

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD

**AS 10 RECOMENDAÇÕES MAIS IMPORTANTES PARA PREVENÇÃO DE
ACIDENTES RADIOLÓGICOS EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL**

Rio de Janeiro

2015

Luana Silva de Souza

**AS 10 RECOMENDAÇÕES MAIS IMPORTANTES PARA PREVENÇÃO DE
ACIDENTES RADIOLÓGICOS EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção da certificação de Especialista pelo Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva - IRD/CNEN

Rio de Janeiro – Brasil
Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear
Coordenação de Pós-Graduação

2015

Ficha Catalográfica

T

539.72

S676a

Souza, Luana Silva de

As 10 recomendações mais importantes para prevenção de acidentes radiológicos em gamagrafia industrial / Luana Silva de Souza – Rio de Janeiro: IRD, 2015.

X, 41 f., 35 il.; 5 tab.; 29,7 cm.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso Especialização (Lato-Sensu) em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) - Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2015.

Referências bibliográficas: f. 40 - 41

1. Gamagrafia Industrial. 2. Risco Radiológico. 3. Acidentes Radiológicos. 4. Prevenção de Acidentes Radiológicos. 5. 10 Recomendações Importantes. I. Título.

Luana Silva de Souza

**AS 10 RECOMENDAÇÕES MAIS IMPORTANTES PARA PREVENÇÃO DE
ACIDENTES RADIOLÓGICOS EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL**

Rio de Janeiro, 23 de setembro de 2015.

Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva – IRD/CNEN

Prof. M.Sc. Alexandre Roza de Lima - COSAP/CNEN

Prof. Dr. João Carlos Leocadio – IRD/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob orientação do Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva.

Dedico este trabalho com muito
amor e carinho aos meus pais
Antônio e Maria das Graças.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que está sempre presente, iluminando e permitindo que eu siga nesta caminhada, pela realização de um sonho e por suas constantes providências. “E disse Jesus: NÃO TEMAS, POIS EU ESTOU CONTIGO.” (Is.41:10).

Aos meus pais Antônio e Maria das Graças, pela dedicação e esforço, para o alcance dos meus sonhos, apoio e por contribuir para minha formação pessoal e profissional, aos meus irmãos Marcela e Flávio pelo incentivo.

Meu namorado Wilian Telles, pelo estímulo, por dividir comigo minhas angústias e inquietações, pela compreensão da minha ausência e apoio, contribuindo para o meu sucesso.

A todos os meus familiares, que mesmo indiretamente estiveram presentes torcendo por mais uma conquista da minha vida. Em especial aos meus tios Jeferson e Fátima pelo apoio e acolhimento.

Meu orientador, Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva muito obrigado por ter abraçado a causa e, sem medir esforços e com impecável profissionalismo e dedicação, por este trabalho realizado.

Ao Coordenador Aucyone Augusto da Silva e aos professores do curso Lato Sensu, pelo incentivo e pelas aulas ministradas com conhecimento disseminado, e também aos meus colegas de classes que apesar de todos os obstáculos fomos capazes de superar e conquistar o nosso objetivo, chegando à conclusão de que a “fraqueza é só uma desculpa para os covardes”.

E finalmente, a todos que de alguma forma contribuíram para a consolidação dessa etapa e o desenvolvimento de minha carreira profissional. Incluindo os membros da banca por participarem deste momento de minha conclusão.

“O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mais na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis”.

(Fernando Pessoa)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Justificativa	2
2. RADIOGRAFIA INDUSTRIAL	2
2.1 Equipamentos de Radiografia Industrial.....	3
2.2 Gamagrafia Industrial.....	3
2.2.1 Princípio Físico.....	4
2.2.2 Equipamentos Utilizados.....	5
2.3 Fontes Radioativas	5
2.4 Irradiadores.....	6
2.4.1 Tipos de Irradiadores	8
2.4.1.1 Irradiadores de Cobalto.....	8
2.4.1.2 Irradiadores de Selênio	9
2.4.1.2.1 Dispositivo de Segurança Gammamat Se.....	9
2.4.1.3 Irradiadores Gammamat Ti, Ti-F, Ti-FF.....	10
2.4.1.3.1 Dispositivo de Segurança Gammamat Ti, Ti-F, Ti-FF.....	11
2.4.1.4 Irradiador Sentinel 880.....	12
2.5 Dispositivos para a Movimentação da Fonte.....	13
2.5.1 Cabo de Comando	13
2.5.2 Porta-fonte	13
2.5.3 Tubo Guia.....	14
2.6 Equipe Técnica de um Serviço de Radiografia Industrial.....	15
3 RISCO RADIOLÓGICO	16
3.1 Sistema de Categorização	17
4 ACIDENTES RADIOLÓGICOS RELEVANTES: FALHAS E LIÇÕES APRENDIDAS	19
4.1 Acidente Radiológico em Nova Aldea – CHILE.....	19
4.2 Acidente Radiológico em Yanango – PERU.....	20
2.3.3 Acidente Radiológico na Cidade de São Paulo	21
5 NORMAS CNEN	22

6 METODOLOGIA	25
6.1 Análise e coleta de dados	25
7 RESULTADOS	27
7.1 Classificação Geral	27
7.2 Classificação das Três Categorias (SPR, Trabalhadores da Área e Outros)	30
7.3 Contabilização dos Votos	36
7.3 Elaboração do Folheto	36
8 CONCLUSÃO	38
9 RECOMENDAÇÕES	39
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1: GERADOR DE RAIOS X (MUSSICA, 2014)	3
FIGURA 2: ENSAIO DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL (SOUZA, 2012)	4
FIGURA 3: PRINCÍPIO FÍSICO DA GAMAGRAFIA INDUSTRIAL (MUSSICA, 2014)	4
FIGURA 4: EQUIPAMENTO PARA PROCEDIMENTO DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL (MUSSICA, 2014)	5
FIGURA 5: PARTE INTERNA DO IRRADIADOR FORMATO EM S (MUSSICA, 2014)	7
FIGURA 6: IRRADIADOR PANORÂMICO (DA SILVA, 1990).....	8
FIGURA 7: MODELO GAMAMMAT ⁶⁰ Co (MUSSICA, 2014)	9
FIGURA 8: MODELO GAMAMMAT ⁷⁵ Se (ELABORADO PELA AUTORA).....	9
FIGURA 9: DISPOSITIVO DE SEGURANÇA ⁷⁵ Se (MUSSICA, 2014)	10
FIGURA 10: IRRADIADOR TIF, TI-F, TI-FF (AQUINO, 2003)	11
FIGURA 11: DISPOSITIVO DE SEGURANÇA DOS IRRADIADORES TI, TI-F, TI-FF (SOUZA, 2012)	11
FIGURA 12: IRRADIADORES ⁷⁵ Se E ¹⁹² Ir, MODELO KVARK (SITE KVARKDOO)	12
FIGURA 13: IRRADIADORES SENTINEL 880 (SITE NDT-INSTRUMENTS.CO.ID SENTINEL GAMMA)	12
FIGURA 14: CABO DE COMANDO (ELABORADO PELA AUTORA).....	13
FIGURA 15: PORTA-FONTE COMPARADO COM A DIMENSÃO DE UMA CANETA (ANDREUCCI, 2013)	14
FIGURA 16: PORTA-FONTE ARTICULADO (MUSSICA, 2014)	14
FIGURA 17: TUBO-GUIA (ELABORADO PELA AUTORA)	14
FIGURA 18: GABARITO TESTE "PASSA-NÃO PASSA" (ANDREUCCI, 2013/ MUSSICA, 2014) ..	15
FIGURA 19: LESÃO PROVOCADA PELO ACIDENTE AO PRIMEIRO TRABALHADOR (IAEA, 2009)	20
FIGURA 20: LESÃO PROVOCADA PELO ACIDENTE (IAEA, 2000)	21
FIGURA 21: FORMULÁRIO COM AS 22 RECOMENDAÇÕES (IRD/CNEN, 2012)	26
FIGURA 22: RESULTADO DA CATEGORIA GERAL (ELABORADO PELA AUTORA)	28
FIGURA 23: PERCENTUAL DAS MAIS VOTADAS NA CATEGORIA GERAL (ELABORADO PELA AUTORA)	29
FIGURA 24: QUANTIDADE DO NÚMERO DE VOTOS DA CATEGORIA GERAL (ELABORADO PELA AUTORA)	29
FIGURA 25: RESULTADO GERAL DA CATEGORIA SPR (ELABORADO PELA AUTORA).....	30
FIGURA 26: PERCENTUAL DAS MAIS VOTADAS NA CATEGORIA SPR (ELABORADO PELA AUTORA)	31
FIGURA 27: QUANTIDADE DO NÚMERO DE VOTOS DA CATEGORIA SPR (ELABORADO PELA AUTORA)	31
FIGURA 28: RESULTADO GERAL DA CATEGORIA TRABALHADORES DA ÁREA (ELABORADO PELA AUTORA)	32
FIGURA 29: PERCENTUAL DAS MAIS VOTADAS NA CATEGORIA TRABALHADORES DA ÁREA (ELABORADO PELA AUTORA)	33

FIGURA 30: QUANTIDADE DO NÚMERO DE VOTOS DA CATEGORIA TRABALHADORES DA ÁREA (ELABORADO PELA AUTORA)	33
FIGURA 31: RESULTADO GERAL DA CATEGORIA OUTROS (ELABORADO PELA AUTORA).....	34
FIGURA 32: PERCENTUAL DAS MAIS VOTADAS NA CATEGORIA OUTROS (ELABORADO PELA AUTORA)	35
FIGURA 33: QUANTIDADE DO NÚMERO DE VOTOS DA CATEGORIA OUTROS (ELABORADO PELA AUTORA)	35
FIGURA 34: CONTABILIZAÇÃO DOS VOTOS (ELABORADO PELA AUTORA)	36
FIGURA 35: FOLHETO COM AS 10 RECOMENDAÇÕES (ELABORADO PELA AUTORA).....	37

LISTAS DE TABELA

TABELA 1: PRINCIPAIS FONTES RADIOATIVAS UTILIZADAS EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL	6
TABELA 2: REQUISITOS MÍNIMOS PARA A INSTALAÇÃO DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL.....	16
TABELA 3: VALOR DE D, DE ACORDO COM O RADIONUCLÍDEO E SUA ATIVIDADE.	18
TABELA 4: CATEGORIZAÇÃO DE FONTES	19
TABELA 5: LIMITES DE DOSES ANUAIS ^[A]	24

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

Ci – Currie

Co – Cobalto

Ir – Irídio

kg – Kilograma

mSv – miliSievert

Se – Selênio

TBq – Tera Bequerel

SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CNEN – Comissão Nacional de Energia Atômica

END – Ensaio Não Destrutivo

IAEA - International Atomic Energy Agency

ISO – International Organization for Standardization

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria

SPR – Supervisor de Proteção Radiológica

RESUMO

A Gamagrafia Industrial, como parte da radiografia industrial, destaca-se como a mais difundida e desempenha um papel importante no controle de qualidade de diversos materiais e peças. Entretanto a AIEA classifica a gamagrafia industrial na Categoria 2 de muito perigosa, devido ao risco radiológico provocado pelo uso de fontes radioativas de alta atividade. Em março de 2012, foi realizado pela DIAPI/CNEN, o Workshop Nacional sobre Prevenção de Acidente em Gamagrafia Industrial, com o objetivo de disseminar conhecimento sobre os acidentes radiológicos, com fontes radioativas ocorridos nesta aplicação. Na ocasião, o IRD/CNEN realizou uma pesquisa com os 75 participantes usando um formulário com 22 recomendações para prevenir acidentes radiológicos, objetivando selecionar as 10 mais votadas. Este presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo estatístico detalhado para definir as dez (10) recomendações mais importantes para o operador de gamagrafia industrial evitar acidentes radiológicos e elaborar um folheto com essas 10 recomendações mais importantes para ser distribuído para todos os profissionais da área de gamagrafia industrial. A análise dos dados foi realizada usando o método estatístico “Distribuição de Frequências”, dentre os 75 participantes categorizados como Geral, SPR, Trabalhadores da área e Outros. Os resultados foram obtidos para cada categoria, contabilizando o total das 22 recomendações com o seu percentual e número de votos, e foram definidas as 10 recomendações mais importantes para prevenir acidentes radiológicos, ficando em primeiro lugar, e a mais importante, a recomendação *“Use sempre um monitor individual com alarme durante todo o trabalho”*. Uma das conclusões é que o folheto com as 10 recomendações mais importantes mostra-se de fácil compreensão e será útil para a disseminação e treinamento de profissionais da área de forma a prevenir acidentes radiológicos em gamagrafia industrial.

