

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA
CENTRO DE ENSINO BOMBEIRO MILITAR
ACADEMIA BOMBEIRO MILITAR
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

JONAS PIRES DA SILVEIRA

**LEVANTAMENTO DE USO DAS FONTES RADIOLÓGICAS NO ESTADO DE SANTA
CATARINA, VISANDO UMA PREPARAÇÃO DE EQUIPES EMERGENCIAIS**

**FLORIANÓPOLIS
2019**

Jonas Pires da Silveira

**Levantamento de uso das fontes radiológicas no Estado de Santa Catarina, visando uma
preparação de equipes emergenciais**

Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Linha de Pesquisa: Salvamento: Estuda a direção, o preparo e o emprego da força terrestre em situações de emergência.

Orientador: Ten Cel BM Giovanni Matiuzzi Zacarias

**Florianópolis
2019**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor com orientações da Biblioteca CBMSC

Silveira, Jonas Pires da

Levantamento de uso das fontes radiológicas no Estado de Santa Catarina, visando uma preparação de equipes emergenciais / **Jonas Pires da Silveira**. - Florianópolis : CEBM, 2019. 69 p.

Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Centro de Ensino Bombeiro Militar, Curso de Formação de Oficiais, 2019.

Orientador: Ten Cel BM Giovanni Matiuzzi Zacarias, **Mestre**.

1. Produto Perigoso. 2. Material Radioativo. 3. Radioatividade. I. Zacarias, Giovanni Matiuzzi. II. Levantamento de uso das fontes radiológicas no Estado de Santa Catarina, visando uma preparação de equipes emergenciais.

JONAS PIRES DA SILVEIRA

**LEVANTAMENTO DE USO DAS FONTES RADIOLÓGICAS NO ESTADO DE
SANTA CATARINA, VISANDO UMA PREPARAÇÃO DE EQUIPES
EMERGENCIAIS**

Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Banca Examinadora:

Orientador(a):

Me. Giovanni Matiuzzi Zacarias
Tenente Coronel BM
CBMSC

Membros:

Esp. Marcelo Della Giustina da Silva
Capitão BM
CBMSC

Esp. Darlan Margotti Modolon
Tenente BM
CBMSC

Florianópolis, 04 de novembro de 2019

Dedico este trabalho a minha família, pelo incentivo e apoio incondicionais dispensados a mim; a minha esposa, pelo carinho e compreensão. Fundamentais para essa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir concluir com êxito cada etapa do Curso de Formação de Oficiais.

Agradeço aos meus pais que deram a educação e a base para a formação dos meus valores e princípios éticos.

À minha esposa, Waleska Karoline Garcia Juvenal, por todo apoio, incentivo e paciência no decorrer dessa caminhada.

Ao Centro de Ensino Bombeiro Militar, a todo seu corpo docente, comandantes, militares e funcionários civis que trabalham diuturnamente por esta casa de ensino, pela organização, dedicação e apoio prestados aos cadetes no caminhar do curso, aos estágios e missões concedidos de forma a agregar muito valor a formação bombeiro militar.

Ao meu orientador, Ten Cel BM Giovanni Matiuzzi Zacarias, que me guiou e auxiliou ao decorrer do projeto, não medindo esforços para alcançar os objetivos desse trabalho.

Agradeço aos colegas de classe que se tornaram verdadeiros irmãos de farda e de coração, por todos os momentos de aprendizado dentro da academia e por todo apoio e suporte oferecidos, com esse companheirismo e essa motivação a caminhada foi mais leve.

RESUMO

O presente trabalho faz um mapeamento das instalações radioativas presentes no estado de Santa Catarina. Para isso, foi realizado um levantamento de dados primários, sendo coletado, junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear, informações sobre todas as instalações radioativas no Brasil. Após um tratamento de dados foi possível identificar o nome, a localização e o tipo de aplicabilidade de cada instalação radioativa em Santa Catarina. Posteriormente, com informações bibliográficas sobre a aplicação de materiais radioativos, previu-se quais fontes radiológicas são utilizadas por essas instalações, uma vez que, por motivo de segurança, não se obteve tais informações. Devido à complexidade do assunto, foi realizada uma vasta revisão bibliográfica sobre as propriedades físico-químicas dos materiais radioativos, bem como sobre os tipos de radiação, decaimento radioativo, exposição e efeitos biológicos da radiação. Informações estas que contribuem para o melhor entendimento sobre esse assunto tão específico e longe do conhecimento comum. O estudo identificou a presença de 76 instalações radioativas em Santa Catarina. Deste total, aproximadamente 24% (18 unidades) são de fontes de radiação x, sendo que estas fontes não oferecem perigo quando desenergizada. Das outras 58 instalações, vemos que Joinville possui 9 instalações (15,51% do total), Florianópolis 7 instalações (12,06%) e Blumenau 5 instalações (8,62%). Por meio de estudo bibliográfico foram identificadas as possíveis fontes radiológicas presentes no estado.

Palavras-chave: Produtos Perigosos. Fontes Radioativas. Radioatividade.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Estrutura de um átomo..... | 22 |
| Figura 2: Estabilização de núcleo atômico com excesso de energia..... | 23 |
| Figura 3: Representação da emissão de uma partícula α por um núcleo..... | 24 |
| Figura 4: Representação da emissão de uma partícula beta..... | 25 |
| Figura 5: Diferença do poder de penetração entre as radiações..... | 26 |
| Figura 6: Efeito somático da radiação (radiodermite)..... | 35 |
| Figura 7: Tipos de instalações radioativas no Brasil..... | 41 |
| Figura 8: Mapeamento das instalações da área médica autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 44 |
| Figura 9: Mapeamento das instalações da área industrial autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 46 |
| Figura 10: Mapeamento das instalações da área de segurança autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 48 |
| Figura 11: Mapeamento das instalações da área de pesquisa autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 50 |
| Figura 12: Detector e identificador de radiação identiFINDER R400..... | 58 |
| Figura 13: Detector de Radiação..... | 58 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Classes e subclasses dos produtos perigosos | 18 |
| Quadro 2: Série de desintegração do Urânio-238 | 28 |
| Quadro 3: Limiares de doses para efeitos somáticos | 35 |
| Quadro 4: Aplicação de núclídeos de acordo com sua forma..... | 39 |
| Quadro 5: Instalações da área médica autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 43 |
| Quadro 6: Instalações da área industrial autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 46 |
| Quadro 7: Instalações da área de segurança autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 48 |
| Quadro 8: Instalações da área de pesquisa autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina..... | 50 |
| Quadro 9: Escala Internacional de Eventos Nucleares (<i>INES</i>)..... | 54 |

LISTA DE SIGLAS

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica

ANTT – Agência Nacional dos Transportes Terrestre

BBM – Batalhão Bombeiro Militar

CBMSC – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

EAR - Equipamento Autônomo de Respiração

EPI – Equipamento de Proteção individual

HAZMAT – Hazardous Material - Material Perigoso

INES – International Nuclear Event Scale - Escala Internacional de Eventos Nucleares

OBM – Organização Bombeiro Militar

ONU – Organização das Nações Unidas

PP – Produto Perigoso

SC – Santa Catarina

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 PROBLEMA..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA..... | 13 |
| 1.4 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA..... | 13 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 14 |
| 2 PRODUTOS PERIGOSOS..... | 17 |
| 3 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS RADIOATIVOS..... | 21 |
| 3.1 ESTRUTURA DA MATÉRIA..... | 21 |
| 3.2 RADIOATIVIDADE..... | 22 |
| 3.3 TIPOS DE RADIAÇÃO..... | 23 |
| 3.4 DECAIMENTO RADIOATIVO..... | 27 |
| 3.5 TEMPO DE MEIA-VIDA..... | 29 |
| 3.6 DOSE..... | 29 |
| 4 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO..... | 31 |
| 4.1 MODOS DE EXPOSIÇÃO..... | 31 |
| 4.2 CONTROLE DE EXPOSIÇÃO..... | 31 |
| 4.3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE..... | 33 |
| 5 TIPOS DE FONTES E SUAS APLICAÇÕES..... | 37 |
| 5.1 TIPOS DE FONTES..... | 37 |
| 5.2 APLICAÇÕES..... | 39 |
| 5.3 USO DE FONTES RADIOLÓGICAS EM SANTA CATARINA..... | 42 |
| 5.3.1 Área Médica..... | 43 |
| 5.3.2 Área Industrial..... | 46 |
| 5.3.3 Área Segurança..... | 48 |
| 6 EMERGÊNCIAS RADIOLÓGICAS..... | 53 |
| 6.1 ESCALA DE EVENTOS..... | 53 |
| 6.2 INCIDENTE DE GOIÂNIA..... | 55 |
| 6.3 ACIDENTE DE CHERNOBYL..... | 55 |
| 6.4 EQUIPAMENTOS PARA ATENDIMENTO DE EMERGÊNCIAS RADIOLÓGICAS...56 | |

| | |
|---|-----------|
| 7 DESCRIÇÃO DA FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA..... | 59 |
| 8 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO..... | 61 |
| 9 CONCLUSÃO..... | 65 |
| REFERÊNCIAS..... | 67 |

1 INTRODUÇÃO

O Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), órgão da administração direta do Governo do Estado, atua na prestação de serviços públicos na área da segurança pública. Dentre as diversas atividades desenvolvidas se encontra a atuação em emergências envolvendo produtos perigosos. Tais produtos podem ser definidos como toda substância de natureza química, radioativa ou biológica que pode estar nos estados sólido, líquido ou gasoso e pode afetar de forma nociva, direta ou indiretamente, o patrimônio, os seres vivos ou o meio ambiente (CBMSC, 2019).

Dentre os diversos produtos existentes, vistos como perigosos, destaca-se os radioativos, que apresentam propriedades físico-químicas capazes de causar sérios danos à saúde e ao meio ambiente e que será objeto de estudo neste trabalho.

As práticas com fontes de radiação ionizantes ampliam-se a cada dia, aumentando, conseqüentemente, a probabilidade de ocorrência de acidentes envolvendo essas fontes. Acidentes radiológicos têm uma probabilidade maior de ocorrer do que acidentes nucleares. A probabilidade destes acidentes é baixa e seu impacto, em geral, afeta um número pequeno de pessoas, contudo, o impacto nessas pessoas pode ser muito sério (VALVERDE; LEITE; MAURMO, 2010).

Apesar dos riscos associado, que podem ser até fatais, estes materiais são fundamentais para o desenvolvimento econômico e tecnológico da sociedade. Na indústria nacional possuem diversas aplicações, por exemplo na geração de energia, na medicina e no setor alimentício, no entanto sua utilização é feita sob um forte controle do governo (UFRGS, 2016).

Um das formas de controle foi a criação do Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON). Nesse sistema o Governo do Estado, classificado como órgão de apoio, cabe a atribuição de tarefas à Secretaria de Segurança Pública, na área onde a proteção física se faça necessária. Desta forma, as ações dos Corpos de Bombeiros nas atuações emergenciais envolvendo produtos radioativos, deve buscar a minimização dos riscos até a chegada de técnicos especialistas, a quem compete às ações adequadas à neutralização dos produtos, descarte de resíduos, descontaminação de vítimas e do local

(CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2006a).

Visto as atribuições do Corpo de Bombeiros, nos casos de emergências envolvendo materiais radioativos, é fundamental que a corporação conheça onde são aplicadas as fontes radiológicas na sua área de jurisdição, e assim poder mapear onde são utilizados esses produtos, a fim de preparar equipes emergenciais para possíveis ocorrências envolvendo fontes radioativas.

1.1 PROBLEMA

Para que o atendimento a ocorrências envolvendo materiais radioativos tenha uma rápida resposta e aconteça de modo adequado e eficiente, é necessário um mapeamento dos locais de utilização desses materiais. Desta forma a corporação poderá se preparar a fim de minimizar os danos de um possível acidente.

Sendo assim, a pergunta que o presente trabalho busca responder é: quais são e onde estão as fontes radiológicas em Santa Catarina?

1.2 OBJETIVOS

a) Objetivo Geral

Levantar, através de pesquisa bibliográfica e de campo, quais são e onde são utilizadas fontes radiológicas no estado, subsidiando o Corpo de Bombeiros de Santa Catarina com informações para a preparação de equipes emergenciais.

b) Objetivos específicos

i) Identificar quais fontes radiológicas são utilizadas no estado e sua aplicabilidade;

ii) Apontar os locais onde são utilizadas as fontes radiológicas em Santa Catarina;

1.3 JUSTIFICATIVA

Como já visto, as ações dos Corpos de Bombeiros nas atuações emergenciais envolvendo produtos radioativos, deve buscar a minimização dos riscos até a chegada de técnicos especialistas, a quem compete às ações adequadas à neutralização dos produtos, descarte de resíduos, descontaminação de vítimas e do local. Ocorre que, em Santa Catarina, não há órgão especializado em materiais radioativos, ou seja, em caso de uma emergência dessa natureza, o Corpo de Bombeiro terá que atuar até a chegada de especialistas de outros estados, o que pode levar muito tempo.

Devido sua importância econômica, diversos produtos, que utilizam fontes radiológicas, são manipulados, armazenados e transportados em Santa Catarina.

Desta maneira, o levantamento dos locais onde são utilizadas essas fontes radiológicas são de fundamental importância para a preparação de equipes emergenciais, como também a melhor alocação de recursos e compra de materiais para o uso nesse tipo de ocorrência, garantindo a proteção de seus combatentes. Com isso, proverá à sociedade catarinense um melhor atendimento, garantindo a proteção da vida, do patrimônio e do meio ambiente.

1.4 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

Os métodos científicos podem ser classificados como dedutivos ou Indutivos. Segundo Gil (2002) o método dedutivo, de acordo com a acepção clássica, é o método de Científico que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros, indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.

Além da classificação do método de científico, Gerhardt e Silveira (2009) classificam a pesquisa de acordo com os seguintes critérios: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos.

Em relação à abordagem de pesquisa, a este trabalho é qualitativo, no sentido de que o enfoque não foi a representatividade numérica, e sim o aprofundamento do tema para sua devida compreensão, tendo em vista que a proposta deste foi realizar um mapeamento das instalações radioativas em Santa Catarina (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Para Gil (2002), a pesquisa de natureza aplicada objetiva gerar conhecimentos com interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos, envolve verdades e interesses locais.

Segundo Gil (2002), o presente trabalho, quanto ao objetivo da pesquisa, pode ser classificado como exploratório. Este tipo pesquisa busca uma abordagem do fenômeno pelo levantamento de informações que poderão levar o pesquisador a conhecer mais a seu respeito.

Com base nos procedimentos técnicos que serão utilizados, Gil (2002) classifica esse trabalho como documental, já que a principal fonte de dados, para que fosse feito o mapeamento das instalações, foi pelo banco de dados da CNEN. Como também pode ser classificado como pesquisa bibliográfica, uma vez que é feito a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios eletrônicos, livros, artigos científicos, páginas de web sites (FONSECA, 2002).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho de conclusão de curso será dividido em nove capítulos sendo que o primeiro foi a introdução, onde foi apresentado a temática e a problemática que envolvem a pesquisa e fazem com que ela aconteça, na sequência o objetivo geral e específico, a justificativa da importância deste trabalho, a metodologia e o presente capítulo que apresenta a estrutura na qual o trabalho de pesquisa está formado.

