

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

AVALIAÇÃO DE UM PLANO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DE UMA INDÚSTRIA  
QUÍMICA

por

Júlio César Führ

Orientador:  
Volnei Borges

Porto Alegre, dezembro de 2012.

AVALIAÇÃO DE UM PLANO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DE UMA INDÚSTRIA  
QUÍMICA

por

Júlio César Führ  
Engenheiro Químico

Monografia submetida ao Corpo Docente do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Especialista

Orientador: Prof. Dr. Volnei Borges

Prof. Dr. Sergio Viçosa Möller  
Coordenador do Curso de Especialização em  
Engenharia de Segurança do Trabalho

Porto Alegre, 18 de dezembro de 2012.

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram para que eu realizasse a especialização e na conclusão deste TCC. Em especial, a minha esposa Rafaela e ao meu filho Pedro Henrique, que sempre foram a minha fonte de inspiração. Também dedico ao Engenheiro de Segurança do Trabalho e colega Luis Slavutzki, que foi um grande incentivador para que eu realizasse esta pós-graduação.

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar um plano de radioproteção existente em uma indústria química que utiliza radiações ionizantes, através de medidores fixos, em várias etapas do seu processo produtivo. Para a realização desta avaliação foram considerados os conceitos de radiações ionizantes e as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. A estrutura do trabalho consiste, portanto, em uma revisão bibliográfica inicial, englobando aspectos relativos a radiações ionizantes, a aplicação desta na indústria, bem como conceitos de proteção radiológica. Na sequência são citados, de acordo com as normas da CNEN, os requisitos para um plano de radioproteção em uma indústria que utiliza medidores nucleares fixos, sendo, posteriormente, apresentado o plano avaliado pertencente à indústria química assim como a análise deste, juntamente com as devidas conclusões auferidas. O trabalho cumpriu plenamente o seu objetivo, sugerindo algumas modificações no plano atual referentes, principalmente, aos aspectos de segurança física das instalações, à comunicação quanto ao uso de radiações ionizantes e a melhorias com relação à sinalização de segurança.

## ABSTRACT

### “EVALUATION OF A RADIATION PROTECTION PLAN OF A CHEMICAL INDUSTRY”

This essay was developed with the purpose of evaluating an existing radioprotection plan in a chemical industry which uses ionizing radiation, using fixed gauges at various stages of its production process. For this analysis were considered concepts of ionizing radiation and the standards of the Brazilian National Commission of Nuclear Energy – CNEN. The structure of the essay consists, therefore, in an initial literature review, covering aspects related to ionizing radiation, the application of concepts in the industry and radiological protection. Following, the requirements for a radioprotection plan are cited according to the norms of CNEN, in an industry which uses nuclear fixed gauges, and later presented the evaluated plan with its analysis and the final conclusions. The essay has fulfilled its purpose, suggesting some modifications to the current plan related mainly to aspects of physical security of facilities, communication about the use of ionizing radiation and improvements regarding safety signaling.

## ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. RADIAÇÕES IONIZANTES E EFEITOS BIOLÓGICOS .....	3
2.1 A evolução da tecnologia nuclear e a radioatividade.....	3
2.2 Conceitos de Radioatividade.....	4
2.3 Unidades de Medida.....	8
2.4 Avaliação de Dose.....	9
2.5 Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes.....	12
3 APLICAÇÃO DE RADIAÇÕES IONIZANTES NA INDÚSTRIA.....	16
3.1 Equipamentos para controle de qualidade do produto final.....	16
3.2 Equipamentos para medição de nível, densidade, vazão mássica e sólidos.....	18
3.3 Radiografia industrial.....	20
4 PROTEÇÃO RADIOLÓGICA.....	22
4.1 Princípios da proteção radiológica.....	22
4.2 O papel da CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear.....	24
4.3 Requisitos de um Plano de Radioproteção.....	26
5 PLANO DE RADIOPROTEÇÃO ATUAL.....	36
5.1 Dados Cadastrais.....	36
5.2 Descrição da Instalação.....	36
5.3 Justificativa.....	37
5.4 Descrição do Serviço de Radioproteção.....	37
5.5 Descrição dos Medidores Nucleares.....	40
5.6 Aquisição, Recebimento, Instalação e Desativação dos Medidores Nucleares.....	42
5.7 Inventário de Fontes Radioativas.....	44
5.8 Controle de Segurança.....	44
5.9 Controle de Equipamento do Serviço de Radioproteção.....	45
5.10 Descrição e Classificação das Áreas.....	49
5.11 Programa de Treinamento.....	50
5.12 Instruções Fornecidas aos Trabalhadores.....	52
5.13 Programa de Monitoramento Individual.....	53
5.14 Exames Médicos.....	54