Palavras Chaves: Gamagrafia Industrial; risco radiológico; acidentes radiológicos; prevenção de acidentes radiológicos; 10 recomendações importantes.

ABSTRACT

The Industrial Gamma Radiography, as part of Industrial Radiography, stands out as the most widespread and plays an important role in the quality control of different materials and devices. However, IAEA classifies industrial gamma radiography in the Category 2 as very dangerous due to the radiological risk caused by the use of high activity radioactive sources. In March, 2012, a Brazilian Workshop on Prevention of Industrial Gamma Radiography Accident was performed by DIAPI/CNEN with the objective of disseminating knowledge about radiological accidents with radioactive sources in this application. During this Workshop, IRD/CNEN conducted a survey with 75 participants using a form with 22 recommendations to prevent radiological accidents, aiming to select the most voted. This present work aims to perform a detailed statistical study to define the Top 10 Recommendations for industrial gamma radiography operator avoids radiological accidents and to prepare a brochure with these top 10 recommendations to be distributed to all industrial gamma radiography radiation workers. Data analysis was performed using the statistical method "Frequency Distribution", among the 75 participants categorized as General, RPO, and Other Workers of the area. The results were obtained for each category, accounting for the total of 22 recommendations in its percentage and number of votes, and the top 10 recommendations were defined to prevent radiological accidents. The first place and most important recommendation is "*Always use a personal alarm monitor throughout the work*". One of the conclusions is that the brochure with the Top 10 Recommendations shows to be understandable and useful for dissemination and training of radiation workers to avoid radiological accidents in industrial gamma radiography.

Key words: Industrial gamma radiography; radiological risk; radiological accidents; prevention of radiological accidents; top 10 recommendations

1. INTRODUÇÃO

Existem diversas aplicações de radioisótopos na indústria, tais como: Radiografia Industrial, que é um ensaio não destrutivo para examinar a qualidade de um equipamento ou produto frequentemente utilizado no controle de qualidade de soldas e fabricação de equipamentos industriais; Irradiadores Industriais, que envolvem a esterilização de produtos médicos cirúrgicos e farmacêuticos, conservação de alimentos através da irradiação gama; Medidores Nucleares, que são equipamentos utilizados principalmente em controle de qualidade e processos, de densidade, espessura, nível e umidade de diversos tipos de materiais; Perfilagem de Poços de Petróleo, que está relacionada a uma ou mais características das rochas perfuradas, permitindo o cálculo da porosidade e a identificação das zonas de gás; Traçadores Industriais, que servem para detectar problemas de vazamento e mau funcionamento em grandes plantas industriais; e Inspeção de Segurança não Invasiva, que, apesar de não usar radioisótopos no Brasil, faz uso de raios-x para o escaneamento de pessoas e veículos em presídios e portos (scanners fixos e móveis). Na Radiografia Industrial pode-se destacar a Gamagrafia Industrial por ser uma das aplicações mais difundidas e que possui um elevado nível de risco radiológico.

Essas aplicações, que usam fontes seladas, se enquadram na classificação da categorização de fontes radioativas determinadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), de acordo com o risco radiológico caracterizado de 1 a 5, sendo o primeiro extremamente perigoso e o quinto de periculosidade muito improvável. A Gamagrafia Industrial é categorizada no nível 2 (muito perigosa) devido à diversos acidentes radiológicos ocorridos.

Esse risco é provocado pelo uso de fontes de alta atividade e a probabilidade de consequências danosas que podem ocorrer à saúde humana, devido às falhas cometidas durante o uso. Podem-se citar alguns acidentes radiológicos que ocorreram na América Latina e no Brasil, tais como: Acidente Radiológico em Nova Aldea no Chile; o Acidente Radiológico em Yanango no Peru; e Acidente Radiológico em São Paulo.

Com o objetivo de disseminar as lições aprendidas, para prevenir acidentes radiológicos com fontes de gamagrafia industrial em todo país, foi realizado, pela DIAPI/CNEN/RJ, o Workshop Nacional sobre Prevenção de Acidente em Gamagrafia

Industrial, no qual o IRD/CNEN realizou uma pesquisa com os 75 participantes usando um formulário com 22 recomendações para prevenir acidentes radiológicos, objetivando selecionar as 10 mais votadas (CNEN, 2012).

1.1 Objetivo

Baseado nas respostas do formulário sobre as recomendações para a prevenção de acidentes radiológicos, preenchidos por profissionais da área de radiografia industrial durante o Workshop, realizar um estudo estatístico detalhado para definir as dez (10) recomendações mais importantes para o operador de gamagrafia industrial evitar acidentes radiológicos e elaborar um folheto com essas 10 recomendações mais importantes para ser distribuídos para todos os profissionais da área de gamagrafia industrial.

1.2 Justificativa

Durante o Workshop Nacional de Prevenção de Acidentes em Gamagrafia Industrial, foi distribuído pelo IRD um formulário com 22 recomendações para evitar acidentes radiológicos, retiradas de lições aprendidas de casos acontecidos. Uma avaliação preliminar foi realizada para definir as dez (10) recomendações mais importantes. Um estudo estatístico detalhado foi realizado para definir quais as recomendações que deverão compor o quadro das 10 mais importantes.

2. RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

A Radiografia Industrial faz parte de um conjunto de técnicas conhecida como Ensaios Não Destrutivos - END, que é responsável por investigar a integridade dos materiais, sem destruí-los ou provocar qualquer alteração nas suas características. Utiliza radiação ionizante para a realização dos ensaios como uma técnica na indústria brasileira, dentro da engenharia moderna (Souza, 2012).

A Radiografia Industrial é um método capaz de detectar discontinuidades volumétricas com vazios e inclusões que apresentam espessura variável, e

descontinuidades com pequenas espessuras em planos perpendiculares ao feixe, como trinca dependendo da técnica do ensaio, pode ser realizado por equipamentos geradores de radiação X ou irradiadores de gamagrafia com fontes radioativas.

2.1 Equipamentos de Radiografia Industrial

A radiografia industrial, propriamente dita, utiliza equipamento gerador de raios X industriais (Figura 1) que tem o funcionamento a partir de tubos catódicos, onde os tamanhos das ampolas ou tubos são em função da tensão máxima do aparelho. Dividem-se em dois componentes, o painel de controle, onde estão alojados todos os controles indicadores, chaves e medidores que fazem os ajustes de voltagem e amperagem e aciona o aparelho; e o cabeçote ou unidade geradora, aloja a ampola e os dispositivos de refrigeração com uma conexão de cabos de alta tensão entre o painel de controle (Da Silva, 1990).



Figura 1: Gerador de raios X (Mussica, 2014)

2.2 Gamagrafia Industrial

Entre as aplicações técnicas nucleares na indústria, a gamagrafia é a mais difundida, pois não utiliza energia elétrica e possui modelos portáteis de fácil locomoção. Desempenha um papel importante na inspeção de componentes, no sentido de verificar o controle da qualidade de soldas, materiais, peças e estruturas na indústria naval, petrolífera e siderúrgica. Essa técnica utiliza fontes radioativas, emissora de raios gama que irão atravessar o material a ser analisado, registrando

em filmes radiográficos a dose do feixe gama atenuado as suas várias seções, conforme a figura 2 (Da Silva, 1990).

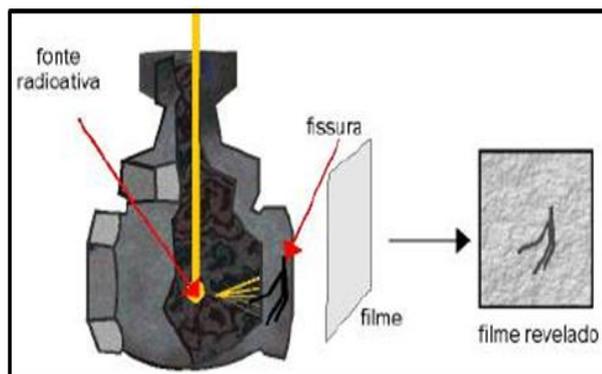


Figura 2: Ensaio de Radiografia Industrial (Souza, 2012)

2.2.1 Princípio Físico

A Radiografia Industrial baseia-se no princípio físico de que o feixe de radiação eletromagnética (raios X ou gama) atravessa uma substância sofrendo atenuação da intensidade da radiação emitida por uma fonte, onde varia sua energia e a característica do material. Os raios X e a radiação gama interagem de diversas formas com os átomos da matéria, desses fenômenos destacam-se a ionização, propiciando a ocorrência de reações químicas, que possibilita a impressão do filme radiográfico, conforme a figura 3 (Aquino, 2003).

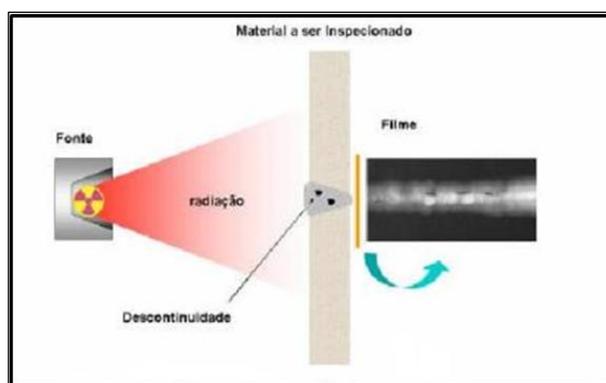


Figura 3: Princípio Físico da Gamagrafia Industrial (Mussica, 2014)

2.2.2 Equipamentos Utilizados

A prática de gamagrafia industrial requer equipamentos que irão auxiliar nos ensaios e desempenho das funções de proteção radiológica, a fim de que o trabalhador não se exponha a altas doses de radiação. Basicamente, é um irradiador contendo urânio exaurido para a blindagem da fonte, um tubo guia que será acoplado ao irradiador, um cabo de comando com controle mecânico para a movimentação da fonte, e o tripé que, caso necessário, irá fixar o terminal de exposição quando a fonte for exposta sobre o material, demonstrados na figura 4 (Souza, 2012).



Figura 4: Equipamento para procedimento de Gamagrafia Industrial (Mussica, 2014)

Alguns equipamentos auxiliares deverão acompanhar todo o procedimento tais como:

- a. Monitor de alarme - serve para a monitoração da radiação emitida pela fonte durante a exposição;
- b. Detector Geiger Muller - certificar o retorno da fonte para a posição de blindagem no irradiador;
- c. Equipamentos de emergência - calha, placas, container de chumbo e pinça, em caso de uma fonte fora de controle, junto a uma caixa de ferramenta;

2.3 Fontes Radioativas

As fontes radioativas usadas em gamagrafia industrial requerem cuidados especiais de segurança, pois uma vez ativada, emitem radiação constantemente. O

material radioativo tem formato de pequenos discos metálicos, fixados por meio de uma cápsula de aço inoxidável, acoplada em uma ponta de um cabo de aço flexível, e na outra ponta um engate, permitindo a manipulação da fonte denominado porta - fonte.

Em gamagrafia industrial as fontes mais utilizadas são ^{192}Ir , ^{75}Se , e ^{60}Co . Tais fontes possuem meias-vidas relativamente curtas, devido ao fator de serem substituídas periodicamente, para que o equipamento mantenha sua operacionalidade. Na tabela 1, estão relacionadas às principais fontes e suas características físico-química (Souza, 2012).

