Ricardo Pedro Mussica

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM INSTALAÇÃO DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL ATRAVÉS DE INSPEÇÃO REGULATÓRIA

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

2014

539.77
M989a

Mussica, Ricardo Pedro
Avaliação quantitativa da proteção radiológica em instalação de gamagrafia industrial através de inspeção regulatória / Ricardo Pedro Mussica – Rio de Janeiro: IRD, 2014.

XI, 48 f.: 14 il.; 8 tab.; 29cm.

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. 2014.

Referências bibliográficas: f. 47- 48

1. Proteção Radiológica. 2. Gamagrafia Industrial. 3. Autoridade reguladora. 4. Inspeção Regulatória. I. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. II. Título.

Ricardo Pedro Mussica

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM INSTALAÇÃO DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL ATRAVÉS DE INSPEÇÃO REGULATÓRIA.

Rio de Janeiro, Outubro de 2014.

_____

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

_____

Dr. Marcello Santo Nicola – CGMI/CNEN

_____

Dr. João Carlos Leocádio – 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.

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar. Sem a presença, força e inspiração divinas, cada parágrafo, cada linha, cada palavra deste trabalho não teriam sentido.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Augusto Cesar Da Silva, pela paciência e incansável dedicação em orientar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Almir Faria Clain, Coordenador do Curso Lato Sensu pelo convívio, apoio, compreensão e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Aucyone Augusto Da Silva, Chefe do Serviço de Ensino, pelo apoio e incentivo para terminar este curso.

À minha mãe, Filomena Carlos Mate, que tanto zelo, amizade, carinho e amor me dedicou por toda a vida. A lembrança de sua presença querida, eterna e afetuosa em cada segundo, mais do que qualquer outra coisa, foram os alicerces para que eu pudesse concluir o curso e desenvolver este trabalho. É a você, mãe iluminada, que eu dedico este trabalho e agradeço por tudo.

Ao Diretor do Departamento de Fiscalização da Agência Nacional de Energia Atômica, Prof. Dr. Manuel Luís Chenene, ao Exmo. Sr. Diretor da Agência Nacional de Energia Atômica, Prof. Dr. Carlos Machili, pela confiança em minha capacidade profissional e autorização para a realização deste curso.

Aos meus colegas do Departamento de Fiscalização da Agência Nacional de Energia Atômica, pelo estímulo profissional, incentivo na carreira e igual confiança.

Finalmente, a todos os colegas, professores, pesquisadores e funcionários do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, em especial à Coordenação do Curso de Pós-Graduação Lato-Sensu, que de forma dedicada e vibrante, nos brindaram durante 6 meses com a enorme experiência prática e grande variedade de conhecimentos teóricos na área da proteção e segurança de fontes radioativas.

RESUMO

A gamagrafia industrial é uma das atividades industriais consideradas de alto risco, sendo classificada pela AIEA como Categoria 2, dentre cinco classes, devido à grande probabilidade de ocorrência de acidentes radiológicos e o envolvimento de fontes radioativas de altas atividades. Devido às características tão especiais, a gamagrafia industrial é responsável por muitos acidentes já registrados pela AIEA. Por tal motivo, a segurança e proteção radiológica, em radiografia industrial, vêm recebendo cada vez mais atenção por parte dos órgãos reguladores.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para avaliar quantitativamente a proteção radiológica em instalação de gamagrafia industrial quando da realização de inspeção regulatória. A avaliação quantitativa da proteção radiológica, após a realização de uma inspeção regulatória em instalação de gamagrafia industrial, é um recurso para verificar o desempenho e, principalmente, quantificar o nível da proteção radiológica baseada nas não conformidades encontradas.

A metodologia usada para a quantificação foi pautada basicamente em dois aspectos: a análise de casos de acidentes radiológicos e a classificação de coerção publicada pela AIEA. A avaliação quantitativa da proteção radiológica em instalação de gamagrafia industrial, usando as não conformidades encontradas em inspeção regulatória, pode se tornar uma ferramenta de grande auxílio no processo de licenciamento executado pela Autoridade Reguladora.

Palavras-chave: Gamagrafia industrial, Avaliação quantitativa da proteção radiológica, Inspeção regulatória, Autoridade Reguladora, AIEA.

ABSTRACT

Industrial gammagraphy is one of the industrial activities deemed as high risk, and is classified by the IAEA as Category 2, among five classes, due to the high probability of occurrence of radiological accidents and the involvement of high activity radioactive sources. Due to special characteristics as the industrial gammagraphy is responsible for many accidents ever recorded by the IAEA. Therefore, the safety and radiation protection in industrial radiography, have been receiving increasing attention from regulators. This work aims to develop a methodology to evaluate quantitatively the radiation protection in the installation of industrial gammagraphy when conducting regulatory inspection.

The quantitative evaluation of radiation protection, after conducting a regulatory inspection in the installation of industrial gammagraphy, is a resource to verify the performance and especially to quantify the level of radiological protection based on the non-conformities encountered. The methodology used for the quantification was based mainly on two aspects: the analysis of cases of radiation accidents and the classification of coercion published by the IAEA.

The quantitative evaluation of radiological protection in the installation of industrial gammagraphy, using non-conformities found in regulatory inspection, can become a tool of great assistance in the licensing process run by the Regulatory Authority.

Keywords: Industrial gammagraphy, Quantitative evaluation of radiological protection, Regulatory inspection, Regulatory Authority IAEA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Objetivo 3

1.2 Justificativa 3

2. RADIOGRAFIA INDUSTRIAL 3

2.1 Equipamentos de Raios X 4

2.2 Gamagrafia Industrial 5

2.2.1 Princípio Físico 5

2.2.2 Equipamentos utilizados em gamagrafia industrial 6

2.2.2.1 Fontes radioativas para gamagrafia 7

2.2.2.2 Tipos de irradiadores de gamagrafia industrial 9

2.2.2.3 Mobilidade do irradiador 11

2.2.2.4 Equipamentos de gamagrafia da categoria II e classe P 12

2.2.2.4.1 Irradiador 12

2.2.2.4.2 Dispositivos para a movimentação da fonte 13

2.2.2.5 Princípio de operação dos equipamentos de gamagrafia industrial da categoria II, classe P – panorâmicos portáteis 14

2.2.3 Segurança de irradiadores da categoria II, classe P 15

2.2.3.1 Segurança dos telecomandos 18

2.2.3.2 Segurança e proteção radiológicas 18

2.2.4 Irradiadores de cobalto e selênio para gamagrafia industrial 18

2.2.5 Categorização de fontes 21

3 RECOMENDAÇÕES E REGULAMENTOS TÉCNICOS DA AIEA 22

3.1 Recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica 22

3.2 Regulamentos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) 23

3.2.1 Norma CNEN-NN-3.01: Março/2014 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica... 23

3.2.2 Norma CNEN NN 6.02: Abril/2014 - Licenciamento de Instalações Radiativas..... 25

3.2.3 Norma CNEN NE 3.02: Agosto/1988 – Serviços de Radioproteção 26

3.2.4 NORMA CNEN-NN – 6.04: Março/2013 - Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial..... 27

3.2.5 NORMA CNEN-NN-7.01: Março/2013 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica 30

3.2.6 Norma CNEN NE 5.01: Agosto/1988 - Transporte de Material Radioativo..... 31

4 AUTORIDADE REGULADORA..... 32

4.1 Atribuições da autoridade reguladora..... 32

4.2 Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)-Brasil..... 32

4.3 Agência Nacional de Energia Atómica (ANEA) - Moçambique..... 33

4.3.1 Departamentos da ANEA e suas competências 34

5 INSPEÇÃO REGULATÓRIA..... 34

5.1 Objetivos da inspeção..... 35

5.2 Tipos de inspeções..... 35

5.3 Programa de inspeção 36

5.4 Planejamento da inspeção..... 36

5.5 Execução da inspeção regulatória 36

5.5.1 Reunião de abertura 37

5.5.2 Coleta de evidências objetivas 37

5.5.3 Reunião de encerramento 38

5.5.4 Relatório de inspeção 38

5.6 Inspeção de radioproteção 39

5.6.1 Verificação dos controles administrativos 39

5.6.2 Verificação de equipamentos de gamagrafia e instrumentação nuclear 39

5.6.3 Medidas de monitoração para a avaliação da segurança 40

6 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA 40

7 CONCLUSÕES 47

8 RECOMENDAÇÕES 48

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

ANEXO: FORMULÁRIO DE INSPEÇÃO EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL 51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gerador de raios X industrial. (GE ERESCO MF4).....5

Figura 2 - Princípio físico da gamagrafia industrial..... 6

Figura 3 – equipamento utilizado em gamagrafia industrial.....7

Figura 4 – Fonte radioativa encapsulada.....8

Figura 5 − Porta-fonte do tipo flexível.....8

Figura 6 − Porta-fonte do tipo articulado.....9

Figura 7 − Irradiadores da categoria I.....10

Figura 8 − Irradiadores da categoria II (panorâmicos).....11

Figura 9 − Partes de um irradiador da categoria II e classe P.....13

Figura 10 − Telecomando (obtida de catálogo do fabricante − Amersham Co.) 13

Figura 11 − Tubo-guia (obtida de catálogo do fabricante − Amersham Co.) 14

Figura 12 − Princípio de operação dos irradiadores da categoria II, classe P.....15

Figura 13 − Exemplo de placa metálica para alerta.....17

Figura 14 − Irradiador de ^{60}Co (Catálogo do fabricante − Dr. Sauerwein GMBH) 19

Figura 15 − Irradiador de ^{75}Se, modelo Gammamat SE, e respectivos novos dispositivos de segurança (de 1 a 5) 20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Radioisótopos mais utilizados em gamagrafia industrial (IAEA, 1999) 7

Tabela 2 – Categorização de fontes utilizadas nas práticas.....21

Tabela 3 – Limitação de dose individual.....24

Tabela 4 – Validade da autorização para operação e número mínimo de supervisores de proteção radiológica para cada grupo de instalações radiativas.....25

Tabela 5 – Requisitos de Capacidade Operacional.....39

Tabela 6 – Relação das classes e suas respectivas áreas de atuação.....30

Tabela 7 − Análise dos casos de acidentes radiológicos com os requisitos constantes no Formulário de Inspeção em Gamagrafia Industrial.....41

Tabela 8 − Relação entre as ações de coerção, os 25 itens importantes dos requisitos de não conformidades do relatório e o peso para a quantificação.....45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEA – Agência Nacional de Energia Atômica

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

END – Ensaios Não Destrutivos

IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica

ICRP - International Commission on Radiological Protection

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da CNEN

IRD - Instituto de Radioproteção e Dosimetria da CNEN

ISO - International Organization for Standardization

Co - cobalto

END - ensaio não destrutivo

Ir - irídio

KeV - kilo elétron-volt

Se - selênio

1. INTRODUÇÃO

Os Ensaios Não Destrutivos (END) são técnicas que investigam a integridade dos materiais sem destruí-los ou introduzir quaisquer alterações nas suas características, sendo indispensáveis para o controle da qualidade de produtos industriais. A radiografia industrial é uma técnica que utiliza radiação ionizante, sendo uma das mais utilizadas na realização dos END. As radiografias industriais podem ser realizadas em diversos locais, incluindo recintos blindados (bunkers) e locais de campo aberto, como áreas urbanas ou áreas remotas e desabitadas.

O fato de utilizar uma energia que apresenta um alto risco para a saúde, tanto dos profissionais, quanto das pessoas do público, merece um destaque especial quando a discussão envolve a segurança do homem. Desde a descoberta dos efeitos danosos da radiação, vários estudos já foram realizados e hoje em dia já se conhece os efeitos causados por altas doses de radiação em diversos órgãos do corpo humano, tornando possível o estabelecimento de limiares de doses, podendo assim evitar o surgimento dos efeitos determinísticos, que é resultado da morte celular do tecido afetado pela radiação.

Apesar dos diversos estudos sobre o tema, ainda não é possível quantificar os danos causados por exposições a baixas doses de radiação, que podem surgir ao longo dos anos através da mutação celular, sendo chamados de efeitos estocásticos. Os danos causados à saúde humana pela exposição a determinadas doses de radiação podem ser irreversíveis, os efeitos podem estar relacionados com a dose recebida em casos de efeitos determinísticos, ou pela probabilidade de ocorrência de efeitos estocásticos, que se tornam maiores com a quantidade de dose recebida (Oliveira, S.M, 2013).

Devido a esse fato, notou-se uma necessidade de regulação e controle no uso de fontes radioativas e a questão da radioproteção tem sido tema pra muitas discussões por parte de organizações nacionais e internacionais, sejam elas governamentais ou não. Estas preocupações possivelmente são reflexos dos acidentes radiológicos ocorridos em usinas nucleares, como em Chernobyl, e em empresas que trabalham com material radioativo, principalmente nas décadas de 80 e 90. O acervo de documentos e relatórios técnicos da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) discorre sobre este tema, recomendando práticas necessárias para minimizar os riscos de acidentes associados com o uso da radiação ionizante.

A radioproteção tem como finalidade fornecer condições seguras para atividades que envolvam radiações ionizantes, adotando medidas de prevenção e controle das exposições, cabendo aos profissionais terem pleno conhecimento do assunto e adotar medidas de radioproteção que sejam aplicáveis.

A radiografia industrial destaca-se pelo alto risco de ocorrência de acidentes radiológicos, sendo responsável por aproximadamente metade dos acidentes já registrados segundo a AIEA. Em consequência desse quadro, cuidados específicos relacionados à radioproteção devem ser tomados, sendo necessário desenvolver meios e implementar ações que contribuam para reduzir os erros humanos que levam a exposição à radiação ionizante, bem como minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes, garantindo que as práticas sejam efetuadas em totais condições de segurança.

Para o controle do uso das fontes radioativas, especificamente, em radiografia industrial, todos os países devem estabelecer uma Autoridade Reguladora com funções bem específicas, tomando como referência as recomendações da AIEA. Tanto no Brasil como em Moçambique já está estabelecido essa Autoridade Reguladora. No Brasil, a CNEN faz essa função reguladora e em Moçambique, a Agência Nacional de Energia Atômica (ANEA), criada por Decreto n^{o} 67/2009 do Conselho de Ministros de 11 de Dezembro da República de Moçambique, é o Órgão oficial do Governo responsável pela regulamentação do uso pacífico da Energia Atômica no País. Nesse contexto a Agência Nacional de Energia Atómica (ANEA) realiza inspeções em conformidade com o mandato que lhe é conferido nos termos da Lei no sentido de garantir o uso de radiação ionizante em conformidade com os requisitos de proteção e segurança radiológicas da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

As inspeções têm como objetivo verificar e avaliar as medidas adequadas de proteção e segurança dos trabalhadores, do público, de bens e do meio ambiente contra o perigo da exposição à radiação ionizante bem como a segurança relativamente às fontes radioativas. Uma forma de verificar o desempenho da instalação com relação à radioproteção, usando as inspeções regulatórias, é quantificar cada não-conformidade encontrada, realizando-se, então, o que se denominou de avaliação quantitativa da radioproteção.

1.1 Objetivo

Desenvolver uma metodologia para avaliar quantitativamente a proteção radiológica em instalação de gamagrafia industrial quando da realização de inspeção regulatória.