5.15	Local para Armazenamento Temporário de Fontes.....	55
5.16	Transporte de Material Radioativo.....	55
5.17	Programa de Emergência.....	55
5.18	Programa de Garantia da Qualidade do Sistema de Radioproteção.....	60
5.19	Registros da Instalação.....	61
5.20	Planta da Instalação com os medidores nucleares.....	62
5.21	Termo de Responsabilidade do Diretor da Instalação.....	62
5.22	Referências Bibliográficas.....	63
5.23	Termo de Fechamento.....	64
5.25	Anexos do Plano Atual.....	65
6	ANÁLISES E DISCUSSÃO DO PLANO DE PROTEÇÃO ATUAL.....	66
7	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
	ANEXOS.....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Número de Massa
A(t)	Atividade de uma amostra no instante t
ASO	Atestado de Saúde Ocupacional
Bq	Bequerel [dps]
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
Ci	Curie [dps]
CSS	Comissão que aprova todos os padrões de segurança do IAEA
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CRCN-CO	Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro Oeste
CRCN-NE	Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste
CFTV	Circuito Fechado de TV
dps	Desintegrações por segundo
D	Dose Absorvida [J/kg]
E	Exposição
Gy	Gray [J/g]
H	Dose Equivalente [J/kg.Q.N]
HE	Dose equivalente efetiva
IAEA	Agência Internacional de Energia Atômica
I	Intensidade
ICRP	Comissão Internaciona de Proteção Radiológica
IEN	Instituto de Engenharia Nuclear
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
mSv	Milisievers (E-3 Sv)
MeV	Mega-eletron volt [J]
n	Número de Nêutrons
NUSSC	Comite de Segurança Nuclear do IAEA
p	Próton
QCS	Sistema de Controle de Qualidade
R	Roentgen [C/Kg]

Rad	Dose absorvida de Radiação [J/g]
Rem	Roentgen Equivalent Man [J/kg.Q.N]
RASSC	Comitê de segurança e proteção radiológica do IAEA
RAR	Requerimento para Aquisição de Radioisótopo
SR	Supervisor de Radioproteção
Sv	Sivert [J/kg.Q.N]
SLI	Solicitação de Licenciamento de Importação
t	Tempo
TRANSSC	Comitê de transporte de material radioativo do IAEA
$T_{1/2}$	Tempo de meia vida
X	Exposição [C/Kg]
WASSC	Comitê de segurança dos rejeitos radioactivos do IAEA
Z	Número de Prótons
$\alpha$	Radiação Alfa
$\beta$	Radiação Beta
$\beta^-$	Beta Negativo (ou negatron)
$\beta^+$	Beta positivo
$\gamma$	Radiação Gama
$\nu^*$	Anti-neutrino
$\nu$	Neutrino
$\lambda$	Constante de decaimento
$\mu\text{Sv}$	Micro-sivert (E-3 Sv)

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	TÍTULO	Pág.
Figura 2.2.1	Exemplo de decaimento alfa.....	6
Figura 2.2.2	Exemplo de decaimento $\beta^-$ .....	7
Figura 2.2.3	Exemplo de decaimento Gama.....	7
Figura 2.2.4	Duas formas de produzir raios X.....	8
Figura 2.5.1	Fontes de exposição à radiação.....	14
Figura 2.5.4	Síndrome aguda da radiação.....	15
Figura 3.1.1	Scanner para controle de qualidade do produto final.....	16
Figura 3.1.2	Cabeçote, que faz parte do scanner.....	17
Figura 3.1.3	Tela do computador de processo, com as informações geradas.....	17
Figura 3.2.1	Medidor radiométrico de nível/densidade contínuo.....	18
Figura 3.2.2	Medidor radiométrico de nível/densidade pontual.....	19
Figura 3.2.3	Medidor radiométrico de peso de sólidos em transportadores.....	19
Figura 3.2.4	Medidor radiométrico de peso de sólidos em suspensão.....	19
Figura 3.3.1	Exemplo de irradiador portátil.....	20
Figura 3.3.2	Detalhes do interior do irradiador.....	20
Figura 3.3.3	Elementos de um irradiador.....	21
Figura 4.3.6	Símbolo Internacional de Radiação Ionizante.....	29
Figura 5.12	Identificação de Área Supervisionada.....	53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tab.	TÍTULO	Pág.
Tabela 2.4.3	Fator de qualidade (Q).....	10
Tabela 2.4.4	Fatores de ponderação para órgãos do corpo humano.....	12
Tabela 3.1	Radioisótopos típicos usados em scanner .....	17
Tabela 4.1.1	Valores para a camada semicondutora de chumbo.....	23
Tabela 4.1.2	Materiais usados para blindagem de acordo com o tipo de radiação.....	23
Tabela 4.3.1	Limites de Doses Anuais.....	32
Tabela 5.5	Medidores de Radiação.....	40
Tabela 5.17.7	Telefones de emergência.....	59
Tabela 5.25	Anexos do Plano de Radioproteção da Indústria.....	65
Tabela 6.1	Cálculo do valor da atividade normalizada de fontes seladas – Sn.....	66

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, as indústrias incorporam avançadas tecnologias, com o objetivo de se ter o processo otimizado e controlado, melhorando o desempenho, reduzindo perdas de produção e otimizando os custos.

Entre as tecnologias empregadas na indústria estão aquelas que fazem uso das radiações ionizantes, que são largamente utilizadas no controle de processos, destacando-se, por exemplo, medição de nível, densidade, medições de gramatura, carga mineral, esterilização de matérias entre outras aplicações.

Como o uso de radiações ionizantes deve ser rigidamente controlado para evitar o uso inadequado, que pode acarretar danos aos indivíduos ocupacionalmente expostos e ao público em geral, as instituições que utilizam fontes de radiações ionizantes devem ter um plano de proteção radiológica, contendo mecanismos que minimizem a probabilidade de ocorrência de incidentes e acidentes envolvendo o uso dessas fontes. Embora situações como estas são raras de ocorrer, possuem um potencial de dano ao homem e ao meio ambiente que pode ser elevado, merecendo um destaque especial, na área industrial, nos serviços de gamagrafia e de radiografia industrial.