Tabela 1: Principais fontes radioativas utilizadas em gamagrafia industrial

Radioisótopos	Meia-Vida	Energia (MeV)	Faixa de utilização mais efetiva do aço (mm)
^{60}Co	5,3 anos	1,17 e 3,33	60 - 200
^{192}Ir	74 dias	0,137 a 0,65	10 - 40
^{75}Se	125 dias	0,006 a 0,405	4 - 30

(Souza, 2012)

2.4 Irradiadores

Os irradiadores de gamagrafia industrial são destinados ao armazenamento da fonte radioativa, constituído internamente por urânio exaurido, o qual funciona como blindagem para radiação ionizante, pesando em torno de 15 a 23 kg. Possuem no seu interior um canal metálico em aço inoxidável, zircônio ou titânio podendo ser do tipo reto ou em formato de U ou S, ascendente ou descendente, como demonstra a figura 5. Na maioria dos irradiadores é introduzido poliuretano no espaço entre as paredes da caixa de aço e a blindagem, para absorver e diminuir os impactos.



Figura 5: Parte interna do irradiador formato em S (Mussica, 2014)

Os irradiadores são classificados em três categorias, dada pela norma ABNT - NBR 8670, a categoria I e II, e posteriormente ISO 3999/1997 que incluiu a categoria X, classificadas de acordo com os itens a seguir:

- a. Categoria I - A fonte radioativa selada não é removida para exposição. O feixe de radiação é liberado ao abrir o obturador ou movendo a fonte dentro do irradiador, chamados de irradiador direcional.
- b. Categoria II - A fonte é movida da posição de blindagem para fora do irradiador, através do tubo guia até o terminal de exposição, por um comando mecânico ou eletrônico, realizado por um operador localizado a uma certa distância, também conhecido como irradiador panorâmico, como ilustrado na figura 6.
- c. Categoria X - São os irradiadores tipo “crawler”, possuem um carrinho que se movimenta dentro de tubulações, para realização de radiografias panorâmicas.

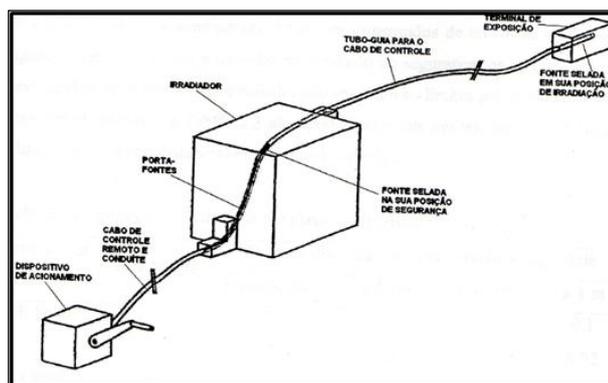


Figura 6: Irradiador Panorâmico (Da Silva, 1990)

Essas categorias podem ser classificadas, de acordo com suas condições de modalidades ou classes, dadas em três tipos:

- a. Classe P - Irradiador portátil com peso máximo de 25 kg de massa, podendo ser transportado por uma pessoa.
- b. Classe M - Irradiador móvel, mas não portátil, podendo ser deslocado por meio de dispositivos adequados para sua movimentação.
- c. Classe F - Irradiador fixo, cuja mobilidade restrita a determinados limites de uma área controlada, tal como bunker (ABNT, 1984).

2.4.1 Tipos de Irradiadores

Nas técnicas de gamagrafia industrial são utilizados vários tipos de irradiadores, dependendo da operação e das condições de trabalho. A seguir são apresentados alguns tipos de irradiadores como exemplo.

2.4.1.1 Irradiadores de Cobalto

São equipamentos móveis ou fixos, pertencentes às classes M e F, que utilizam fontes radioativas de ^{60}Co . Possuem maior blindagem, devido à alta energia da fonte, onde torna seu uso restrito a instalações com blindagem (Figura 7).

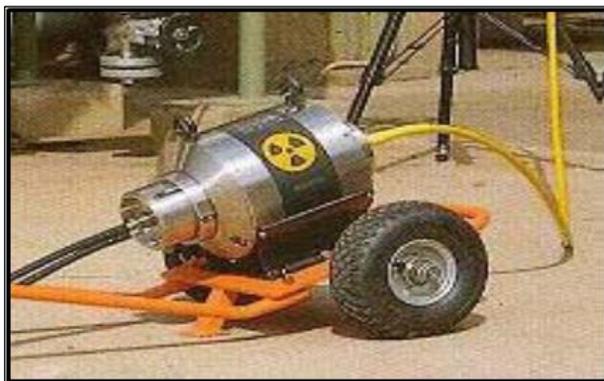


Figura 7: Modelo Gammat ^{60}Co (Mussica, 2014)

2.4.1.2 Irradiadores de Selênio

O irradiador Gammat que utiliza radioisótopo ^{75}Se (Figura 8), pesa em torno de 7 kg facilitando seu transporte e uso. Diferente das demais, os irradiadores Gammat não possui mais o sistema acionador do excêntrico, e as pastilhas encontram-se alojados no centro do porta-fonte. Essa nova geração modelo Gammat Se, possui cinco dispositivos de segurança, que diminui substancialmente a probabilidade de exposições acidentais.



Figura 8: Modelo Gammat ^{75}Se (Elaborado pela autora)

2.4.1.2.1 Dispositivo de Segurança Gammat Se

A figura 9 demonstra os respectivos dispositivos de segurança do modelo Gammat Se, que atendem ao novo padrão ISO 3999, especificados nos itens a seguir:

- a. Indicador da posição da fonte - sinaliza pela cor verde que a fonte está em posição de segurança, e a cor vermelha indica que a fonte está destravada.
- b. Interlock do cabo de comando – dispositivo interligado com o comando, que indica a posição da fonte a partir do comando.
- c. Mecanismo automático de segurança da fonte - trava a fonte automaticamente quando ela é recolhida, para que a mesma não saia do interior do irradiador.
- d. Mecanismo de segurança - alavanca de travamento e destravamento.
- e. Verificador de travamento do tubo-guia - trava de segurança impedindo que a fonte seja exposta sem a conexão adequada do tubo-guia (ISO, 3999).

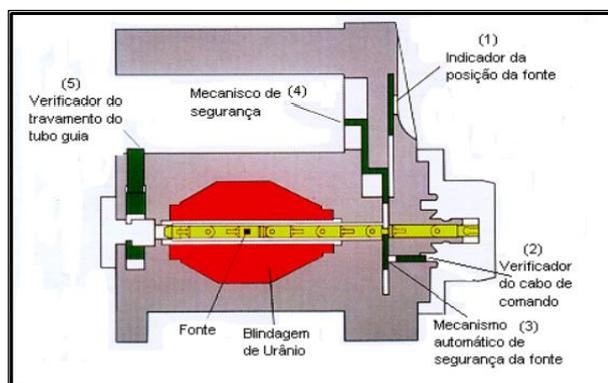


Figura 9: Dispositivo de Segurança ^{75}Se (Mussica, 2014)

2.4.1.3 Irradiadores Gammamat Ti, Ti-F, Ti-FF

São equipamentos de origem alemã fabricados por Dr. Sauerwein GMBH (Figura 10), possui um canal interno do tipo reto, composto de liga de titânio, destinado a alojar fonte de ^{192}Ir , diferenciando pela quantidade de blindagem de urânio exaurido (Souza, 2012).

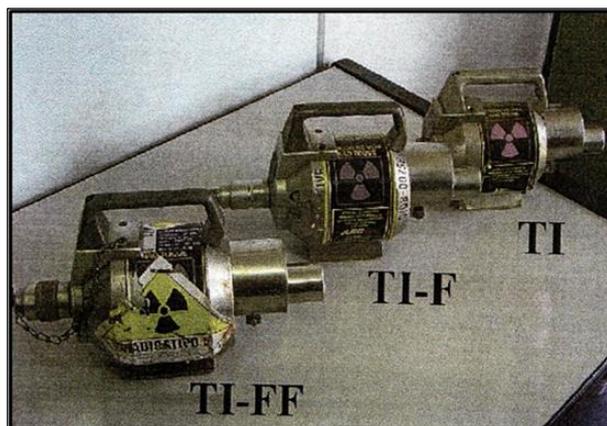


Figura 10: Irradiador TIF, TI-F, TI-FF (Aquino, 2003)

2.4.1.3.1 Dispositivo de Segurança Gammamat Ti, Ti-F, Ti-FF

Dada à figura 11, a exposição da fonte só é permitida pela sequência de três funções, o acoplamento do cabo de comando com o porta-fonte, a abertura da chave de segurança, e a rotação do excêntrico, que permite a exposição da fonte ou a mantém retida. Os irradiadores em atividade possuem indicadores de posição de fonte que informam se a fonte está em posição de segurança, ou na posição de irradiação, usando sistema de cores para sinalização visual (verde/vermelho) (Souza, 2012)

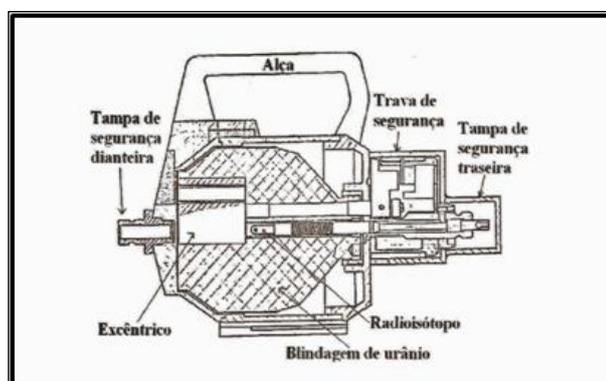


Figura 11: Dispositivo de Segurança dos Irradiadores TI, TI-F, TI-FF (Souza, 2012)

Atualmente, novos modelos de irradiadores de ^{75}Se e ^{192}Ir são utilizados na área da indústria, modelo KVARC company, conforme mostra a figura 12.



Figura 12: Irradiadores ^{75}Se e ^{192}Ir , modelo KVARK (Site KVARKdoo)

2.4.1.4 Irradiador Sentinel 880

Os irradiadores sentinel modelo 880 (Figura 13), são leves e compactos, possui um canal interno do tipo S composto por um tubo de titânio, e urânio exaurido para a blindagem da fonte, envolvido por aço inoxidável que fornece proteção, ao mecanismo de segurança traseiro e dianteiro. Os mecanismos de segurança permite facilidade de operação nas conexões do cabo de comando, porta-fonte e tubo-guia.



Figura 13: Irradiadores Sentinel 880 (Site ndt-instruments.co.id sentinel gamma)

2.5 Dispositivos para a Movimentação da Fonte

São dispositivos conectados ao irradiador, que promovem a exposição e o recolhimento da fonte diminuindo a possibilidade de exposições acidentais.

2.5.1 Cabo de Comando

É um equipamento conectado ao porta-fonte na parte traseira do irradiador, usado para movimentar a fonte radioativa da sua posição de blindagem até o local de exposição, e fazê-la retornar. Conforme ilustrado na figura 14, o cabo de comando também conhecido como telecomando, é composto por uma manivela acionando o cabo de aço conectado no porta-fonte, externamente possui uma camada de borracha para sua proteção (Aquino, 2003)



Figura 14: Cabo de Comando (Elaborado pela autora)

2.5.2 Porta-fonte

Proporciona a fonte radioativa retenção efetiva e proteção mecânica, para que ela não se solte acidentalmente. O porta-fonte mede aproximadamente 20 cm comparado com a dimensão de uma caneta (Figura 15), é flexível, de aço inoxidável, possui na parte dianteira uma cápsula com a fonte radioativa e na parte traseira permite o engate com o cabo de comando, e ainda, uma esfera de travamento no cabo flexível travando o porta-fonte na posição de segurança (Andreucci, 2010)

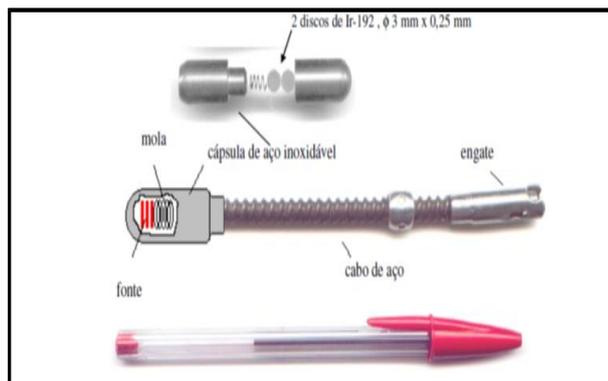


Figura 15: Porta-fonte comparado com a dimensão de uma caneta (Andreucci, 2013)

Na figura 16, mostra outro modelo de porta-fonte é do tipo articulado, também produzido de aço inoxidável, onde seu travamento se dá por um estrangulamento.