1.2 Justificativa

A inspeção regulatória é uma das principais funções de uma Autoridade Reguladora em um País. Abrange desde a análise de documentos necessários para o bom andamento das atividades da Instalação, a verificação dos equipamentos de operação até a realização de medidas de monitoração para avaliar a segurança na operação, armazenamento e transporte de material radioativo.

A gamagrafia industrial é uma das atividades industriais consideradas de alto risco, sendo classificada pela AIEA como Categoria 2, dentre cinco classes, devido à grande probabilidade de ocorrência de acidentes radiológicos e o envolvimento de fontes radioativas de altas atividades.

Geralmente a autoridade reguladora prioriza as inspeções regulatórias baseada na categorização de fontes radioativas da AIEA e, a gamagrafia industrial sempre tem merecido a devida atenção e prioridade. Ao final de uma inspeção regulatória sempre são relacionadas às não-conformidades encontradas para gerar as devidas coerções.

Uma avaliação da proteção radiológica deve ser sempre feita para se ter uma ideia do desempenho da instalação relacionada à segurança.

2. RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

A radiografia é um método usado para inspeção não destrutiva que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo inspecionada, podendo ser realizada por equipamentos geradores de radiação X ou irradiadores de gamagrafia com fontes radioativas. Devido às diferenças na densidade e variações na espessura do material, ou mesmo diferenças nas características de absorção causadas por variações na composição do material, diferentes regiões de uma peça absorverão quantidades diferentes da radiação penetrante. Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, ou medida por detectores

eletrônicos de radiação. Essa variação na quantidade de radiação absorvida, detectada através de um meio, irá nos indicar, entre outras coisas, a existência de uma falha interna ou defeito no material.

A radiografia industrial é então usada para detectar variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha, em outras palavras, a radiografia é um método capaz de detectar com boa sensibilidade defeitos volumétricos. Isto quer dizer que a capacidade do processo de detectar defeitos com pequenas espessuras em planos perpendiculares ao feixe, como trinca dependerá da técnica de ensaio realizado. Defeitos volumétricos como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções serão facilmente detectados desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.

2.1 Equipamentos de Raios X

Os equipamentos de raios X industriais tem o funcionamento a partir de tubos catódicos, os tamanhos das ampolas ou tubos são em função da tensão máxima de operação do aparelho. Dividem-se geralmente em dois componentes, o painel de controle e o cabeçote ou unidade geradora, separados por longos cabos que podem variar em média de 20 m a 30 m.

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

No cabeçote está alojada a ampola e os dispositivos de refrigeração, a conexão entre o painel de controle e o cabeçote se faz através de cabos especiais de alta tensão. Os ensaios realizados com aparelhos de raios X são comumente usados em peças finas ou ligas metálicas leves.

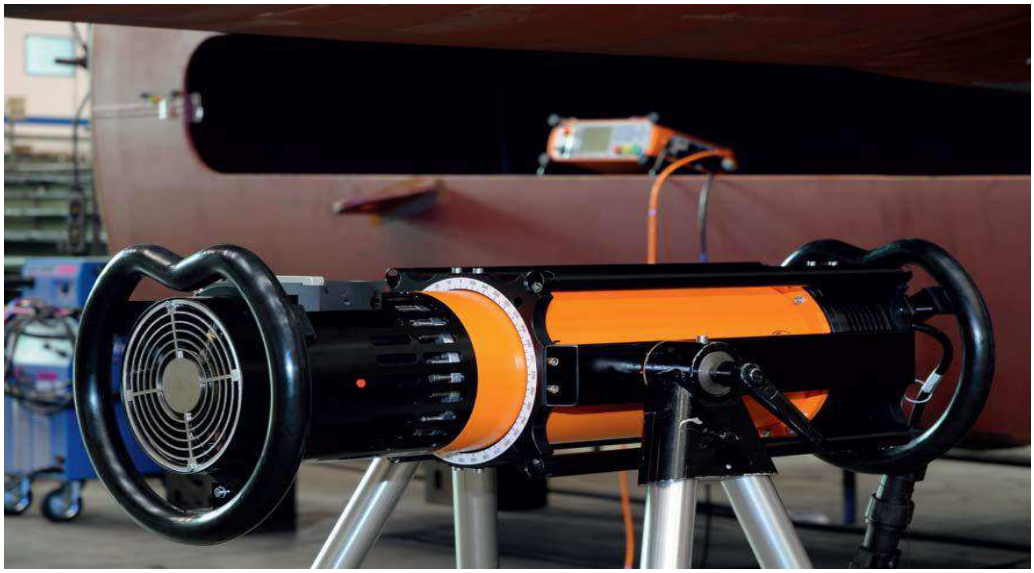


Figura 1 – Gerador de raios X industrial. (GE ERESCO MF4)

2.2 Gamagrafia Industrial

2.2.1 Princípio Físico

Dentre as aplicações de técnicas nucleares na indústria a gamagrafia é a mais difundida e consiste na obtenção de radiografias para o controle, não-destrutivo, da qualidade de soldas, materiais, peças e estruturas, na indústria naval, petrolífera e siderúrgica.

O estado interno do material é inspecionado, registrando-se em chapas fotográficas a intensidade de feixes de radiação gama atenuados diferentemente ao atravessar as suas várias seções, revelando poros, inclusões, trincas e quaisquer anormalidades.

O princípio físico baseia-se na lei que rege a atenuação da intensidade da radiação emitida por uma fonte, à medida que os raios atravessam uma substância. A radiação penetrante é gradualmente atenuada dependendo da espessura e densidade do material radiografado, escapando, finalmente, uma parte num feixe de intensidade não uniforme, conforme mostra a figura 2 (DA SILVA, 1990).

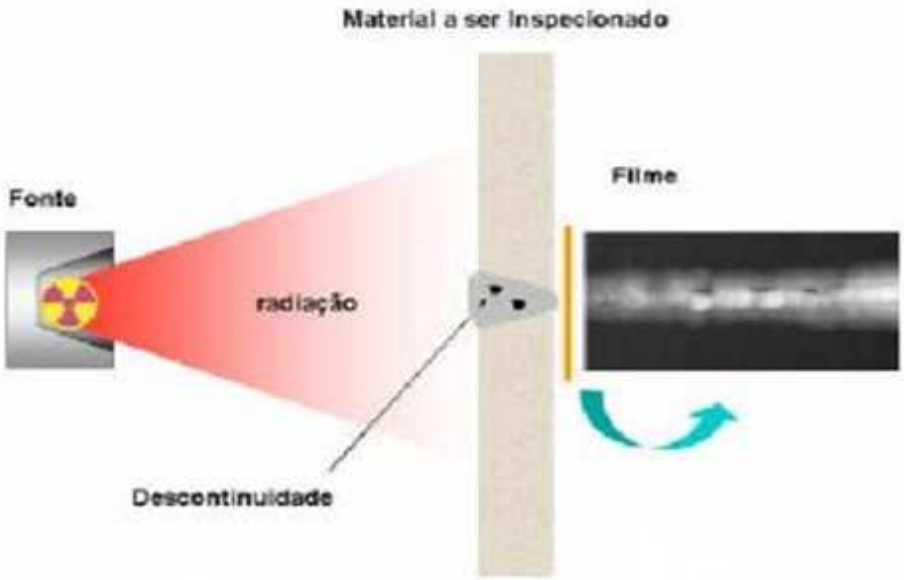


Figura 2 - Princípio físico da gamagrafia industrial.

2.2.2 Equipamentos utilizados em gamagrafia industrial

Para o manuseio de fontes radioativas, o sistema de gamagrafia, mostrado na figura 3 conta basicamente de um irradiador de aço, possuindo internamente uma blindagem de urânio exaurido, um tubo-guia flexível ou rígido e, controles mecânicos, que acionam cabos de aço para a movimentação da fonte a uma grande distância, a fim de que o operador não se exponha a altas doses de radiação. Assim, facilmente, a fonte pode ser exposta para a radiografia e, posteriormente, ser recolhida à blindagem durante o procedimento de trabalho.

Figura 3 – equipamento utilizado em gamagrafia industrial

2.2.2.1 Fontes radioativas para gamagrafia

Os requisitos mínimos aplicáveis às fontes de radiação gama para radiografia industrial estão descritos no padrão ISO 2919 (1990) e, satisfazem em geral aos requisitos referentes ao material radioativo sob forma especial (IAEA, 2000).

O radioisótopo mais utilizado em gamagrafia industrial no Brasil é o ^{192}Ir, o qual é produzido artificialmente em reatores nucleares, com nêutrons térmicos, a partir do isótopo natural de irídio. Embora o ^{192}Ir seja o mais utilizado em gamagrafia, podem também ser utilizados outros radioisótopos, segundo as características do material a ser radiografado, conforme mostra a tabela1.

Tabela 1 – Radioisótopos mais utilizados em gamagrafia industrial (IAEA, 1999)

Radioisótopos	Energia (keV)	Meia-Vida	Faixa adequada de espessura de aço, objeto de ensaio (mm)
^{60}Co	1173 e 1332	5,3 anos	50 - 150
^{137}Cs	662	30 anos	50 - 100
^{75}Se	120-970	120 dias	4 - 28
^{192}Ir	200-1400	74 dias	10 - 70
^{169}Yb	8-310	32 dias	2,5 - 15

Do ponto de vista de segurança radiológica, as fontes radioativas exigem um maior controle, bem como sob o ponto de vista da radioproteção. Tal ocorre porque a emissão de radiação gama não pode ser interrompida, tornando-se necessário acondicionar as fontes em dispositivos que blindem as radiações emitidas, denominados irradiadores de gamagrafia. Nestes, as fontes radioativas devem ser periodicamente substituídas, dependendo do valor da meia-vida, sendo geralmente utilizadas por duas ou três meias-vidas.

O material radioativo das fontes de raios gama, em sua maioria, encontra-se sob a forma metálica. É constituído de pequenos discos encapsulados ou *pellets*. No caso de ^{192}Ir, cada disco possui um diâmetro aproximado de 1 a 3mm. Tais discos são colocados em cápsulas de aço inoxidável e hermeticamente seladas. As fontes radioativas assim caracterizadas são ditas fontes seladas, cujo exemplo encontra-se ilustrado na figura 4.

Figura 4 – Fonte radioativa encapsulada.

A cápsula com a fonte radioativa, no caso de fontes de ^{192}Ir, é fixada na parte dianteira de um porta-fonte, flexível ou articulado, de aço inoxidável, conforme ilustra as figura 5. Na parte traseira, o porta-fonte possui um sistema de engate, o qual permite acoplar o cabo do telecomando. Possui ainda uma esfera de travamento – *stop ball* − no cabo flexível, com o objetivo de travar o porta-fonte na posição de segurança.

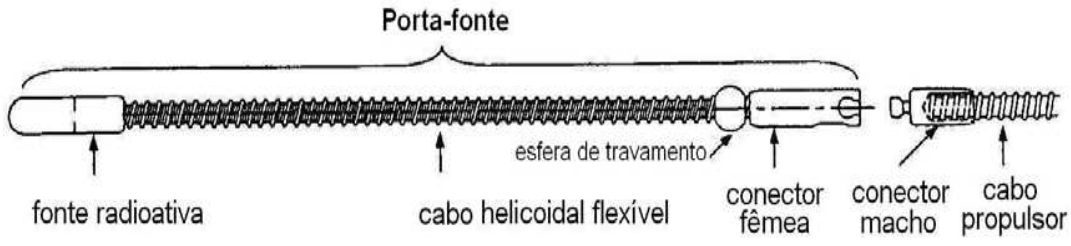


Figura 5 − Porta-fonte do tipo flexível.

Outro modelo de porta-fonte é o do tipo articulado, ilustrado na figura 6, também produzido em aço inoxidável. Tal modelo possui um estrangulamento, cujo objetivo é travar o porta-fonte na posição de segurança.

Figura 6 − Porta-fonte do tipo articulado.

De modo geral, os porta-fontes flexíveis provocam maior atrito e desgaste no canal interno dos irradiadores, caso estes apresentem formato em *U* ou *S*.

As cápsulas onde se encontram os discos de material radioativo são submetidas a diversos testes destrutivos, tais como ensaios de resistência à variação de temperatura e pressão externa, de impacto, de vibração e de queda livre (ISO 2919, 1990).

A fonte selada deve estar armazenada no interior do irradiador, o qual deve ser adequado para a fonte e para o porta-fonte, os quais devem ser compatíveis.

2.2.2.2 Tipos de irradiadores de gamagrafia industrial

Os irradiadores de gamagrafia são equipados com fontes de radiação adequadamente blindadas, as quais são expostas quando em uso, e cujas atividades são altas. Os irradiadores são classificados em duas categorias (ABNT-NBR 8670, 1994):

Categoria I − a esta categoria pertencem os irradiadores de exposição direcional, nos quais a fonte radioativa selada não é removida do interior do irradiador para exposição, e o feixe de radiação é liberado abrindo-se um obturador ou movendo-se a fonte dentro do próprio irradiador, conforme ilustrado na figura 7.

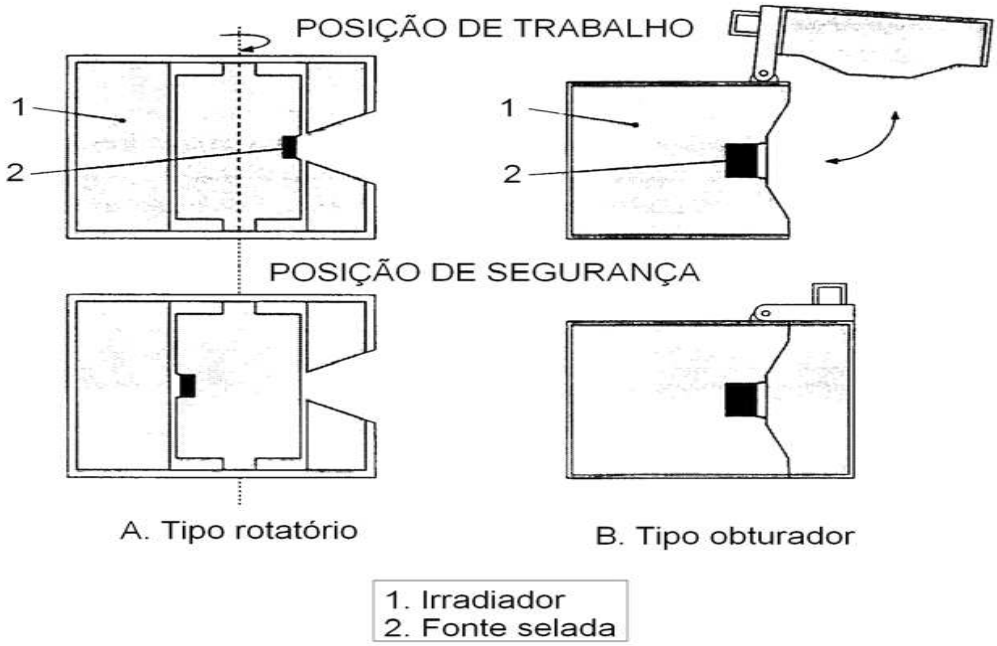


Figura 7 − Irradiadores da categoria I.

Categoria II − a esta categoria pertencem os irradiadores de exposição panorâmica, nos quais a fonte radioativa selada é movida da posição de blindagem para uma posição completamente externa ao irradiador, através do tubo-guia até o terminal de exposição, conforme ilustrado na figura 8.

Figura 8 − Irradiadores da categoria II (panorâmicos).