Nos capítulos subsequentes consta a revisão bibliográfica sobre produtos perigosos, o que são, classes e subclasses destes produtos, finda essa parte é introduzido o material radioativo, suas propriedades, radioatividade e os tipos radiação, no capítulo seguinte será comentado sobre o controle, modos de exposição e efeitos biológicos da radiação. Posteriormente, sendo o objetivo principal do trabalho, é feita uma abordagem sobre a aplicação das fontes radiológicas no estado de Santa Catarina e o mapeamento de onde se encontram as instalações que manipulam material radioativo no Estado, seguido de uma abordagem sobre os tipos emergências radiológicas e os exemplos do acidente de Chernobyl e Goiânia. Por seguinte, abordou-se sobre alguns equipamentos básicos utilizados em uma ocorrência envolvendo material radioativo.

Adiante a descrição da fundamentação metodológica, que mostrará a forma que foi feita a revisão bibliográfica e a coleta de dados, método de abordagem e técnica de pesquisa utilizada neste trabalho. Por fim, será feita a análise e interpretação dos dados apresentados.

Em seu término esta pesquisa apontará as conclusões e sugestões a respeito do tema.

2 PRODUTOS PERIGOSOS

Antes de entrar especificamente no tema proposto, é necessário entender porque os produtos perigosos são tema de estudo dos Corpos de Bombeiros.

O Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), órgão da administração direta do Governo do Estado, atua na prestação de serviços públicos na área da segurança pública, tendo como jurisdição o território catarinense.

Dentre as atividades desenvolvidas pelo CBMSC está o atendimento envolvendo produtos perigosos, conforme consta na Constituição Estadual.

[...] Art. 108 - O Corpo de Bombeiros Militar, órgão permanente, força auxiliar, reserva do Exército, organizado com base na hierarquia e disciplina, subordinado ao Governador do Estado, cabe, nos limites de sua competência, além de outras atribuições estabelecidas em lei:

I - realizar os serviços de prevenção de sinistros ou catástrofes, de combate a incêndio e de busca e salvamento de pessoas e bens e o atendimento pré-hospitalar;

II - estabelecer normas relativas à segurança das pessoas e de seus bens contra incêndio, catástrofe ou **produtos perigosos**;

III - analisar, previamente, os projetos de segurança contra incêndio em edificações, contra sinistros em áreas de risco e de **armazenagem, manipulação e transporte de produtos perigosos**, acompanhar e fiscalizar sua execução, e impor sanções administrativas estabelecidas em lei [...] (SANTA CATARINA, 2003, grifo nosso).

Por essa razão, para que corporação continue prestando um serviço de excelência, é necessário que a instituição esteja em constante atualização de conhecimentos e tecnologias para as suas áreas de atuação, incluindo na área de produtos perigosos.

De maneira geral, podemos definir produtos perigosos como: aqueles produtos que por suas características físico-químicas, podem levar perigo ao homem, ao meio ambiente e ao patrimônio público ou privado, principalmente, se tratados, embalados ou transportados de forma errada ou ainda, manipulados por pessoas despreparadas (SILVEIRA, 2009).

É comum confundir o conceito de produto perigoso com carga perigosa, por essa razão, é necessário esclarecer que conceitualmente carga perigosa é o acondicionamento ruim ou a arrumação física deficiente de uma carga ou volume, que venha a oferecer riscos de queda ou tombamento, podendo gerar outros riscos (DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1998).

Os produtos perigosos são divididos em classes e subclasses, conforme mostra o quadro 1, abaixo. A ordem numérica das classes e subclasses não corresponde ao grau de risco.

Quadro 1: Classes e subclasses dos produtos perigosos

| | |
|---|---|
| Classe 1: Explosivos | |
| – Subclasse 1.1: | Substâncias e artefatos com risco de explosão em massa |
| – Subclasse 1.2: | Substância e artigos com risco de projeção, mas sem risco de explosão em massa. |
| – Subclasse 1.3: | Substâncias e artefatos com risco predominante de fogo |
| – Subclasse 1.4: | Substância e artigos que não apresentam risco significativo |
| – Subclasse 1.5: | Substâncias muito insensíveis, com risco de explosão em massa |
| – Subclasse 1.6: | Artigos extremamente insensíveis, sem risco de explosão em massa |
| Classe 2: Gases | |
| – Subclasse 2.1: | Gases inflamáveis |
| – Subclasse 2.2: | Gases não-inflamáveis e não tóxicos |
| – Subclasse 2.3: | Gases tóxicos |
| Classe 3: Líquidos inflamáveis | |
| Classe 4: Sólidos inflamáveis | |
| – Subclasse 4.1: | Sólidos inflamáveis, Substâncias auto-reagentes e explosivos sólidos insensibilizados |
| – Subclasse 4.2: | Substâncias sujeitas à combustão espontânea |
| – Subclasse 4.3: | Substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis |
| Classe 5: Substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos | |
| – Subclasse 5.1: | Substâncias oxidantes |
| – Subclasse 5.2: | Peróxidos orgânicos |
| Classe 6: Substâncias tóxicas e substâncias infectantes | |
| – Subclasse 6.1: | Substâncias tóxicas |
| – Subclasse 6.2: | Substâncias infectantes |
| Classe 7: Material radioativo | |

| |
|--|
| Classe 8: Substâncias corrosivas |
| Classe 9: Substâncias e artigos perigosos diversos |

Fonte: Brasil, 2011.

Como pode ser observado na Quadro 1, os materiais radioativos, que será visto mais profundamente nos próximos capítulos, são classificados como classe 7.

3 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS RADIOATIVOS

Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), material radioativo é aquele que contem substâncias que emitem espontaneamente qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, desloca elétrons dos átomos ou moléculas produzindo íons (CNEN, 2015)

Ainda assim, segundo o Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do estado de São Paulo (2006), materiais radioativos são materiais fisicamente instáveis que sofrem modificações espontaneamente na sua estrutura. Essas modificações ocorrem quando há transformação nos elementos que passam a emitir energia sob a forma de radiação.

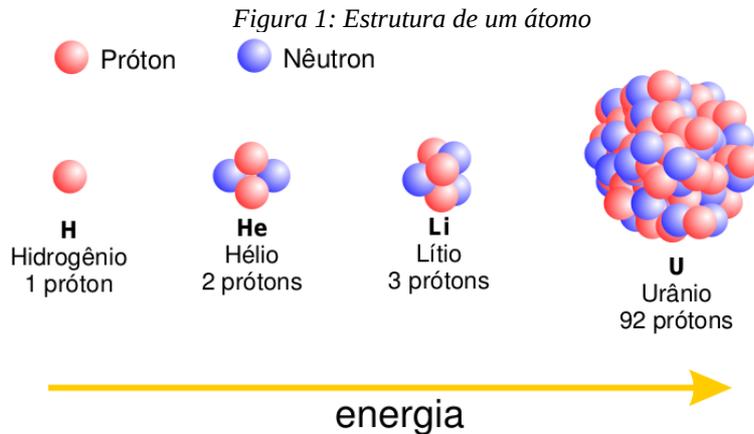
3.1 ESTRUTURA DA MATÉRIA

Todas as coisas existentes na natureza são constituídas de átomos ou suas combinações. Sendo o átomo, a menor estrutura da matéria que apresenta as propriedades de um elemento químico (CARDOSO, 2012).

A estrutura do átomo é composta por um núcleo, onde ficam os prótons e nêutrons, e partículas giram ao seu redor do núcleo, denominadas elétrons (CARDOSO, 2012).

Todos os elementos químicos são representados por um símbolo; por exemplo, o ouro tem como símbolo Au. Além disso, todo átomo de um elemento químico possui dois números associados que o identificam, quais sejam: o número atômico (Z), que corresponde ao número de prótons presentes no núcleo do átomo e o número de massa (A), que é definido como sendo a soma do número de prótons e nêutrons presentes no núcleo, uma vez que a massa de um átomo encontra-se praticamente concentrada no núcleo (BRASIL, 2002).

Desta maneira, quanto maior o número de massa mais pesado é o átomo. Sendo assim, pode-se afirmar que um átomo de alumínio é mais leve que um átomo de ouro porque a soma do número de prótons e nêutrons do átomo de alumínio é 27 (13 prótons e 14 nêutrons) e a soma do número de prótons e nêutrons do átomo de ouro é 197 (79 prótons e 116 nêutrons). (BRASIL, 2002).



Fonte: CARDOSO, 2012.

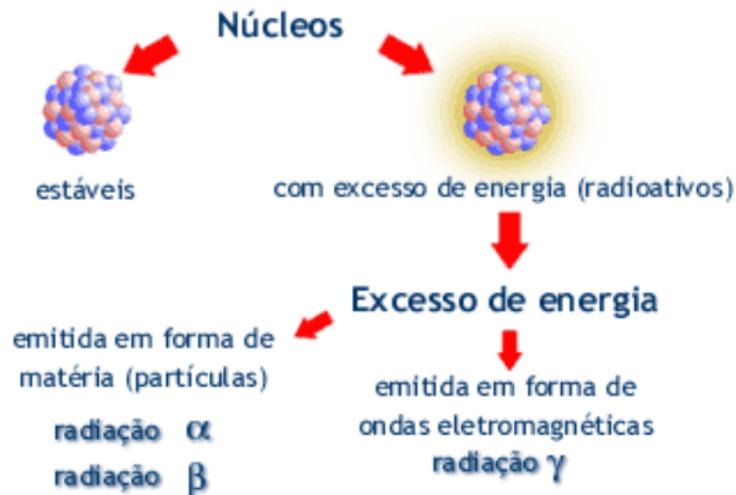
3.2 RADIOATIVIDADE

Após o descobrimento dos raios- por William Röntgen em 1895, o físico francês Henri Becquerel, verificou que sais de urânio emitiam radiações capazes de velar chapas fotográficas, mesmo quando envoltas em papel preto. Observou ainda, que a quantidade de radiação emitida era proporcional à concentração de urânio. Posteriormente Marie Curie deu continuidade às experiências, dando ao fenômeno o nome de “radioatividade”. Em 1898, ela e seu marido Pierre descobriram dois novos elementos radioativos, quais sejam, o polônio e o rádio, como também descobriram que à medida que o urânio emitia radiação se transformava em outros elementos (UFRGS, 2006)

A radioatividade pode ser natural, induzida ou artificial e é produzida pela desintegração de núcleos atômicos instáveis, sendo caracterizada pela emissão de partículas subatômicas e radiações eletromagnéticas. A radioatividade natural ocorre espontaneamente na natureza e se relaciona com elementos radioativos naturais, como urânio e tório. Já a radioatividade induzida é produzida quando determinadas substâncias entram em contato com elementos radioativos naturais e, após serem submetidas a bombardeio de partículas subatômicas e radiações eletromagnéticas, produzidas pelos mesmos, transformam-se em radioisótopos artificiais, comportando-se como elementos radioativos naturais. Por último, a radioatividade artificial é produzida no interior de aparelhos denominados de ciclotrons, que permitem a transformação de determinados elementos em radioisótopos artificiais. Como por exemplo: cobalto 60, célio 137, iodo 131 (BRASIL, 2007).

De maneira simples, a radiação ocorre quando um elemento possui um núcleo muito energético, que por ter excesso de partículas ou de carga, emite algumas partículas para estabilizar-se (CARDOSO, 2012).

Figura 2: Estabilização de núcleo atômico com excesso de energia.



Fonte: CARDOSO, 2012.

3.3 TIPOS DE RADIAÇÃO

Radiação em geral é a propagação de energia sob a forma de ondas eletromagnéticas ou de partículas subatômicas no espaço ou em um meio material, como o corpo humano (VALVERDE; LEITE; MAURMO, 2010).

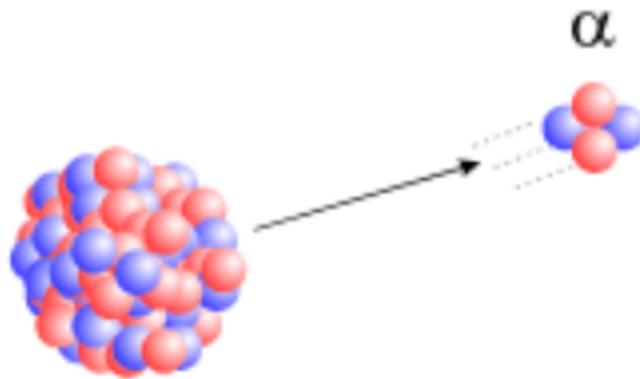
Existem quatro tipos principais de partículas e radiações eletromagnéticas, relacionadas com emissões radioativas: partículas alfa (α) e beta (β), radiações gama (γ) e raios-x (BRASIL, 2007).

a) Radiação Alfa (α)

A radiação alfa são partículas positivas constituídas por dois prótons e dois nêutrons. Dentre todas as partículas e radiações emitidas por materiais radioativos, as partículas alfa são as menos penetrantes, podendo ser bloqueadas por um pano fino ou por até mesmo uma folha de papel (BRASIL, 2007).

Quando o número de prótons e nêutrons de um átomo é elevado, o núcleo pode se tornar instável devido à repulsão elétrica entre os prótons, que pode, por sua vez, superar a força nuclear atrativa. Nesses casos, para que o núcleo seja estabilizado, pode ocorrer a emissão de partículas constituídas de 2 prótons e 2 nêutrons (núcleo de ${}^4\text{He}$), descartando assim grande quantidade de energia (TAUHATA et al., 2013).

Figura 3: Representação da emissão de uma partícula α por um núcleo.



Fonte: CARDOSO, 2012.

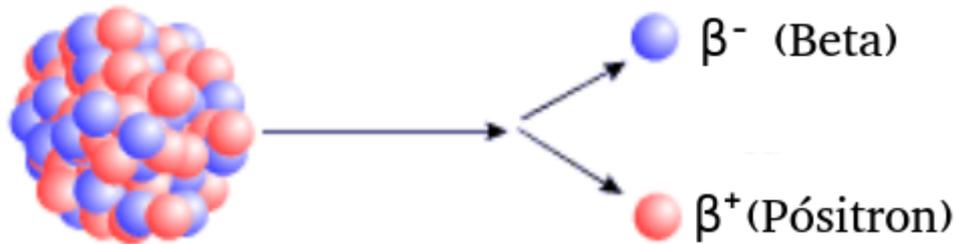
b) Radiação Beta (β)

A radiação beta são partículas que podem ser positivas ou negativas. A emissão de partículas negativas (elétrons) ocorre quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação a prótons. Nesse processo o núcleo inicial transforma-se de uma configuração ${}^A_Z X$ em ${}^A_{Z+1} Y$, devido a transformação de um nêutron em um próton. Já a emissão de partículas beta positivas (pósitrons), ocorre quando há um excesso de prótons no núcleo. Acarretando a transformação da configuração ${}^A_Z X$ em ${}^A_{Z-1} Y$ devido a transformação de um próton em um nêutron (TAUHATA et al., 2013).