Figura 16: Porta-fonte articulado (Mussica, 2014)

2.5.3 Tubo Guia

Conforme a figura 17 pode-se observar um tubo flexível ou rígido, composto internamente de um tubo de plástico envolto em tiras de aço inoxidável trançado, e externamente possui uma capa de borracha. O tubo-guia é utilizado para guiar o porta-fonte da saída do irradiador até a posição de irradiação, através do terminal de exposição, na qual a fonte é alojada na posição de irradiação (Aquino, 2003).



Figura 17: Tubo-guia (Elaborado pela autora)

Como procedimento de segurança, são realizados testes nestes dispositivos para verificar se estão em condições adequadas para operação. A conexão do cabo de comando e do porta-fonte sofrem desgastes pelo seu uso, e por isso são realizados testes conhecidos como passa-não passa (GO/No GO Gauge).

Esses gabaritos testes são fornecidos pelos fabricantes dos irradiadores, e conforme figura 18, pode observar que o gabarito teste possui furo por onde se testa a conexão do cabo de comando e o engate do porta-fonte (rabicho) (Andreucci, 2013).

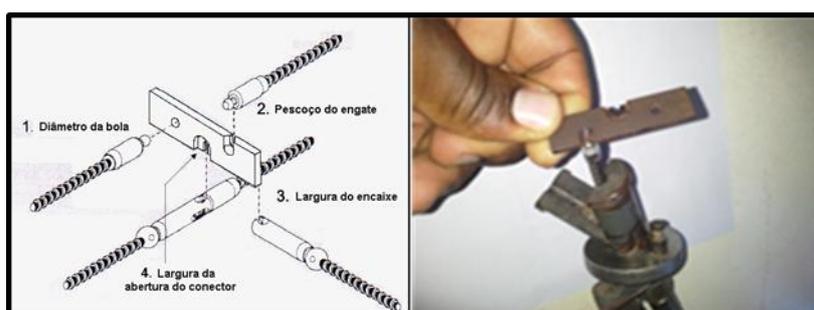


Figura 18: Gabarito teste "passa-não passa" (Andreucci, 2013/ Mussica, 2014)

2.6 Equipe Técnica de um Serviço de Radiografia Industrial

Segundo as normas da CNEN-NN 3.01 (Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica) e a norma CNEN-NN 6.04 (Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial), em uma instalação de radiografia industrial deve possuir Supervisores de Proteção Radiológica (SPR) em radiografia industrial e operadores de radiografia industrial.

Esses profissionais deverão estar distribuídos de acordo com o tipo de instalação ou fonte, conforme a tabela 2, o SPR deverá ser certificado pela CNEN, conforme a Resolução CNEN 146/13 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica (CNEN-NN 7.01). Os operadores de radiografia industrial deverão obter registro conforme a resolução específica sobre Registro de Operadores de Radiografia Industrial em Proteção Radiológica (CNEN-NN 7.02).

Tabela 2: Requisitos mínimos para a instalação de Radiografia Industrial

Tipos de instalação de operação	Operação	IOE
I	Área localizada em recinto isolado, com proteção física adequada, equipamentos geradores de radiação ionizante auto blindado.	Um (1) SPR sem exclusividade (limitado a quatro instalações de radiografia industrial) e um (1) operador (I ou II) por turno.
II	Área localizada em recinto fechado, com blindagem permanente, projetada para atender situações operacionais.	Dois (2) operadores (I ou II) exclusivo da instalação; ou dois (2) operadores (I ou II) por instalação de operação
III	Área localizada em espaço isolado ou cercado com proteção física para eventual situação	Dois (2) SPR exclusivos por instalação de Radiografia Industrial; ou dois (2) operadores, sendo pelo menos um operador II por instalação de operação.
IV	Área localizada em espaço isolado ou cercado de áreas habitadas e vias públicas, com necessidade de procedimentos específicos de proteção radiológica.	Dois (2) SPR exclusivos por instalação de Radiografia Industrial; ou dois (2) operadores II por instalação de operação.

(CNEN, 2013)

3 RISCO RADIOLÓGICO

As fontes radioativas utilizadas nas áreas de saúde, indústria, agricultura e outros, podem ser em forma de fontes seladas, na qual o material radioativo está contido em uma cápsula adequada, ou não selada. O risco provocado pela fonte dependerá do radionuclídeo utilizado, forma física e química e sua atividade.

As normas internacionais de segurança para proteção contra a radiação ionizante e para as fontes de radiação fornecem uma base para o uso seguro das fontes de radiação, onde as fontes de atividades elevadas, se não forem geridas de forma segura poderá causar efeitos danosos para os indivíduos em um curto período de tempo.

Após uma avaliação das principais conclusões da Conferência Internacional sobre segurança de fontes e materiais radioativos realizado na França, a AIEA empreendeu um plano de ação para a segurança de fontes e materiais radioativos, aprovado na Conferência Geral, a qual identificou a necessidade de uma

categorização de fontes radioativas, publicado como Guia de Segurança (Safety Guide) em 2003 (IAEA, 2005).

Este Guia de Segurança oferece uma classificação baseada no risco das fontes radioativas e práticas, fornecendo orientação sobre a categorização das fontes radioativas, e sobre a forma de como podem ser usadas, garantindo o controle estabelecido pela norma de segurança da AIEA. O objetivo deste guia proporciona um sistema de “ranking” para fontes radioativas, de acordo com sua potencialidade de causar dano à saúde humana.

3.1 Sistema de Categorização

O Sistema de Categorização está baseado no conceito de periculosidade das fontes elaboradas com base em fontes perigosas, que são quantificadas utilizando valor de D. Conforme a tabela 3, o valor de D é a atividade específica de um radionuclídeo que, se não controlada poderá causar severos efeitos determinísticos. Isso ocorre através de uma série de cenários, que incluem exposição externa com a fonte não blindada, e exposição interna seguindo de dispersão do material.

A classificação inicial das fontes se dá, pela atividade A (TBq) do material radioativo dividido pelo valor D (TBq), utilizado como fator de normalização de modo, a proporcionar uma referência para a comparação de riscos de acordo com a equação 1:

Equação 1: Fórmula da categorização de fontes

$$\frac{A}{D} = \sum_n \sum_i \frac{A_{i,n}}{D_n}$$

Onde,

A = Atividade de cada fonte individual i do radionuclídeo n; e.

D = valor D do radionuclídeo n.

Tabela 3: Valor de D, de acordo com o radionuclídeo e sua atividade.

Radionuclídeo	Atividade (A)TBq	Valor (D)TBq
⁶⁰ Co	7,4*E+00	3,0*E-02
¹³⁷ Cs	5,6*E+01	1,0*E-01
¹⁹² Ir	7,4*E+00	8,0*E-02
⁷⁵ Se	3,0*E+00	2,0*E-01

(IAEA, 2005)

Dado a seguir, um cálculo para demonstrar o resultado que categoriza uma fonte de ¹⁹²Ir utilizada em gamagrafia industrial com uma atividade (A) de 7,4 TBq e o valor de D de 0,08 TBq:

Equação 1: Categorização de fontes

$$\frac{A}{D} = \frac{7,4}{0,08} = 92,5$$

A tabela 4 mostra a categorização de fontes utilizadas nas práticas. Nessa categorização, a gamagrafia industrial, sendo uma das atividades industriais consideradas de alto risco, é classificada pela AIEA como Categoria 2, devido à grande probabilidade de ocorrência de acidentes radiológicos (IAEA, 2005).

O risco é expresso em sentido amplo do perigo, ou possibilidade de consequências nocivas ou prejudiciais associados com real ou exposições potenciais, referente à probabilidade de consequências deletérias que podem ocorrer.

Tabela 4: Categorização de fontes		
Categorização	Fontes e Práticas	Razão da Atividade
1 Extremamente perigosa	Irradiadores de grande porte e fontes de teleterapia.	$\frac{A}{D} \geq 1000$
2 Muito perigosa	Fontes de gamagrafia industrial e fontes de braquiterapia de alta e média taxa de dose.	$1000 > \frac{A}{D} \geq 10$
3 Perigosa	Medidores industriais com fontes de altas atividades e fontes utilizadas em perfuração de poços de petróleo.	$10 > \frac{A}{D} \geq 1$
4 Periculosidade improvável	Fontes de braquiterapia de baixa taxa de dose; Medidores com fontes de baixas atividades e moderadas.	$1 > \frac{A}{D} \geq 0,01$
5 Periculosidade muito improvável	Dispositivos de fluorescência de raios X e dispositivos de captura eletrônica.	$0,01 > \frac{A}{D}$ e $A > \text{Nível de isenção}$

(Mussica, 2014)

4 ACIDENTES RADIOLÓGICOS RELEVANTES: FALHAS E LIÇÕES APRENDIDAS

A gamagrafia industrial oferece um grande risco radiológico, tanto para trabalhadores como indivíduos do público, devido à exposição de altíssimas doses de radiação ionizante. A gamagrafia é responsável pelos maiores índices de acidentes radiológicos em quase todos os países, com destaques em alguns acidentes ocorridos, levando em consideração as diversas consequências graves. (Da Silva, 1990).

4.1 Acidente Radiológico em Nova Aldea – CHILE

Em 14 de dezembro de 2005, durante um trabalho de gamagrafia industrial, numa planta de celulose em construção, a fonte radioativa de ^{192}Ir caiu do irradiador, sendo mais tarde encontrada e manipulada por três trabalhadores. O dispositivo envolvido no acidente era um irradiador, fabricado pela Amesham (EUA) modelo

660, série 5657, a fonte de ^{192}Ir modelo T-5, série MK08075, com atividade de 3,33 TBq (90 Ci).

Os trabalhadores envolvidos no acidente radiológico apresentaram os seguintes sintomas:

- a. O primeiro trabalhador apresentou dia 02/01/2006 lesão na mão direita (eritema) seguido de bolha, conforme a figura 19;
- b. O segundo trabalhador, apresentou dia 11/01/2006 sensação de queimadura, com manchas pontuais de 3 mm de diâmetro no polegar e dedos médios da mão esquerda;
- c. O terceiro trabalhador, apresentou dia 15/12/2005 eritema de 4 cm na nádega esquerda 5 horas após o acidente, sensação de queimação e eritema nas mãos, náuseas e vômito. Agravou-se a cada dia a lesão na nádega esquerda devido ao fato do mesmo ter guardado a fonte no bolso.

Na investigação as seguintes falhas foram determinadas: o cabo de comando permaneceu no tubo guia, em vez de ser retraído para sua posição de segurança; os trabalhadores que operavam não foram treinados para o procedimento de gamagrafia e; o monitor de alarme estava desligado.

Deste acidente retirou-se, como lições aprendidas a introdução de requisitos adicionais relacionados às práticas de Radiografia Industrial; realização de treinamento específico; e cursos para operadores, a fim de evitar a ocorrência de eventos semelhantes no futuro (IAEA, 2009).



Figura 19: Lesão provocada pelo acidente ao primeiro trabalhador (IAEA, 2009)

4.2 Acidente Radiológico em Yanango – PERU

O acidente aconteceu dia 20 de fevereiro de 1999, na usina hidrelétrica em Yanango, quando um trabalhador encontrou uma fonte de ^{192}Ir , pegou e guardou no

bolso traseiro da calça, permanecendo com a mesma o dia inteiro. A fonte radioativa envolvida no acidente foi de ^{192}Ir modelo G-L com atividade de 1,37 TBq e equipamentos SPEC, série EK0504.

O trabalhador apresentou os seguintes sintomas: lesão e dor na região posterior da coxa direita com uma zona vermelha na pele (Figura 20); após 2 dias lesão inflamatória, cercado com halo grande, e perda do membro meses mais tarde.