Nos últimos anos, as radiações ionizantes vêm sendo tema de muitas discussões, em órgãos governamentais ou não, tanto no Brasil como no exterior. Possivelmente, tal preocupação seja reflexo dos acidentes radiológicos de grandes proporções ocorridos, como Goiânia, Chernobyl e recentemente Fukushima. Documentos e relatórios técnicos da “Internacional Agency Energy Atomic”, discorrem sobre este tema, recomendando algumas práticas necessárias para minimizar o risco de acidentes com fontes radioativas (Ramires, 2000).

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que é o órgão regulador das atividades com fontes radioativas no país, trabalha para que a população em geral possa usufruir dos benefícios do uso pacífico da energia nuclear, assegurando a devida e necessária proteção aos trabalhadores, à população e ao meio ambiente com relação aos efeitos nocivos à exposição às radiações ionizantes (Marechal, 2012).

Dentro deste contexto, foi proposto este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), cujo objetivo principal consiste em avaliar um plano de radioproteção existente em uma indústria química, que utiliza medidores nucleares fixos para o controle de processo. A partir desta avaliação, serão recomendadas melhorias no plano avaliado, adequando aos conceitos e tecnologias de proteção radiológica.

Como objetivos específicos, podem-se citar:

- Conhecer e aplicar as tendências de proteção radiológica, tanto no Brasil como no exterior, após os últimos eventos de acidentes de grandes proporções;
- Desenvolver uma nova visão para melhor aperfeiçoar os conhecimentos na área de radiações ionizantes;
- Utilizar os conhecimentos adquiridos como uma excelente ferramenta para otimização e gerenciamento do Serviço de Radioproteção da empresa analisada.

Este TCC está estruturado em 7 capítulos, iniciando pela introdução. No capítulo 2, tem-se um histórico das radiações ionizantes e os seus efeitos biológicos, descrevendo a evolução da tecnologia nuclear, os principais conceitos associados às radiações, as grandezas radiológicas e as características físicas das radiações. Na seqüência, o capítulo 3 apresenta uma revisão da aplicação das radiações ionizantes, com foco principal na área industrial, sendo apresentados os princípios de funcionamento de medidores nucleares fixos e noções de gamagrafia. No capítulo 4, inicialmente, é realizada uma introdução dos princípios de proteção radiológica e após é realizada uma descrição de como deve ser um plano de radioproteção, com base nas normas do CNEN. Em seguida, no capítulo 5, é apresentado o plano atual, no qual será realizada a análise, sendo este o capítulo 6. Por último, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões.

## 2. RADIAÇÕES IONIZANTES E EFEITOS BIOLÓGICOS

### 2.1 A evolução da tecnologia nuclear e a radioatividade

As radiações ionizantes não são percebidas naturalmente pelos órgãos de sentido do ser humano, diferentemente da luz e do calor. Assim, embora sempre fizessem parte do meio ambiente, não se conhecia a sua existência nem a sua utilização até os últimos anos do século XIX, quando iniciou seu uso e, como consequência, surgiram os danos à saúde, bem como os benefícios.

Em 1895, o pesquisador alemão Wilhelrn Conrad Roentgen descobriu os raios X, um marco para a medicina. Pelo efeito da fluorescência em determinadas substâncias e pelo poder de atravessar o corpo humano, os raios X eram capazes de impressionar chapas fotográficas. Assim, permitiam obter imagens do interior do corpo humano e, em 1896 foi instalada a primeira unidade diagnóstica de raios X nos Estados Unidos.

Paralelamente, também em 1896, Antonir Henri Becquerel trouxe a tona que, em seus experimentos, um sal de urânio emitia radiações espontaneamente. Posteriormente, anunciou que as radiações descobertas tinham propriedades semelhantes aos raios X, ou seja, atravessavam materiais opacos e escureciam chapas fotográficas. Verificou, ainda, que as radiações eram proporcionais à concentração de urânio e que esta proporcionalidade permanecia inalterada através das variações de temperatura, de campos magnéticos e elétricos, de pressão e até estado físico.

Várias pesquisas foram sendo realizadas neste campo até que o casal Pierre e Marie Curie descobriu e isolou naturalmente os primeiros elementos químicos radioativos: o polônio e o rádio. O casal preocupou-se em verificar se os elementos químicos emitiam raios, cuja denominação de “radioatividade” foi dada pela própria Marie Curie.

Estudos e experimentos continuaram a ser realizados para elucidar as idéias a respeito da constituição da matéria e dos átomos, sendo que o conhecimento contribuiu para o desenvolvimento da física atômica e nuclear, mecânica quântica e ondulatória. Cientistas como Ernest Rutherford, Niels Bohr, Max Plack, Lois de Broglie, Albert Einstein, Enrico Fermi entre outros contribuíram e muito neste sentido.

Infelizmente, nem sempre a energia nuclear foi utilizada para o bem da humanidade. Em 1939 já se sabia que o rompimento do átomo gerava uma grande quantidade de energia, chamado de “fissão nuclear”. Estes conhecimentos possibilitaram a construção dos primeiros explosivos nucleares e, em 1945, a humanidade tomou conhecimento do poder devastador das bombas

atômicas lançadas na cidade de Hiroshima e Nagasaki. O efeito das bombas não se restringiu a onde de choque e calor gerados, mas muitas pessoas morreram posteriormente pelos efeitos causados pelas radiações ionizantes, quando não se tinham conhecimentos dos efeitos biológicos causados pelas radiações, apesar da existência de relatos, já em 1922, que muitos radiologistas tinham morrido em consequência dos danos causados pelas radiações.