Portanto, a radiação beta é constituída de partículas emitidas por um núcleo, quando da transformação de nêutrons em prótons (Partícula Beta) ou de prótons em nêutrons (Pósitron) (CARDOSO, 2012)

Estas partículas possuem maior capacidade de penetração que as partículas alfa, sendo que para blindá-las, necessitamos de material mais denso, como vidro e plástico (VALVERDE; LEITE; MAURMO, 2010).

Figura 4: Representação da emissão de uma partícula beta.



Fonte: CARDOSO, 2012.

c) Radiação Gama (γ)

As radiações gama são radiações eletromagnéticas, com grande quantidade de energia, sendo que frequentemente acompanham as emissões de partículas alfa e beta e estão presentes na cadeia de fissões atômicas. Os raios gama são muito penetrantes e só podem ser detidos e bloqueados por chapas de chumbo bastante espessas. É importante ressaltar que a grande maioria dos efeitos nocivos das radiações ionizantes são causadas pelas radiações gama (BRASIL, 2007).

Após a emissão de radiação alfa ou beta, o núcleo residual geralmente tem seus núcleons fora da configuração de equilíbrio, ou seja, estão alocados em estados excitados. Assim para atingir o estado fundamental, emitem a energia excedente sob a forma de radiação eletromagnética, denominada radiação gama (γ). Essa energia é bem definida e depende somente da diferença de energia entre os orbitais envolvidos na transição (TAUHATA et al., 2013).

d) Radiação X

Os raios-x correspondem a formas extremamente penetrantes de energia eletromagnética e são emitidos quando: elétrons em orbitais excitados retornam a seu estado normal de energia, constituindo o chamado “efeito spin” e quando um feixe de elétrons de alta velocidade atinge um alvo metálico, liberando raios-x provocados por radiações de frenagem, caracterizando o efeito “bremsstrahlings” (BRASIL, 2007).

Esta radiação é semelhante aos raios γ quanto as suas propriedades, ou seja, são ondas eletromagnéticas de alta frequência e pequeno comprimento de onda. A principal diferença

entre eles é que os raios-x podem ter origem na eletrosfera enquanto que os raios γ são produzidos no núcleo do átomo (BRASIL, 2002).

Os aparelhos de raios-x só podem expor as pessoas à radiação quando energizados e quando houver o acionamento para a sua produção. Um equipamento de raios-x não energizado não representa risco radiológico (VALVERDE; LEITE; MAURMO, 2010). Esta característica distingue o raio-x das fontes radioativas, como por exemplo, de radiação gama que emitem radiação espontânea e constantemente (BRASIL, 2002).

As radiações ionizantes possuem poder de penetração diferente na matéria, como ilustrado na figura a baixo. Pode-se verificar que as radiações eletromagnéticas (γ e X) possuem um poder de penetração maior do que das partículas alfa e beta.

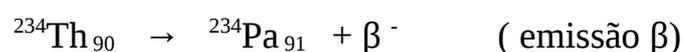
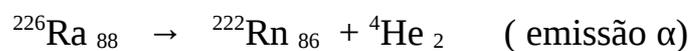
Figura 5: Diferença do poder de penetração entre as radiações



Fonte: CARDOSO, 2012.

3.4 DECAIMENTO RADIOATIVO

Quando um núcleo é instável por excesso de núcleons (prótons e nêutrons) ou quando a razão A/Z (número de massa/número atômico) é muito grande, ocorre a desintegração do núcleo, por emissão alfa ou beta, conforme exemplificado a seguir:



No interior do núcleo, há uma constante interação entre as partículas de prótons e nêutrons, resultando numa força chamada nuclear, de curto alcance, de tal forma que somente interagem quando estão muito próximos entre si. Existe, também, no núcleo, uma repulsão entre prótons, dando origem a forças elétricas mais fracas, porém com alcance maior. Assim, quando prótons e nêutrons estão no núcleo, existe competição entre essas duas forças: as forças nucleares de curto alcance tendem a manter os núcleons bem próximos e a força elétrica tende a separar os prótons (UFRGS, 2006).

Para átomos com elevado número de massa, a força elétrica de repulsão contínua atuando, mas a força nuclear de curto alcance não abrange todos os núcleons, resultando em núcleo instável. Desta maneira, para ocorrer a estabilidade do núcleo, ou seja, para que o núcleo tenha núcleons mais fortemente ligados, são emitidas energia e partículas α ou β , o que leva à formação de núcleo de elemento químico distinto do original (UFRGS, 2006).

Se o número atômico de um núcleo for muito grande, o núcleo formado por decaimento também será radioativo, dando origem a uma série de decaimento radioativo (UFRGS, 2006), ou seja, com o passar do tempo, os elementos perdem suas atividades radioativas, se transformam em outros elementos químicos também radioativos e assim prosseguem até atingirem a condição de emitir radiações insignificantes, ou em outras palavras, o núcleo atingir sua estabilidade (SILVA FILHO, 2013).

Conforme o quadro abaixo, Um exemplo de decaimento radioativo é a série do ^{238}U , que é integrada por 18 radioisótopos, com 3 bifurcações, terminando no ^{206}Pb , isótopo estável (UFRGS, 2006).

Quadro 2: Série de desintegração do Urânio-238

| Elemento Emissor | | Isótopo | Meia-Vida ($t_{1/2}$) |
|-------------------------|----|----------------------------|---|
| Urânio | 92 | U-238 $\downarrow\alpha$ | $4,5 \times 10^9$ anos |
| Tório | 90 | Th-234 $\downarrow\beta^-$ | 24 dias |
| Protoactínio | 91 | Pa-234 $\downarrow\beta^-$ | 6,7 horas |
| Urânio | 92 | U-234 $\downarrow\alpha$ | $2,5 \times 10^5$ anos |
| Tório | 90 | Th-230 $\downarrow\alpha$ | 8×10^4 anos |
| Rádio | 88 | Ra-226 $\downarrow\alpha$ | 1622 anos |
| Radônio | 86 | Rn-222 $\downarrow\alpha$ | 3,8 dias |

| | | | |
|-----------|----|---|---|
| Polônio | 84 | $\alpha \downarrow$ Po-218 $\downarrow \beta^-$ | 3 minutos |
| Astatínio | 85 | \downarrow At-218 $\downarrow \alpha$ | 2 segundos |
| Chumbo | 82 | \downarrow Pb-214 $\downarrow \beta^-$ | 3 minutos |
| Bismuto | 83 | $\alpha \downarrow$ Bi-214 $\downarrow \beta^-$ | 19,7 minutos |
| Tálio | 81 | $\beta^- \downarrow$ Tl-210 \downarrow | 1,3 minutos |
| Polônio | 84 | \downarrow Po-214 $\downarrow \alpha$ | $1,6 \times 10^{-4}$ segundos |
| Chumbo | 82 | Pb-210 $\downarrow \beta^-$ | 22 anos |
| Bismuto | 83 | $\alpha \downarrow$ Bi-210 $\downarrow \beta^-$ | (α) 2,6x10 10 anos (β) 5 dias |
| Polônio | 84 | \downarrow Po-210 $\downarrow \alpha$ | 138 dias |
| Tálio | 81 | $\beta \downarrow$ Tl-206 \downarrow | 4,2 minutos |
| Chumbo | 82 | Pb-206 | Estável |

Fonte: UFRGS, 2006.

A estabilização dos átomos, por decaimento radioativo, não é realizada ao mesmo tempo para todos os átomos da mesma espécie contidos numa amostra. Esta estabilização ocorre de modo aleatório. Não se pode prever o momento em que um determinado núcleo irá se transformar por decaimento. Entretanto, para uma quantidade grande de átomos, o número de transformações por segundo é proporcional ao número de átomos que estão por se transformar naquele instante. Isto significa que a probabilidade de decaimento por átomo por segundo deve ser constante, independente de quanto tempo ele tem de existência. Portanto, quando se fala que o Tório possui um tempo de meia-vida de 24 dias, significa que nesse período, constantemente, átomos de Tório se transformaram por decaimento, sendo que o tempo para que a metade se transformasse levou 24 dias (TAUHATA et al., 2013).

3.5 TEMPO DE MEIA-VIDA

A meia-vida, $t_{1/2}$, é o tempo necessário para que a atividade de um dado material radioativo caia pela metade, como resultado de um processo de decaimento radioativo (CNEN, 2015). Portanto ao pegarmos uma amostra de um elemento radioativo, podemos atribuir uma radioatividade de 100%. Após um período de tempo, esta radioatividade cai à

metade de seu valor inicial (50%) ou passado igual período de tempo, cai à metade deste último valor, 25% ou. A partir daí, em iguais períodos de tempo, a atividade radioativa vai decaindo em 12,5% ou, 6,25% ou, 3,125%, até a radioatividade atingir um valor insignificante (SILVA FILHO, 2013) como pode ser observado no quadro 2.

3.6 DOSE

O conceito de dose introduzido na radiologia é o mesmo aplicado a farmacologia, que significa a quantidade de uma substância aplicada em um ser vivo por unidade de peso do corpo humano para se obter um certo efeito biológico. A dose de radiação recebida por um indivíduo pode ser avaliada por meio das seguintes grandezas: exposição (que será visto no próximo capítulo), dose absorvida, dose equivalente e dose equivalente efetiva (BRASIL, 2002).

Dose absorvida é definida como a quantidade de energia depositada pela radiação ionizante na matéria, num determinado volume conhecido (BRASIL, 2002).

Já para Dose equivalente o conceito definido foi de equivalência entre doses de diferentes radiações para produzir o mesmo efeito biológico, ou seja, leva em consideração os diferentes poderes ionizantes de cada tipo de radiação para alcançar um mesmo efeito (TAUHATA et al., 2013).

Por fim, Dose Efetiva é a soma ponderada das doses equivalentes em todos os tecidos ou órgãos do corpo (CNEN, 2015), estando baseada no princípio de que para um certo nível de proteção, o risco deve ser o mesmo se o corpo inteiro for irradiado uniformemente, ou se a irradiação é localizada em um determinado órgão (BRASIL, 2002)

A radiação natural contribui com aproximadamente 81% da dose anual recebida pela população e os 19% restantes advêm das fontes artificiais de radiação (BRASIL, 2002).

4 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO

O uso de fontes de radiação pode resultar em algum grau de exposição das pessoas. Os riscos a que estão expostos os indivíduos irradiados, dependem de diversos fatores relacionados com as propriedades das fontes de radiação e das relações das pessoas com as fontes, ou seja, o tempo e a distância que o indivíduo permanece junto à fonte. A relação da fonte com a pessoa, como visto no capítulo anterior, também depende da proporção entre quantidade de uma substância aplicada em um ser vivo e o peso do corpo humano, uma vez que para se obter um certo efeito biológico depende dessa proporção (BRASIL, 2002).

Com relação as propriedades das fontes, as energias das radiações emitidas são características próprias de cada radionuclídeo presentes e a intensidade das radiações emitidas depende da massa do radionuclídeo na amostra e varia continuamente, de acordo com as leis do decaimento radioativo (BRASIL, 2002).

4.1 MODOS DE EXPOSIÇÃO

Conforme Brasil (2002) e Elster (2008), os modos de exposição podem ser classificados da seguinte maneira:

(i) Exposição externa: aquela em que a fonte de radiação, aparelhos de raios-x ou fontes radioativas, estão fora do corpo da pessoa irradiada. A exposição externa é pouco relevante para as fontes de radiação beta e é praticamente insignificante para as fontes de radiação alfa.

(ii) Exposição interna: aquela em que a fonte de radiação está dentro do corpo da pessoa irradiada. Isto ocorre quando o material radioativo entra dentro do corpo do indivíduo por inalação, administração de contraste intravenoso, ingestão, ou através da pele, quando do manuseio de uma fonte de radiação.

4.2 CONTROLE DE EXPOSIÇÃO

Conforme UFRGS (2006), o controle da exposição à radiação fundamenta-se em três fatores principais:

(i) Tempo de Exposição - Prevenção de acúmulo desnecessário de Dose, pela redução do tempo de permanência na proximidade de fontes de radiação.

(ii) Distância da Fonte - Atenuação da radiação, baseada na lei do inverso do quadrado da distância; e

(iii) Blindagem - Atenuação da radiação, por meio de anteparos de concreto, chumbo, aço, alumínio, entre outros materiais.

a) Tempo de exposição

A dose recebida por irradiação externa é diretamente proporcional ao tempo. Quanto maior o tempo de irradiação maior a dose recebida (TAUHATA et al., 2013). Sendo assim, a redução, tanto quanto possível, do tempo de permanência em áreas onde estão presentes fontes de radiação ionizante é uma maneira simples de evitar exposições desnecessárias (UFRGS, 2006).

b) Distância da Fonte

À medida que um indivíduo se afasta da fonte de radiação, a dose de radiação por ele recebida diminui. Desta maneira, o distanciamento de uma fonte de radiação é uma solução simples para minimizar a exposição, e, conseqüentemente, o acúmulo da dose. Conhecendo a taxa de dose a uma determinada distância da fonte, pode-se calcular a taxa de dose resultante em qualquer distância pela Lei do Inverso do Quadrado da Distância, qual seja:

$$D_1 / D_2 = (d_1 / d_2)^2$$

Onde D_1 e D_2 são as Taxas de Dose nas distâncias d_1 e d_2 da fonte, respectivamente.

Por exemplo, quando a distância de um indivíduo à fonte dobra, a dose é reduzida a um quarto do seu valor inicial (UFRGS, 2006).

c) Blindagem

Blindagem é o material ou dispositivo interposto entre fontes de radiação e pessoas ou meio ambiente para fins de redução da exposição externa (CNEN, 2015).

São exemplos comuns de dispositivos empregados para minimizar a exposição à radiação: acessórios como colimadores, biombos, aventais e óculos de proteção, assim como os materiais de construção de uma edificação e material para selagem. Sendo que a

determinação da espessura e material adequado para confecção desses dispositivos depende do tipo (raios γ , raios gama, partículas alfa ou beta) e da intensidade da radiação (UFRGS, 2006).

4.3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

O material biológico é formado por diversas moléculas, entre elas água, proteína e DNA, a exposição desse material à radiação pode resultar na transformação das moléculas, e conseqüentemente na alteração de suas funções biológicas. O DNA, por ser responsável pela codificação da estrutura molecular de todas as enzimas das células, passa a ser a molécula chave no processo de estabelecimento de danos biológicos (UFRGS, 2006).

Nesse processo de interação entre as radiações ionizantes e o organismo humano, o primeiro fenômeno que ocorre é físico e consiste na ionização e na excitação dos átomos, resultante da troca de energia entre a radiação e a matéria. Posteriormente, ocorre o fenômeno químico que consiste de rupturas de ligações químicas nas moléculas. A seguir aparecem os fenômenos bioquímicos e fisiológicos. Após um intervalo de tempo variável aparecem as lesões observáveis, que podem ser no nível celular ou no nível do organismo como um todo (BRASIL, 2002).