Na investigação as seguintes falhas foram determinadas: a falta de vigilância da fonte radioativa e as medidas para garantir a segurança física não eram adequadas; dispositivos móveis tais como: irradiador de gamagrafia não deve ser deixado sem supervisão; o trabalhador não tinha conhecimento dos perigos da radiação.

Deste acidente retirou-se, como lições aprendidas: de que, embora a empresa tivesse sido concedida uma licença e inspecionada pela Autoridade Reguladora, a avaliação de certificados e inspeção da instalação deve ser realizada por pessoas qualificadas e experientes. (IAEA, 2000).



Figura 20: Lesão provocada pelo acidente (IAEA, 2000)

2.3.3 Acidente Radiológico na Cidade de São Paulo

Ocorreu em 1985 na cidade de São Paulo, quando uma fonte de ^{192}Ir com atividade 3,26 TBq foi encontrada por indivíduo do público e manuseada com as mãos por mais de um minuto. As lesões observadas foram bolhas, necrose, perda de tecido, atrofia dos dedos da mão esquerda e dedo indicador direito.

Na investigação as seguintes falhas foram determinadas: falha na execução de procedimento de radioproteção, desconhecimento total da simbologia da radiação ionizante e dos perigos que podem causar.

Deste acidente retirou-se, como lições aprendidas: há necessidade de um controle mais rígido das condições de segurança e proteção radiológica tanto por parte da empresa como pela Autoridade competente; formação de um grupo para a avaliação, acompanhamento e gerenciamento de doses elevadas e acidentes radiológicos criados pelo IRD – Instituto Radioproteção e Dosimetria (Da Silva, 1990).

5 NORMAS CNEN

Os tópicos seguintes serão abordados pela norma CNEN, com destaque na aplicação de gamagrafia industrial, na qual serão selecionados os aspectos mais importantes que enquadra nesta aplicação, favorecendo a instalação, o trabalhador e os responsáveis, seguindo todos os requisitos estipulados pela norma específica.

1. Norma CNEN - NN 6.04 (CNEN, 2013) – “Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial”: Estabelece requisitos de segurança e proteção radiológica necessária para o funcionamento das instalações de radiografia industrial. As fontes de gamagrafia caracterizam-se como: fontes seladas emissoras de radiação gama incorporada ao irradiador. Os equipamentos de gamagrafia e acessórios devem ser verificados de acordo com a norma da ABNT NBR 8670, de 11/1984, que estabelece os requisitos e condições necessárias como:
 - a. Identificação;
 - b. Tampas nas extremidades;
 - c. Alça para transporte;
 - d. Sistema de travamento;
 - e. Indicador da posição da fonte no irradiador;
 - f. Sistema de acoplamento com controle remoto e tubo-guia;
 - g. Teste dos engates, gabarito;

- h. Compatibilidade dos comprimentos do cabo de comando e tubo-guia;
- i. Fixação do terminal de exposição do tubo-guia;
- j. Eficiência da blindagem.

Além disso, devem possuir certificado de vistoria fornecido pela instituição credenciada pela CNEN, com as seguintes informações:

- a. Placa de identificação verificada regularmente;
- b. Números de modelo e de série legíveis;
- c. Nome da empresa proprietária;
- d. Símbolo internacional de presença de radiação;
- e. Radioisótopo utilizado;
- f. Capacidade máxima do irradiador em becquerel e dos dizeres “PERIGO RADIOATIVO”

As Instalações de armazenamento de fonte tipo II, os equipamentos devem ser guardados em local que satisfaça os requisitos, tais como: estar localizado em área supervisionada, ser provido de trancas contra roubo ou violação, ser suficientemente blindado, ser exclusivo com dimensões para guardar até quatro (4) equipamentos, ser material resistente ao fogo, e ser acessível apenas a pessoas autorizadas.

2. CNEN - NN 6.02 (CNEN, 2014b) – “Licenciamento de Instalações Radiativas”: Estabelece os requisitos para o licenciamento de instalações radiativas, aplicando às atividades relacionadas com a localização, projeto descritivo importante à segurança, construção, operação, modificações, e a retirada de operações das instalações radiativas, bem como aquisição e movimentação de fontes.

As instalações radiativas que utilizam fontes seladas são classificadas em grupos e subgrupos. No caso de gamagrafia industrial está classificada no grupo 2 que utilizam fontes seladas no equipamento, e o subgrupo 2B que utilizam fontes seladas em equipamentos para fins de radioterapia, modalidades de teleterapia e braquiterapia com altas taxas de dose, radiografia industrial e outras práticas que requerem blindagem externa para utilização das fontes.

O subgrupo 2B (gamagrafia industrial) possui uma validade da autorização para operação de 1 a 3 anos e no mínimo um (1) supervisor de proteção radiológica (SPR) exclusivo, ou mais dispendo do tipo de instalação operacional estabelecido na norma da CNEN – NN – 6.04.

3. CNEN - NE 3.02 (CNEN, 1988) – “Serviço de Radioproteção”: Estabelece à implantação e ao funcionamento do Serviço de Radioproteção, para o controle de trabalhadores de áreas controladas, através de monitoração individual, controle de área que compreende a avaliação, controle de acesso, balizamento, sinalização. A área restrita da instalação deve estar provida de meios adequados para o controle de acesso permitindo a pessoas devidamente autorizadas pela direção, o controle das fontes deve estar identificadas, sinalizadas e registradas em conformidade com os requisitos e normas específicas. Os trabalhadores devem possuir treinamentos e aptidões específicas para o exercício de suas funções, além de possuir conhecimento sobre os riscos associados à sua saúde.

4. CNEN - NN 3.01 (CNEN, 2014a) – “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”: Estabelece requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação a exposição a radiação ionizante, na qual a exposição normal dos indivíduos devem ser restritamente de modo que a dose efetiva e a dose equivalente nos órgãos ou tecido, causada pela possível combinação de exposições originadas de prática autorizadas excedam os limites de dose especificado na tabela a seguir para IOE - indivíduo ocupacionalmente exposto e indivíduo do público.

Grandezas	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv ^[b]	1 mSv ^[c]
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv ^[b] <small>(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)</small>	15 mSv
	Pele ^[d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

[a] Para fins de controle *administrativo* efetuado pela *CNEN*, o termo *dose* anual deve ser considerado como *dose* no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)

[c] Em circunstâncias especiais, a *CNEN* poderá autorizar um valor de *dose efetiva* de até 5 mSv em um ano, desde que a *dose efetiva* média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

6 METODOLOGIA

Foi realizado pela Divisão de Aplicações Industriais (DIAPI/CGMI/DRS/CNEN), o Workshop Nacional Sobre Prevenção de Acidentes em Gamagrafia Industrial, na sede da CNEN em Botafogo Rio de Janeiro. Esse evento ocorreu nos dias 27 e 28 de março de 2012, visando promover a intensificação da comunicação da CNEN com os Titulares e SPR, das instalações usuárias de fontes de Gamagrafia Industrial.

O objetivo do evento foi atualizar e disseminar conhecimentos sobre lições aprendidas em acidentes envolvendo fontes de Gamagrafia Industrial, bem como aperfeiçoar a cultura de segurança e proteção radiológica, de uma forma a prevenir acidentes envolvendo esta prática no país. Foram abordados seis (6) temas, sendo um dos principais: Acidentes de Gamagrafia Industrial ocorridos no Brasil no período de 2005 a 2011, e Principais acidentes ocorridos na América Latina no período de 1999 a 2011.

6.1 Análise e coleta de dados

No Workshop foi distribuído, pelo IRD/CNEN, um formulário com 22 recomendações (Figura 21) para 75 participantes. Foi solicitado que escolhessem somente 10 itens e destes classifica-los na importância de 1 a 10, sendo o um (1) o mais importante.

Para a análise dos dados foi utilizado o método estatístico de Distribuição de Frequências baseado em agrupar dados, de modo a fornecer a quantidade ou porcentagem dos dados organizados em grupos ou categorias, possibilitando assim uma classificação geral das 22 questões e das 10 questões mais votadas.

WORKSHOP NACIONAL SOBRE PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL			
CNEN 27-28/Março/2012			
<i>Levantamento de dados proposto pela Área de Indústria do IRD/CNEN</i>			
10 AÇÕES IMPORTANTES PARA O OPERADOR DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL EVITAR ACIDENTES RADIOLÓGICOS			
Participante:			e-mail:
#	Escolha somente 10	Classifique as escolhidas de 1 (a + importante) a 10	Ações importantes para o OPERADOR de gamagrafia industrial EVITAR acidentes radiológicos (em ordem alfabética)
1.			Avalie com antecedência o local da radiografia antes da realização do trabalho.
2.			Comunique ao Supervisor de Radioproteção as possíveis anormalidades na operação e nos equipamentos.
3.			Conecte corretamente dos engates do cabo de comando e do porta-fonte.
4.			Conheça muito bem como operar o tipo de irradiador a ser usado.
5.			Faça o teste com o gabarito “passa-não passa” no porta-fonte e no cabo de comando.
6.			Guarde o irradiador em um local adequado e seguro.
7.			Inspeção o veículo antes do transporte do irradiador com fonte radioativa.
8.			Inspeção os equipamentos de radiografia e acessórios para verificar as boas condições de uso.
9.			Mantenha a área de exposição isolada e sinalizada.
10.			Mantenha o irradiador sempre vigiado.
11.			Monitore a área depois de recolher a fonte radioativa ao final dos trabalhos.
12.			Monitore o irradiador, antes de iniciar os trabalhos, para verificar o nível de radiação inicial.
13.			Monitore sempre o irradiador e o tubo-guia após recolher a fonte radioativa.
14.			Nunca toque na fonte radioativa do porta-fonte de gamagrafia.
15.			Realize ações de emergência somente se tiver devidamente treinado, usando equipamentos específicos e sob supervisão.
16.			Trabalhe somente com uma equipe de radiografia completa e qualificada.
17.			Trabalhe somente se suas condições físicas e psicológicas estiverem dentro da normalidade.
18.			Trave sempre o irradiador após o final de cada exposição.
19.			Use sempre o monitor de radiação ao entrar na área isolada de radiografia.
20.			Use sempre um monitor individual com alarme durante todo o trabalho.
21.			Verifique o funcionamento correto dos monitores de radiação em uso.
22.			Verifique visualmente a posição da fonte radioativa no irradiador.
23.			
24.			
25.			

Figura 21: Formulário com as 22 recomendações (IRD/CNEN, 2012)

A análise foi realizada nas seguintes etapas:

- 1ª. Etapa: foram contabilizadas todas as 22 questões classificando-as para os 75 participantes e foram retiradas as 10 questões mais votadas.
- 2ª. Etapa: foi feita uma separação dos participantes em quatro categorias: Geral (75 participantes), SPR (29 participantes), Trabalhadores da área (25 participantes) e Outros (CNEN e não identificados 21 participantes), e foram contabilizadas as 22 questões de cada categoria de acordo com a quantidade de participantes, classificando as 10 mais votadas.
- 3ª Etapa: tomando por base as 10 recomendações mais votadas da categoria Geral, foi contabilizado o número de votos para cada uma em relação às três categorias (SPR, Trabalhadores da área e outros).

7 RESULTADOS

Os resultados a seguir, estão baseados de acordo com a metodologia usada para a contabilização do formulário com as 22 recomendações.

7.1 Classificação Geral

De acordo com 1ª etapa, na categoria Geral foi quantificado o resultado total dos 75 participantes das 22 questões, destacando-se com 8% dos votos a questão 20, conforme a figura 22.

Alguns participantes sugeriram questões para enriquecer o formulário totalizando assim para alguns 25 questões, tais como:

- a) Treinamento e aperfeiçoamento do pessoal;
- b) Não ter pressa, para a realização do procedimento;
- c) Criar curvas de segurança em toda a equipe, orientando em 1ª.lugar a segurança depois a produção;
- d) Fazer o planejamento do trabalho a ser realizado;
- e) Verificar se o último treinamento “reciclagem” está dentro da validade;
- f) Use sempre o dosímetro individual em local correto;
- g) Uso de blindagem adicional em locais, confinados onde o balizamento necessário não é possível;

- h) Comunicação adequada entre os membros da equipe e planejamento das ações;
- i) Disponha com antecedência de todos os itens necessários para o ensaio.

