médica**. Monografia (pós-graduação) – Universidade de Taubaté, p. 40. 2010.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. Consolidação das Leis de Trabalho**. Rio de Janeiro: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 9 ago. 1943.

_____. **Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis de Trabalho, relativo à segurança e medicina do trabalho, e dá outras providências**. Brasília. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 23 dez. 1977.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Portaria MTB nº 3.214, de 08 de junho de 1978**. Brasília: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 22 dez. 1977.

_____. **Portaria MTB nº 3.214, de 08 de junho de 1978. NR 16 – Atividades e operações perigosas**. Brasília: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 22 dez. 1977.

BULGARELLI, A. F. et al. **Avaliação das medidas de biossegurança no controle da infecção cruzada durante o tratamento periodontal básico**. Rev. Bras. Odontol., v. 58, n. 3, p. 188-190, maio/jun. 2001.

CARDOSO, M. **Radiações Parte 2: Efeitos Biológicos da Radiação**. Disponível em: <<http://biomedicaltopics.net/radiacoes-parte-2-efeitos-biologicos-da-radiacao>>. Acesso em ago. 2011.

CARDOSO, E. M. **Apostila educativa – Radioatividade**. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, p. 19. 2003.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – CNEN. **CNEN 3.01/004:2011, de maio de 2011. Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas**. Brasília: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 10 maio 2011.

_____. **CNEN NN-6.04, de janeiro de 1989. Funcionamento de serviços de radiografia industrial**. Brasília: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], 26 jan. 1989.

ELBERN, A. **Curso de engenharia de segurança do trabalho – Radiações não-ionizantes**. Disponível em: <<http://www.prorad.com.br/pro/mi.pdf>>. Acesso em: jul. 2011.

FIOCRUZ. **Radiação**. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html>. Acesso em: jun. 2011.

KUROIVA, A. M. **Avaliação das condições de radioproteção em consultórios odontológicos da cidade de Bauru, SP: estudo comparativo 10 anos, 2000**.

LEOCADIO, J. C. **Estimativa do risco de exposição potencial em instalações industriais**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 115. 2007.

LOTUFO, R. **Infecção cruzada – existe no seu consultório?** Rev. Ass. Paul. Cirur. Dent.v. 44, n. 2, p. 105-107, mar./abr. 1990.

MERCA & REBOCHO Lda. **Ensaio não destrutivo**. Disponível em: <<http://www.mercarebocho.com/ensaios.php>>. Acesso em jul. 2011.

MRA - Indústria de equipamentos eletrônicos Ltda. **Monitor de radiação fixo.**
Disponível em: <<http://www.shopping1.radiologico.nom.br/shopping/mra/monitor/alertg1a.htm>>. Acesso em ago. 2011.

NOUAILHETAS, Y. **Apostila educativa – Radiações ionizantes e a vida.**
Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, p. 42. 2003.

OLIVEIRA, L. S. R. **Os princípios e fundamentos da radiologia industrial.**
Disponível em: <http://www.tecnologiaradiologica.com/materia_riconceito.htm>.
Acesso em jul. 2011.

SECRETÁRIA DA SAÚDE DO ESTADO DE PARANÁ. **Sanitária - Serviços - Radiação ionizante - Efeitos biológicos da radiação.** Disponível em:
<<http://www.saude.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=824>>.
Acesso em: set. 2011.

SILVA, C. P. **Como funciona a radiação.** Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/radiacao.htm>>. Acesso em set. 2011.

TOWBAR. **Sinalização de segurança.** Disponível em: <http://www.towbar.com.br/loja/MaisProduto.asp&Produto=178&placas_de_sinalizacao>. Acesso em set. 2011.