No caso de exposição de seres humanos a altas doses de radiação uma grande parte das células do corpo é afetada, impossibilitando a sustentação da vida. Por outro lado, os efeitos da exposição a baixas doses ainda é incerto, estes podem estar associadas à ocorrência de doenças aparentemente normais, como é o caso do câncer (UFRGS, 2006).

Um dos processos mais importantes de interação da radiação no organismo humano é com as moléculas de água. Uma vez que a água é o principal componente das células, sendo responsável por cerca de 70% da composição celular. Durante o processo de interação, as moléculas de água se quebram formando uma série de produtos danosos ao organismo, como os radicais livres, hidroxila e a água oxigenada. Esse processo é chamado de radiólise da água (BRASIL, 2002). Estes produtos, resultantes da transferência de energia da radiação ionizante para a água, podem reagir com as bases nitrogenadas contidas no DNA (Adenina, Guanina, Citosina e Timina), podendo causar mutações gênicas ou quebras, alterando, assim, seu papel biológico (UFRGS, 2006).

Quando uma lesão no DNA resultar em quebra desta molécula, a respectiva célula, pode: ter dificuldade em transferir integralmente seu patrimônio material genético para as células filhas, no caso de células com alta taxa de divisão, levando-as a morte; ou, no caso de células diferenciadas (que não sofrem divisão), que podem conviver com inúmeras quebras sem, contudo, terem suas funções prejudicadas, causar rearranjo dos fragmentos resultantes das quebras de DNA, podendo, assim, surgir cromossomos aberrantes, afetando o funcionamento das células que os contêm (UFRGS, 2006).

Os efeitos biológicos podem ser classificados como somáticos e hereditários, que serão vistos a seguir.

a) Efeitos Somáticos

Surgem do dano nas células do corpo e o efeito aparece na própria pessoa irradiada, ou seja, as alterações não são transferidas hereditariamente. Estes efeitos podem ser imediatos ou tardios. Os efeitos somáticos imediatos são aqueles que se apresentam em um curto espaço de tempo (dias, horas, minutos) e são consequência de uma exposição aguda à radiação (dose alta recebida num curto espaço de tempo). Os efeitos tardios são aqueles que apresentam um tempo de latência muito longo, podendo, alguns efeitos, levar dezenas de anos para se manifestarem (BRASIL, 2002).

Os efeitos imediatos podem se manifestados quando o indivíduo recebe dose de radiação localizada e assim os efeitos observados terão uma relação direta com a região exposta. Por exemplo, uma irradiação localizada na pele acarretará uma radiodermite (queimadura por radiação), como pode ser visto na figura abaixo. Por outro lado, quando o corpo inteiro é exposto à radiação, os efeitos podem se manifestar com o aparecimento de um conjunto de sinais e sintomas que levam o indivíduo a um quadro clínico típico denominado de “Síndrome Aguda da Radiação”(SAR) (BRASIL, 2002).

Figura 6: Efeito somático da radiação (radiodermite)



Fonte: Manual de ações médicas em emergências radiológicas.

Os sinais e sintomas a serem manifestados dependeram da sensibilidade de cada célula frente a radiação, assim é possível saber qual sistema biológico será afetado com diferentes doses de radiação. Certos efeitos biológicos, para se manifestarem, necessitam de uma dose mínima de radiação, chamada de dose limiar (BRASIL, 2002). O quadro 3 indica os efeitos esperados para cada Dose Limiar, que é a dose mínima necessária para a manifestação de um efeito.

Quadro 3: Limiares de doses para efeitos somáticos

| Efeito | Órgão ou Tecido Irradiado | Limiar de Dose em Gy (dose aguda, no máximo em dois dias) |
|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| Síndrome aguda da radiação | Corpo inteiro | 1 |
| Eritema | Segmento da pele | 3-5 |
| Catarata | Cristalino | 2-6 |
| Epilação transitória | Pelos | 3 |
| Epilação definitiva | Pelos | 7 |
| Diminuição da fertilidade masculina | Testículos | 0,15-1 |
| Infertilidade: Por 12 a 15 meses | Testículos | 2-3 |
| Por 24 meses | | 4-5 |
| Definitiva | | 5-6 |
| Infertilidade definitiva | Ovários | 3 |

Fonte: VALVERDE; LEITE; MAURMO, 2010

Os efeitos tardios apresentam um período de latência muito longo, manifestando-se muitos anos após a exposição à radiação. Podem ser decorrentes de uma exposição aguda ou crônica à radiação. Dentre os efeitos somáticos tardios, pode-se como principal exemplo o câncer (BRASIL, 2002).

b) Efeitos Hereditários

Os efeitos hereditários são aqueles decorrentes da irradiação das gônadas, que levam a alterações no material hereditário contido nos gametas (óvulos e espermatozoides), alterações essas que podem ser transmitidas aos descendentes, caso o óvulo ou espermatozoide danificado seja utilizado na concepção (TAUHATA et al., 2013).

Entre os efeitos hereditários podemos citar: anidria (ausência da íris do olho), albinismo, hemofilia, daltonismo, síndrome de Down (BRASIL, 2002).

5 TIPOS DE FONTES E SUAS APLICAÇÕES

5.1 TIPOS DE FONTES

As fontes radioativas podem apresentar-se de diferentes formas. São elas: por aparelhos ligados à rede elétrica, como raios-x e aceleradores de partículas, e por substâncias radioativas, como seladas e abertas (não seladas), que ao contrário dos aparelhos, emitem radiação contínua e independentemente da ação do homem (BRASIL, 2002).

a) Fontes Seladas

A fonte radioativa selada é constituída por material radioativo sólido não dispersivo, ou material radioativo incorporado em matéria sólida inativa ou, ainda, contido em cápsula inativa, geralmente de aço inoxidável, hermeticamente fechada, de tal forma que não se disperse em condições normais de uso ou quando submetida a ensaios específicos (impacto, percussão, flexão, térmico), ensaios estes que são detalhados na Norma CNEN-NE-5.01. O processo de selagem é feito de tal forma que a fonte selada só pode ser aberta por meio de sua destruição (UFRGS, 2006).

As fontes seladas são amplamente empregadas para a realização das seguintes técnicas típicas: técnicas radiográficas (gamagrafia industrial, radiografias beta), técnicas de medição (medidores de nível, densidade, espessura, umidade), técnicas de irradiação (esterilização de produtos clínicos, preservação de alimentos, radioterapia, braquiterapia) e técnicas analíticas (análises químicas de rotina, análise de traços de elementos, análise de minérios no campo, determinação de constituintes de ligas). Fontes seladas também podem ser aplicadas em detectores de fumaça, eliminadores de estática, para-raios e baterias nucleares de marca-passos (UFRGS, 2006).

Os principais radioisótopos empregados em fontes seladas são: Co-60, Cs-137, Ir-192, Ra-226, P-32; Kr-85, Sr-90, Tl-204, Cf-252, H-3 (com Ti), Ra-226 Am-241, como também Po-210, Sb(214), Ac-227, Ra-226, Pu-239 e Am-241 (todas em combinação com o Be) (UFRGS, 2006).

b) Fontes Não Seladas

As fontes abertas ou não seladas são aquelas em que o material radioativo está sob a forma sólida (pó), líquida, ou mais raramente, gasosa, em recipientes abertos ou que permitem que o conteúdo seja fracionado sob as condições normais de uso (BRASIL, 2002). Normalmente, estas fontes, são utilizadas como traçadores ou para marcar compostos ou, ainda, para marcar uma parte de um sistema, podendo este ser desde um processo industrial a uma função biológica. Desta maneira, ao utilizar um detector sensível, é possível acompanhar o traçador ou o item marcado através do sistema ou conduzir ensaios quantitativos em amostras retiradas do sistema em estudo (UFRGS, 2006).

As fontes não seladas são amplamente empregadas na indústria para medidas de vazão e eficiência de filtração de gases, medida de velocidade de líquidos e gases em tubulações, determinação do tempo de residência de líquidos e sólidos particulados em equipamentos, detecção de vazamento em tubulações e avaliação de desgaste de equipamentos (UFRGS, 2006).

Já na área médica, fontes não seladas são empregadas em diagnóstico médico, para desenvolver imagens dos órgãos internos do corpo humano, de modo a examinar seu comportamento, como também para fins terapêuticos como, por exemplo, no tratamento de câncer na tireoide (UFRGS, 2006).

c) Aparelhos de Raios-x e Aceleradores

Esses aparelhos, diferentemente das fontes seladas e abertas, dependem da energia elétrica para produzirem radiação. Como já visto no capítulo 3, os raios-x, basicamente, são gerados a partir da colisão de um feixe de elétrons contra um alvo metálico. Quando esses elétrons se chocam contra o alvo, sofrem um processo de desaceleração e liberam sua energia na forma de calor e raio-x. Já nos aceleradores de partículas, gases ionizados são injetados em um campo magnético onde são acelerados e lançados contra um alvo onde provocam reações nucleares (BRASIL, 2002).

Os raios-x têm inúmeras aplicações nas áreas industrial e médica, abrangendo técnicas de radiografia industrial e de diagnóstico médico, técnicas analíticas de fluorescência para obter informações sobre elementos presentes numa amostra, técnicas de medida de espessura de revestimentos por fluorescência e de determinação do nível de líquidos em latas e, ainda,

em técnicas de irradiação, ressaltando-se a teleterapia, empregada para o tratamento de uma variedade de cânceres (UFRGS, 2006).

Os aceleradores de partículas, por meio de processos baseados em campos elétricos, campos magnéticos e ondas eletromagnéticas, são capazes de gerar feixes de partículas altamente energéticos. Os aceleradores de elétrons, por exemplo, geralmente aceleradores lineares, produzem feixes de elétrons ou raios-x dentro do intervalo de 4 a 40 MeV, sendo empregados tanto em medicina como em indústria e pesquisa. Enquanto que nos ciclotrons, que são dispositivos capazes de acelerar prótons, dêuterons e partículas alfa, as energias obtidas para essas partículas chegam até 15 MeV, 25 MeV e 50 MeV, respectivamente (UFRGS, 2006).

5.2 APLICAÇÕES

As fontes radioativas possuem grandes benefícios, sendo fundamentais para o desenvolvimento econômico e tecnológico da sociedade, no entanto, infelizmente, esses benefícios são pouco divulgados. A cada dia, novas técnicas nucleares são desenvolvidas nos diversos campos da atividade humana, possibilitando a execução de tarefas impossíveis de serem realizadas pelos meios convencionais, sendo a medicina e a indústria as principais áreas de aplicação (CARDOSO, 2012).

Como visto na seção anterior, as fontes radioativas de radiação contínua encontram-se nas formas seladas e não seladas. O quadro 4 relaciona algumas aplicações de radionuclídeos, tanto sob a forma de fonte selada como de fonte não selada.

Quadro 4: Aplicação de nuclídeos de acordo com sua forma.

| Nuclídeos | | Formas de Aplicação | |
|-----------------|------------------|------------------------|---|
| Elementos | T _{1/2} | Fontes Seladas | Fontes Não Seladas |
| ³ H | 12,26 anos | Medidores de espessura | Radioimunoanálise; Movimento de águas; Pesquisas biológicas; Artigos luminosos; Válvulas eletrônicas. |
| ¹⁴ C | 5730 anos | | Radioimunoanálise; Pesquisas biológicas. |

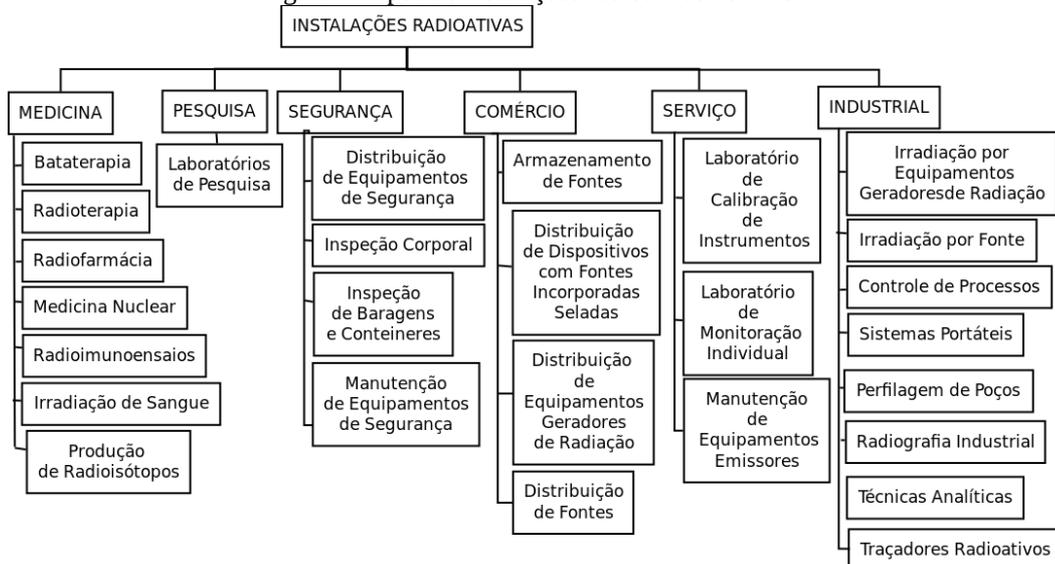
| | | | |
|--------------------------|-------------|---|---|
| ^{18}F | 1,83 horas | | Diagnóstico clínico. |
| ^{24}Na | 15 horas | | Diagnóstico clínico. |
| ^{46}Sc | 83,8 dias | | Movimento de sedimentos. |
| ^{32}P | 14,26 horas | Medidores de espessura. | Agricultura; Pesquisas biológicas; Terapia clínica. |
| ^{35}S | 87,20 dias | | Diagnóstico clínico; Pesquisas biológicas. |
| ^{41}Ar | 1,83 horas | | Testes de vazamento; Movimento de gases. |
| ^{57}Co | 271,8 dias | Fontes de aferição. | Pesquisas biológicas; Radioimunoanálise. |
| ^{67}Ga | 3,26 dias | | Diagnóstico clínico. |
| ^{60}Co | 5,27 anos | Radiografia industrial; Medidores de nível, Espessura e densidade; Teleterapia; Braquiterapia; Esterilização; Preservação de alimentos. | Pesquisa biológica; Diagnóstico clínico. |
| ^{82}Br | 35,3 horas | | Movimento de águas; Testes de vazamento. |
| ^{85}Kr | 10,72 anos | Medidores de espessura | Traçador gasoso. |
| ^{90}Sr | 28,6 anos | Medidores de espessura; Aplicadores oftálmicos. | |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 6,01 horas | | Diagnóstico clínico; Pesquisas biológicas. |
| ^{133}Xe | 5,29 dias | | Diagnóstico clínico. |
| ^{137}Cs | 30,14 anos | Medidores de densidade, nível ou espessura; Braquiterapia; Fontes de aferição. | |
| ^{125}I | 60,14 dias | | Radioimunoanálise; Terapia clínica; Pesquisas biológicas. |
| ^{131}I | 8,02 dias | Braquiterapia | Diagnóstico clínico; Terapia; Pesquisas biológicas. |
| ^{192}Ir | 73,83 dias | Radiografia Industrial | |

| Braquiterapia | | | |
|--|---------------------------------------|--|---|
| ^{201}Tl | 3,04 dias | | Diagnóstico clínico. |
| ^{210}Po | 138,4 dias | Eliminador de estática | |
| ^{252}Cf | 2,64 anos | Fontes de nêutrons | Estudos de ativação e outras pesquisas. |
| ^{226}Ra ^{239}Pu ^{241}Be ^{241}Am | 1600 anos 24100 anos 432,2 anos | Fontes de nêutrons; Medidores de umidade. | Estudos de ativação e outras pesquisas. |
| ^{241}Am | 432,2 anos | Medidores de espessura; Detectores de fumaça. | Para-raios ainda instalados. |

Fonte: UFRGS, 2006.