Também existiam relatos de sérias lesões e mortes de operárias, que trabalhavam pintando painéis e ponteiros luminosos e relógio em New Jersey, entre 1917 e 1924. Essas lesões foram provocadas pelas radiações emitidas pelos sais de rádio, ingeridos pelas operárias, durante o seu trabalho.

Todos estes fatos levaram a comunidade científica à criação de um novo ramo na ciência, a proteção radiológica, com o objetivo de proteger os indivíduos, regulamentando e limitando o uso de radiações ionizantes (Bellintani et al. 2002; Ramires 2000)

## 2.2 Conceitos de Radioatividade

Na natureza, encontram-se átomos com o mesmo número de massa ( $A$ ) e com diferentes números de prótons ( $Z$ ) e nêutrons ( $n$ ), isto é, átomos com um mesmo número de massa ( $A$ ) mas com uma razão entre o número de prótons ( $Z$ ) e nêutrons ( $n$ ), razão  $Z/n$ , diferentes. Como exemplo, tem-se o silício ( $^{28}\text{Si}$ ), o alumínio ( $^{28}\text{Al}$ ) e o fósforo ( $^{28}\text{P}$ ) onde todos tem o mesmo número de massa ( $A=28$ ), porém o silício ( $^{28}\text{Si}$ ), contém em seu núcleo 14 nêutrons e 14 prótons ( $Z/n=14/14$ ), enquanto que o alumínio ( $^{28}\text{Al}$ ) contém em seu núcleo 15 nêutrons e 13 prótons ( $Z/n=13/15$ ) e o fósforo, ( $^{28}\text{P}$ ), contém em seu núcleo 15 prótons e 14 nêutrons ( $Z/n=15/13$ ).

Para cada número de massa existe somente uma razão  $Z/n$  para qual o núcleo é estável, ou seja, não radioativo. Todos os outros átomos com o mesmo número de massa, porém com razão  $Z/n$  diferentes são instáveis, ou seja, radioativos, e buscam a estabilidade emitindo radiações e transformando-se em outro átomo.

No exemplo citado, o silício ( $^{28}\text{Si}$ ) é o átomo estável, enquanto que o alumínio ( $^{28}\text{Al}$ ) e o fósforo ( $^{28}\text{P}$ ) são radioativos e buscam a estabilidade transformando-se (decaindo) em silício ( $^{28}\text{Si}$ ).

Tudo o que existe na natureza tende a permanecer em um estado estável. Os átomos instáveis passam por um processo que os tornam mais estáveis. Este processo envolve a emissão do excesso de energia do núcleo, sendo denominado radioatividade ou decaimento radioativo. Portanto, radioatividade é a alteração espontânea de um tipo de átomo em um outro com a emissão de radiação para atingir a estabilidade.

A energia liberada pelos átomos instáveis (radioativos), é denominada radiação ionizante. Os termos radiação e radioativo frequentemente são confundidos. Deve-se ter sempre em mente que estes dois termos são distintos: átomos radioativos são aqueles que emitem radiação.

Existem três tipos de radiação ionizante emitida pelos átomos radioativos:

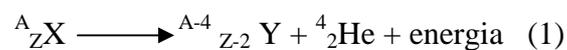
- alfa -  $\alpha$
- beta -  $\beta$
- gama -  $\gamma$

As radiações alfa e beta são partículas que possuem massa e são eletricamente carregadas, enquanto os raios gama são ondas eletromagnéticas. (Bellintani et al. 2002).

### 2.2.1 Radiações Alfa

Dentre as radiações ionizantes, as partículas alfa são constituídas de nêutrons e dois prótons, caracterizando um núcleo de Hélio. Devido a seu alto peso e tamanho, elas possuem pouca penetração e são facilmente absorvidas pelo ar. Uma simples folha de papel é capaz de barrar esta radiação e o seu alcance no ar não ultrapassa mais de 10 a 18 cm. Mesmo a partícula alfa com maior alcance (com maior energia) não consegue atravessar a camada morta da pele do corpo humano. Portanto, a partícula alfa originada fora do corpo do indivíduo não oferece perigo a saúde humana. Por outro lado, se o material radioativo emissor de partícula alfa estiver dentro do corpo ele será uma das fontes mais danosas de exposição à radiação. A partícula alfa quando emitida internamente no corpo do indivíduo depositará sua energia em uma pequena área, produzindo grandes danos a esta área.

Equação da transformação no decaimento alfa:



onde Z é o núcleo “pai”, Y o núcleo “filho” e He é o núcleo de Hélio, também conhecido como gás Hélio.

Na figura 2.2.1, temos um exemplo de decaimento alfa, sendo o núcleo “pai” de Urânio (U-235) e o núcleo “filho” gerado o elemento Tório (Th-231) (Borges, 2012; Bellintani et al. 2002).