A primeira revisão da ISO 3999 (1997) introduziu uma nova categoria – a *Categoria X*, que não consta na norma NBR-8670. Nela enquadram-se os equipamentos tipo c*rawler* − os quais possuem um carrinho que se movimenta no interior de tubulações de grande comprimento, com o objetivo de obter radiografias panorâmicas das soldas de junção − e os irradiadores gama utilizados em radiografia submarina.

Posteriormente, a publicação ISO 3999 (2000) foi editada dividida em três partes: na parte 1, encontram-se as especificações para desempenho, projeto e testes para equipamentos de gamagrafia; na parte 2, os equipamentos tipo *crawler*; e na parte 3, os equipamentos para radiografia submarina.

2.2.2.3 Mobilidade do irradiador

Os irradiadores são classificados em três classes (ABNT, 1984):

Classe P − irradiador portátil, cuja massa não excede 25 kg − ou 50 kg, de acordo com a ISO 3999 (1977) − podendo ser transportado por um ou mais indivíduos;

Classe M − irradiador móvel, mas não portátil, podendo ser deslocado de um local a outro por meio de dispositivos próprios de movimentação;

Classe F − irradiador fixo, com mobilidade restrita a determinados limites de uma área controlada, tal como uma cabine blindada.

De acordo com todas as edições do padrão ISO 3999, e de acordo com a NBR-8670 (ABNT,1984), os irradiadores devem ser construídos de tal forma que, quando equipados com fonte selada e travados na condição de segurança, os valores máximos de taxa de dose na superfície do irradiador não excedam os limites pré-estabelecidos nas normas acima citadas.

2.2.2.4 Equipamentos de gamagrafia da categoria II e classe P

Os irradiadores de gamagrafia são classificados na categoria II (panorâmicos), classe P (portáteis), e que utilizam fontes de ^{192}Ir. Tais equipamentos são compostos basicamente por três componentes: o irradiador, o telecomando e o tubo-guia.

2.2.2.4.1 Irradiador

O irradiador é constituído internamente por urânio exaurido, o qual funciona como blindagem para a radiação ionizante, e envolto em uma caixa de aço inoxidável, cujo objetivo principal é protegê-lo contra choques mecânicos. Cada blindagem é dimensionada em função da energia emitida pelo radionuclídeo específico e da atividade inicial dele.

Os irradiadores possuem, no interior, um canal metálico em aço inoxidável, zircônio ou titânio. Tal canal pode ser do tipo reto, em formato de U ou S, ascendente ou descendente, no qual fica alojada a fonte radioativa. O canal interno é envolvido pela blindagem de urânio exaurido. Todo o conjunto é acondicionado na caixa de aço inoxidável.

Na maioria dos irradiadores, no espaço entre a blindagem de urânio exaurido e as paredes da caixa de aço, é introduzido poliuretano, para absorver e diminuir impactos sobre a blindagem de urânio, conforme ilustrado na figura 9.

Alguns irradiadores possuem uma haste fixada na tampa dianteira, cujo objetivo é manter a fonte na posição adequada de blindagem, dentro do canal do irradiador.

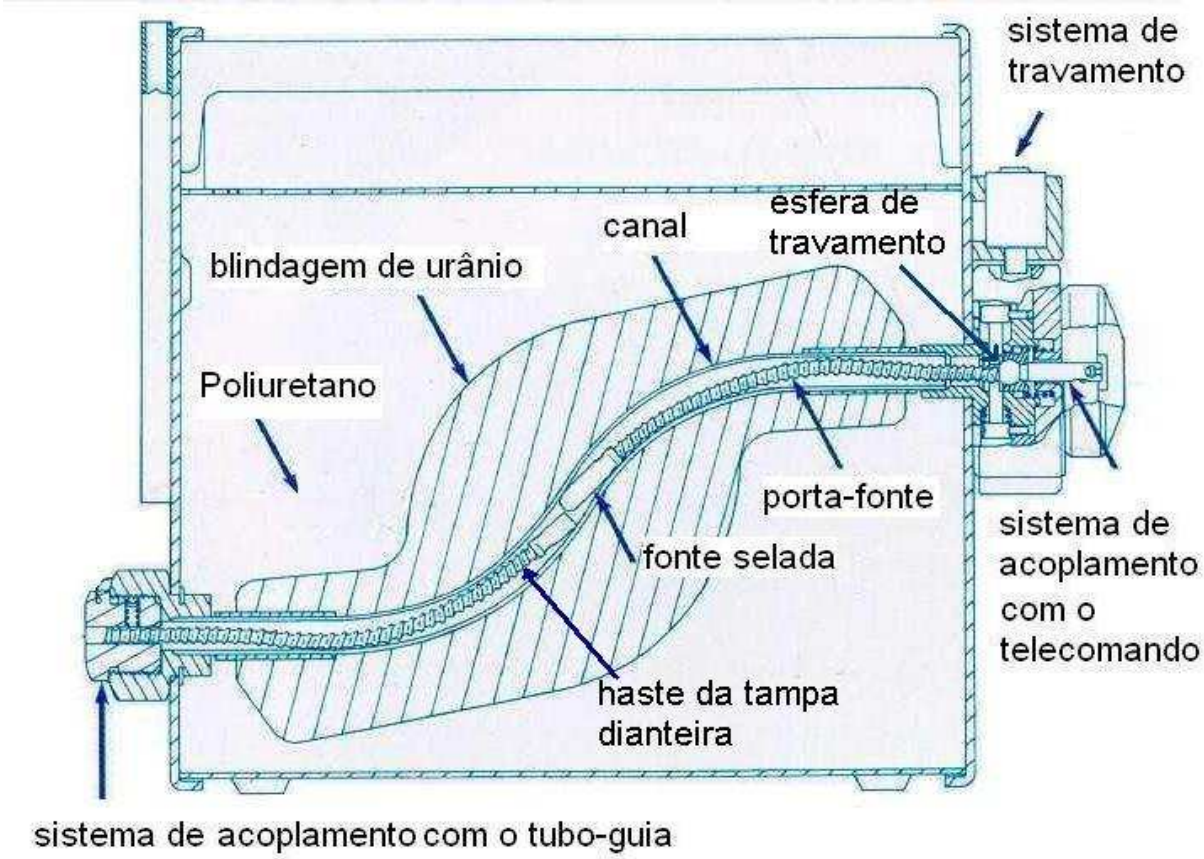


Figura 9 − Partes de um irradiador da categoria II e classe P

2.2.2.4.2 Dispositivos para a movimentação da fonte

Para a exposição e recolhimento da fonte, conecta-se um dispositivo mecânico - o telecomando, também denominado cabo de comando, ilustrado na figura 10.

Figura 10 − Telecomando (obtida de catálogo do fabricante − *Amersham Co.*).

O telecomando permite a exposição da fonte a uma distância segura, sem que os operadores se exponham ao feixe primário de radiação. O telecomando, conectado à porta-fonte na parte traseira do irradiador, é um sistema usado para deslocar a fonte radioativa da posição de blindagem, dentro do irradiador, até o ponto de exposição, e fazê-la retornar. Ele é composto por uma manivela, a qual aciona o cabo de aço conectado à porta-fonte. Externamente possui capa de borracha, para proteção.

O tubo-guia (ilustrado na figura 11) é um tubo flexível utilizado para guiar o porta-fonte da saída do irradiador até a posição de irradiação, fazendo a conexão entre o irradiador e o terminal de exposição. O terminal de exposição é o dispositivo que aloja a fonte selada na posição de irradiação. O tubo-guia flexível é composto internamente por um tubo flexível, o qual é envolto em tiras trançadas de aço inoxidável; externamente, possui uma capa de borracha.

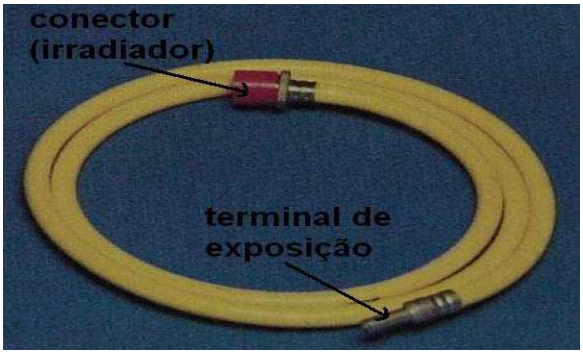


Figura 11 − Tubo-guia (obtida de catálogo do fabricante − *Amersham Co.*).

2.2.2.5 Princípio de operação dos equipamentos de gamagrafia industrial da categoria II, classe P − panorâmicos portáteis

A operação do equipamento de gamagrafia consiste na retirada da fonte radioativa da posição de blindagem, com o cabo de comando sendo impulsionado pelo giro da manivela, e conectado ao porta-fonte pela parte traseira do irradiador.

O porta-fonte percorre o tubo-guia, o qual é acoplado à parte dianteira do irradiador, até o ponto onde será feita a radiografia. A fonte radioativa fica exposta, sem blindagem, desde o momento em que sai do irradiador.

Ao término do tempo de exposição, a manivela é acionada em sentido contrário, fazendo com que o porta-fonte retorne à posição segura de blindagem, dentro do irradiador. Tal é ilustrado na figura 12.

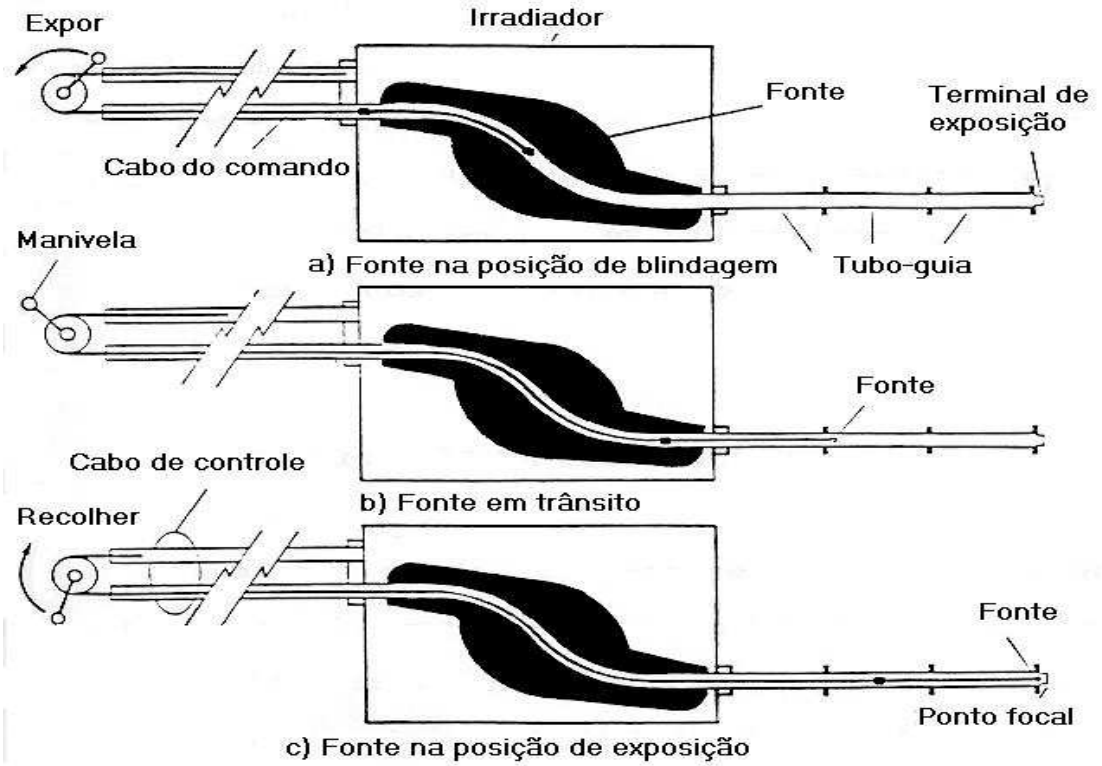


Figura 12 − Princípio de operação dos irradiadores da categoria II, classe P.

2.2.3 Segurança de irradiadores da categoria II, classe P

A norma brasileira NBR-8670 (ABNT, 1984) exige que todo irradiador possua um dispositivo de segurança − travamento − para reter o porta-fonte na posição de segurança. Externamente, a caixa de aço do irradiador deve conter uma alça na parte superior, para transporte. Deve conter também tampas nos dois sistemas de acoplamento, nas partes dianteira e traseira, para prevenir a entrada de materiais estranhos e evitar danos durante a armazenagem e transporte dos irradiadores.

Os requisitos a seguir são exigidos pela norma NBR-8670 (ABNT, 1984) quanto aos dispositivos de segurança dos irradiadores.

- Quanto ao travamento:

O irradiador deve ter uma fechadura com chave, e a liberação do feixe de radiação só deve ser possível após a operação manual de destravamento;

O travamento deve ser do tipo segurança, isto é, podendo ser fechado sem a chave, ou com uma fechadura da qual não se possa retirar a chave enquanto a fonte não estiver na posição de segurança;

O travamento deve reter a fonte selada na posição de segurança e, caso o mesmo seja danificado, não deve impedir que a fonte selada seja reconduzida à posição de segurança;

O mecanismo de travamento não pode ser retirado do irradiador, a não ser por meio de ferramentas especiais.

- Quanto aos indicadores de posição da fonte:

Os equipamentos de radiografia gama devem indicar claramente se a fonte selada está na posição de segurança ou na posição de irradiação. Caso sejam usadas cores, o verde deve indicar apenas que a fonte se encontra na posição de segurança; o vermelho, que a fonte não está na posição de segurança, porém tais cores não devem constituir o único meio de indicação;

O mecanismo de indicação deve ser tal que só indique a posição de segurança se a fonte estiver realmente naquela posição. Se ocorrer qualquer defeito ou falha no mecanismo de indicação, este deve indicar que a fonte não está na posição de segurança.

Os irradiadores passam por um rigoroso programa de controle de qualidade durante a fabricação deles, exigido por todas as edições dos padrões ISO 3999 e pela NBR-8670 (ABNT, 1984). Integram esse programa os seguintes testes de eficiência da blindagem e de resistência a diversos fatores: vibração; choque horizontal e vertical; altas temperaturas; pressão; jatos de água; queda acidental; compressão e penetração.

Todo irradiador deve possuir as devidas inscrições no corpo ou uma placa solidamente fixada no mesmo, conforme ilustra o exemplo da figura 13 − de forma a alertar os indivíduos do público sobre o material radioativo nele contido.

Figura 13 − Exemplo de placa metálica para alerta.

As edições posteriores do padrão ISO 3999, publicadas em 1997 e 2000, introduziram novos requisitos referentes à segurança dos irradiadores, descritos abaixo.

Como a norma ABNT foi editada em 1984, ela não prevê tais dispositivos de segurança adicionais. O principal novo dispositivo de segurança especificado nos padrões ISO 3999 (1997) e ISO 3999-1 (2000), aplicáveis aos equipamentos de gamagrafia industrial portáteis panorâmicos, é a existência de uma trava adicional para o porta-fonte, atuando juntamente com o mecanismo automático de segurança.