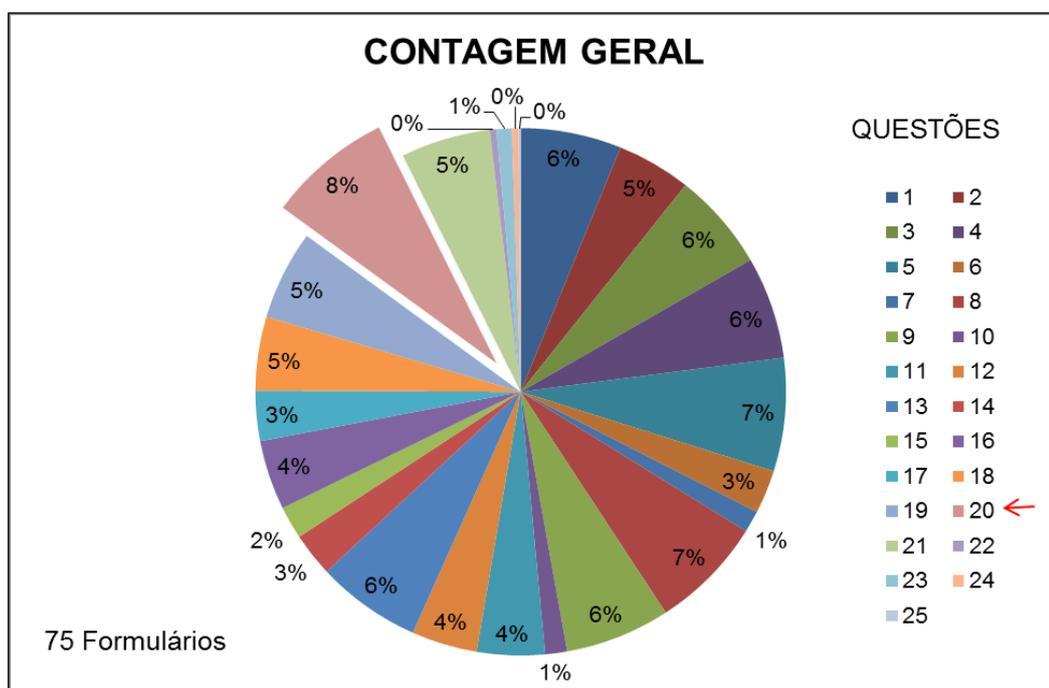


Figura 22: Resultado da categoria Geral (Elaborado pela autora)

Das 22 questões foram retiradas as 10 mais votadas, sendo que o 1ª lugar obteve 77%, totalizando 58 votos, de acordo com as figuras 23 e 24.

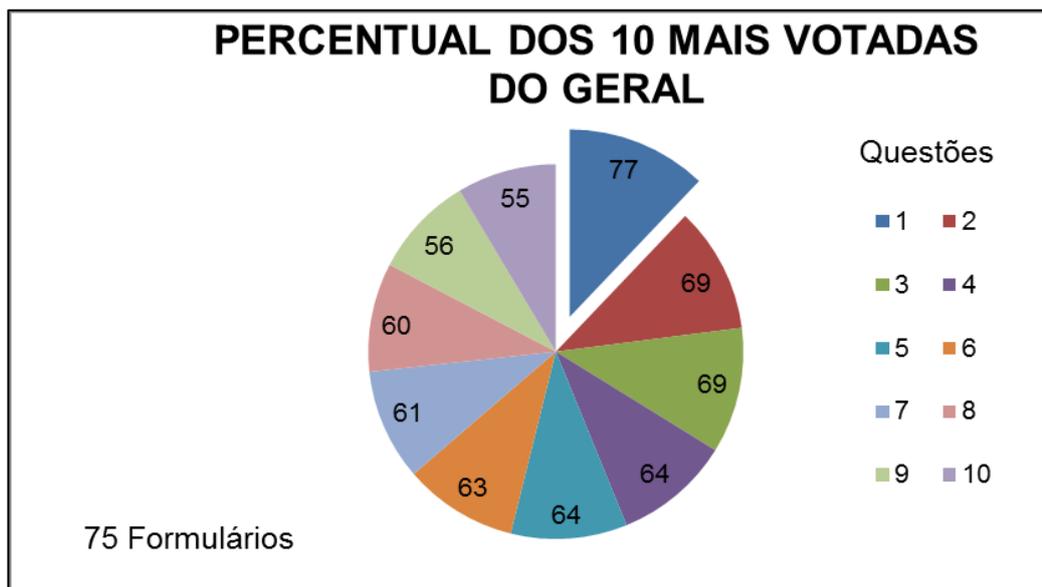


Figura 23: Percentual das mais votadas na categoria Geral (Elaborado pela autora)

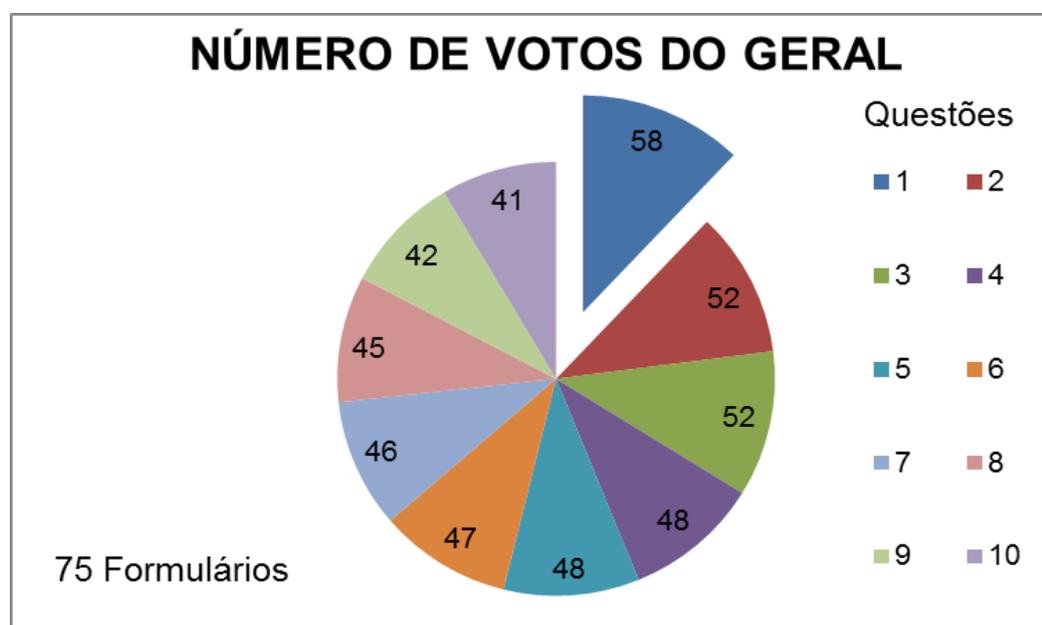


Figura 24: Quantidade do número de votos da categoria Geral (Elaborado pela autora)

E assim as 10 recomendações mais votadas na categoria Geral foram:

- 1ª. Use sempre um monitor individual com alarme durante todo o trabalho.
- 2ª. Inspeção os equipamentos de radiografia e acessórios para verificar as boas condições de uso.
- 3ª. Faça o teste do gabarito “passa-não passa” no porta-fonte e no cabo de comando.

- 4ª. Mantenha a área de exposição isolada e sinalizada.
- 5ª. Monitore sempre o irradiador e o tubo-guia após recolher a fonte.
- 6ª. Conheça muito bem como operar o tipo de irradiador a ser usado.
- 7ª. Avalie com antecedência o local da radiografia antes da realização do trabalho.
- 8ª. Conecte corretamente os engates do cabo de comando e do porta-fonte.
- 9ª. Use sempre o monitor de radiação ao entrar na área isolada de radiografia.
- 10ª. Verifique o funcionamento correto dos monitores de radiação em uso.

7.2 Classificação das Três Categorias (SPR, Trabalhadores da Área e Outros)

De acordo com a 2ª etapa, na categoria SPR foi quantificado o resultado das 22 questões, destacando-se com 10% a questão 20, como mostra a figura 25.

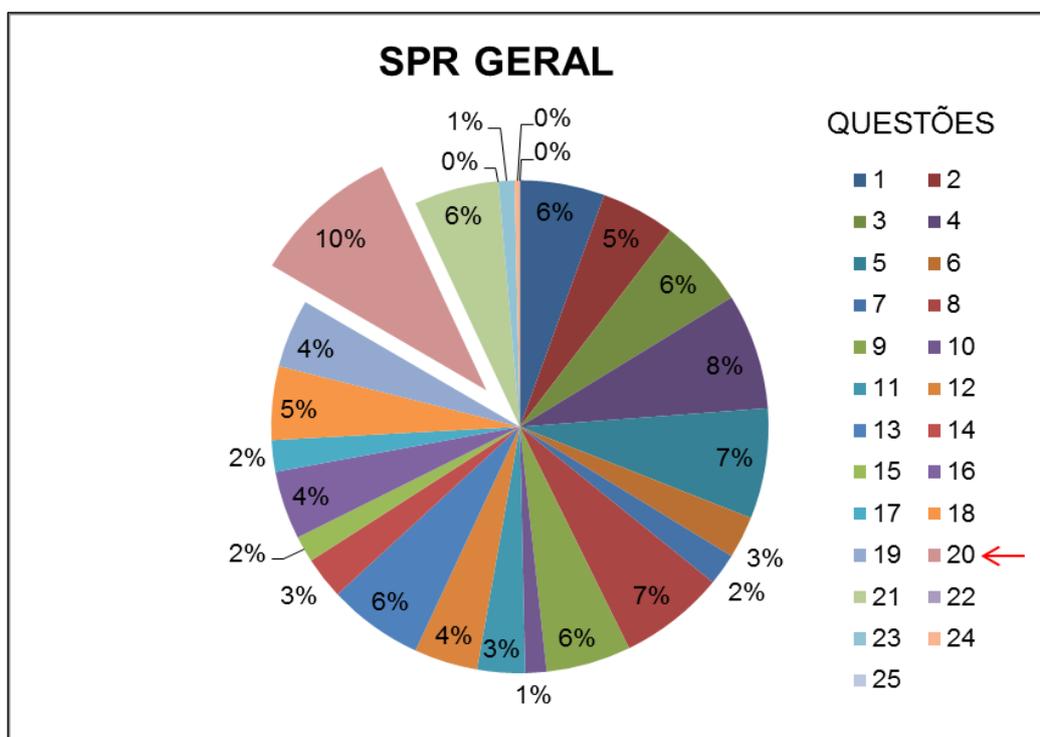


Figura 25: Resultado geral da categoria SPR (Elaborado pela autora)

Das 22 questões foram retiradas as 10 mais votadas, sendo que o 1ª lugar obteve 97%, totalizando 28 votos, como demonstram as figuras 26 e 27.