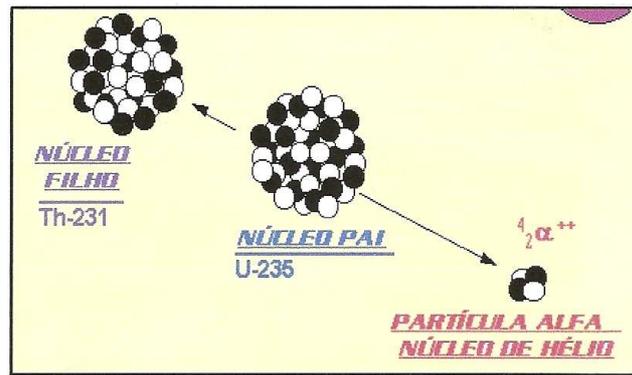


Figura 2.2.1 – Exemplo de decaimento alfa

Fonte: Bellintani et al. 2002

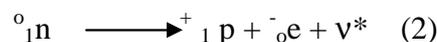
## 2.2.2 Radiação Beta

As partículas betas possuem a mesma massa e a mesma carga do elétron. Portanto, são menores e mais leves que as partículas alfa, movimentam-se muito rápido e apresentam um maior poder de penetração. Sua emissão constitui um processo comum em núcleos de massa pequena ou intermediária, que possuem excesso de nêutrons ou de prótons em relação à estrutura estável correspondente.

Elas podem penetrar vários milímetros na pele, mas não penetram uma distância suficiente para alcançar os órgãos mais internos do corpo humano e o maior risco das radiações beta ocorre quando emitidas em materiais radioativos depositados internamente ao corpo ou quando irradiam diretamente a pele e o cristalino dos olhos. (Andreucci, 2001; Bellintani et al. 2002).

### 2.2.2.1 Emissão de Beta negativo ( $\beta^-$ )

Quando um núcleo tem excesso de nêutrons em seu interior e, portanto, falta de prótons, o mecanismo de compensação ocorre através da transformação de um nêutron em um próton mais um elétron, que é emitido no processo de decaimento, conforme a equação 2.



onde “n” é o nêutron, “p” é o próton gerado, “e” é a emissão  $\beta^-$  (também chamado de negatron) e “ $\nu^*$ ” é o anti-neutrino.

Como exemplo de emissão  $\beta^-$ , na figura 2.2.2 um núcleo “pai” de Potássio (K-40) e o núcleo “filho” gerado o elemento Cálcio (Ca-40). (Borges, 2012; Bellintani et al. 2002).

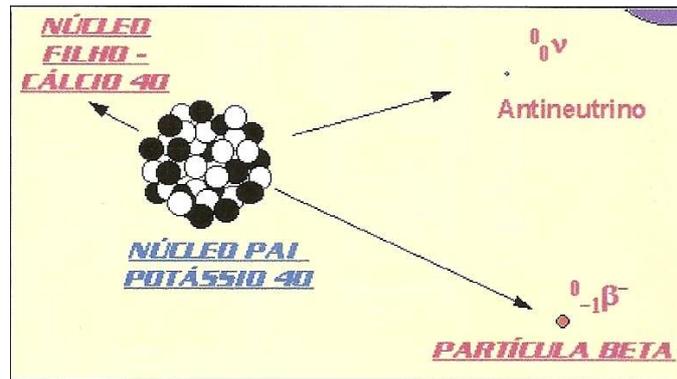
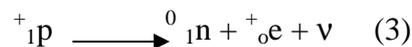


Figura 2.2.2 – Exemplo de decaimento  $\beta^-$

Fonte: Bellintani et al. 2002

### 2.2.2.2 Emissão de Beta positivo ( $\beta^+$ )

Quando esta emissão provém da transformação de um próton em um nêutron, conforme a equação 3.



onde “p” é o próton, “n” é o nêutron gerado, “e” é a emissão  $\beta^+$  (também chamada de pósitron) e “v” é o neutrino.

### 2.2.3 Radiação Gama

As radiações gama são de natureza ondulatória (eletromagnéticas), ao contrário das demais analisadas, que tem características corpusculares. Devido a isto, possui um alto poder de penetração nos materiais. A principal diferença da radiação gama eletromagnética e as demais radiações eletromagnéticas, é que é originada do próprio núcleo do átomo, possui um comprimento de onda pequeno e uma alta frequência.

Como exemplo de radiação Gama, na figura 2.2.3 temos um núcleo “pai” de Cobalto (Co-60) e o núcleo “filho” gerado o elemento Níquel (Ni-60). (Bellintani et al. 2002).

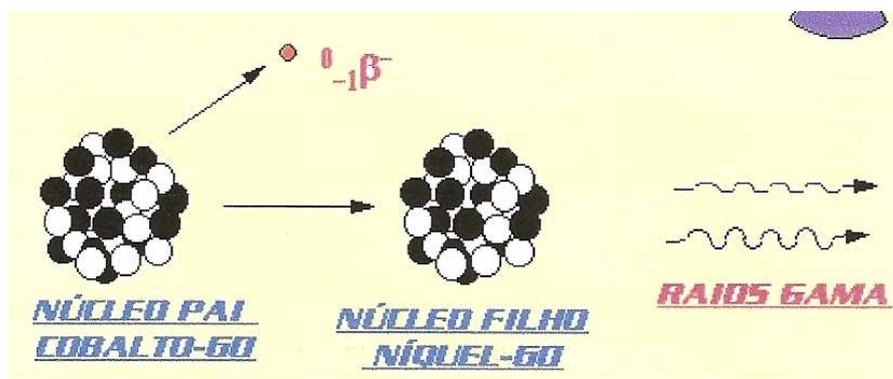


Figura 2.2.3 – Exemplo de decaimento Gama

Fonte: Bellintani et al. 2002

## 2.2.4 Raios X

Nos itens anteriores foram citados os três tipos principais de radiação ionizante. Além desses três tipos, temos ainda os raios X, muito usado na medicina e na radiografia industrial.