As práticas com fontes radioativas ampliam-se a cada dia. No Brasil, a CNEN tem a responsabilidade de exercer o monopólio da União sobre as atividades nucleares desenvolvidas no País. Toda pessoa física ou jurídica que deseje ou necessite realizar atividades envolvendo fontes de radiação deve ser licenciada pela CNEN. O processo de licenciamento de uma instalação envolve várias etapas mesmo antes de se adquirir, importar, ou receber em doação, as fontes de radiação. Após o licenciamento da instalação, a CNEN divulga em seu site o nome das as instalações radioativas autorizadas para a atividade. As instalações encontram-se divididas em áreas, como: Médica, Industrial, Segurança, Pesquisa, Comércio e Serviços. As áreas, por sua vez, se subdividem em setores. A Figura 7 ilustra como estão divididos os setores das instalações radioativas no Brasil (BRASIL, 2002).

Figura 7: Tipos de instalações radioativas no Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tauhata et al. (2013) e CNEN (2019).

Vale ressaltar que as instalações radioativas, no Brasil, seguem um rigoroso padrão de segurança, durante o processo de licença junto à CNEN, a instalação deve elaborar um plano de radioproteção onde descreve, para condições normais de trabalho, todos os procedimentos relativos ao transporte, posse, uso, armazenamento, processamento e descarte das fontes de radiação, bem como a descrição dos sistemas de segurança e do treinamento do pessoal da instalação. Neste plano também devem constar os tipos de acidentes admissíveis com as fontes de radiação, com destaque para o acidente mais provável e o de maior porte, incluindo um estudo da probabilidade de ocorrência e a maneira como seriam detectados esses acidentes (BRASIL, 2002).

A CNEN, além de solicitar uma série de precauções para que se evite a ocorrência de acidentes, exige que, uma avaliação detalhada dos riscos, a instalação prepare um Plano de Emergência Radiológica, onde devem estar descritos os procedimentos de emergência para limitar a exposição tanto individual como coletiva, recuperar o controle da fonte de radiação, restabelecer as condições de segurança e tratar os feridos e sobre-expostos (BRASIL, 2002).

5.3 USO DE FONTES RADIOLÓGICAS EM SANTA CATARINA

Para mapear os locais onde são utilizadas e armazenadas as fontes radiológicas em Santa Catarina, foi realizado um levantamento de dados primários, os quais foram coletados junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear informações sobre todas as instalações radioativas no Brasil. Após um tratamento de dados foi possível identificar o nome, a localização e o tipo de aplicabilidade de cada instalação radioativa em Santa Catarina. Para melhor observação do mapeamento, as instalações autorizadas pela CNEN foram separadas em quadros de acordo com a área de atuação, cada quadro ainda se subdivide em setores, conforme pode ser demonstrado a seguir.

Por motivos de segurança, a CNEN e as instalações radioativas não divulgam os tipos de fontes radiológicas presentes nestas instalações, portanto, foi feita uma pesquisa bibliográfica para identificar quais fontes radioativas são normalmente utilizadas para cada aplicação.

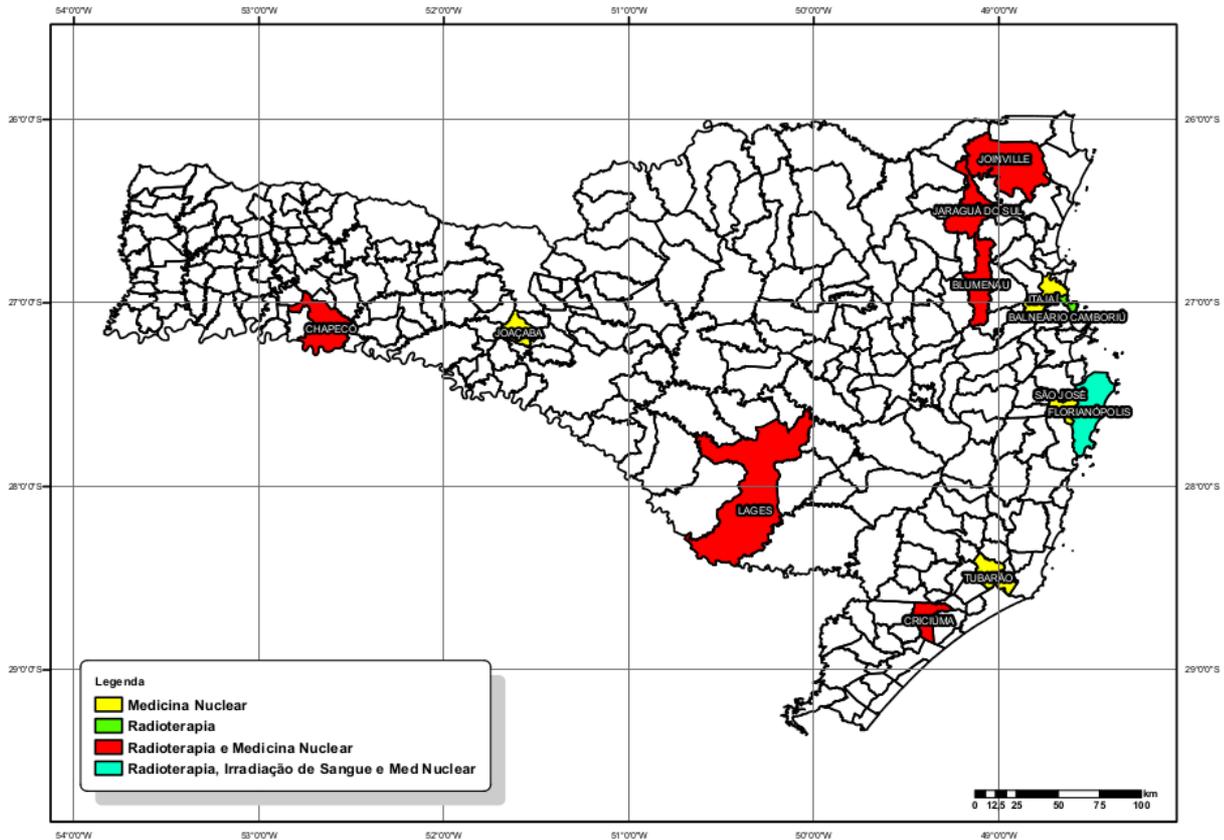
5.3.1 Área Médica

Quadro 5: Instalações da área médica autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina

| INSTITUIÇÃO | CIDADE | SETOR | |
|--|--------------------|--------------|----------------------|
| ASSOCIAÇÃO HOSPITALAR SÃO JOSÉ DE JARAGUÁ DO SUL | JARAGUA DO SUL | RADIOTERAPIA | |
| CORSB RADIOTERAPIA E MEGAVOLTAGEM S.S LTDA | BALNEARIO CAMBORIU | | |
| CORSB RADIOTERAPIA E MEGAVOLTAGEM SS LTDA. | BLUMENAU | | |
| CRS/HOSPITAL LENOIR VARGAS FERREIRA | CHAPECO | | |
| FUNDAÇÃO DE APOIO AO HEMOSC/CEPON - FAHECE | FLORIANOPOLIS | | |
| HOSPITAL MUNICIPAL SAO JOSE | JOINVILLE | | |
| HOSPITAL REGIONAL E MATERNIDADE TEREZA RAMOS | LAGES | | |
| LIGA CATARINENSE DE COMBATE AO CANCER | FLORIANOPOLIS | | |
| SOCIEDADE DIVINA PROVIDENCIA - HOSPITAL SANTA ISABEL | BLUMENAU | | |
| SOCIEDADE LITERARIA E CARITATIVA SANTO AGOSTINHO - HOSP SAO JOSE | CRICIUMA | | |
| UNIMED DE JOINVILLE COOPERATIVA DE TRABALHO MÉDICO | JOINVILLE | | |
| CENTRO DE HEMATOLOGIA E HEMOTERAPIA DE SANTA CATARINA | FLORIANOPOLIS | | IRRADIAÇÃO DE SANGUE |
| ASSOCIAÇÃO CONGREGAÇÃO DE SANTA CATARINA - HOSPITAL NOSSA SENHORA DA CONCEIÇÃO | TUBARAO | | MEDICINA NUCLEAR |
| BIONUCLEAR - SERVICOS DE MEDICINA NUCLEAR S/C LTDA | FLORIANOPOLIS | | |
| CARDIOPRIME S/S | BLUMENAU | | |
| CDIP SUL CLINICA DE DIAGNOSTICO POR IMAGEM DO SUL LTDA. | CHAPECO | | |
| CENTRO CATARINENSE DE MEDICINA NUCLEAR S/C LTDA | BLUMENAU | | |
| CENTRO DE MEDICINA NUCLEAR DE JOINVILLE LTDA | JOINVILLE | | |
| CINTIVALI - CLINICA DE MEDICINA NUCLEAR S/C LTDA | ITAJAI | | |
| CLÍNICA NUCLEAR LIFE LTDA | LAGES | | |
| CLINIIMAGEM DIAGNOSTICO POR IMAGEM LTDA | CRICIUMA | | |
| GAMA DIAGNÓSTICO POR IMAGEM LTDA-EPP | FLORIANOPOLIS | | |
| HMJ CENTRO DE IMAGEM 3 - MEDICINA NUCLEAR | JARAGUA DO SUL | | |
| IMEDIC DIAGNOSTICO POR IMAGEM LTDA | CHAPECO | | |
| IMEDIC DIAGNÓSTICO POR IMAGEM LTDA. | JOACABA | | |
| MED-NUCLEAR - CLINICA DE MEDICINA NUCLEAR SAO SEBASTIAO S/C LTDA | FLORIANOPOLIS | | |
| NUCLEARMED CENTRO DE MEDICINA NUCLEAR CATARINENSE LTDA | CRICIUMA | | |
| ONCOPETSCAN TRATAMENTO E DIAGNOSTICO POR IMAGEM MOLECULAR LTDA | BLUMENAU | | |
| SAO MARCOS MEDICINA NUCLEAR S/C LTDA | JOINVILLE | | |
| SES/CENTRO DE MEDICINA NUCLEAR/ INSTITUTO DE CARDIOLOGIA DE SANTA CATARINA | SAO JOSE | | |
| UNIMED DE JOINVILLE COOPERATIVA DE TRABALHO MÉDICO - CENTRO HOSPITALAR UNIMED | JOINVILLE | | |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

Figura 8: Mapeamento das instalações da área médica autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina



Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

a) Radioterapia

A radioterapia consiste na possibilidade de utilizar radiações penetrantes do tipo raios-x e gama, que induzem danos em profundidades diversas do organismo humano causando a morte de células, em terapia do câncer. Sendo assim, diante de suas propriedades, os tumores profundos podem ser destruídos ou regredidos sob a ação dos feixes de radiação. Como as radiações são emitidas do meio externo, os tecidos localizados entre a pele e o tumor são irradiados desnecessariamente. Para minimizar isso, focaliza-se sempre o tumor, e aplica-se o feixe de radiação em diferentes direções, movendo o irradiador ou o paciente, de modo que a dose induza à morte as células do tumor e o tecido sadio irradiado seja naturalmente repostos. Outra técnica, conhecida como Braquiterapia, utiliza-se a fonte de radiação diretamente nos tumores. Dependendo da situação, podem-se embutir fontes perto do local afetado ou irradiar

o tumor com uma fonte próxima, por meio de um aplicador. Os isótopos mais utilizados são ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co e ^{192}Ir (TAUHATA et al., 2013).

b) Irradiação de Sangue

A irradiação de sangue é proposta para esterilizar e diminuir os riscos de uma possível contaminação numa transfusão. A não esterilização do sangue pode causar a doença do enxerto-versus-hospedeiro, que está associada à transfusão de sangue (DECHT) e é uma síndrome rara e geralmente fatal com mortalidade estimada entre 90 e 100% dos casos registrados. No procedimento de esterilização do sangue são utilizados irradiadores constituídos de fontes de ^{137}Cs ou de ^{60}Co (OLIVEIRA, 2014).

c) Medicina Nuclear

A medicina nuclear é uma especialidade médica que emprega materiais radioativos com finalidade diagnóstica e terapêutica. Usa quantidades mínimas de substâncias radioativas (radiofármacos) como ferramenta para acessar o funcionamento dos órgãos e tecidos vivos, realizando imagens, diagnósticos e, também, tratamentos (SBMN, 2019).

Os isótopos mais utilizados nos serviços de medicina nuclear são: ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{153}Sm , ^{57}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs (TAUHATA et al., 2013 e CNEN, 2013).