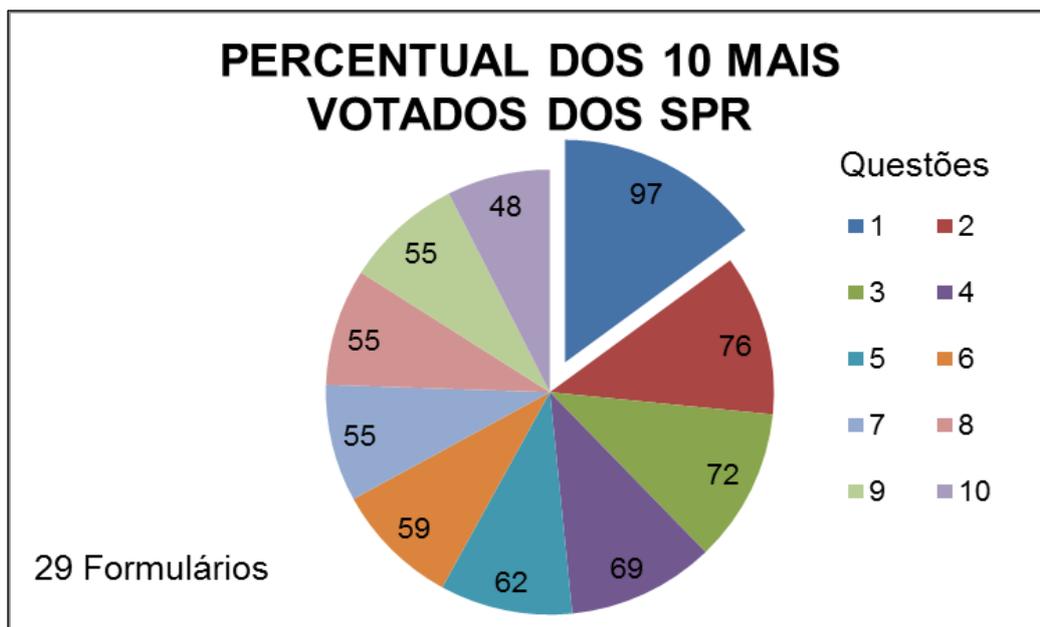


Figura 26: Percentual das mais votadas na categoria SPR (Elaborado pela autora)



Figura 27: Quantidade do número de votos da categoria SPR (Elaborado pela autora)

E assim as 10 recomendações mais votadas na categoria SPR foram:

- 1ª. Use sempre um monitor individual com alarme durante todo o trabalho.
- 2ª. Conheça muito bem como operar o tipo de irradiador a ser usado.
- 3ª. Faça o teste do gabarito “passa-não passa” no porta-fonte e no cabo de comando.

- 4ª. Inspecione os equipamentos de radiografia e acessórios para verificar as boas condições de uso.
- 5ª. Monitore sempre o irradiador e o tubo-guia após recolher a fonte.
- 6ª. Conecte corretamente os engates do cabo de comando e do porta-fonte.
- 7ª. Avalie com antecedência o local da radiografia antes da realização do trabalho.
- 8ª. Mantenha o irradiador sempre vigiado.
- 9ª. Verifique o funcionamento correto dos monitores de radiação em uso.
- 10ª. Comunique ao Supervisor de Radioproteção as possíveis anormalidades na operação e nos equipamentos.

Na categoria dos Trabalhadores da área, foi quantificado o resultado das 22 questões, destacando-se com 8% as questões 1 e 8, conforme a figura 28.

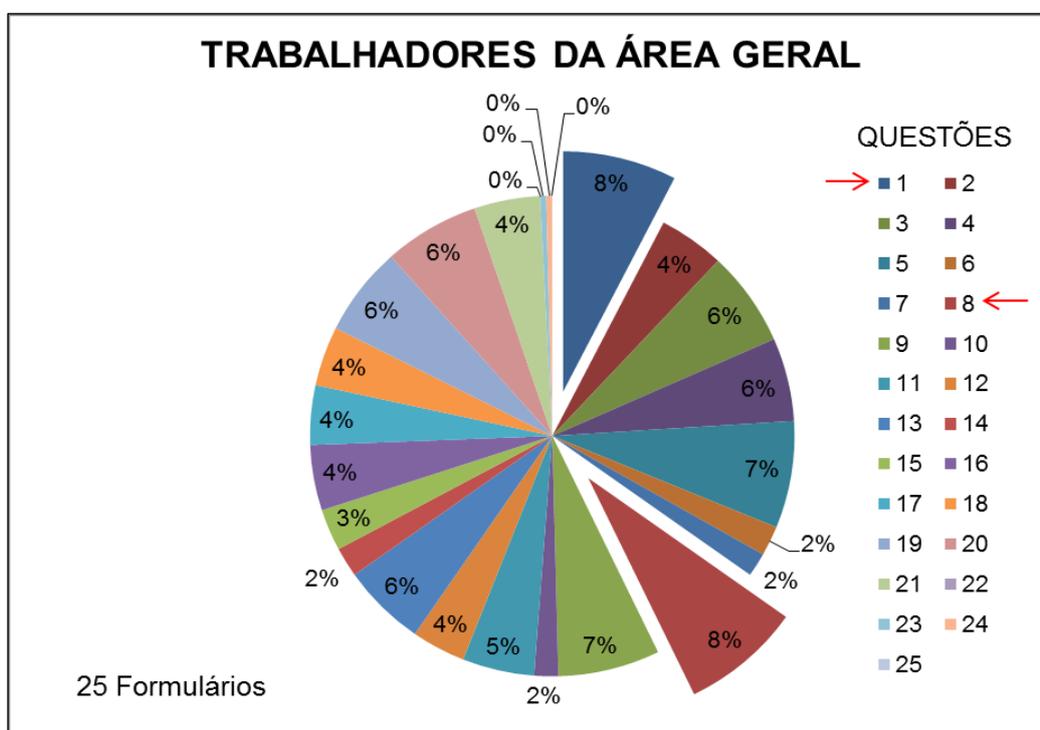


Figura 28: Resultado geral da categoria Trabalhadores da área (Elaborado pela autora)

Das 22 questões foram retiradas as 10 mais votadas, sendo que o 1ª lugar obteve 80%, totalizando 20 votos, como mostram as figuras 29 e 30.

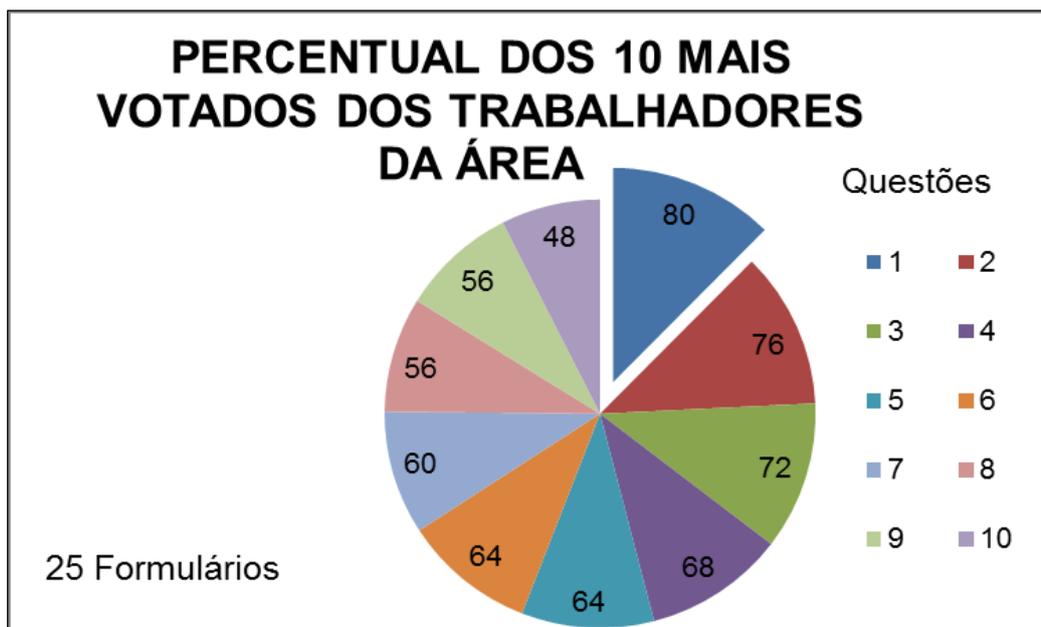


Figura 29: Percentual das mais votadas na categoria Trabalhadores da área (Elaborado pela autora)



Figura 30: Quantidade do número de votos da categoria Trabalhadores da área (Elaborado pela autora)

E assim as 10 mais votadas na categoria dos Trabalhadores da área foram:

- 1ª. Inspecione os equipamentos de radiografia e acessórios para verificar as boas condições de uso.

- 2ª. Avalie com antecedência o local da radiografia antes da realização do trabalho.
- 3ª. Faça o teste com o gabarito “passa-não passa” no porta-fonte e no cabo de comando.
- 4ª. Mantenha a área de exposição isolada e sinalizada.
- 5ª. Use sempre um monitor individual com alarme durante todo o trabalho.
- 6ª. Conecte corretamente os engates do cabo de comando e do porta-fonte.
- 7ª. Use sempre o monitor de radiação ao entrar na área isolada de radiografia.
- 8ª. Conheça muito bem como operar o tipo de irradiador a ser usado.
- 9ª. Monitore sempre o irradiador e o tubo-guia após recolher a fonte radioativa.
- 10ª. Monitore a área depois de recolher a fonte radioativa ao final dos trabalhos.

Na categoria Outros foram quantificados o resultado total das 22 questões, destacando-se com 7% a questão 21, como demonstra a figura 31.

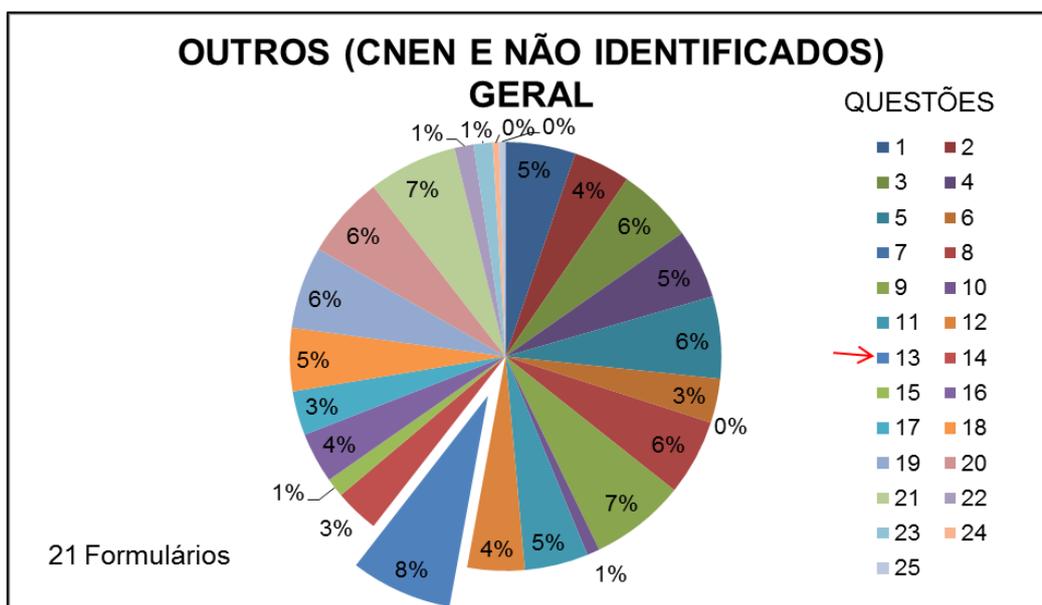


Figura 31: Resultado geral da categoria Outros (Elaborado pela autora)

Das 22 questões foram retiradas as 10 mais votadas, sendo que o 1ª lugar obteve 76%, totalizando 16 votos, conforme as figuras 32 e 33.

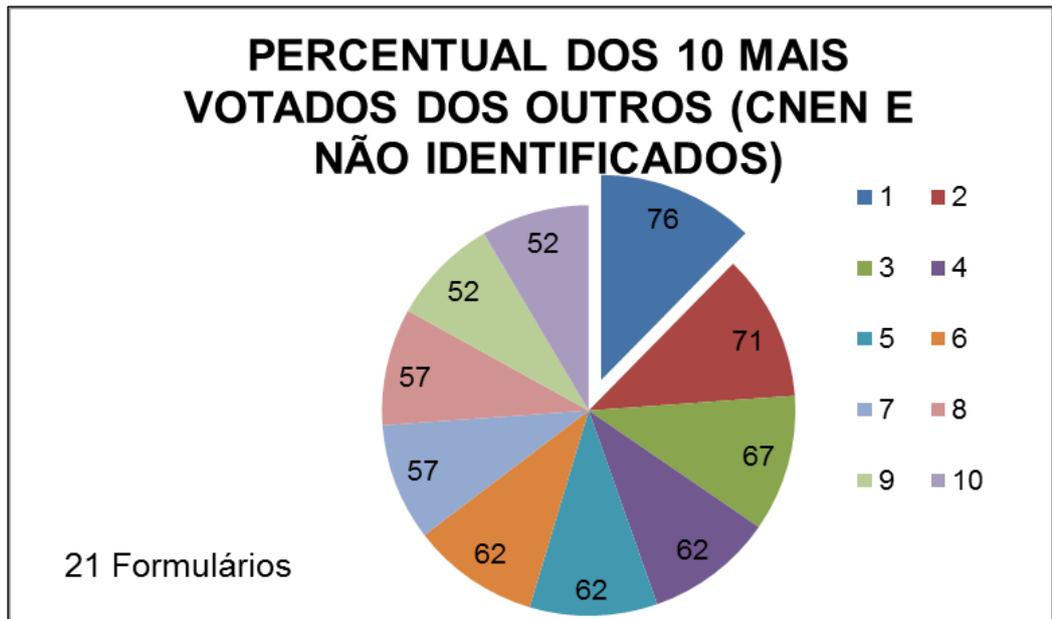


Figura 32: Percentual das mais votadas na categoria Outros (Elaborado pela autora)



Figura 33: Quantidade do número de votos da categoria Outros (Elaborado pela autora)

E assim as 10 mais votadas na categoria Outros foram:

- 1ª. Monitore sempre o irradiador e o tubo-guia após recolher a fonte radioativa.
- 2ª. Mantenha a área de exposição isolada e sinalizada.
- 3ª. Verifique o funcionamento correto dos monitores de radiação em uso.
- 4ª. Faça o teste com o gabarito “passa-não passa” no porta-fonte e no cabo de comando.