Os raios X são semelhantes aos raios  $\gamma$  quanto as suas propriedades, ou seja, são ondas eletromagnéticas de alta frequência e pequeno comprimento de onda. A principal diferença entre eles é que os raios  $\gamma$  são produzidos pelo núcleo do átomo, enquanto que os raios X podem ter origem na eletrosfera (raio X característico) ou por meio de freamento de elétrons (raio X artificiais). Todos os equipamentos utilizados para fins médicos e industriais produzem raios X artificiais.

Os raios X característicos são gerados a partir da colisão de um feixe de elétrons contra um alvo metálico. Quando esses elétrons se chocam contra o alvo sofrem um processo de desaceleração e liberam a sua energia em forma de calor e raios X (figura 2.2.4), parte superior

Já as máquinas geradoras de raios X artificiais (freamento) são equipamentos elétricos de alta tensão que podem ser desligadas, deixando de produzir os raios X (figura 2.2.4, parte inferior). Esta característica distingue o raio X das outras fontes radioativas – como exemplo – fontes emissoras de raio  $\gamma$  que emitem radiação espontânea continuamente.

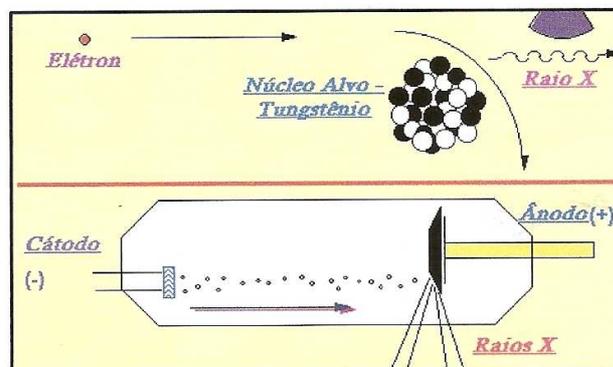


Figura 2.2.4 – Duas formas de produzir raios X. Na parte superior raios X característicos e na parte inferior raios X artificiais.

Fonte: Bellintani et al. 2002

## 2.3 Unidades de Medida

### 2.3.1 Atividade

É a grandeza utilizada para expressar a quantidade de material radioativo e representa o número de átomos que se desintegram, por unidade de tempo, tendo como unidade Becquerel (Bq). Uma taxa de desintegração de 1 desintegração por segundo, 1dps, é definida como 1 Bq.

Antigamente era utilizada a unidade chamada de Curie (Ci), que equivale a 37 bilhões de dps ou  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

Em um determinado instante, a atividade de uma determinada amostra é dada por:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (4)$$

onde,  $A(t)$  é a atividade de uma amostra no instante  $t$ ,  $A_0$  é a atividade no instante zero,  $\lambda$  é a constante de decaimento, que representa a probabilidade de decaimento por átomo por segundo e  $t$  é o tempo transcorrido.

É importante observar na equação (4) que a atividade  $A(t)$  obedece a uma lei exponencial decrescente com o tempo. Assim, a atividade nunca se tornará zero, embora assumam valores progressivamente menores. Em outras palavras, significa o material radioativo sempre estará emitindo alguma radiação, não importando quanto tempo tenha transcorrido desde a sua formação.

### 2.3.2 Meia Vida

A meia-vida de uma mostra radioativa representa o tempo necessário para que a atividade diminua a metade do seu valor inicial, sendo representado por  $T_{1/2}$ . A relação entre a meia vida e a constante de decaimento  $\lambda$  é dada por

$$T_{1/2} = 0,693/\lambda \quad (5)$$

### 2.3.3 Energia de Radiação

Um elétron-volt eV é a energia cinética adquirida por um elétron ao ser acelerado por uma diferença elétrica de 1V.

$$1 \text{ MeV} = 10^{+6} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Joule} \quad (6)$$

## 2.4 Avaliação de Dose

O conceito de dose foi introduzido em proteção radiológica em analogia ao seu uso em farmacologia, uma vez que queremos determinar o efeito causado por uma dose de radiação ionizante.

A dose de radiação recebida por um indivíduo pode ser avaliada por meio das seguintes grandezas: exposição, dose absorvida, dose equivalente e dose equivalente efetiva.

### 2.4.1 Exposição (X)

A grandeza de exposição, cujo símbolo é  $X$ , foi a primeira grandeza definida para fins de radioproteção. Esta grandeza é uma medida da habilidade ou da capacidade dos raios X e  $\gamma$  em produzir ionizações no ar. Ela mede a carga elétrica total produzida por raios X e  $\gamma$  em um quilograma de ar.

A unidade atual desta grandeza é coulomb por quilograma (C/kg). A unidade antiga é roentgen (R) que equivale a  $2,58 \cdot 10^{-4}$  C/kg.

Os instrumentos de medida de radiação, em sua maioria, registram a taxa de exposição que é medida por unidade de tempo, isto é, C/(kg.h) ou C/(kg.s).

É importante observar que a grande exposição somente é definida para radiação X e gama interagindo com o ar.

#### 2.4.2 Dose Absorvida (D)

Esta grandeza foi definida para suprir as limitações da grandeza de exposição e possui como símbolo D.

A grandeza de dose absorvida é mais abrangente que a grandeza de exposição, pois é válida para todos os tipos de radiação (X,  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ) e é válida para qualquer tipo de material absorvedor. Ela é definida como a quantidade de energia depositada pela radiação ionizante na matéria, num determinado volume conhecido.