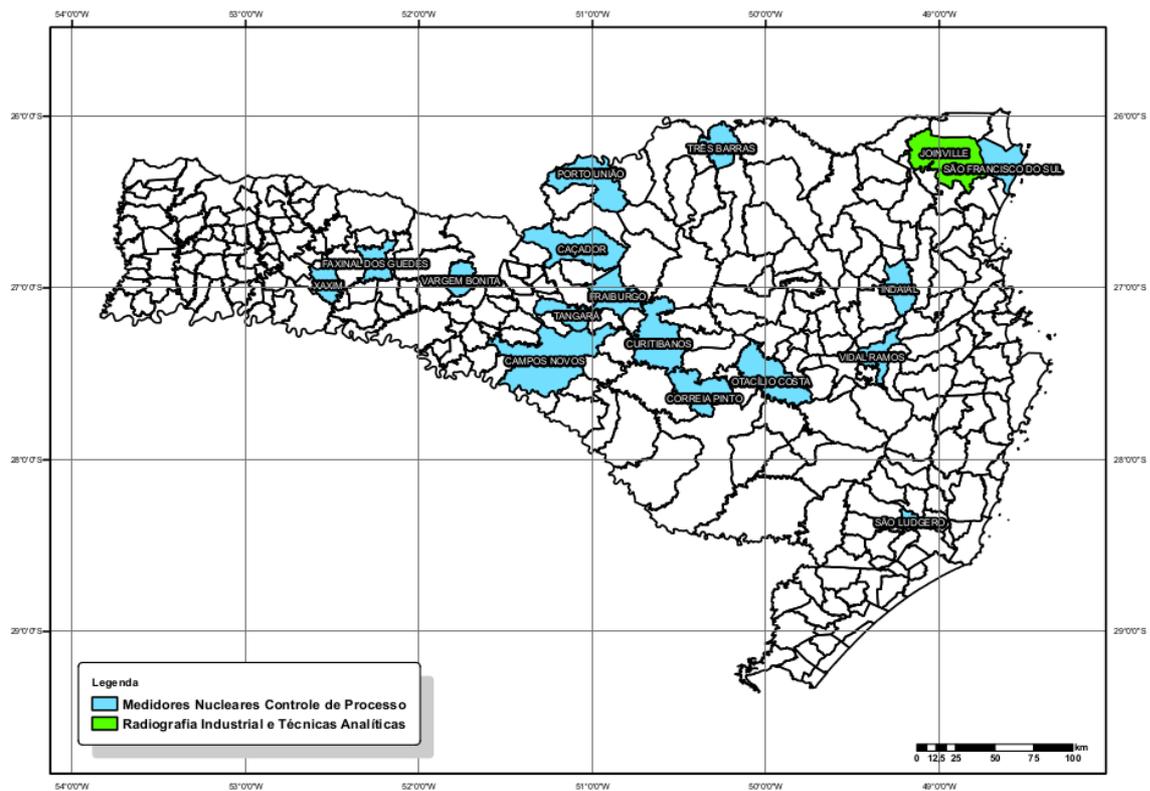
5.3.2 Área Industrial

Quadro 6: Instalações da área industrial autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina

| INSTITUIÇÃO | CIDADE | SETOR |
|---|----------------------|---|
| ALBANY INTERNACIONAL TECIDOS TECNICOS LTDA | INDAIAL | MEDIDORES NUCLEARES CONTROLE DE PROCESSO |
| ARCELORMITTAL BRASIL S.A. | SAO FRANCISCO DO SUL | |
| AVELINO BRAGAGNOLO S.A INDUSTRIA E COMERCIO | FAXINAL DOS GUEDES | |
| BERNECK S/A PAINÉIS E SERRADOS | CURITIBANOS | |
| CELULOSE IRANI S/A | VARGEM BONITA | |
| COPOBRAS S/A. INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE EMBALAGENS | SAO LUDGERO | |
| GUARARAPES PAINÉIS LTDA | CACADOR | |
| IGUAÇU CELULOSE PAPEL S/A | CAMPOS NOVOS | |
| KIMBERLY - CLARK BRASIL IND E COM DE PRODUTOS DE HIGIENE LTDA | CORREIA PINTO | |
| KLABIN S/A - OTACILIO COSTA | OTACILIO COSTA | |
| KLABIN S/A - UNIDADE CELUCAT | CORREIA PINTO | |
| NOVACKI PAPEL E EMBALAGENS S/A MP1 | PORTO UNIAO | |
| PRIMO TEDESCO S/A | CACADOR | |
| RAFITEC S/A INDUSTRIA E COMERCIO DE SACARIAS | XAXIM | |
| RIGESA CELULOSE PAPEL E EMBALAGENS LTDA - TRES BARRAS | TRES BARRAS | |
| SOPASTA S/A IND E COM | TANGARA | |
| SUDATI PAINÉIS LTDA | OTACILIO COSTA | |
| TROMBINI EMBALAGENS S.A | FRAIBURGO | |
| VALPASA INDUSTRIA DE PAPEL LTDA. | TANGARA | |
| VOTORANTIM CIMENTOS S/A | VIDAL RAMOS | |
| SCHULZ COMPRESSORES S.A. | JOINVILLE | |
| TUPY S.A. | JOINVILLE | |
| WETZEL S/A | JOINVILLE | |
| SCHULZ S/A | JOINVILLE | TÉCNICAS ANALÍTICAS |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

Figura 9: Mapeamento das instalações da área industrial autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina



Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

a) Medidores Nucleares de Controle de Processo

Os medidores nucleares são utilizados nas indústrias para controlar os processos de produção. Dentre as indústrias que utilizam medidores nucleares, estão o ramo: têxtil, alimentício, de celulose, agrícola, cimento, automobilístico, aeronaval, petroquímico. Através dos medidores é possível verificar o nível, a densidade, umidade e espessura de variados materiais. No interior de um medidor nuclear está presente uma fonte radioativa selada associada um detector de radiação, que receberá em tempo real os dados provenientes da interação da radiação com o material ou produto inspecionado. As fontes mais utilizadas são ^{137}Cs , ^{60}Co , $^{241}\text{Am} + \text{Be}$, ^{90}Sr , ^{147}Pm e ^{85}Kr (GUIMARÃES et al., 2018).

b) Radiografia Industrial

A radiografia industrial é usada para detectar variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha, desta maneira é possível detectar a existência de uma falha interna ou defeito no material analisado. A boa sensibilidade permite a detecção de, por exemplo, pequenas trincas, vazios e inclusões em um material. As principais fontes radioativas utilizadas na indústria moderna são: ^{60}Co , ^{192}Ir , ^{170}Tm , ^{137}Cs e ^{75}Se (ANDREUCCI, 2014).

c) Técnicas Analíticas

Fontes radioativas são utilizadas em diversas técnicas analíticas nucleares. Na indústria, as principais técnicas são utilizadas para análises químicas de rotina, análise de traços de elementos, análise de minérios no campo e determinação de constituintes de ligas. Os elementos mais utilizados para a realização dessas análises são: ^{55}Fe , ^{238}Pu , ^{109}Cd , ^{125}I , ^{210}Pb , ^{241}Am , ^{153}Gd , ^{57}Co (UFRGS, 2006 e NASCIMENTO FILHO, 1999).

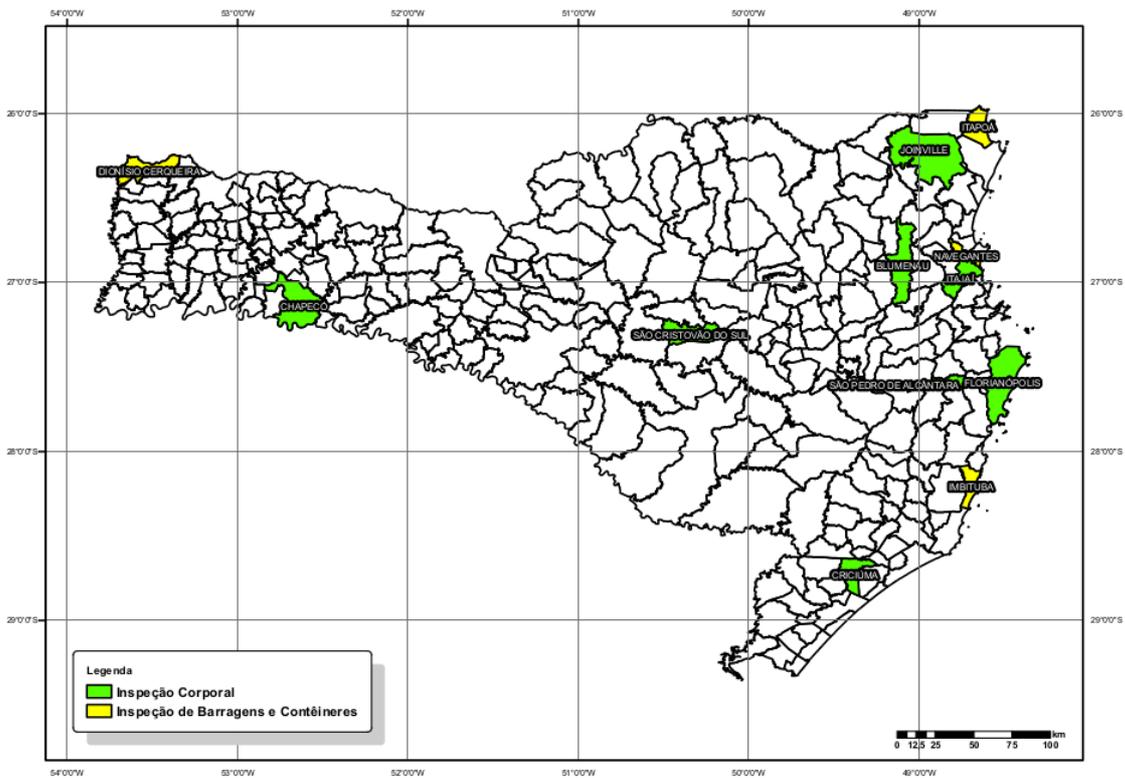
5.3.3 Área Segurança

Quadro 7: instalações da área de segurança autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina

| INSTITUIÇÃO | CIDADE | SETOR |
|---|------------------------|-------------------------------------|
| PENITENCIÁRIO DA REGIÃO DE CURITIBANOS | SAO CRISTOVAO DO SUL | INSPEÇÃO CORPORAL |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - COMPLEXO PENIT VALE DO ITAJAÍ | ITAJAI | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PENIT INDUSTRIAL DE JOINVILLE | JOINVILLE | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PENIT. IND DE SÃO CRISTÓVÃO DO SUL | SAO CRISTOVAO DO SUL | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PENITENCIÁRIA AGRÍCOLA DE CHAPECÓ | CHAPECO | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PENITENCIÁRIA DE FLORIANÓPOLIS | FLORIANOPOLIS | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PENITENCIÁRIA SUL-CRICIÚMA | CRICIUMA | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PRESÍDIO INDUSTRIAL DE BLUMENAU | BLUMENAU | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PRESÍDIO REGIONAL DE BLUMENAU | BLUMENAU | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PRESÍDIO REGIONAL DE JOINVILLE | JOINVILLE | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA DO ESTADO - COPE SÃO PEDRO DE ALCANTARA | SAO PEDRO DE ALCANTARA | |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA -PENITENCIÁRIA INDUSTRIAL DE CHAPECO | CHAPECO | INSPEÇÃO DE BARRAGENS E CONTÊINERES |
| SECRETARIA DE ESTADO DA JUSTIÇA E CIDADANIA - PRESÍDIO MASCULINO DE FLORIANÓPOLIS | FLORIANOPOLIS | |
| ITAPOÁ TERMINAIS PORTUÁRIOS S/A | ITAPOA | |
| PORTONAVE S/A - TERMINAIS PORTUÁRIOS DE NAVEGANTES | NAVEGANTES | |
| SANTOS BRASIL PARTICIPAÇÕES S/A | IMBITUBA | |
| SECRETARIA DA RECEITA FEDERAL DO BRASIL - 9ª REGIÃO FISCAL IRF D. CERQUEIRA/SC | DIONISIO CERQUEIRA | |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

Figura 10: Mapeamento das instalações da área de segurança autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina



Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

a) Inspeção Corporal

A inspeção corporal é utilizada principalmente para a inspeção de segurança em aeroportos, penitenciárias, alfândegas e grandes eventos que necessitam controle de segurança. Para segurança das pessoas inspecionadas, o nível de dose de radiação dos equipamentos é bem baixo, menor que $1 \mu\text{Sv}$, em razão dos raios-x emitidos serem de baixa energia. Estes equipamentos podem facilmente encontrar, por exemplo, objetos metálicos ou não, escondidos e detectar armas, celulares, explosivos e drogas debaixo ou dentro da roupa (ANDREUCCI, 2014).

b) Inspeção de Bagagens e Contêineres

Para a inspeção em contêineres e caminhões, há várias técnicas de inspeção, geralmente são utilizados aceleradores lineares que geram raios-x com energia na faixa de 4 a 6 Mev, energia necessária para atravessar cerca de 200 a 350 mm de aço maciço. Os raios-x emitidos pelo equipamento gerador de radiação, incidem nos vários objetos inspecionados e se espalham com intensidades e energia diferentes dependendo da densidade e composição deste. Desta forma o detector consegue “enxergar” essas diferenças e enviar um sinal elétrico interpretada pelo computador, criando a imagem (ANDREUCCI, 2014).

A utilização destes equipamentos se faz necessária para fiscalizar e inibir, principalmente, a tentativa de passar fronteiras com drogas ou armas escondidas em caminhões ou contêineres de transporte de cargas e o tráfico de pessoas e animais escondidos em caminhões de carga. Os sistemas de inspeção também estão equipado com detector de material radioativo, que eventualmente, possa ser transportado de forma ilícita (ANDREUCCI, 2014).

Para inspeção de bagagens e malas, a maioria dos sistemas de raios-x operam com tensões de 80 a 160 kV. O sistema de detecção é o mesmo descrito acima, sendo capaz de inspecionar bagagens que podem estar levando cargas ou materiais ilícitos (ANDREUCCI, 2014).

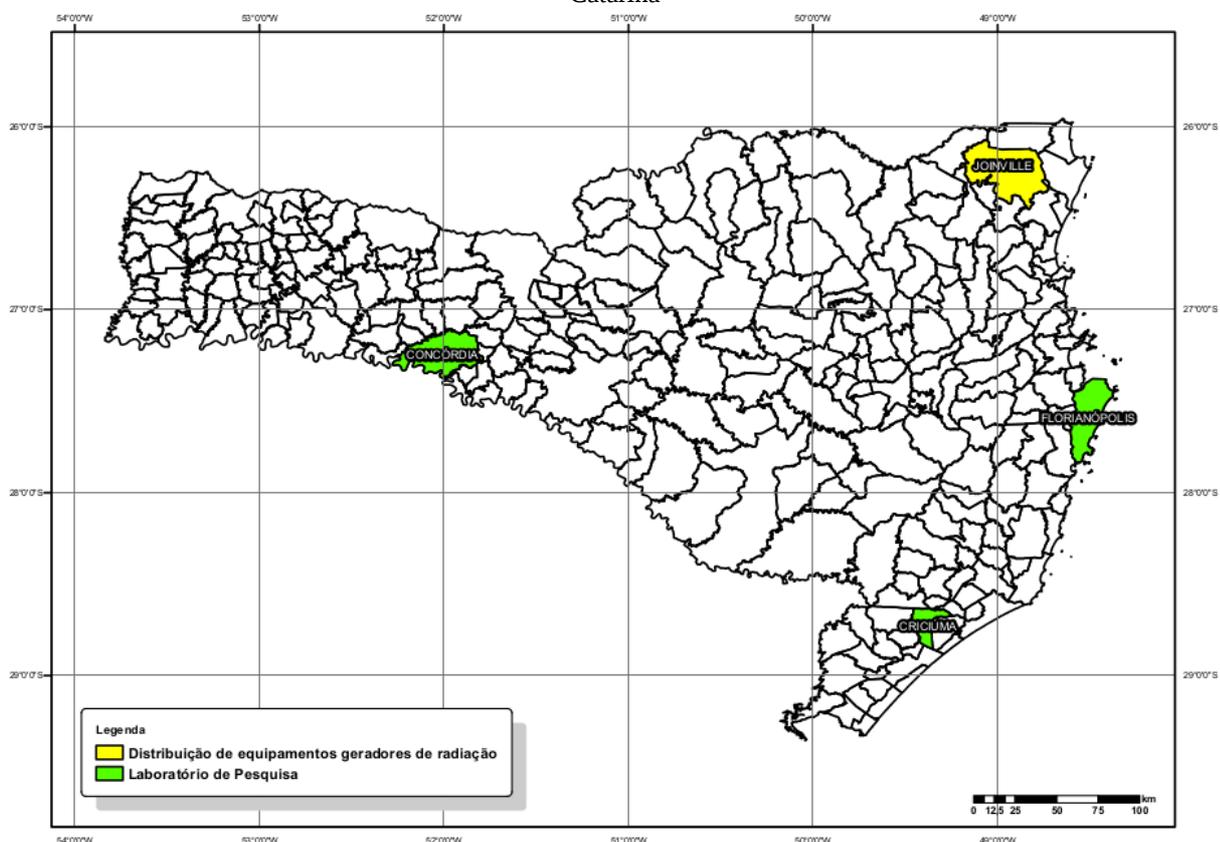
5.3.4 Área de Pesquisa

Quadro 8: instalações da área de pesquisa autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina

| INSTITUIÇÃO | CIDADE | SETOR |
|--|---------------|--|
| EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA | CONCORDIA | LABORATÓRIO DE PESQUISA |
| ASSOCIAÇÃO BENEFICENTE DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA (SATC) | CRICIUMA | |
| UFSC/CCB/DB/LAB. DE HOMÔNIOS E TRANSDUÇÃO DE SINAIS | FLORIANÓPOLIS | |
| SIEMENS HEALTHCARE DIAGNÓSTICOS LTDA | JOINVILLE | DISTRIBUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS GERADORES DE RADIAÇÃO |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