- Com relação à operação do mecanismo automático de segurança:

O irradiador deve ser projetado de modo que somente seja possível liberar o mecanismo automático de segurança do porta-fonte por meio de uma operação deliberada no irradiador (através da trava adicional);

Quando o porta-fonte for recolhido para dentro do irradiador, deverá ir automaticamente para a posição de segurança;

Não deverá ser possível trancar o irradiador com o porta-fonte fora da posição de segurança;

Não deverá ser possível expor a fonte sem que três conexões sejam realizadas:

1. O porta-fonte esteja conectado ao telecomando;
2. O telecomando esteja conectado ao irradiador; e

3. O tubo-guia esteja conectado ao irradiador.

Com relação aos indicadores de posição de segurança do porta-fonte, o indicador deve ser claramente visível a uma distância mínima de 5 metros, a partir da traseira (cabo de comando) do irradiador.

Sob o ponto de vista da segurança radiológica, os irradiadores em uso no Brasil podem ser avaliados como pertencendo a um dos três níveis de conformidade descritos abaixo:

No primeiro nível de conformidade encontram-se os irradiadores que estão de acordo com as exigências da ISO 3999 (1997) e ISO 3999-1 (2000) e que, por isso, contam com os sistemas de segurança mais eficazes;

No segundo nível de conformidade encontram-se os irradiadores que estão em conformidade com a ISO 3999 (1977) e, consequentemente, com a NBR-8670 (ABNT, 1984).

No terceiro nível de conformidade encontram-se os irradiadores que não estão em conformidade com nenhuma das edições dos padrões ISO 3999 e, portanto, nem com a NBR-8670 (ABNT, 1984).

2.2.3.1 Segurança dos telecomandos

A norma brasileira NBR-8670 (ABNT, 1984) exige diversos testes de qualidade durante a fabricação dos telecomandos, tais como os ensaios de durabilidade, torção, esmagamento, tração e queda acidental.

2.2.3.2 Segurança e proteção radiológicas

De acordo com SHAW *et al*. (2001), chegou-se às seguintes conclusões e recomendações para a melhoria da segurança em radiografia industrial: equipamentos de gamagrafia industrial: existe um consenso de que o projeto de tais equipamentos não tem acompanhado, no mesmo ritmo, os avanços encontrados em outras tecnologias; deve-se incentivar a cultura da segurança e gerenciamento; e investir em treinamento dos trabalhadores.

2.2.4 Irradiadores de cobalto e selênio para gamagrafia industrial

Os irradiadores de gamagrafia que utilizam fontes de ^{60}Co são equipamentos móveis ou fixos, pertencentes às classes M e F, respectivamente. Devido à alta energia da fonte, e não

portabilidade dos equipamentos, o uso deles fica praticamente restrito a instalações fechadas, geralmente no próprio recinto blindado − *bunker* − da empresa. Na figura 14 encontra-se um exemplo de um irradiador de ^{60}Co.

Figura 14 − Irradiador de ^{60}Co (Catálogo do fabricante − *Dr. Sauerwein GMBH*)

Geralmente os irradiadores de ^{60}Co são utilizados para radiografar grandes estruturas, tais como peças de aço de 30 a 250 mm de espessura. No caso de concreto, a espessura pode chegar a 1 m (GAMMAMAT, 1999).

O irradiador GAMMAMAT que utiliza o radioisótopo ^{75}Se – modelo *Gammamat SE* − difere dos demais irradiadores GAMMAMAT que utilizam fontes de ^{192}Ir e ^{60}Co, basicamente por dois aspectos: o primeiro não possui mais o sistema de acionador do excêntrico e as pastilhas radioativas encontram-se alojadas na parte central do porta-fonte.

Em lugar do excêntrico, essa nova geração de irradiador possui uma manivela, a qual deve ser posicionada na posição “aberto” quando da exposição da fonte. No recolhimento, essa mesma manivela retorna automaticamente para a posição “fechado”, quando do efetivo posicionamento do porta-fonte na posição de blindagem. Quanto ao transporte, são embalados tipo A, bastante leves, pesando apenas 7 kg.

Tais irradiadores incorporam cinco novos dispositivos de segurança, sendo os únicos utilizados no Brasil que atendem ao novo padrão ISO 3999 (2000). Tais dispositivos de segurança encontram-se ilustrados na Figura 15, e detalhados a seguir.

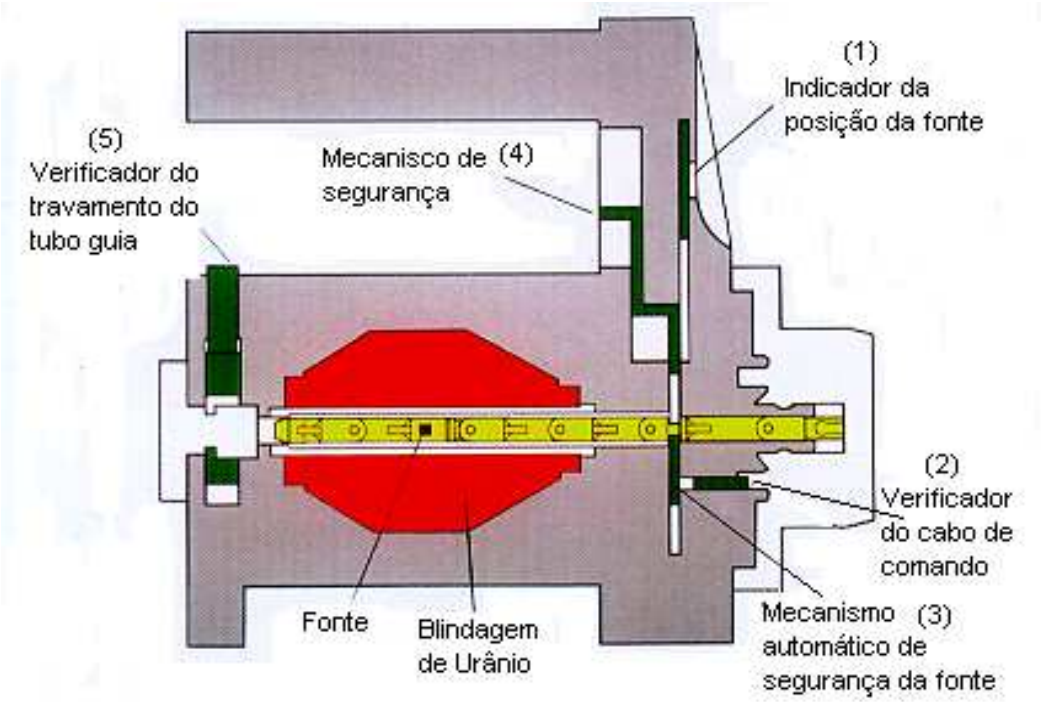


Figura 15 − Irradiador de ^{75}Se, modelo *Gammamat SE*, e respectivos novos dispositivos de segurança (de 1 a 5).

Os cinco novos dispositivos de segurança dos irradiadores de ^{75}Se, do modelo *Gammamat SE*, são:

- Indicador da posição da fonte − (1): a cor verde indica que a fonte está na posição de segurança, enquanto que a cor vermelha indica que o equipamento está destravado;
- Verificador do cabo de comando − (2): dispositivo interligado com o comando, que indica a posição da fonte a partir do comando;
- Mecanismo automático de segurança da fonte − (3): o irradiador é travado automaticamente quando a fonte é recolhida. Tal dispositivo impede que a fonte seja exposta duas vezes seguidas sem que o irradiador seja destravado pelo operador;
- Mecanismo de segurança − (4): alavanca de travamento e destravamento manual.
- Verificador do travamento do tubo-guia − (5): trava de segurança que impede que a fonte seja exposta sem que o tubo-guia esteja devidamente conectado.

2.2.5 Categorização de fontes

De acordo com a AIEA, a categorização de fontes fornece um sistema para a classificação das fontes e práticas de acordo com sua potencialidade de causar danos à saúde humana (Safety Guide No. RS-G-1.9).

A categorização de fontes pode ser aplicada na otimização das medidas de segurança física das fontes radioativas e no planejamento de respostas a emergências.

A tabela 2 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.

Tabela 2: Categorização de fontes utilizadas nas práticas

Categoria	Fontes e práticas	Razão das atividades (A/D)
1 Extremamente perigosas	Irradiadores de grande porte e fontes de teleterapia	$A/D \geq 1000$
2 Muito perigosas	Fontes de gamagrafia industrial e fontes de braquiterapia de alta e média taxa de dose	$1000 > A/D \geq 10$
3 Perigosas	Medidores industriais com fontes de altas atividades e fontes utilizadas em perfilagem de Poços	$10 > A/D \geq 1$
4 Provavelmente não perigosas	Fontes de braquiterapia de baixa taxa de dose; Medidores industriais com fontes de baixas atividades/moderadas	$1 > A/D \geq 0.01$
5 Não perigosas	Dispositivos de fluorescência de raios X(FRX); Dispositivos de captura eletrônica	0.01 A/D

3 RECOMENDAÇÕES E REGULAMENTOS TÉCNICOS DA AIEA

3.1 Recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica

A Agência Internacional de Energia Atômica, através do documento “Radiation Safety in Industrial Radiography No. SSG-11” estabelece, basicamente, dois aspectos a serem considerados em serviços de radiografia industrial. O primeiro se referindo ao objetivo da proteção contra a radiação, e o segundo, a segurança durante as operações com fontes de radiação. A proteção tem por objetivo, segundo o documento citado anteriormente, a “prevenção da ocorrência de efeitos determinísticos em indivíduos, através de baixos limiares de doses de radiação e garantir que todos os padrões de segurança adotados reduzam a ocorrência de efeitos estocásticos numa dada população e em populações futuras, que possam se expor à radiação”.

O segundo objetivo estabelecido pela AIEA relaciona-se à segurança. Segundo ele, o objetivo da segurança, em atividades de radiografia industrial, é “promover a proteção individual e da sociedade, contra danos provocados por fontes de radiação, através de um efetivo gerenciamento e manutenção das atividades”.

O documento “Radiation Safety in Industrial Radiography No. SSG-11” deixa claro que esses objetivos aplicam-se às atividades de construção, manutenção, comissionamento, operação, gerenciamento descomissionamento de projetos em radiografia industrial. Além disso, a AIEA reforça alguns conceitos e pontos a serem considerados na aplicação dos objetivos. Para os projetos relacionados ao uso da radiação em radiografia industrial, especifica que devem incluir sistemas de segurança suficientes para prevenir, detectar e corrigir procedimentos, seja em condições normais de operação, considerando-se sempre as boas práticas de engenharia e conceitos de redundância, diversidade e gestão da qualidade. Além disso, procedimentos que envolvam exposição à radiação devem ser inspecionados como parte integrante de um programa formal de gerenciamento, a fim de garantir a continuidade da segurança nas operações. Enfatiza, também, a necessidade do controle da segurança por uma área específica, no caso, o setor de segurança radiológica das empresas de radiografia.

3.2 Regulamentos da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)

As principais normas de segurança radiológica, aplicáveis à radiografia industrial são as seguintes:

- NORMA CNEN-NN-3.01: Março/2014 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica;
- NORMA CNEN NN 6.02: Abril/2014 – Licenciamento de Instalações Radiativas;
- NORMA CNEN NE 3.02: Agosto/1988 – Serviços de Radioproteção;
- NORMA CNEN-NN 6.04: Março/2013 – Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial;
- NORMA CNEN-NN-7.01: Março/2013 – Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica;
- NORMA CNEN-NN-7.02: Março/2013 – Registro de Operadores De Radiografia Industrial e;
- NORMA CNEN NE 5.01: Agosto/1988 – Transporte de Material Radioativo.

3.2.1 Norma CNEN-NN-3.01: Março/2014 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica

A Norma CNEN-NN-3.01 estabelece os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante. Esta Norma aplica-se as práticas, incluindo todas as fontes associadas a essas práticas, bem como a intervenções. As práticas para as quais esta Norma se aplica incluem o manuseio, a produção, a posse e a utilização de fontes, bem como o transporte, o armazenamento e a deposição de materiais radioativos, abrangendo todas as atividades relacionadas que envolvam ou possam envolver exposição à radiação e também esta norma é aplicada à aquelas práticas que envolvam exposição a fontes naturais cujo controle seja considerado necessário pela CNEN.

Os requisitos desta Norma aplicam-se às exposições ocupacionais, exposições médicas e exposições do público, em situações de exposições normais ou exposições potenciais.

Os responsáveis principais pela aplicação desta Norma em práticas e intervenções são os titulares e os empregadores ou quaisquer pessoas físicas ou jurídicas para as quais o titular ou empregador tenha formalmente delegado responsabilidades específicas.

Segundo esta norma, os titulares são os responsáveis por estabelecer e implementar as medidas técnicas e organizacionais necessárias para garantir a segurança das fontes sob sua responsabilidade e a proteção radiológica em exposições ocupacionais, exposições médicas e exposições do público e também, os titulares devem manter uma estrutura de proteção radiológica dimensionada de acordo com o porte da instalação, conforme estabelecido pela CNEN e esta estrutura deve contar com, pelo menos, um indivíduo habilitado pela CNEN como supervisor de proteção radiológica.

A norma CNEN-NN-3.01 estabelece o critério de limitação de dose individual, segundo o qual a exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado na tabela 3, salvo em circunstancias especiais, autorizadas pela CNEN.

Tabela 3: Limites de Doses Anuais [a]

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

[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 5mSv em um ano, desde que a *dose efetiva* média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm^2 de área, na região mais irradiada. Os valores de *dose efetiva* se aplicam à soma das *doses efetivas*, causadas por *exposições* externas, com as *doses efetivas*

*comprometida*s (integradas em 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para crianças), causadas por incorporações ocorridas no mesmo ano.

3.2.2 Norma CNEN NN 6.02: Abril/2014 - Licenciamento de Instalações Radiativas

Esta norma dispõe sobre o licenciamento de instalações radiativas que utilizam fontes seladas, fontes não-seladas, equipamentos geradores de radiação ionizante e instalações radiativas para produção de radioisótopos.

A norma CNEN NN 6.02 apresenta uma classificação das instalações radiativas que utilizam fontes seladas em grupos que variam de 1 a 3 e subgrupos que variam de 2A a 3C e instalações radiativas que utilizam fontes não seladas em grupos que variam de 4 a 6. As Instalações que utilizam equipamentos geradores de radiação ionizante são classificadas no grupo 7 dividido em subgrupos de 7A a 7D e as instalações radiativas destinadas à produção de radioisótopos são classificadas no GRUPO 8.

A radiografia industrial, sendo uma prática que utiliza fontes seladas e de maior risco, é classificada como uma prática que pertence ao grupo 2 e subgrupo 2B, essa prática requer uma blindagem externa para a utilização das fontes.

O requerimento de Autorização para Operação de instalações dos GRUPOS 1, 2, 5, 6 e 8 e dos SUBGRUPOS 2A, 2B, 3B, 3C, 7B, 7C e 7D deve ser acompanhado de um Relatório Final de Análise de Segurança, RFAS, que contenha dados que permitam à CNEN analisar a conformidade das características existentes com os requisitos normativos, abrangendo, no mínimo o projeto da instalação e plano de proteção radiológica.

A análise a ser efetuada pela CNEN levará em consideração os aspectos de exposição à radiação ionizante que possam colocar em risco a saúde de indivíduos ocupacionalmente expostos e do público, bem como o impacto radiológico sobre o meio ambiente.

A tabela 4 apresenta a validade da autorização para operação e número mínimo de supervisores de proteção radiológica para cada grupo de instalações radiativas.

Tabela 4: Validade da autorização para operação e número mínimo de supervisores de proteção radiológica para cada grupo de instalações radiativas.