A unidade atual da grandeza da dose absorvida é Gray (Gy) que equivale a 1 J/kg. A unidade antiga é o rad que equivale a  $10^{-2}$  J/kg, ou seja,  $10^{-2}$  Gy.

A medida da taxa de dose absorvida tem por definição a medida da dose absorvida por unidade de tempo, cuja unidade é o Gy/h.

#### 2.4.3 Dose Equivalente (H)

As grandezas definidas até agora levaram em conta a energia absorvida no ar e no tecido humano, porém não leva em conta a possibilidade de produzir efeitos biológicos no homem. Foi então definida a grandeza dose equivalente, cujo símbolo é H, que considera fatores como o tipo de radiação ionizante, a energia e a possibilidade de produzir danos biológicos nos tecidos vivos.

A dose equivalente é numericamente igual ao produto da dose absorvida (D) pelos fatores de qualidade Q e N.

$$H = D.Q.N \quad (7)$$

onde H é a dose equivalente, Q o fator de qualidade e N é o produto de outros fatores multiplicadores.

O fator de qualidade Q relaciona o efeito de diferentes tipos de radiação em termos de danos aos tecidos. Este Q representa na realidade o poder de ionização dos diferentes tipos de radiação ionizante no meio e os valores obtidos para Q são apresentados na tabela 2.4.3.

Tabela 2.4.3 – Fator de qualidade (Q) em função da transferência linear de energia não restrita na água, L

L na água (em keV/ $\mu$ m)	Q(L)
<10	1
10-100	0,32L - 2,2
> 100	$300/(L)^{1/2}$

Fonte: adaptado da Posição Regulatória 3.01/2011 CNEN.

O N é o produto de outros fatores modificadores, que permitem avaliar a influência da dose de um radionuclídeo depositado internamente. Atualmente o valor usada para N é 1.

A unidade antiga da dose equivalente é o rem. A unidade nova é o sievert (Sv) e 1 Sv equivale a 100 rems.

A medida da taxa de dose equivalente tem por definição a medida da dose equivalente por unidade de tempo, cuja unidade é o Sv/h.

#### 2.4.4 Dose equivalente efetiva (HE)

Com o objetivo de se limitar o risco dos efeitos estocásticos, foi introduzido o conceito de dose equivalente efetiva. Esta grandeza está baseada no princípio de que para um certo nível de proteção, o risco deve ser o mesmo se o corpo inteiro foi irradiado uniformemente, ou se a irradiação é localizada em um determinado órgão. A dose recebida em cada órgão do corpo humano é multiplicada por um fator de ponderação ( $W_T$ ), o qual leva em conta o risco de efeitos estocásticos.

$$HE = \sum W_T \cdot H_T \quad (8)$$

onde HE é a dose equivalente efetiva,  $W_T$  é o fator de ponderação e  $H_T$  é a dose equivalente.

A tabela 2.4.4 apresenta os valores de fatores de ponderação para os diversos órgão do corpo humano.

Tabela 2.4.4 – Fatores de ponderação para órgãos do corpo humano

Órgão	Fator de Ponderação ( $W_T$ )
Gônadas	0,20
Medula Óssea	0,12
Cólon	0,12
Pulmão	0,12
Estômago	0,12
Bexiga	0,05
Mamas	0,05
Fígado	0,05
Esôfago	0,05
Tireoide	0,05
Pele	0,01
Superfície Óssea	0,01
Restante do Corpo	0,05

Fonte: adaptado da Posição Regulatória 3.01/2011 CNEN

No anexo 01 é apresentado um resumo das principais unidades e grandezas em radioproteção.

## 2.5 Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes

### 2.5.1 Fontes Naturais e Artificiais de Radiações

Os seres humanos e o seu meio ambiente têm sido expostos à radiação proveniente de fontes naturais e artificiais, sendo que estas radiações não são diferentes entre si, seja na sua forma ou nos seus efeitos.

A radiação natural é inevitável e tem sido recebida pelo homem e seu ambiente, ao longo de toda a sua existência. Esta radiação provém do cosmo (radiação cósmica), do solo, da água e do ar (origem terrestre).

De acordo com Brody (2012), todas as pessoas são expostas a uma determinada quantidade de radiação de fundo – cerca de três milisievers por ano (3mSv/ano), oriundo de raios cósmicos, do gás radônio e de elementos radioativos na terra. Em 1980, de acordo com a *The Harvard Letter* diversas fontes de radiação, como exames medidos, usinas nucleares, vazamentos

nucleares, aparelhos de televisão, monitores de computadores, detectores de fumaça e equipamentos em aeroportos acrescentavam em média 0,5 milisievers por ano.

Na medicina as radiações ionizantes são muito utilizadas pois trazem uma série de benefícios: podem revelar problemas escondidos, que vão desde ossos quebrados até lesões e tumores. Além disso, pode ser usada para tratar e, às vezes, curar o câncer.

Porém, complementa Brody (2012), a radiação tem uma grave desvantagem: sua capacidade de corromper o DNA e, 10 a 20 anos mais tarde, causar um câncer. As tomografias expõem três quartos dos americanos a uma radiação de 100 a 500 vezes maiores de que um exame de raio X normal e acredita-se que seja responsável por 1,5% de todos os casos de câncer nos Estados Unidos. Assim, já existe uma preocupação, nos Estados Unidos, em reconhecer o perigo no aumento do número de exames radiológicos, levando os especialistas a terem mais prudência antes de solicitar exames por imagem. Neste sentido, Smith-Bindman (2012) afirma: “houve um aumento no volume de todos os tipos de exames por imagem, mas as tomografias respondem pela maior parte. Este tipo de exame está sendo pedido em excesso. Todos os anos, mais de 10% dos pacientes estão sendo expostos a altíssimas doses de radiação”.