Figura 11: Mapeamento das instalações da área de pesquisa autorizadas a utilizar material radioativo em Santa Catarina



Fonte: Elaborado pelo autor com base em CNEN, 2019.

a) Laboratórios de Pesquisas

O uso de material radioativo para pesquisa ocorre principalmente em universidades e centros especializados, sendo que as finalidades das pesquisas são as mais diversas: física nuclear, biologia, agricultura, saúde, meio ambiente, hidrologia e outras. Em 2013, no Brasil, 578 instalações de pesquisa estavam cadastradas na CNEN. As fontes mais utilizadas são ^3H , ^{14}C , ^{22}Na , ^{55}Fe , ^{55}Ni , ^{125}I , ^{226}Ra , ^{35}S , ^{233}U , ^{234}U e ^{32}P (TAUHATA et al., 2013).

b) Distribuição de Equipamentos Geradores de Radiação

Como visto na seção 5.1.3, os equipamentos geradores de radiação não possuem em sua estrutura material radioativo, sendo que o raio-x é produzido artificialmente no equipamento com o uso da energia elétrica.

Em Santa Catarina, conforme Figura 09, há apenas uma instalação autorizada pela CNEN para produzir equipamentos geradores de radiação, que é a Siemens Healthineers.

Conforme site da Siemens Healthineers, desde 2012 há um complexo de produção e logística em Joinville (SC). Na localidade, são produzidos equipamentos de ressonância magnética, tomografia computadorizada e raios-x (SIEMENS HEALTHINEERS, 2017).

6 EMERGÊNCIAS RADIOLÓGICAS

De acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), emergência radiológica é qualquer evento com material radioativo que possa resultar em exposição humana significativa e/ou dano material. São raras as emergências radiológicas com vítimas de exposição radioativa, no entanto, das ocorrências registradas a grande maioria dessas são emergências radiológicas propriamente ditas, provocadas, principalmente, por operações irregulares de equipamentos de gamagrafia industrial, uma minoria são emergências nucleares.

Tipos de emergências radiológicas:

(i) Radiológicas propriamente ditas: causadas por fontes de radiações, como as de gamagrafia industrial e outras similares. Exemplo: acidente radiológico de Goiânia, 1987.

(ii) Nucleares: originadas em instalações nucleares. Exemplo: acidente nuclear de Chernobyl, 1986 (VALVERDE; LEITE; MAURMO, 2010).

Segundo o Plano de Contingência para Emergência em Saúde Pública por Agentes Químico, Biológico, Radiológico e Nuclear, em uma emergência radiológica, o atendimento aos aspectos não radiológicos deve ter prioridade sobre os radiológicos, ex.: salvar vidas, tratamento de lesões, combate a incêndio, proteção de pessoas, do meio ambiente e de propriedades. Após os aspectos não radiológicos serem estabilizados, os passos seguintes deverão ser dirigidos para minimizar os riscos radiológicos para a população, profissionais envolvidos na resposta à emergência e na proteção ao meio ambiente (BRASIL, 2014)

6.1 ESCALA DE EVENTOS

A AIEA desenvolveu uma Escala Internacional de Eventos Nucleares (International Nuclear Event Scale – INES) com o objetivo de permitir que o significado, sob o ponto de vista de segurança, de ocorrências anormais em instalações nucleares seja comunicado ao público de forma coerente e rápida. Desta maneira, a Escala INES facilita o entendimento comum da seriedade de um evento, tanto pela comunidade científica e profissionais que atuam na mídia como pelo público em geral.

Para tanto, os eventos são classificados em 7 níveis, conforme ilustrado a seguir. Os níveis mais baixos (1 – 3), denominados incidentes, são ocorrências nucleares restritas à área da Instalação e que não afetaram a área externa. Os níveis mais altos (4 – 7), denominados acidentes, refletem eventos cujo impacto nuclear atingiu a área externa da Instalação. Os eventos que não têm significado sob o ponto de vista de segurança, classificados como nível 0 ou abaixo da Escala, são denominados desvios e podem indicar a degradação de algumas barreiras de proteção (UFRGS, 2006).

Quadro 9: Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES)

| | | Crítérios ou Atributos de Segurança | | |
|-----------|--|--|---|---|
| | | Impacto fora da área da instalação | Impacto dentro da área da instalação | Degradação de barreiras de proteção |
| Acidente | 7 Acidente Grave | Grande Liberação: danos generalizados à saúde e ao meio ambiente. | | |
| | 6 Acidente Sério | Liberação Significativa: provavelmente requer implementação total do Plano de Emergência | | |
| | 5 Acidente com risco fora da área da instalação | Liberação Limitada: Provavelmente requer implantação parcial do Plano de Emergência | Dano severo do núcleo do reator e/ou de barreiras de segurança | |
| | 4 Acidente sem risco importante fora da área da instalação | Liberação pequena de material radioativo: público exposto aos limites prescritos | Dano significativo do núcleo do reator ou de barreiras de segurança: exposição fatal do trabalhador | |
| Incidente | 3 Incidente Sério | Liberação muito pequena de material radioativo: público exposto a uma fração de limites prescritos | Dispersão severa de contaminação: efeitos agudos à saúde do trabalhador | Quase acidente: todas barreiras de segurança degradadas |
| | 2 Incidente | Sem importância com relação à segurança | Dispersão significativa de contaminação: exposição à radiação de trabalhadores | Incidentes com falhas significativas nas provisões de segurança |

| | | | | |
|---------------------------|---|---|---|--|
| | 1 Anomalia | Sem importância com relação à segurança | Sem importância com relação à segurança | Anomalia fora do regime autorizado de operação |
| Desvio (abaixo da escala) | 0 Nenhuma importância com relação à segurança | Sem importância com relação à segurança | Sem importância com relação à segurança | Sem importância com relação à segurança |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em UFRGS, 2006.

6.2 INCIDENTE DE GOIÂNIA

O maior incidente radiológico do Brasil ocorreu na cidade de Goiânia/GO. No 13 de setembro do 1987 dois catadores de sucata levaram, de um prédio abandonado, boa parte de um equipamento de radioterapia contendo uma fonte radioativa de cloreto de césio (Cs-137) com o intuito de vendê-lo como sucata. Nesse processo a blindagem da fonte foi violada e aberta a cápsula onde se encontrava o Cs-137, adultos e crianças, encantados pelo fato desse material azul emitir luz e não sabendo que se tratava de material radioativo, manipularam o material, distribuindo-o entre parentes e amigos. Assim, um encadeamento de fatos resultou numa grande contaminação de pessoas, edificações e o solo. Somente no dia 29 de setembro, após inúmeras pessoas apresentarem sintomas de contaminação radiológica, o caso chegou ao conhecimento da CNEN. A partir de então foram tomadas várias ações de descontaminação, como: demolição de casas, retirada de solos contaminados e transferência de vítimas a hospitais especializados. O incidente gerou mais de 2915 m³ de rejeitos que se encontram armazenados em um depósito previsto para durar 300 anos em Abadia de Goiás, situada a 23 km do centro de Goiânia (OKUNO, EMICO, 2013)

Como resultado o incidente causou 249 casos de pessoas (das 112.800 monitoradas pela CNEN) que apresentaram níveis de radiação acima do normal para a região, 20 pessoas foram hospitalizadas (tendo uma delas o antebraço direito amputado), 4 mortos nos primeiros 2 meses após o acidente e outros 3 mortos alguns anos depois (UFRGS, 2006).

6.3 ACIDENTE DE CHERNOBYL

Em 25 de abril de 1986, na Unidade 4 da Central Nuclear de Chernobyl, localizada em Pripjat, Ucrânia, uma operação foi realizada com o intuito de verificar o desempenho do

sistema de refrigeração do núcleo do reator, sob condições simuladas de operação anormal (perda temporária da alimentação de energia elétrica até o acionamento do gerador de emergência). Durante o período de testes, ocorreram diversas falhas de procedimento por parte dos operadores (incluindo o desligamento de três sistemas de segurança), o que culminou na explosão do reator, levando destroços até cerca de 2 km de distância (UFRGS, 2006).

O evento radiológico, inicialmente, vinha sendo tratado sigilosamente pelo Governo Soviético. Após alguns países como Suécia, Dinamarca, Finlândia e Noruega observarem níveis anormais de radiação no ar, especialistas suspeitaram de um possível acidente radiológico no território soviético e o fato só foi confirmado pelos soviéticos dois dias após o evento radiológico (UFRGS, 2006).

O acidente de Chernobyl vitimou um grande número de pessoas e causou danos tanto econômicos como ao meio ambiente, tendo se tornado referência para o grau máximo de acidente nuclear (Nível 7 na Escala Internacional-INES) (UFRGS, 2006).

Devido ao controle de informações feita pelos soviéticos, ainda hoje algumas fontes divergem sobre os danos causados pelo acidente, inclusive sobre contagem de mortes, a Organização Mundial da Saúde (OMS) assinala em um total de 59 mortes relacionadas diretamente ao acidente, outras fontes apontam 31 ou 33 pessoas, outros danos humanos, ambientais e econômicos foram causados, como: cerca de 145 mil quilômetros quadrados não pode receber nenhum morador, lavoura ou animais, contaminação do solo e água em inúmeros países da Europa, mais de 3 milhões de ucranianos, incluindo 1,2 milhão de crianças, vêm recebendo ajuda financeira governamental, em função do acidente e o aumento dos casos de câncer na região (UFRGS, 2006).

6.4 EQUIPAMENTOS PARA ATENDIMENTO DE EMERGÊNCIAS RADIOLÓGICAS

Segundo o manual da ABIQUIM, nas emergências radiológicas as ações de resgate, salvamento, primeiros socorros, controle do fogo e de outros perigos são mais importantes que a ação da medição da radiação. No manual, 6 guias são destinadas para as ocorrências envolvendo materiais radioativos, sendo informado em cada uma delas, as vestimentas adequadas para cada tipo de atendimento, conforme vemos a seguir:

(i) Guias 161 e 162, o equipamento autônomo de respiração (EAR) com pressão positiva e as vestimentas usuais de combate ao fogo oferecem proteção adequada.

(ii) Guias 163, 164 e 165, o EAR com pressão positiva e as vestimentas usuais de combate ao fogo oferecem proteção adequada contra exposição à radiação interna, mas não contra exposição externa.

(iii) Guia 166: deve-se utilizar EAR com pressão positiva. As vestimentas usuais de combate ao fogo oferecem proteção limitada, pois não são eficazes em casos de contato com o produto. Deve-se utilizar roupas protetoras recomendadas pelo fabricante, contra produtos químicos, no entanto, elas oferecem pouca ou nenhuma proteção térmica.

Conforme indicado pelas guias, para todos os tipos de ocorrências com material radioativo, é obrigatório o uso de EAR com pressão positiva, desta maneira é possível evitar a exposição interna pelas vias aéreas.

Para a guia 161 e 162 as vestimentas de combate ao fogo são adequadas para proteção à exposição externa.

A guia 166 refere-se ao produto Hexafluoreto de Urânio, que segundo Santos, 2008, é um composto utilizado pelas usinas nucleares. Diante disso, no capítulo 5, vimos que Santa Catarina não possui instalações de enriquecimento de Urânio ou até presença de usina nuclear no estado, por esse motivo, pode-se dizer que não há possibilidade de acidente em instalações com hexafluoreto de Urânio em SC.

Para as Guias 163, 164 e 165, as vestimentas de combate ao fogo possui proteção limitada para exposição externa, isso porque, como visto no item 3.3, algumas radiações possuem alto poder de penetração. Então, para que se avalie a segurança de uma cena de ocorrência envolvendo material radioativo, é necessário que se utilize equipamentos para a identificação e detecção de radiação.

Um exemplo de equipamento de identificação e detecção de radiação é o FLIR identiFINDER R400.

Segundo o fabricante (FLIR), esse é equipamento é portátil e possui a metade do tamanho e peso de outros equipamentos com a mesma finalidade. Sendo utilizado para detectar, localizar rapidamente, medir e identificar a origem do material radioativo de radiação gama.

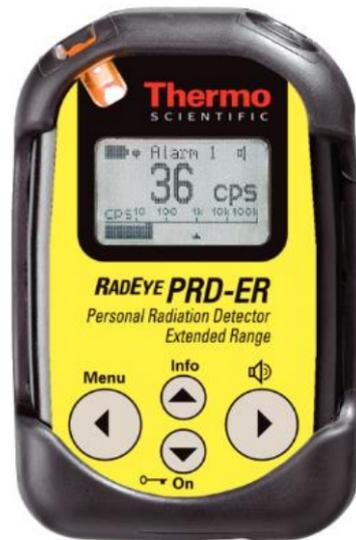
Figura 12: Detector e identificador de radiação identiFINDER R400.



Fonte: FLIR, 2019.

Outro equipamento são os pangers - monitores de radiação, equipamentos portáteis usados em atividades de triagem, controle de acesso e localização de fontes emissoras de radiação que foi utilizado na Copa do Mundo 2014 pela Seção de Defesa Nuclear (SDN). Diferentemente do equipamento anterior, ele não faz a identificação do produto (BRASIL, 2019).

Figura 13: Detector de Radiação



Fonte: BRASIL, 2019.