Grupos	Validade da autorização	Número mínimo de supervisores

	para operação	de proteção radiológica
3A; 4; 7A	3 a 5 anos	1 (um)
2A; 3B; 5; 7B	1 a 3 anos	1 (um)
2B; 3C; 6; 7C; 7D	1 a 3 anos	1(um) a menos que estabelecido em norma específica
1; 8	1 a 2 anos	2 (anos)

3.2.3 Norma CNEN NE 3.02: Agosto/1988 – Serviços de Radioproteção

A norma é aplicada a setores de segurança radiológica, de instalações que operam com radiação ionizante, nas quais se inclui a radiografia industrial. A norma inicia especificando que o único órgão dentro da empresa autorizado a tratar das questões relacionadas à radioproteção é o Serviço de Radioproteção. Este serviço deve ser controlado por dois profissionais com especialização na área de radioproteção e credenciado junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear, sendo um deles o supervisor titular e o segundo, o substituto para casos em que o titular esteja impossibilitado de exercer suas funções.

A norma CNEN NE 3.02 especifica as atividades do serviço de radioproteção, que abrangem basicamente:

- Controles de trabalhadores: monitoração individual, avaliação das doses da radiação recebidas pelos trabalhadores e supervisão médica a trabalhadores;
- Controle de áreas destinadas a radiação: avaliação, classificação, sinalização e controle de acesso em áreas onde fontes estejam sendo utilizadas, transportadas ou estocadas, além de controlar níveis de radiação no ambiente;
- Controle das fontes de radiação: incluindo elaboração e implantação de procedimentos para uso, manuseio, transporte e operação com fontes de radiação;
- Controle de equipamentos: basicamente o estabelecimento de um programa de garantia da qualidade dos equipamentos, sejam eles utilizados para irradiação ou monitoração;
- Treinamento de pessoal;
- Controles de registros radiológicos exigidos pela CNEN.

Cada uma das atividades do serviço de radioproteção são detalhados, tornando claro os aspectos relacionados aos controles básicos necessários para operação com fontes de radiação.

3.2.4 NORMA CNEN-NN – 6.04: Março/2013 - Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial

Esta norma dispõe sobre os requisitos de segurança e proteção radiológica necessários para o funcionamento das instalações de radiografia industrial, de acordo com resolução específica sobre licenciamento de instalações radiativas.

Segundo esta norma, as instalações de radiografia industrial caracterizam-se como:

I - Instalações para armazenamento de fontes radioativas:

a) Armazenamento tipo I: sede ou escritório da empresa proprietária da fonte de radiografia gama, cuja área de armazenamento está localizada em recintos fechados, com blindagem permanente especialmente projetada para atender à capacidade instalada de fontes radioativas, com autorização para construção emitida pela CNEN;
b) Armazenamento tipo II: instalação cuja área de armazenamento está localizada em dependências de terceiros, onde é armazenada temporariamente a quantidade máxima de 4 (quatro) equipamentos de radiografia gama por local de armazenamento, conforme especificado nesta resolução;

II - Instalações para operação com fontes de radiação:

a) Operação tipo I: instalação cuja área de operação está localizada em recinto isolado, com proteção física adequada, onde são realizadas operações com equipamentos geradores de radiação ionizante autoblindados, sem a necessidade de projeto aprovado pela CNEN, devendo ser apresentada documentação técnica do equipamento;
b) Operação tipo II: instalação cuja área de operação está localizada em recintos fechados, com blindagem permanente, especialmente projetada para atender às respectivas situações operacionais, com projeto aprovado pela CNEN;

c) Operação tipo III: instalação cuja área de operação está localizada em espaço isolado ou cercado, com proteção específica para cada eventual situação, sem a necessidade de projeto aprovado pela CNEN; e
d) Operação tipo IV: instalação cuja área de operação está localizada em espaço isolado ou cercado de áreas habitadas ou vias públicas, em zonas urbanas, suburbanas ou rurais, com proteção específica para cada eventual situação, com a necessidade de procedimentos específicos de proteção radiológica, devendo possuir autorização específica da CNEN.

As instalações de radiografia industrial devem ser licenciadas de acordo com as diferentes instalações de operação e armazenamento que fazem parte de suas atividades.

Conforme esta norma, uma instalação de radiografia industrial deve possuir supervisores de proteção radiológica (SPR) e operadores de Radiografia Industrial.

O SPR em Radiografia Industrial tem as seguintes responsabilidades específicas:

- Planejar e supervisionar as atividades de proteção radiológica durante as operações de radiografia industrial;
- Avaliar as exposições nos locais sujeitos a radiações, em condições normais, em casos de acidentes ou em situações de emergência, e adotar as medidas de proteção necessárias;
- Estabelecer e implantar os procedimentos necessários aos programas do plano de proteção radiológica;
- Supervisionar o recebimento e envio dos medidores individuais para troca, junto aos laboratórios de monitoração individual certificados pela CNEN;

Os Operadores de Radiografia Industrial I e II, além das responsabilidades descritas na resolução específica sobre registro de operadores de radiografia industrial, devem:

- Delimitar e sinalizar áreas supervisionadas e controladas;
- Verificar as condições de funcionamento dos equipamentos emissores de radiação;
- Verificar os engates dos equipamentos de radiografia gama e acessórios, utilizando gabarito de testes;

- Verificar as condições de funcionamento dos medidores de radiação e monitores de radiação;
- Certificar-se dos procedimentos operacionais com relação ao retorno das fontes à posição de segurança.

O Plano de Proteção Radiológica que deve ser submetido à aprovação da CNEN, pelo titular da instalação de radiografia industrial deve englobar os controles administrativos, treinamento, monitoração individual, controle de equipamentos e fontes, controle de áreas, condução das operações, transporte, proteção física e emergência.

Esta Norma apresenta os requisitos de capacidade operacional que uma instalação de radiografia industrial deverá cumprir para o licenciamento. Estes requisitos correlacionam o tipo de instalação com as quantidades de IOE, e equipamentos de gamagrafia e monitores de radiação, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5: Requisitos de Capacidade Operacional

TIPO DE INSTALAÇÃO DE OPERAÇÃO	REQUISITOS MÍNIMOS PARA A INSTALAÇÃO DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL		
	IOE	EQUIPAMENTOS DE ROTINA	EQUIPAMENTOS DE EMERGÊNCIA
I	1 (um) SPR sem exclusividade (limitado a quatro Instalações de Radiografia Industrial) e 1(um) Operador (I ou II) por turno por Instalação de Radiografia Industrial	1 medidor de radiação e 1 monitor individual de leitura direta com alarme sonoro (BIP), com opcional de integrador de dose, por equipamento de raios-X	N.A.
	1 (um) IOE por Equipamento de instalação de operação		
II	2 (dois) SPR, sendo um exclusivo da instalação, por Instalação de Radiografia Industrial	1 medidor de radiação por fonte de radiação e 1 monitor individual de leitura direta com alarme sonoro (BIP), com opcional de integrador de dose, por IOE	1 medidor de radiação (100mSv/h) por Unidade Federativa e materiais e equipamentos de emergência.
	2 (dois) Operadores (I ou II) por instalação de operação		
III	2 (dois) SPR exclusivos por Instalação de Radiografia Industrial	1 medidor de radiação por fonte de radiação e 1 monitor individual de leitura direta com alarme sonoro (BIP), com opcional de integrador de dose, por IOE	1 medidor de radiação (100mSv/h), por Unidade Federativa, e materiais e equipamentos de emergência.
	2 (dois) Operadores, sendo pelo menos um Operador II, por instalação de operação		
IV	2 (dois) SPR exclusivos por	1 medidor de radiação por fonte	1 medidor de radiação

	Instalação de Radiografia Industrial 2 (dois) Operadores II por instalação de operação	de radiação, e 1 monitor individual de leitura direta com alarme sonoro (BIP), com opcional de integrador de dose, por IOE	(100mSv/h) por Unidade Federativa, 1 monitor individual de leitura direta com alarme sonoro (BIP), com opcional de integrador de dose, por IOE e materiais e equipamentos de emergência.

3.2.5 NORMA CNEN-NN-7.01: Março/2013 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica

Esta norma estabelece os requisitos necessários à certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica.

O candidato deve ser aprovado em exame de certificação, mediante provas.

As áreas de atuação para as quais a CNEN certifica supervisores de proteção radiológica são agrupadas por classes I ou II. A tabela 6 mostra relação das classes e suas respectivas áreas de atuação.

Tabela 6: Relação das classes e suas respectivas áreas de atuação.

Classe I	
SIGLA	ÁREA DE ATUAÇÃO
I-UN	Usina nucleoelétrica
I-RP	Reator nuclear de pesquisa e unidades críticas e subcríticas
I-MM	Mineração e usina de beneficiamento físico e químico de urânio e tório
I-PH	Usina de produção de UF4 e UF6
I-EI	Usina de enriquecimento isotópico
I-FC	Usina de fabricação de elemento combustível
I-FQ	Instalação para processamento físico e químico de materiais irradiados
I-GP	Irradiador industrial
I-IR	Gamagrafia industrial e radiografia industrial com equipamentos geradores de raios X (V > 600 kV)
I-AC	Acelerador de partículas
I-FT	Radioterapia
I-RF	Radiofarmácia industrial
I-GR	Gerência de rejeitos radioativos em depósito intermediário ou final
I-MI	Mineração e beneficiamento físico, químico e metalúrgico de minérios com U ou Th associados
Classe II	
SIGLA	ÁREA DE ATUAÇÃO
II-PP	Perfilagem de poços de petróleo

II-RI	Radiografia industrial com equipamentos geradores de raios X ($V \leq 600$ kV)
II-CE	Serviço de calibração de equipamentos com fontes radioativas ou equipamentos geradores de radiação ionizante
II-MN	Medidor nuclear fixo ou móvel
II-FM	Medicina nuclear
II-IS	Irradiador autoblindado intrinsecamente seguro
II-TC	Traçador radioativo industrial
II-TR	Serviço de transporte de material radioativo

3.2.6 Norma CNEN NE 5.01: Agosto/1988 - Transporte de Material Radioativo

O objetivo desta Norma é estabelecer, com relação ao transporte de materiais radioativos, requisitos de radioproteção e segurança a fim de garantir um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante, compreendendo:

- Especificações sobre materiais radioativos para transporte;
- Seleção do tipo de embalado;
- Especificação dos requisitos de projeto e de ensaios de aceitação de embalados;
- Disposições pertinentes ao transporte propriamente dito e;
- Responsabilidades e requisitos administrativos.

Esta Norma, no contexto do transporte de materiais radioativos, aplica-se:

- Ao transporte por terra, água ou ar;
- Ao projeto, fabricação, ensaios e manutenção de embalagens;
- À preparação, expedição, manuseio, carregamento, armazenagem em trânsito e recebimento no destino final de embalados e;
- Ao transporte de embalagens vazias, que tenham encerrado material radioativo.

Esta Norma não se aplica ao transporte de material radioativo que se realize: no interior de instalações nucleares ou radiativas, a ser efetuado e supervisionado de acordo com procedimentos elaborados pelo Supervisor de Radioproteção da instalação; ou, através de seres humanos nos quais tenham sido implantados marcapasso cardíaco ou outros aparelhos radioisotópicos ou que tenham sido tratados com produtos radiofarmacêuticos; ou tendo o material radioativo como parte integrante do meio de transporte.

4 AUTORIDADE REGULADORA

Segundo a Agência Internacional de Energia Atômica, a legislação de uma Autoridade Reguladora, além de especificar as responsabilidades e funções, deve também especificar o estabelecimento e financiamento da Autoridade Reguladora com independência efetiva para o controle da segurança radiológica.

A Autoridade Reguladora deve ser independente de outras Autoridades de um país e essa independência é estabelecida pelo Governo mediante a legislação. As suas funções e responsabilidades são mantidas completamente diferenciadas das de quaisquer das partes.

Deve, também, existir uma clara separação entre as funções da Autoridade Reguladora e aquelas de outras Agências Governamentais ou organizações responsáveis de desenvolvimento e promoção das práticas reguladas.

Se requere uma clara separação da Autoridade Reguladora de aquelas práticas ou partes sujeitas a regulação (quer dizer, de titulares licenciados, fabricantes, etc.)

4.1 Atribuições da autoridade reguladora

A Autoridade Reguladora deverá estar facultada para desenvolver princípios e critérios de segurança, emitir, emendar, suspender, renovar autorizações, inspecionar as instalações pertinentes e documentos e fazer cumprir os requisitos reguladores.

O Programa da Autoridade Reguladora deve incluir a preparação de regulamentos para a proteção e a segurança, a implementação de procedimentos para a notificação e autorização (em forma de registro e licença), as provisões para as exclusões e isenções, a realização de inspeções e outras verificações de cumprimento, a adoção de ações de coerção nos casos de violações dos requisitos, a investigação de acidentes e a gerência de emergências, a disseminação da informação sobre proteção e segurança.

4.2 Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)-Brasil

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, autarquia federal, criada pela Lei n°4.118, de 27 de agosto de 1962, vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, com autonomia administrativa e financeira, dotada de personalidade jurídica de direito público, é o órgão que regula e fiscaliza a radioproteção e segurança nuclear no Brasil, com o

objetivo de dar garantias à população contra os efeitos nocivos da radiação, sendo dirigida por um Conselho Deliberativo formado por 5 membros, sendo eles o Presidente da CNEN, os seus 3 Diretores (Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Diretoria de Gestão Institucional e Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear) e por último um representante externo, em geral um representante militar ou da agência de inteligência (ABIN).

De acordo com as atribuições constantes nas Leis n° 6.189, de 16 de dezembro de 1974 e n° 7.781, de 27 de junho de 1989, e no Anexo I do Decreto n° 5.667, de 10 de janeiro de 2006, tem as seguintes finalidades institucionais:

I - Colaborar na formulação da Política Nacional de Energia Nuclear;

II - Executar ações de pesquisa, desenvolvimento, promoção e prestação de serviços na área de tecnologia nuclear e suas aplicações para fins pacíficos; e

III - Regular, licenciar, autorizar, controlar e fiscalizar essa utilização.

Na CNEN a Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear é Autoridade Reguladora que regula e fiscaliza a radioproteção e segurança nuclear no Brasil.

4.3 Agência Nacional de Energia Atómica (ANEA) - Moçambique

Em Moçambique, a Agência Nacional de Energia Atómica (ANEA), criada por Decreto número 67/2009 do Conselho de Ministros de 11 de Dezembro da República de Moçambique, é o Órgão oficial do Governo responsável pela regulamentação do uso pacífico da Energia Atômica no País. Nesse contexto a Agência Nacional de Energia Atómica (ANEA) realiza inspeções em conformidade com o mandato que lhe é conferido nos termos da Lei no sentido de garantir o uso de radiação ionizante em conformidade com os requisitos de proteção e segurança radiológicas da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

A Agência Nacional de Energia Atômica é constituída pelo Diretor-geral, departamentos, secretariado; e coletivos (os coletivos da ANEA são o Conselho de Direção e o Conselho Técnico).

4.3.1 Departamentos da ANEA e suas competências

Na ANEA funcionam os seguintes departamentos: Departamento de Regulamentação, Departamento de Licenciamento e Departamento de Fiscalização.

Ao Departamento de Regulamentação compete, formular propostas de política nacional no domínio da proteção contra exposição a radiações ionizantes e segurança das fontes radioativas, formular propostas de regulamentação sobre segurança de fontes radioativas, proteção contra radiações ionizantes, transporte seguro de substâncias radioativas e gestão segura de resíduos radioativos e estabelecer metodologias e procedimentos relativos à aplicação da regulamentação existente.