- 5ª. Use sempre o monitor de radiação ao entrar na área isolada de radiografia.
- 6ª. Use sempre um monitor individual com alarme durante todo o trabalho.
- 7ª. Conecte corretamente os engates do cabo de comando e do porta-fonte.
- 8ª. Inspeção os equipamentos de radiografia e acessórios para verificar as boas condições de uso.
- 9ª. Avalie com antecedência o local da radiografia antes da realização do trabalho.
- 10ª. Conheça muito bem como operar o tipo de irradiador a ser usado.

7.3 Contabilização dos Votos

De acordo com a 3ª etapa, foram contabilizados os números de votos para cada uma das 10 recomendações tomadas por base da categoria Geral, com relação às três categorias, como demonstra a figura 34.

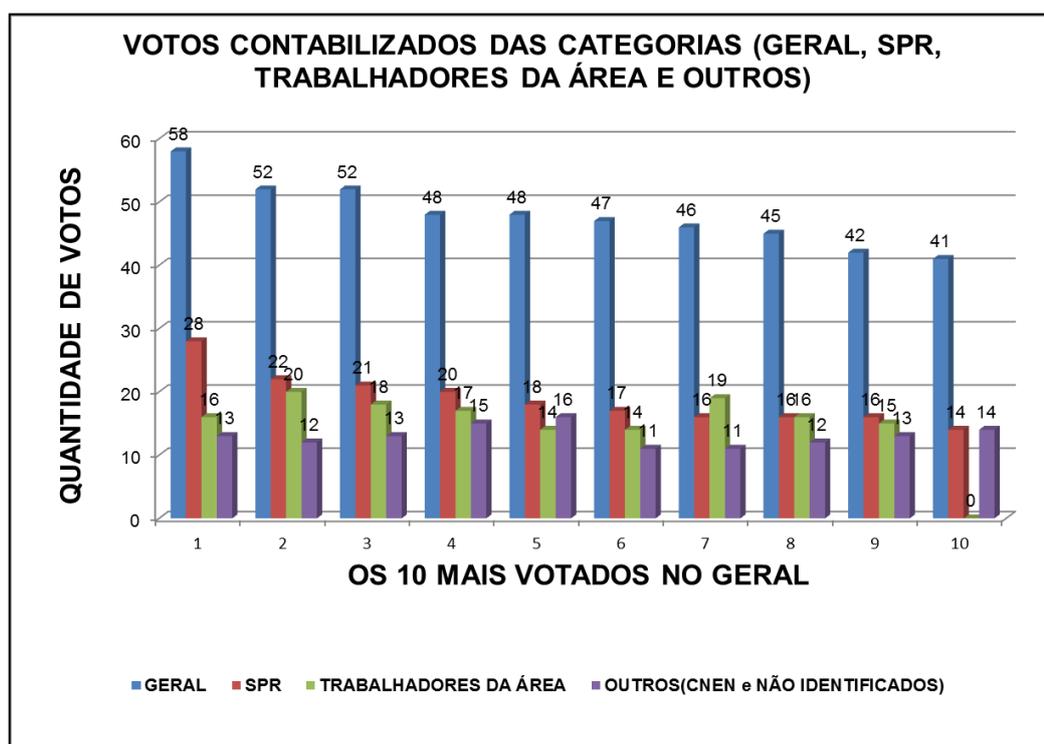
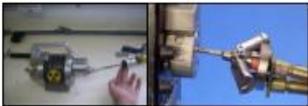


Figura 34: Contabilização dos votos (Elaborado pela autora)

7.3 Elaboração do Folheto

Foi elaborado um folheto (Figura 35) para mostrar as 10 recomendações mais importantes para serem distribuídos para trabalhadores da área de gamagrafia

industrial, empresas, SPR, a fim de prevenir acidentes radiológicos, as fotos escolhidas representam somente uma ilustração das recomendações para o entendimento de como proceder, nas aplicações de gamagrafia industrial.

<p align="center">As 10 Recomendações mais Importantes para Prevenção de Acidentes Radiológicos em Gamagrafia Industrial</p>	
<p>1. Use sempre o monitor individual com alarme durante todo o trabalho.</p> 	<p>2. Inspeção os equipamentos de radiografia e acessórios para verificar as boas condições de uso.</p> 
<p>3. Faça o teste com o gabarito "passa-não passa" no porta-fonte e cabo de comando</p> 	<p>4. Mantenha a área de exposição isolada e sinalizada.</p> 
<p>5. Monitore sempre o irradiador e o tubo-guia após recolher a fonte radioativa.</p> 	<p>6. Conheça muito bem como operar o tipo de irradiador a ser usado</p> 
<p>7. Avalie com antecedência o local da radiografia antes da realização do trabalho.</p> 	<p>8. Conecte corretamente o engate do cabo de comando e do porta-fonte.</p> 
<p>9. Use sempre o monitor de radiação na área isolada ao entrar na área isolada de radiografia</p> 	<p>10. Verifique o funcionamento correto dos monitores de radiação em uso</p> 

 WORKSHOP NACIONAL SOBRE PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL
DIAPI/DRS/CNEN

Curso Pós Graduação Lato Sensu em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas IRD/AIEA
Luana Silva de Souza; Francisco Cesar Augusto Da Silva



Figura 35: Folheto com as 10 recomendações (Elaborado pela autora)

8 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi estabelecer as 10 recomendações mais importantes para uso na aplicação de gamagrafia industrial, a fim de prevenir acidentes radiológicos, levando em consideração a segurança do trabalhador e também expandir os conhecimentos quanto à importância de como proceder corretamente em tal aplicação.

Conclui-se que:

1. O método estatístico “Distribuição de Frequência”, escolhido mostrou-se adequado quanto aos resultados obtidos.
2. Os 10 recomendações mais votados na categoria Geral, são as mesmas das outras três categorias (SPR, Trabalhadores da área e outros), porém ordenado diferente no seu grau de importância de um (1) a dez (10).
3. Houve uma coincidência na classificação das recomendações que obtiveram o 1º., 3º., 5º. e 7º. lugar tanto para as categorias Geral e SPR. A coincidência entre as categorias Geral e a do Trabalhadores da área foi somente no 3ª e 10ª lugar.
4. As 10 Recomendações mais Importantes para Prevenção de Acidentes Radiológicos em Gamagrafia Industrial foram às da categoria Geral, mostrada a seguir:
 - 1ª. *Use sempre um monitor individual com alarme durante todo o trabalho.*
 - 2ª. *Inspecione os equipamentos de radiografia e acessórios para verificar as boas condições de uso.*
 - 3ª. *Faça o teste do gabarito “passa-não passa” no porta-fonte e no cabo de comando.*
 - 4ª. *Mantenha a área de exposição isolada e sinalizada.*
 - 5ª. *Monitore sempre o irradiador e o tubo-guia após recolher a fonte.*
 - 6ª. *Conheça muito bem como operar o tipo de irradiador a ser usado.*
 - 7ª. *Avalie com antecedência o local da radiografia antes da realização do trabalho.*
 - 8ª. *Conecte corretamente os engates do cabo de comando e do porta-fonte.*
 - 9ª. *Use sempre o monitor de radiação ao entrar na área isolada de radiografia.*
 - 10ª. *Verifique o funcionamento correto dos monitores de radiação em uso.*

5. O folheto, com as 10 recomendações mais importantes, mostra-se útil e de fácil compreensão para a disseminação e treinamento de profissionais da área de forma a prevenir acidentes radiológicos em gamagrafia industrial.

9 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos com as 10 recomendações estabelecidas e a confecção do folheto presumem-se maximizar as respostas adquiridas recomendando-se:

1. Aperfeiçoar e distribuir o folheto com as 10 recomendações mais importantes, para profissionais da área, empresas que atendem a prática de Gamagrafia Industrial, SPR.
2. Produzir a tradução do folheto para outros idiomas (inglês, espanhol e outras) e encaminhar para os países, para melhor atender a necessidade de uso de equipamentos de proteção radiológica importantes na prática.
3. Inserir nas redes da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).
4. Elaborar vídeos curtos que ilustrem a aplicação das 10 recomendações mais importantes.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREUCCI, Ricardo. **Aspectos Industriais de Proteção Radiológica. ABENDI - Associação Brasileira de Ensaaios não Destrutivo.** São Paulo, 2010.

ANDREUCCI, Ricardo. **Aspectos Industriais de Proteção Radiológica. ABENDI - Associação Brasileira de Ensaaios não Destrutivos.** São Paulo, 2013.

AQUINO, Josilto Oliveira. **Avaliações das Condições de Segurança Radiológica de Irradiadores Portáteis Panorâmicos de Gamagrafia Industrial utilizados no Brasil** . Dissertação (Mestrado em Radioproteção e Dosimetria) - Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, NBR 8670. **Equipamento de Radiografia Gama – Especificação**, Rio de Janeiro, Brasil, 1984.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN. **Serviços de Radioproteção, CNEN-NE-3.02**, Rio de Janeiro, Brasil, agosto de 1988.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN. **Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para serviços de Radiografia Industrial, CNEN-NN-6.04**, Rio de Janeiro, Brasil, março de 2013.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, CNEN-NN- 3.01**, Rio de Janeiro, Brasil, março de 2014(a).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN. **Licenciamento de Instalações Radiativas, CNEN-NN- 6.02**, Rio de Janeiro, Brasil, abril de 2014(b).

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN. (s.d.). **Profissionais Credenciados**. Disponível em <http://www.cnen.gov.br>. Acesso em 30/08/2015.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN (s.d.). **Normas Técnicas**. Disponível em <http://www.cnen.gov.br/normas-tecnicas>. Acesso em 06/10/2015

IAEA (International Atomic Energy Agency). **The Radiological Accident in Yanango**. Publication, Vienna, Austria, 2000

IAEA (International Atomic Energy Agency). **Categorization of Radioactive Sources**. Safety Standards Series No. RS-G-1.9, Vienna, Austria, 2005.

IAEA (International Atomic Energy Agency). **The Radiological Accident in Nueva Aldea**. Publication, Vienna, Austria, 2009.

ISO (International Organization for Standardization), **“Apparatus for industrial gammaradiography.”** Part 1: Specifications for performance, design and tests”. International Standard ISO 3999-1, Switzerland

MUSSICA, Ricardo Pedro. **Avaliação Quantitativa da Proteção Radiológica em Instalação de Gamagrafia Industrial Através de Inspeção Regulatória.** Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Rio De Janeiro, Brasil, 2014.

DA SILVA, Francisco Cesar Augusto. **Uma Metodologia de Análise de Acidentes Radiológico em Gamagrafia Industrial.** Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1990.

SOUZA, Erica Fernanda de. **Avaliação Radiológica de Irradiadores de Gamagrafia Industrial.** Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Rio de Janeiro, 2012

VIEIRA, Sonia. **Introdução à Bioestatística.** 3 ed.revista e 3 ed ampliada. Rio de Janeiro, Elsevier, 1980.