7 DESCRIÇÃO DA FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

O método científico utilizado neste trabalho foi o dedutivo. Segundo Gil (2002) o método dedutivo, de acordo com a acepção clássica, é o método de científico que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros, indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.

A primeira etapa do trabalho baseou-se em revisão e pesquisa bibliográfica com dados tratados, sendo fundamental para abordar conceitos básicos que envolvem os materiais radioativos, como: radioatividade, tipos de radiação, efeitos biológicos da exposição. Por essa razão o trabalho foi classificado quanto aos procedimentos técnicos como pesquisa bibliográfica, pois, segundo Fonseca (2002), uma pesquisa bibliográfica utiliza fontes constituídas por material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos. Buscou-se, principalmente, livros de proteção radiológicas, pois apresentam um aprofundamento de conceitos básicos e fundamentais, importantes para que fosse possível compreender um pouco deste assunto tão distante do cotidiano.

Parte do trabalho foi composta por dados primários, de pesquisa e exploração feita pelo autor no banco de dados da CNEN, onde foi possível identificar o nome e a localização de cada instalação radioativa no Brasil. Sendo necessário, posteriormente, um tratamento dos dados para identificar somente os dados relacionados com Santa Catarina. Diante disso, o trabalho, também, pode ser classificado, quanto aos procedimentos técnicos como documental, pois esse tipo de pesquisa recorre a fontes sem tratamento analítico (FONSECA, 2002)

Em relação à abordagem de pesquisa, este trabalho é qualitativo, no sentido de que o enfoque não foi a representatividade numérica, e sim o aprofundamento do tema para sua devida compreensão, tendo em vista que a proposta deste foi realizar um mapeamento das instalações radioativas em Santa Catarina (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Para Gil (2002), a pesquisa de natureza aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos e envolve verdades e interesses locais. O trabalho pode ser classificado desta maneira, pois passa a servir como importante fonte de informação sobre os conceitos básicos sobre radioativos, como também

para que se tenha um certo controle das cidades que utilizam materiais radioativos e suas aplicações.

8 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO

Como pode ser visto os materiais radioativos são substâncias que emitem espontaneamente partículas (alfa e beta) ou radiação eletromagnética (raios gama e x), sendo classificados como classe 7 dos produtos perigosos. Vale ressaltar que a radiação x também podem ser emitida artificialmente por aparelhos elétricos, nesses casos os equipamentos só podem emitir radiação quando energizados.

As radiações Alfa e Beta são pouco penetrantes podendo ser bloqueadas até mesmo por plásticos. Já as radiações gama e x são muito energéticas e possuem grande capacidade de penetração, podendo ser bloqueadas por espessas chapas de chumbo, sendo que a grande maioria dos efeitos nocivos das radiações ionizantes são causadas pelas radiações gama.

Os elementos radioativos a medida que vão emitindo partículas alfa e beta sofrem decaimento radioativo, ou seja, com o passar do tempo, os elementos perdem suas atividades radioativas. Quando, no processo de decaimento radioativo, a atividade radioativa se reduz pela metade, damos o nome tempo de meia-vida. Para cada fonte radioativa a um tempo de meia-vida, que pode ser de anos. Essa propriedade é fundamental para avaliar o tempo necessário para que uma determinada fonte atinja uma atividade radioativa insignificante.

Em ocorrências envolvendo materiais radioativos, podemos estar sujeito a exposição externa (fonte de radiação fora do corpo) e exposição interna (fonte de radiação dentro do corpo). Esta pode ser evitada pelo uso de EAR. Aquela, para alguns tipos de radiação, pode ser prevenida pela utilização vestimenta de combate ao fogo. Como o grau exposição à radiação está diretamente relacionada com a distância da fonte, tempo de exposição e blindagem, pode-se evitar as altas doses de radiação e conseqüentemente efeitos biológicos permanecendo em uma distância adequada da fonte de radiação, evitar à exposição por muito tempo e se possível utilizar materiais para blindagem da radiação.

Os efeitos radiológicos à radiação podem ser, imediatos, quando o indivíduo recebe radiação localizada, nesse caso a energia absorvida pelo corpo foi tão grande que os efeitos aparecem rapidamente. Outros efeitos podem durar dia ou até anos, nesses casos, a energia absorvida pontualmente não foi suficiente para causar um efeito imediato, no entanto, a energia absorvida por todo o corpo é suficiente para que se inicie um processo de reações químicas, causando a morte ou perda das funções biológicas dos materiais biológicos.

As fontes de radiação são acondicionadas de acordo com suas propriedades físico-químicas, algumas fontes, devido ao alto poder ionizante, precisam ser seladas por capsulas extremamente resistentes. Outras por não apresentar um perigo significantes não necessitam estar na forma selada, sendo transportadas até mesmo por embalagens plásticas. Alguns equipamentos emitem radiação por meio da interação de elétrons com materiais metálicos,, estes só conseguem realizar emitir radiação quando energizados, como é o caso dos aparelhos de raio-x e aceleradores de partículas.

Como visto nas páginas 37 e 38, as instalações radiológicas presentes no Brasil devem seguir um rigoroso padrão de segurança, dos diversos requisitos de segurança, está a elaboração de um Plano de Emergência Radiológica, sendo esta uma ferramenta que deve ser seguida em casos de emergências.

Em Santa Catarina, o maior número de instalações radiológicas são da área médica, sendo 31 o número de instalações (mais de 40% das instalações radiológicas no estado). Florianópolis é a cidade que mais possui instalações radiológicas da área médica, 6 no total, seguida por Blumenau e Joinville com 5 cada.

31% das instalações radiológicas são da área industrial, sendo Joinville a cidade o maior número destas instalações, 4 no total. Sendo que todas instalações de radiografia industrial são na cidade.

Como visto inicialmente, os equipamentos de raio-x não apresentam um perigo significativo, uma vez que só emitem radiação quando energizados. Das instalações presentes no estado 18 delas apresentam aparelho de raio-x (aproximadamente 24 % da totalidade). Estas instalações estão presentes na área de segurança (inspeção de corporal e inspeção de barragens e contêineres), como também uma delas é da área de pesquisa (distribuição de equipamentos geradores de radiação).

Os laboratórios de pesquisas que utilizam fontes radiológicas no estado são 3: UFSC (Florianópolis), SATC (Criciúma) e Embrapa (Chapecó).

Se analisarmos todas as instalações radiológicas no estado, com exceção das com equipamentos de raio-x, vemos que Joinville possui 9 instalações (15,51 % do total), Florianópolis 7 instalações (12,06%) e Blumenau 5 instalações (8,62 %).

Como informado anteriormente, todas instalações devem possuir um Plano de Emergência Radiológica, com base nessa informação e sabendo da localização de cada

instalação radiológica no estado, sugere-se que cada OBM busque, dentro de sua circunscrição, obter o Plano de Emergência Radiológica de cada instalações e avaliar o real perigo que a instalação pode fornecer em caso de uma emergência radiológica.

Como visto ao final do capítulo 6, como a radiação é perigo que não se pode ver ou sentir, para que seja possível avaliar a segurança de uma ocorrência envolvendo material radioativo, é necessário utilização de equipamentos que permitam a detecção e/ou identificação da radiação. O presente trabalho citou dois exemplos de equipamentos, no entanto é necessário que se faça estudos complementares para identificar o equipamento mais adequado para a atividade bomberil.

Ainda no capítulo 6, viu-se que para qualquer ocorrência envolvendo material radioativo é necessário a utilização de equipamentos autônomos de respiração. Para algumas ocorrências a utilização da vestimenta de combate ao fogo serve também para proteção externa, no entanto, acredita-se que em caso de contato entre a roupa e o material radioativo, esta deva ser descartada após o contato, uma vez que a descontaminação da mesma pode ser prejudicado por ser um tecido permeável. Para que se utilize as roupas de proteção química presentes na corporação, é necessário que se faça contato com cada fabricante para saber se a mesma fornece alguém tipo de proteção radiológica. Suponha-se que ela deve apresentar proteção semelhante ao da vestimenta de combate ao fogo, pois como visto no capítulo 3 para que se bloqueie as radiações alfa e beta é necessário simples blindagens, como o plástico.

Viu-se também neste trabalho que as ações dos bombeiros deve buscar a minimização dos riscos até a chegada de técnicos especialistas, a quem compete às ações adequadas à neutralização dos produtos, descarte de resíduos, descontaminação de vítimas e do local.

9 CONCLUSÃO

O presente trabalho utilizou-se de dados disponíveis no site da Comissão Nacional de Energia Nuclear para identificar o nome, a localização e o tipo de aplicabilidade de cada instalação radioativa em Santa Catarina. As instalações foram divididas em áreas de acordo com a aplicabilidade da fonte radioativa, sendo elas: médica, segurança, pesquisa e industrial. Para cada área foi apresentada uma tabela identificando o nome da instalação, a cidade que se encontra e o setor que ela representa. Posteriormente, foram apresentados mapas, as cidades que possuem instalações radiológicas de acordo com os setores de cada instalação. O estudo identificou a presença de 76 instalações radioativas em Santa Catarina. Deste total aproximadamente 24 % (18 unidades) são de fontes de radiação x, sendo que estas fontes não oferecem perigo quando desenergizada. Das outras 58 instalação, vemos que Joinville possui 9 instalações (15,51 % do total), Florianópolis 7 instalações (12,06%) e Blumenau 5 instalações (8,62 %). Por meio de estudo bibliográfico foram identificadas as possíveis fontes radiológicas presentes no estado. Outros estudos, não sendo o objetivo do trabalho, identificaram que pra todas ocorrências envolvendo material radioativo deve-se utilizar equipamentos autônomos de respiração, que para melhor segurança dos bombeiros nesse tipo de ocorrência, se faz necessário a utilização de equipamentos capazes de identificar e/ou detectar radiação, sendo necessário estudos complementares para identificar os melhores equipamentos para a atividade bomberil. Com a conclusão deste trabalho sugere-se que cada OBM busque, dentro de sua circunscrição, obter o Plano de Emergência Radiológica de cada instalação e avaliar o real perigo que a instalação pode fornecer em caso de uma emergência radiológica.

REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, RICARDO. **A RADIOLOGIA INDUSTRIAL**. JUL./2014. ED. SÃO PAULO: ABENDI. 130 P.

ASSOCIA, MICA. **Manual para atendimento a emergências com produtos perigosos**. São Paulo: ABIQUIM, 2015.

BRASIL. Centro Tecnológico do Exército. **Riscos Biológicos, Químicos e Radiológicos em Laboratórios e Coletas de Campo**. 31 Slides. Disponível em: <http://sbbn.org.br/wp-content/uploads/2015/03/riscos-quimicos-e-biologicos1.pdf>. Acesso em: 08 out. 2019. Apresentação em Power-point.

BRASIL. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Plano de Contingência para Emergência em Saúde Pública por Agentes Químico, Biológico, Radiológico e Nuclear**. Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 48 p.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **O TRANSPORTE TERRESTRE DE PRODUTOS PERIGOSOS NO MERCOSUL**. BRASÍLIA, 2011.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de desastres: desastres humanos de natureza tecnológica**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2007.

BRASIL. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **Noções Básicas de Proteção Radiológica**. São Paulo, 2002. 24 p.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **A Energia Nuclear**. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012.

CBMSC. **Curso de atendimento a emergência com produtos perigosos**. Disponível em: https://biblioteca.cbm.sc.gov.br/biblioteca/index.php/component/docman/cat_view/74-materiais-de-aula. Acesso em: 11 ago. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de atendimento às emergências com produtos radioativos. **Coletânea de manuais técnicos de bombeiros**. 1. ed. São Paulo, 2006a vol. 40.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de atendimento às emergências com produtos perigosos. **Coletânea de manuais técnicos de bombeiros**. 1. ed. São Paulo, 2006b. Vol. 21.

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. Dispõe sobre os requisitos de segurança e proteção radiológica em serviços de medicina nuclear in vivo. **Resolução nº 159** de 17 de dezembro de 2013. Brasília, 2013.

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Glossário de Segurança Nuclear**. Setembro, 2015. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/glossario.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2019.

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Instalações Autorizadas**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/index.php/instalacoes-autorizadas-2>. Acesso em: 12 jun. 2019.

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, DOT. **U.S. Government Manual**. United States of America. 1998. Disponível em: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/GOVMAN-1998-06-02/pdf/GOVMAN-1998-06-02-Pg404.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

ELSTER, A. D. **American College of Radiology White Paper on Radiation Dose in Medicine**. Yearbook of Diagnostic Radiology, 2008, 156–157.

GUIMARÃES E. F. et al. Utilização e Condições de Proteção Radiológica de Medidores Nucleares no Brasil. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 6, n. 2A, 2018.

FLIR. **Detecção e Identificação de Radiação Espectroscópica Portátil FLIR identiFINDER R400**. Jul. 2018. Disponível em: <https://www.flir.com.br/globalassets/imported-assets/document/identifinder-r400-datasheet-a4-pt.pdf>. Acesso em: 08 out. 2019.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (organizadoras). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

NASCIMENTO FILHO, Virgílio F. **Técnicas Analíticas Nucleares de Fluorescência de Raios x por Dispersão de Energia (ED-XRF) e por Reflexão Total (TXRF)**. Piracicaba: CENA-ESALQ/USP, 1999. 32 p.

OKUNO, Emico. **Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes: Acidente Radiológico de Goiânia**. São Paulo: Estudos Avançados (USP. Impresso), v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013.

OLIVEIRA, Paulo Márcio de. **Avaliação de Dose nos Sistemas de Irradiação de Bolsa de Sangue para Esterilização**. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2014.

SANTA CATARINA. Constituição (1989). **Constituição do Estado de Santa Catarina**. Disponível em: <http://www.ale.sc.gov.br/sites/default/files/CESC%202018%20-%2072%20a%2075%20emds.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

SBMN, Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. **Conheça a Medicina Nuclear.** Disponível em: <http://sbmn.org.br/comunicacao/conheca-a-medicina-nuclear/>. Acesso em: 15 ago. 2019.

SIEMENS HEALTHINEERS. **Complexo Industrial Da Siemens Healthineers em Joinville Completa Cinco Anos.** Outubro 2017. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/index.php/instalacoes-autorizadas-2>>. Acesso em: 05 set 2019.

SILVA FILHO, Wanderley Vitorino. **Costa Ribeiro: Pesquisas de Minerais Radioativos à Termoeletricidade.** São Paulo: Livraria da Física, 2013, p. 103-264.

SILVEIRA, Antônio Pedro da. **Pontencialização da Segurança no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, nas Rodovias Catarinenses, com Ênfase a Criação e Reforço Operacional, de Organizações Bombeiro Militares do Estado de Santa Catarina.** Monografia (Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Administração Pública com Ênfase em Gestão Estratégica em Serviço de Bombeiros) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TAUHATA, Luiz et al. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** 9. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2013.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica.** 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2006.

VALVERDE, Nelson; LEITE, Teresa; MAURMO, Alexandre. **Manual de Ações Médicas em Emergências Radiológicas.** Rio de Janeiro: Capax Dei, 2010.