Ao Departamento de Licenciamento compete analisar pedidos e formular pareceres para atribuir, modificar, suspender ou revogar autorizações, incluindo a profissionais envolvidos, bem como estabelecer-lhes condições específicas que se mostrem necessárias, nos termos a regulamentar e estabelecer e manter atualizado o registro nacional de fontes de radiação ionizantes e recolher toda a informação relevante no domínio da proteção contra exposição a radiações ionizantes e segurança de fontes radioativas.

Ao Departamento de Fiscalização compete realizar inspeções em locais ou instalações susceptíveis de abrigar fontes de radiação ionizante com vista a avaliar as condições de proteção radiológica e a conformidade com a regulamentação e outros requisitos especificados na autorização e tomar as medidas necessárias para o cumprimento das exigências regulamentares e da autorização relevante e para a imposição das sanções legalmente aplicáveis em caso de não conformação com tais exigências.

5 INSPEÇÃO REGULATÓRIA

O Processo de inspeção regulatória é um exame, observação, medida, teste ou verificação de documentação, executados pela autoridade reguladora, durante qualquer estágio do processo de licenciamento, para assegurar-se da conformidade de materiais, componentes, sistemas, estruturas, atividades operacionais, processos, procedimentos e qualificações de pessoal com os seus requisitos.

A conclusão óbvia da inspeção regulatória é que a autoridade reguladora pode se valer da técnica que julgar mais conveniente para as suas verificações. Isso significa dizer que, dependendo das circunstâncias, pode-se realizar uma verificação de conformidade, uma ação independente de controle de qualidade, uma auditoria formal, ou uma combinação dessas e de outras técnicas de verificação.

5.1 Objetivos da inspeção

As inspeções têm como objetivos verificar e avaliar as medidas adequadas de proteção e segurança dos trabalhadores, do público, de bens e do meio ambiente contra o perigo da exposição à radiação ionizante bem como a segurança relativamente às fontes radioativas.

As inspeções podem convencer a Autoridade Reguladora de que o titular licenciado cumpre com a legislação, os regulamentos e as condições impostas e que as pessoas empregadas pelo operador, incluindo os contratados, possuem a competência necessária.

5.2 Tipos de inspeções

Segundo a AIEA, as inspeções podem ser:

Inspeção prévia a autorização: aquela que é feita antes que uma prática inicie os trabalhos com fontes de radiações (para confirmar as blindagens estruturais e outros aspectos de segurança).

Inspeção final: Quando do encerramento das atividades com material radioativo ou por transferência de local, se faz necessário a inspeção final.

Inspeções anunciadas: Inspeções regulares para identificar trocas que podem requerer uma revisão dos aspectos de segurança e/ou uma modificação nas condições da autorização.

Inspeções não anunciadas: São aquelas realizadas rotineiramente nas instalações que possuem autorização para operação com material radioativo independente do risco potencialmente.

Inspeções adicionais: Aquelas realizadas em caso de anormalidades, tais como incidentes e acidentes relacionados com a pratica autorizada.

5.3 Programa de inspeção

O programa de inspeção é estabelecido pela Autoridade Reguladora e deve indicar os tipos de inspeções a realizar e as suas frequências. Segundo a AIEA a frequência das inspeções regulares pode estar baseada na categorização das fontes radioativas, no histórico de inspeções anteriores, na complexidade da prática e também pode estar baseada nos recursos da preparação para a inspeção.

5.4 Planejamento da inspeção

O planejamento da inspeção regulatória consiste na identificação da instalação a ser inspecionada. Esta atividade é realizada com base no programa anual de inspeção regulatória, para inspeções programadas, ou com base em uma solicitação específica, para inspeções não-programadas.

A equipe de inspeção é composta pelo inspetor líder, por pelo menos mais um inspetor e, quando necessário, por um ou mais especialistas técnicos.

Durante a preparação para a inspeção, os inspetores deverão analisar as informações disponíveis referentes aos documentos relacionados com a autorização, incluindo a avaliação de segurança e o histórico das práticas em questão; revisar os relatórios de inspeções anteriores e o ofício das não conformidades; selecionar e/ou preparar listas de verificação específicas para a prática a ser inspecionada; e decidir, a partir dos protocolos da Autoridade Reguladora, se será realizada uma inspeção anunciada ou não anunciada. Os inspetores deverão, também, selecionar o equipamento e instrumentos que usarão durante os trabalhos tais como: instrumentos de monitoração de campo para as medições de níveis de radiação (calibrados e aferidos, com detectores apropriados aos tipos de radiação), instrumento de proteção pessoal (com alarme), dosímetro pessoal, entre outros.

5.5 Execução da inspeção regulatória

A execução de uma inspeção regulatória pode ser realizada em 4 etapas principais: reunião de abertura, coleta de evidências objetivas usando uma lista de verificação com as tarefas a serem cumpridas durante a inspeção, reunião de encerramento e relatório de inspeção.

5.5.1 Reunião de abertura

A reunião de abertura é realizada no primeiro dia de inspeção com a participação do supervisor de radioproteção (ou seu substituto oficial) e/ou do representante legal da Instalação a ser inspecionada. A condução da reunião inicial é de responsabilidade do inspetor líder.

Nesta oportunidade são comunicadas e acordadas com o inspecionado as tarefas previstas no plano de inspeção, incluindo as que necessitam de providências administrativas por parte do inspecionado, como por exemplo: viabilidade de transporte para locais mais afastados, entrada de equipamentos e instrumentos na instalação, acompanhamento de atividades especiais, introdução de atividades como preparação ou análise de amostras selecionadas, utilização de instalações do inspecionado, permanência na instalação fora do horário administrativo e interação com responsáveis por outras áreas.

Durante a reunião inicial, a equipe de inspeção solicita ao representante da unidade inspecionada que disponibilize toda a documentação necessária à realização da inspeção e, se necessário, a indicação de outros técnicos para acompanhar os inspetores na instalação.

5.5.2 Coleta de evidências objetivas

Durante a inspeção, o inspetor faz as suas anotações, lembrando que estas deverão estar calcadas em requisitos, fatos e evidências. A coleta de evidências é feita por meio de entrevista, observação de campo, avaliação de registros, medições, etc.

Se no decorrer da inspeção forem encontradas situações inadequadas, que não estejam contempladas na lista de verificação, estas, também, devem ser objeto de investigação. A lista de verificação tem como finalidades orientar e direcionar os inspetores durante a inspeção, proporcionar ao inspetor recursos para identificar critérios de desempenho aceitáveis e não aceitáveis, e possibilitar que inspetores menos experientes da Autoridade Reguladora realizem inspeções.

Todas as evidências objetivas, obtidas durante a inspeção, devem ser registradas de modo que se possa identificar a conformidade, ou não, com os requisitos estabelecidos nos documentos base para a inspeção, isto é, as normas, regulamentos e plano de radioproteção.

No caso de ser evidenciada uma não-conformidade que possa causar riscos iminentes, o inspetor líder deve notificar à Direção da instalação, exigindo a imediata solução da não-conformidade encontrada. Caso a ação adotada não atenda plenamente à solução da não-conformidade, o inspetor líder deverá comunicar imediatamente a Autoridade Reguladora para as devidas providências e dar conhecimento à chefia imediata.

Completada a coleta de evidências, o inspetor líder confirma com o representante da instalação inspecionada a hora e data da reunião de encerramento.

5.5.3 Reunião de encerramento

Na reunião de encerramento deverão participar os inspetores, o supervisor de proteção radiológica, o titular da Instalação, e outras indicadas pela Direção. Durante a reunião os inspetores apresentarão as não-conformidades encontradas, as observações realizadas e as conclusões da inspeção.

5.5.4 Relatório de inspeção

O inspetor líder é o responsável por providenciar a elaboração do relatório, no prazo estabelecido, com todos os dados necessários que compõe o relatório. Esse prazo pode ser estendido se forem necessárias análises de amostras, de documentos e de medições.

Os relatórios de inspeção devem conter entre outras informações: identificação da organização, instalação inspecionada, equipe de inspetores, data de início e término da inspeção, do responsável pela aprovação do relatório.

Toda não-conformidade deve constar no Relatório de Inspeção Regulatória. Uma não-conformidade poderá dar origem a uma ou mais exigências, a menos que essa não-conformidade tenha sido corrigida durante a inspeção. A correção da não-conformidade durante a inspeção deve ser apresentada no Relatório de Inspeção Regulatória.

Quando são realizadas coletas de amostras, medições ou testes durante a inspeção, as seguintes informações são inseridas no relatório, conforme o caso:

- Identificação do material coletado;
- Identificação dos padrões, materiais de referência e instrumentos e equipamentos utilizados;

- Resultados das medições ou testes. A forma de apresentação destes resultados é estabelecida pelo serviço, de acordo com os objetivos da inspeção.

Deve ser assegurado o sigilo e a confidencialidade das informações decorrentes da inspeção e dos direitos de propriedade da Instalação inspecionada.

5.6 Inspeção de radioproteção

A coleta de evidências relacionadas aos aspectos operacionais de radioproteção pode ser dividida em três etapas: verificação dos controles administrativos; verificação de equipamentos de gamagrafia e instrumentação nuclear; e medidas de monitoração para a avaliação da segurança.

5.6.1 Verificação dos controles administrativos

A verificação dos controles administrativos tem como objetivo analisar todos os registros e documentos da instalação verificando a conformidade com as normas pertinentes. O inspetor deve avaliar documentos e registros tais como: autorização para operação, plano de radioproteção, documentos do transporte rodoviário, procedimentos de emergência, registro de trabalhadores, registro de treinamento, registro de fontes radioativas, registro de doses, etc.

5.6.2 Verificação de equipamentos de gamagrafia e instrumentação nuclear

Durante a inspeção, o inspetor deve verificar se os equipamentos da gamagrafia industrial estão em condições seguras para operação e se medidores de radiação estão devidamente operacionais. Os seguintes itens devem ser avaliados: calibração dos medidores portáteis de radiação e dos monitores individuais com alarme (bip); teste de aferição da instrumentação de radiação; adequação do local de guarda da instrumentação; sistema de monitoração individual; material e equipamento de emergência (container, pinça/garra, blindagem, cordas, funil, ferramentas, placas de sinalização); tipo, condições e sinalização de veículo usado durante o transporte de material radioativo; condições dos irradiadores (conservação, sinalização, placa metálica, testes nos engates, testes dos sistemas de segurança, tampa dianteira); condições dos comados dos irradiadores (testes dos engates, teste de acionamento, conservação do cabo de aço,

conservação do conduíte); condições do tubo guia (conservação do tubo guia e conservação do terminal), dentre outros.

5.6.3 Medidas de monitoração para a avaliação da segurança

Durante a inspeção o inspetor deve realizar medidas de monitoração objetivando avaliar a segurança durante os trabalhos com radiografia industrial. Essa monitoração é realizada através dos levantamentos radiométricos nas áreas de armazenamento, de operação e de transporte, bem como, nos equipamentos de gamagrafia com e sem fontes radioativas.

Havendo oportunidade, o inspetor deve avaliar se os operadores demonstram ter assimilado os treinamentos de radioproteção recebidos, realizando simulações de operação na instalação.

6 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

A avaliação quantitativa da proteção radiológica, após a realização de uma inspeção regulatória em instalação de gamagrafia industrial, é um recurso para verificar o desempenho e, principalmente, quantificar o nível da proteção radiológica baseado nas não-conformidades encontradas, segundo a legislação vigente no país.

A metodologia usada para a quantificação foi pautada basicamente em dois aspectos: a análise de casos de acidentes radiológicos e a classificação de coerção publicados pela AIEA.

Para a análise dos acidentes radiológicos foi utilizada a publicação “Safety Reports Series No 7” da AIEA onde apresenta 43 casos, dos quais 40 estão relacionados com o uso de irradiadores de gamagrafia industrial e 3 estão relacionados com o equipamento de raios X (não abordado neste trabalho)

A publicação separa os diversos acidentes nas seguintes causas principais: ausência do controle regulatório; não seguimento de procedimentos operacionais; treinamento inadequado; manutenção inadequada; erro humano e falhas/defeito no equipamento. Em cada causa principal são apresentados os casos de acidentes radiológicos. Foi realizada, então, a correlação das causas principais e dos casos de acidentes com os requisitos constantes no Formulário de Inspeção em Gamagrafia Industrial (anexo). A tabela 7 apresenta a análise realizada.

Tabela 7: Análise dos casos de acidentes radiológicos com os requisitos constantes no Formulário de Inspeção em Gamagrafia Industrial

Caso	Tipo de Acidente Radiológico	Causas do Acidente Radiológico	Requisito do Formulário de Inspeção
		Ausência do Controle Regulatório	
1	Exposição pública devido à disposição inadequada de material radioativo	A Autoridade Reguladora não estabeleceu requisitos para a eliminação, controle e transporte de fontes radioativas.	5.2.1; 5.2.3; 5.2.9; 5.2.105.4.1; 5.4.2; 5.6.6; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.4
2	Indivíduo não treinado apresenta síndrome de radiação aguda	Um indivíduo executou uma operação de gamagrafia sem treinamento. Devido a falta do controle regulatório no país, a radiografia ocorreu sem licenciamento ou outros requisitos regulamentares.	5.2.1; 5.2.3; 5.2.9; 5.2.105.4.1; 5.4.2; 5.6.6; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.4
3	Procedimento inadequado de recuperação da fonte	O gasoduto em construção rolou, esmagando o colimador de chumbo e o tubo guia. Portanto, o porta fonte ficou preso no tubo guia. Ele então usou um maçarico para derreter o colimador e o tubo guia para liberar a fonte. Devido à ausência de controle regulatório, o operador realizou um procedimento de recuperação inadequada, danificando a fonte.	5.2.1; 5.2.3; 5.2.9; 5.2.105.4.1; 5.4.2; 5.6.6; 5.8.4; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.4
4	Pessoa não treinada faz o resgate de uma fonte	O trabalhador tentou tirar o porta fonte do irradiador e na tentativa, o porta fonte caiu no mar. O resgate do porta fonte foi feito por um mergulhador que recebeu uma recompensa de 1000 dólares. Devido à ausência de controle regulatório, o operador realizou um procedimento de recuperação de fonte inadequado.	5.2.1; 5.2.3; 5.2.9; 5.2.105.4.1; 5.4.2; 5.6.6; 5.8.4; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.4
5	Trabalhadores sem licença e sem formação realizam radiografia	O tubo guia e o telecomando não estavam devidamente conectados ao irradiador e os operadores sem treinamento operavam sem medidores de radiação.	5.2.1; 5.2.3; 5.2.9; 5.2.105.4.1; 5.4.2; 5.6.6; 5.8.4; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.4
		Não seguimento de procedimentos operacionais	
6	Falha na conexão do sistema de segurança	Comissionamento da nova unidade de raios X não garantiu a reconexão do sistema de bloqueio. Nenhuma verificação diária dos bloqueios de operacionalidade antes da utilização da sala foi realizada pelo técnico de radiologia	Raios X
7	Monitoração inadequada	A fonte saiu da posição de blindagem quando o operador desconectou o tubo guia, não foi feita a monitoração para verificar o retorno da fonte à posição de blindagem, o monitor de alarme estava desligado porque o operador queria poupar a bateria.	5.6.2; 5.6.6; 5.9.4; 5.10.1(b); 5.10.3
8	Falha na conexão dos engates macho e fêmea	O operador fez acoplamento do cabo de comando ao irradiador sem fazer a conexão dos engates macho – fêmea, durante a operação a fonte ficou presa no tubo guia.	5.6.2; 5.6.6; 5.9.4; 5.10.1(b); 5.10.3
9	Ruptura do porta fonte	O porta fonte quebrou-se durante a operação e no final não foi feita a verificação do retorno da	5.6.2; 5.6.6; 5.9.4; 5.10.1(b,d); 5.10.2(d,e);

Caso	Tipo de Acidente Radiológico	Causas do Acidente Radiológico	Requisito do Formulário de Inspeção
		fonte para a posição de blindagem.	5.10.3; 5.10.4;
10	Falha de alarmes de segurança	O sistema de bloqueio e o monitor de radiação com alarme no bunker foram desligados.	5.9.4; 5.10.1(a,b,c,d); 5.10.3;
11	Mau funcionamento de monitores de radiação com alarme	A superexposição ocorreu porque o operador não seguiu os procedimentos operacionais estabelecidos na resposta ao medidor de radiação com alarme.	5.6.6; 5.9.4; 5.10.1b 5.10.4
12	Uso não adequado do medidor de radiação e dosímetros pessoais	O supervisor e o operador não fizeram a monitoração do irradiador e nem seguiram os procedimentos para o resgate da fonte que estava presa no colimador.	5.2.5, 5.2.6; 5.2.13; 5.9.4
13	Uso não adequado do medidor de radiação	Não foi feita a verificação do retorno da fonte para a posição de blindagem.	5.9.4; 5.10.1(a, d); 5.10.4
14	Falta de entendimento entre dois operadores durante a operação	Dois operadores não se entenderam durante a operação, um expos a fonte enquanto que o colega estava na área controlada porque ele pensou que o colega tinha dito através de rádio para expor a fonte.	5.9.4
15	Condições meteorológicas adversas resultam na falha do medidor de radiação e do irradiador	Por causa das más condições meteorológicas, a fechadura do irradiador ficou entupida com o gelo, o operador fez várias exposições sem notar que a fonte não voltava para a posição de segurança porque ele não fazia a monitoração do irradiador uma vez que o medidor de radiação não funcionava.	5.9.4; 5.10.1(b,e);5.10.3; 5.10.4
16	Uso de procedimentos não adequados para a manutenção do irradiador	O operador tentou reparar o irradiador utilizando procedimentos não aprovados; não confirmou a operacionalidade do medidor de radiação e não tinha dosímetro pessoal.	5.9.4; 5.10.1 (a,b,d); 5.10.3; 5.10.4
17	Exposição no interior de oleoduto	Falta de coordenação do trabalho a ser executado no local (raios X)	Raios X
18	Morte causada por alegada utilização incorreta de fontes radioativas	Supõe-se que o operador recebeu doses altas que causaram a morte porque fazia a remoção de fontes (cápsulas) do porta fonte usando uma serra.	5.3.3; 5.10.1 (a); 5.10.3; 5.10.4;
19	Superexposição devido ao não uso de medidores de radiação	A fonte ficou presa no tubo guia, o operador colocou o tubo guia em volta do pescoço e caminhou cerca de 20 m. Quando ele colocou o equipamento no chão, a fonte saiu do tubo guia. O operador operava sem medidor de radiação e sem dosímetro pessoal.	5.6.6; 5.9.4; 5.10.1 (a, b, d); 5.10.3; 5.10.4
20	Mortes por exposição excessiva a radiação	Depois da execução de uma operação de gamagrafia, foi perdida uma fonte de ^{192}Ir (30Ci). Um indivíduo do público apanhou e levou para casa. Oito pessoas morreram devido a superexposição.	5.6.6; 5.10.1(b); 5.10.3
		Treinamento inadequado	
21	Lesão no peito resultante da falta de treinamento	O operador não tinha treinamento nem formação adequada para trabalhar sozinho.	5.6.6; 5.8.4; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.4
22	Superexposição resultante da desconsideração do	O operador foi exposto a doses elevadas de radiação, a fonte saiu da posição de blindagem durante a movimentação do irradiador, o alarme	5.6.6; 5.8.4; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.4

Caso	Tipo de Acidente Radiológico	Causas do Acidente Radiológico	Requisito do Formulário de Inspeção
	monitor de radiação com alarme	do medidor apitou mas o operador pensou que o dosímetro tinha defeito e por isso desligou-o.	
23	Exposição excessiva resultante do treinamento inadequado	Um indivíduo não treinado foi autorizado a realizar uma gamagrafia. Durante a operação, a fonte ficou presa no tubo guia, e como não era feita a monitoração, operador continuou seu trabalho, sem saber do perigo. Depois de 18 exposições, ele parou. Foi descoberto que 17 dos 18 filmes eram negros, o que indica que a fonte ficou fora da blindagem durante todo o tempo. A exposição foi estimada em 24 Gy à mão e 2-3 Sv para todo o corpo.	5.6.6; 5.8.4; 5.9.4; 5.10.1(a,b);5.10.3; 5.10.45.
24	Queimaduras de radiação resultantes da recuperação inadequada da fonte	A fonte ficou presa no tubo guia, a superexposição ocorreu quando o operador tentava realizar procedimentos de resgate da fonte para os quais não foi devidamente treinado.	5.9; 5.8
		Manutenção inadequada	
25	Falha na fechadura do irradiador após uma manutenção inadequada	Os pinos que prendem a fechadura estavam faltando.	5.9; 5.6.6; 5.10.1(a, b); 5.10.2(e); 5.10.3; 5.10.4
26	A fonte ficou presa no tubo guia porque este estava danificado	Não foi feita a avaliação do tubo guia antes da operação. O operador, na tentativa de recuperar a fonte, desconectou o tubo guia do irradiador, em seguida sacudiu-o violentamente com ambas as mãos. Três dedos da mão esquerda e dois dedos da mão direita foram expostos.	5.6.6; 5.9.4; 5.10.1(b); 5.10.3; 5.10.4
27	Superexposição causada pela manutenção inadequada	O porta fonte não estava na sua posição de segurança, o irradiador não foi adequadamente reparado, a mola de trinco, destinada a assegurar o porta fonte na posição de blindagem, não estava a funcionar; a trava tinha sido presa na posição destravada pela sujeira. Além disso, não foi colocado o controle do obturador na posição de desligado nem tinha sido instalado a tampa protetora contra poeira na parte da frente do irradiador.	5.6.6; 5.9.4; 5.10.1(b); 5.10.3; 5.10.4
		Erro humano	
28	Pânico durante a operação	O medidor de radiação indicou altas taxas de doses e os operadores entraram em pânico porque não sabiam o que fazer. Durante a tentativa de atenuar a radiação, foi quebrado um medidor de radiação, um dos operadores feriu-se e depois quando usaram o medidor de radiação com alarme descobriram que a fonte estava na posição de blindagem.	5.8.4; 5.9.4
29	Irradiador perdido durante o transporte	O operador esqueceu que tinha colocado o irradiador no pára-choque traseiro do caminhão e foi embora.	5.7.7
30	O tubo guia foi danificado devido a um contato com um equipamento de solda com defeitos	Duas tarefas, soldagem e radiografia, estavam sendo realizadas na mesma área e sem coordenação.	5.6.2

Caso	Tipo de Acidente Radiológico	Causas do Acidente Radiológico	Requisito do Formulário de Inspeção
31	Exposição acidental de dois operadores	Raios X	Raios X
		Falhas ou defeito no equipamento	
32	Acionamento do equipamento com defeito	Devido a falha de manivela, não era possível retornar a fonte a sua posição de blindagem. Foi preciso cortar o cabo de comando e em seguida devolver a fonte a posição de blindagem.	5.6.2
33	Mecanismo de travamento com defeitos	A fechadura tinha defeito e permitiu que a fonte saísse do irradiador.	5.6.2
34	Desconexão causada por um conector defeituoso	O engate macho do cabo de comando quebrou-se, causando uma desconexão.	5.6.2
35	Equipamentos e pessoal contaminados devido ao vazamento de uma fonte	O cabo de comando do irradiador e a mão do técnico do operador e o antebraço foram contaminados. O equipamento contaminado foi selado em sacos plásticos e eliminados, a causa da contaminação foi o vazamento da fonte por causa de uma solda com defeito durante o encapsulamento.	5.4.2; 5.4.4
36	Separação da blindagem de urânio exaurido no interior do irradiador	Os parafusos que prendem o conjunto da blindagem de uranio exaurido no interior do irradiador ficaram desapertados durante remodelação.	5.6.2
37	Fonte perdida a partir de um irradiador de acionamento pneumático	Uma fonte de ^{192}Ir (7 Ci) foi apanhada por um indivíduo que depois levou para casa, a fonte foi recuperada no dia seguinte. O operador não usou o medidor da radiação durante a operação.	5.10.1(b)
38	Desconexão da fonte	A desconexão ocorreu porque foi usado um conector de fonte que poderia ser facilmente desconectado.	5.6.2; 5.9.4
39	Exposição excessiva durante a troca do porta fontes	Troca intencional do porta fontes que não foi realizada de acordo com os procedimentos aprovados.	5.9; 5.10.1(a); 5.10.3; 5.10.4
40	Roubo resultando em exposição pública	Uma fonte foi roubada e depois recuperada numa loja de sucatas. Estima-se que a dose de corpo inteiro máxima do sucateiro foi de 200 mSv. A dose máxima para qualquer indivíduo em público é estimado em 35 mSv.	5.4.1; 5.4.2; 5.6.4
41	Indivíduos não treinados que realizaram radiografia sem supervisão	Dois trabalhadores não treinados receberam uma superexposição de corpo inteiro de 20 mSv. Nenhum dos dois indivíduos usava um detetor de radiação com alarme. Exposição à mão para um dos trabalhadores foi calculada como sendo de 900 mGy.	5.2.4; 5.6.6;5.9.4; 5.10.1; 5.10.2; 5.10.3
42	Um indivíduo não treinado que realizou radiografia sem supervisão	Trabalhador não treinado foi autorizado a operar o equipamento de radiografia.	5.2.4; 5.6.2;5.6.6; 5.8.4; 5.9; 5.10.1; 5.10.2;5.10.3;5.10.4
43	Roubo de uma fonte radioativa	O irradiador foi deliberadamente movido da sua posição inicial. A segurança que estava perto do irradiador permitiu que a fonte fosse movida. Além disso, o atraso em reportar a perda contribuiu para a dose fosse excessiva.	5.4.1; 5.4.2; 5.6.4

A coerção, o outro aspecto da metodologia usada, é uma ação tomada pela Autoridade Reguladora para aplicar as sanções e penalizações a uma instalação devido a existência de não conformidades.

A classificação de coerção foi usada para quantificar a proteção radiológica, pois apresenta um conceito claro sobre o risco radiológico que envolve a gamagrafia industrial.

Segundo a AIEA, as ações de coerção são classificadas da seguinte forma:

a) Questões que não constituam uma ameaça imediata à saúde e à segurança: são não-conformidades que não levam a um risco iminente, podendo a instalação continuar operando enquanto se adotam as medidas corretivas.
b) Existência de um risco potencial à saúde e à segurança: neste caso as não-conformidades são relativamente graves e a Autoridade Reguladora pode decidir suspender ou restringir as operações da instalação até que as infrações sejam sanadas.
c) Operações consideradas inseguras: as não-conformidades deste nível são extremamentes graves e a Autoridade Reguladora deve considerar a suspensão ou restrição das operações da instalação, onde seja factível, e poderá considerar o confisco das fontes de radiação.

Tomando por base a tabela 7, onde apresenta a correlação entre os acidentes radiológicos e os requisitos do Formulário de Inspeção, foram selecionados 25 requisitos do Formulário para correlacionar com a classificação da coerção. Para cada grupo de coerção foi estipulado um peso, dependendo do risco da não-conformidade. A tabela 8 apresenta a relação entre as ações de coerção, os 25 requisitos importantes de não-conformidades do Formulário e o peso para a quantificação.

Tabela 8: Relação entre as ações de coerção, os 25 itens importantes dos requisitos de não-conformidades do relatório e o peso para a quantificação.

Coerção	Requisitos importantes de não-conformidades do relatório		Peso	Pontos negativos
Questões que não constituam uma ameaça imediata à saúde e à segurança	✓	Registro de investigação de dose	1	5
	✓	Registro do controle médico		
	✓	Registro de medidores de radiação		
	✓	Registro de situações de emergência		
	✓	Registro do controle dosimétrico		
Existência de um risco potencial à saúde e à segurança	✓	Registro de fontes de radiação e movimentação	5	45
	✓	Registro de auditorias		
	✓	Monitoração individual		

	✓	Monitoração de área		
	✓	Programa para situações de emergência		
	✓	Procedimento de transporte		
	✓	Caixa metálica no transporte rodoviário		
	✓	Monitor fixo de radiação no local de armazenamento		
	✓	Controle de acesso à área controlada		
Operações consideradas inseguras I	✓	Levantamento radiométrico do irradiador	20	140
	✓	Treinamento de operador		
	✓	Monitoração do irradiador antes e depois de expor a fonte radioativa durante a operação		
	✓	Avaliação do irradiador, comando e tubo-guia de gamagrafia		
	✓	Medidores portáteis de radiação calibrados		
	✓	Monitores individuais com alarme ("bip") calibrados		
	✓	Segurança física do irradiador		
Operações consideradas inseguras II	✓	Autorização para Operação	50	200
	✓	Plano de Radioproteção		
	✓	Supervisor de Radioproteção		
	✓	Operador Registrado		
Total		25 itens		390

Ao final de uma inspeção poderão ser verificados os pontos negativos que a instituição recebeu devido as suas não-conformidades, num total de 390 pontos. Quanto maior for a pontuação recebida pela instalação, maior serão os riscos à saúde e a segurança.

7 CONCLUSÕES

A gamagrafia industrial, apesar de ser uma técnica relativamente simples de ensaio não-destrutivo, é classificada pela AIEA como Categoria 2, caracterizando-a como de alto risco radiológico. O grande número de acidentes radiológicos ocorridos nos últimos 20 anos tem levado a uma preocupação constante de todos os órgãos governamentais e de instituições científicas.

Devido a esses fatos, a implantação de um sistema de proteção radiológica, nas instalações de gamagrafia industrial, tem sido exigida pelos órgãos governamentais. Para fazer cumprir essa exigência, o governo mantem uma Autoridade Reguladora com funções bem definidas, tais como: licenciamento, inspeção, coerção e elaboração de regulamentos.

As bases técnicas utilizadas para a elaboração da metodologia de avaliação, isto é, os casos de acidentes radiológicos e a classificação de coerção mostraram-se coerentes, pois são elementos apresentados e comprovados internacionalmente.

Os 25 requisitos selecionados do Formulário de Inspeção para correlacionar com a classificação da coerção são itens que apresentam um potencial de risco radiológico podendo acarretar acidentes se não forem devidamente cumpridos.

Os pesos estipulados para cada grupo de coerção e consequentemente para cada requisito de análise demonstram o nível na quantificação da proteção radiológica.

A avaliação quantitativa da proteção radiológica em instalação de gamagrafia industrial, usando as não-conformidades encontradas em inspeção regulatória, pode se tornar uma ferramenta de grande auxílio no processo de licenciamento executado pela Autoridade Reguladora.

8 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que sejam coletados novos acidentes radiológicos em gamagrafia industrial para reforçar e consolidar a relação dos acidentes com os requisitos do Formulário de Inspeção.

Recomenda-se que essa metodologia seja aplicada retrospectivamente, isto é, usar os relatórios de inspeção já realizadas e classificar as instalações.

Recomenda-se que essa metodologia seja aplicada pela Autoridade Reguladora para uma avaliação mais adequada do desempenho das instalações radiativas relacionadas a proteção radiológica.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREUCCI, Ricardo. Radiologia Industrial. ABENDE – **Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos**. Disponível em http:/www.abende.org.br Edição 2005.

AQUINO, Josilto Oliveira. **Avaliação das condições de segurança radiológica de irradiadores portáteis panorâmicos de gamagrafia industrial utilizados no Brasil**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Radioproteção e Dosimetria) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 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-NN-3.01 – **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.** CNEN, Março/2014.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN NN 6.02**– Licenciamento de Instalações Radiativas.** CNEN Abril/2014.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN NE 3.02– **Serviços de Radioproteção**. CNEN, Agosto/1988.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. NORMA CNEN-NN 6.04– **Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial**. CNEN, Março/2013.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. NORMA CNEN-NN-7.01:– **Certificação Da Qualificação De Supervisores De Proteção Radiológica.** CNEN, Março/2013

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. NORMA CNEN NE 5.01– **Transporte de Material Radioativo.** CNEN, Agosto/1988.

DA SILVA, Francisco Cesar Augusto. **Uma metodologia de análise de acidentes radiológicos em gamagrafia industrial**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear) – Instituto Militar de Engenharia, 1990.

IAEA (International Atomic Energy Agency), **"Radiation safety in industrial radiography"**, Safety Standards Series No. SSG-11, Vienna, (2011).

IAEA (International Atomic Energy Agency), **“Lessons learned from accidents in industrial radiography”**, Safety Report Series No. 7, STI/PUB/1058, Vienna, 57 p (1998).

IAEA (International Atomic Energy Agency), “Categorization of radioactive Sources”, Safety Guide RS–G -1.9, Vienna, (2005).

International Standard Organization, ISO, 1997, ISO 3999:1977.

Francisco C A Da Silva, Luiz Ernesto S C Matta, João C Leocadio, Mônica A P do Rio, Marcello G Gomes, **Condução de Inspeções Regulatórias,** Cód.: 8.0-02, Data: 28/09/06.

RAMIRES, Álvaro Marques. **Análise dos acidentes radiológicos no contexto organizacional das empresas de radiografia industrial**. Dissertação (Mestrado Profissional Em Engenharia Programa De Pós-Graduação em engenharia de produção) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2000.

República de Moçambique, Conselho de Ministros: Decreto n.º 67/2009, Dezembro de 2009.

ANEXO: FORMULÁRIO DE INSPEÇÃO EM GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

Instalação Inspecionada:

Setor/Unidade: Matrícula CNEN:

1. INSPEÇÃO:

Tipo da Inspeção: [ ] Regulatória [ ] Programada [ ] Reativa [ ] OUTRA:

Objetivo: [ ] Avaliar condições de segurança radiológica e o controle de fontes

[ ] OUTRO:

Data: ___/___/____

2. DADOS DA INSTALAÇÃO INSPECIONADA

2.1. Endereço: Bairro:

Cidade: UF: CEP:

Telefone: ( ) Fax: ( )

CNPJ:

Endereço eletrônico ou http://

2.2. Caracterização da Instalação Aberta:

[ ] Canteiro de Obra [ ] Área Externa [ ] Via Pública

[ ] Plataforma ou Embarcação [ ] Outros:_____

Período da radiografia: [ ] Diurno [ ] Noturno

2.3. Identificação da Prestadora de Serviços:

Empresa:

CNPJ:

Endereço:

Bairro: Cidade: U.F.:

CEP: Tel.: Fax: E-mail:

Diretor: E-mail:

2.4. Identificação da Contratante:

Empresa:

CNPJ:

Endereço:

Bairro: Cidade: U.F.:

CEP: Tel.: Fax: E-mail:

Responsável: E-mail:

Função:

3. EQUIPE DE INSPEÇÃO

.....Matr._____-_____ (_____@_____)

.....Matr._____-_____ (_____@_____)

---

4. CONTATOS DURANTE A INSPEÇÃO

Contato: Sr(a)

E-mail:

Função:

---

5. DESCRIÇÃO DA INSPEÇÃO

Sistema de Avaliação:	**[N]** Não possui	**[S]** Possui	**[A]** Adequado
	[I] Inadequado	**[NA]** Não Aplicado	**[NV]** Não Verificado

Diretor: E-mail:

Última Inspeção: [ ] Data: ___/___/_____

5.1. Serviço de Radioproteção:

5.1.1.Supervisor de Radioproteção:

E-mail: Setor:

Certificado n□: Data de [ ] renovação / [ ] emissão:

5.1.2.Supervisor(es) de Radioproteção Substituto(s):

E-mail: Setor:

Certificado n°: Data de [ ] renovação / [ ] emissão:

5.2. Controles administrativos:

5.2.1. Autorização para Operação: [ ] Data do vencimento:
Ofício: Data de emissão:

5.2.2. Plano de Radioproteção: [ ]

5.2.3. Registro de Trabalhadores: [ ] (TABELA 1)

5.2.4. Registro de Treinamento [ ] Periodicidade prevista:
por: Realizada:

5.2.5. Registro do controle dosimétrico [ ] (Fichas individuais)

5.2.6. Registro de investigação de dose [ ]

5.2.7. Registro do controle médico [ ]

5.2.8. Registro de medidores de radiação [ ] (TABELAS 2 a 4)

5.2.9. Registro de fontes de radiação [ ] (TABELAS 5 e 6)

5.2.10. Registro de movimentação de fontes [ ]

5.2.11. Registro de monitoração de áreas [ ] (Item 5.4)

5.2.12. Registro do ensaio de fuga (Co60) [ ] Periodicidade prevista:
Realizada:

5.2.13. Registro de situações de emergência [ ]
n° de situações de emergência (5 anos): Data da última:

5.2.14. Registro das Inst. Abertas e Fechadas [ ]

5.2.15. Registro de Auditorias [ ]

Sistema de registro centralizado [ ]

5.3. Sistema de monitoração individual:

5.3.1. Instituição fornecedora: _____ [ ] certificada CASMIE

a) Tipo de monitor: [ ] filme [ ] TLD [ ] OSLD

b) Tipo de emissão: [ ] γ [ ] X

5.3.2. Local de guarda dos monitores individuais: [ ] do monitor individual de controle: [ ]

5.3.3. É fornecido resultado da monitoração individual aos empregados? [ ]

5.3.4. Doses: [ ] todas abaixo do valor mínimo detectável

[ ] encontradas doses acima do valor mínimo detectável

[ ] encontradas doses acima do nível de investigação

5.4. Sistema de Monitoração de área:

5.4.1. No local de armazenamento: [ ] Periodicidade prevista: Realizada:

5.4.2. No equip. de gamagrafia [ ] Periodicidade prevista: Realizada:

5.4.3. No transporte [ ]

5.4.4. Nos locais de operação: [ ]

5.5. Instrumentação:

5.5.1. Medidores portáteis de radiação calibrados (n°): (TABELA 2)

5.5.2. Monitores individuais com alarme ("bip") calibrados (n°): (TABELA 3)

5.5.3. Canetas dosimétricas calibradas (n°): (TABELA 4)

Carregador:

5.5.4. Teste de aferição: [ ] Data do último teste:

Fonte: n° série: Atividade: Data:

5.5.5. Local de guarda da instrumentação: [ ]

5.5.6. Estado de conservação: [ ]

5.6. Fontes de Radiação e Local de Operação:

5.6.1. Relação de Irradiadores e Fontes Radioativas: (TABELAS 5 e 6)

5.6.2. Avaliação dos Equipamentos de Radiografia: (TABELAS 7 a 9)

5.6.3. Descrição do Local de Armazenamento:

Tipo: [ ] sede [ ] casamata [ ] poço [ ] outros

Obs.:

5.6.4. Segurança Física do Local de Armazenamento:

localização [ ] exclusividade [ ] sinalização [ ]

condições da tranca [ ] controle das chaves [ ] controle de acesso [ ]

5.6.5. Monitor fixo:

Localização: Fabricante: modelo: nº de série:

Calibração: Sistema de alarme: luminoso [ ] sonoro [ ]

Teste de funcionamento [ ] periodicidade:

Metodologia:

5.6.6. Levantamento Radiométrico: (TABELAS 10 e 11)

5.6.7. A empresa possui local próprio para operação?

5.6.8. Descrição do Local de Operação:

5.7. Transporte Rodoviário:

5.7.1. Envelope de emergência: [ ] preenchimento [ ] conteúdo [ ] localização

5.7.2. Ficha de emergência: [ ] conteúdo

5.7.3. Certificados de vistoria dos irradiadores: [ ]

5.7.4. Instruções para pernoite: [ ]

5.7.5. Tipo de veículo:

5.7.6. Condições: [ ] Sinalização: [ ]

5.7.7. Caixa metálica: [ ] fixada ao veículo local de fixação:
[ ] com inscrição [ ] com cadeado

5.7.8. Envelope de emergência: [ ] preenchimento [ ] conteúdo [ ] localização

5.7.9. Ficha de emergência: [ ] conteúdo

5.7.10. Certificados de vistoria dos irradiadores: [ ]

5.7.11. Instruções para pernoite: [ ]

5.8. Programa para Situações de Emergência:

5.8.1. Material e equipamento:

[ ] container [ ] pinça/garra [ ] blindagem [ ] cordas
[ ] funil [ ] ferramentas [ ] placas de sinalização

5.8.2. n° de "kits" de emergência: n° de fontes de radiação:

5.8.3. Comunicação de Emergência:

Meio: Verificação da eficácia:

5.8.4. Procedimentos de emergência: [ ]

Acessível aos trabalhadores: [ ] Aplicável: [ ]

5.9. Treinamento das equipes de radiografia:

5.9.1. Treinamento mais recente:

Por:

5.9.2. Existe avaliação do aprendizado [ ]

5.9.3. Existe re-treinamento periódico [ ]

5.9.4. Funcionários demonstram ter assimilado os treinamentos recebidos [ ]

5.10. Avaliação da equipe de radiografia:

5.10.1. Com relação à monitoração individual, o operador:

a) Utiliza adequadamente o monitor individual de leitura indireta[ ]
b) Utiliza adequadamente os monitores individuais de leitura direta [ ]
c) Utiliza adequadamente o zerador da caneta dosimétrica [ ]
d) Registra corretamente as leituras dos monitores individuais [ ]

5.10.2. Com relação ao balizamento de área, o operador

a) Mantém uma distância correta [ ]
b) Sinaliza corretamente [ ]
c) Mantém um correto controle de acesso [ ]
d) Monitora o local de trabalho [ ]
e) Registra corretamente o levantamento radiométrico [ ]

5.10.3. Com relação ao equipamento de radiografia industrial, o operador:

Usa adequadamente os dispositivos de segurança [ ]

Monitora o irradiador antes de expor a fonte [ ]

Monitora o irradiador depois de expor a fonte [ ]

5.10.4. Com relação à radioproteção, o operador:

Obedece aos procedimentos de rotina [ ] e de emergência [ ]

Obedece aos procedimentos de transporte [ ] e de armazenamento [ ]

5.11. **Dimensionamento** da Instalação: (TABELA 12)

5.11.1. **Dimensionamento** adequado? [ ]

---

6. EXIGÊNCIAS ANTERIORES:

Constam no processo as seguintes pendências:

7. NÃO CONFORMIDADES OBSERVADAS

Esta inspeção verificou as seguintes não conformidades:

---

8. **EXIGÊNCIAS DECORRENTES**

---

9. **COMENTÁRIOS**

10. **REFERÊNCIAS**

Processo

Norma **CNEN NN-3.01**

Norma **CNEN NE-3.02**

Norma **CNEN NN-6.04**

OUTROS:

---

11. TABELAS COMPLEMENTARES À LISTA DE VERIFICAÇÕES:

Tabela 1 – Relação de Trabalhadores:

#	Nome	Função	Monitor individual
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			

Tabela 2 – Instrumentação (Medidores Portáteis de Radiação):

#	Fabricante	Modelo	n° série	Escala	Última Calibração - Local	Adequação
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						

Tabela 3 – Instrumentação (Monitores Individuais com Alarme Sonoro):

#	Fabricante	Modelo	n° série	Última Calibração - Local	Adequação
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					

Tabela 4 – Instrumentação (Canetas Dosimétricas):

#	Fabricante	Modelo	n° série	Escala	Última Calibração - Local	Adequação
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						

Tabela 5 – Irradiadores e Fontes Radioativas:

#	Fabricante	Modelo	n° série	C.V.I. – validade	Isót.	C.F.	n° série fonte	At.(GBq) – data	Localização
01									
02									
03									
04									
05									

C.V.I. – Certificado de Vistoria do Irradiador; C.F. – Certificado da Fonte

Tabela 6 – Aparelhos de Raios X:

#	Fabricante	Modelo	n° série	kV (máx)	mA (máx)	Localização
01						
02						
03						

Tabela 7 – Avaliação dos Irradiadores:

Irradiador	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Conservação				
Sinalização				
Placa Metálica				
Testes dos Engates				
Testes dos Sistemas de Segurança				
Tampa Dianteira				

Tabela 8 – Avaliação dos Comandos dos Irradiadores:

Irradiador	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Tipo				
Testes dos Engates				
Teste de Acionamento				
Conservação do Cabo de Aço				
Conservação do Conduíte				

Tabela 9 – Avaliação do Tubo-Guia:

Irradiador	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Tipo				
Conservação do Tubo-Guia				
Conservação do Terminal				

Tabela 10– Levantamento Radiométrico de Irradiadores:

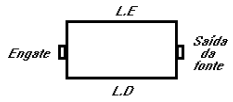
<table>
<tr><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Posição no Irradiador</td><td colspan="4">Taxa de Dose na Superfície /
Taxa de Dose a 1 m (mSv/h)</td></tr>
<tr><td>Irradiador n° 1</td><td>Irradiador n° 2</td><td>Irradiador n° 3</td><td>Irradiador n° 4</td></tr>
<tr><td>Engate do Comando</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Lateral Direita</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Lateral Esquerda</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Saída da Fonte</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Alça</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Monitor utilizado: marca / modelo / n° de série / sonda</td></tr>
<tr><td colspan="5">RF = μSv/h</td></tr>
</table>

Tabela 11 – Levantamento Radiométrico de Área

Pto.	Distância da fonte (m)	Taxa de Dose (mSv/h)	Descrição do ponto
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
Monitor utilizado: marca / modelo / n° de série / sonda			
RF = μSv/h			

Tabela 12 – Dimensionamento da Instalação:

ITEM	SITUAÇÃO ATUAL	AVALIAÇÃO
Supervisor de Radioproteção		
Operadores Credenciados		
Fonte Radioativa (Ir / Co / Se)		
Raios-X		
Medidores de Radiação Calibrados		
Monit. Individuais com Alarme Sonoro (Bip)		

Avaliação de acordo com o n° de Fontes: A - *Aceitável* I – *Inaceitável*