Conforme a figura 2.5.1., a radiação natural contribui com aproximadamente 81% da dose anual recebida pela população e os 19% advém de outras fontes artificiais de radiação. Neste gráfico, pode-se observar que a maior parte, 55% da dose anual por fontes de radiação é proveniente do radônio que está presente, principalmente, nos materiais de construção. No caso das doses provenientes de fontes artificiais (19%), a maior parte é devida a exposição de raios X para fins médicos. Com relação as doses ocupacionais – onde neste item incluem as recebidas por fontes radioativas nas indústrias – são muito pequenas, na ordem de 0,3%.

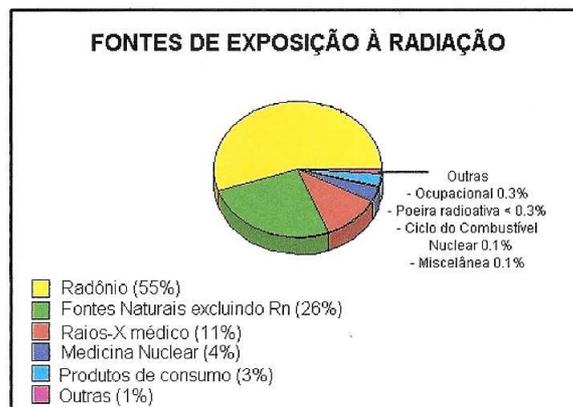


Figura 2.5.1 – Fontes de exposição à radiação

Fonte: Bellintani et al. 2002

### 2.5.2 Mecanismo de ação das radiações ionizantes

Os efeitos biológicos produzidos pelas radiações ionizantes no organismo humano são resultantes da interação dessas radiações com os átomos e as moléculas do corpo. Nessa interação, o primeiro fenômeno que ocorre é o físico e consiste na ionização e na excitação dos átomos, resultante da troca de energia entre a radiação e a matéria. Na sequência, ocorre o fenômeno químico, que consiste na ruptura das ligações químicas nas moléculas. A seguir, aparecem os fenômenos bioquímicos e fisiológicos. Após um intervalo de tempo variável, aparecem as lesões observáveis, que podem ser no nível celular ou no organismo como um todo. Na maioria das vezes, devido a recuperação do organismo, os efeitos não chegam a tornar-se visíveis ou detectáveis.

### 2.5.3 Características gerais dos efeitos biológicos das radiações ionizantes

#### 2.5.3.1 Especificidade

Os efeitos biológicos das radiações ionizantes podem ser provocados por outras causas que não são as radiações, isto é, não são característicos ou específicos das radiações ionizantes, sendo que outros agentes físicos, químicos ou biológicos podem causar os mesmos efeitos. Por exemplo, o câncer é um tipo de efeito que pode ser causado tanto pelas radiações como por outros agentes.

#### 2.5.3.2 Tempo de latência

É o tempo que ocorre entre o momento da irradiação e o aparecimento do dano biológico visível. No caso da dose ser alta, esse tempo é muito curto. Os danos decorrentes da exposição crônica, doses baixas com tempo de latência longo, podem apresentar tempos de latência da ordem de dezenas de anos, sendo o tempo de latência inversamente proporcional à dose. Como exemplo, em Hiroshima e Nagasaki, para a ocorrência de leucemia o tempo de latência variou de 6 a 12 anos após a explosão.

#### 2.5.3.3 Reversibilidade

Os efeitos biológicos causados pelas radiações ionizantes podem ser reversíveis. A reversibilidade de um efeito dependerá do tipo de célula afetada e da possibilidade de restauração desta célula. Existem, porém, os danos irreversíveis como o câncer e as necroses.

#### 2.5.3.4 Transmissibilidade

A maior parte das alterações causadas pelas radiações ionizantes que afetam uma célula ou um organismo não é transmitida a outras células ou outros organismos. Entretanto, podem-se ter danos causados ao material genético das células dos ovários e testículos, que podem ser transmitidos hereditariamente, através da reprodução.

### 2.5.3.5 Dose Limiar

Certos efeitos biológicos necessitam, para se manifestar, que a dose de radiação seja superior a um valor mínimo, chamado de dose limiar. Temos, também, os efeitos que não necessitam de uma dose mínima para se manifestar. Como exemplo, podemos citar a anemia, cuja dose limiar é 1 Sv e todas as formas de câncer, que teoricamente não necessitam de uma dose limiar.

### 2.5.3.6 Radiosensibilidade

Nem todas as células, os tecidos, os órgãos e os organismos respondem igualmente à mesma dose de radiação. As diferenças de sensibilidade observadas seguem a lei de “Bergonie e Tribondeau”: a radiosensibilidade das células é diretamente proporcional a sua capacidade de reprodução e inversamente proporcional ao seu grau de especialização.

## 2.5.4 Classificação dos Efeitos Biológicos

### 2.5.4.1 Efeitos Estocásticos

Os efeitos estocásticos são aqueles para os quais a probabilidade de ocorrência é em função da dose, não apresentando dose limiar, podendo o dano ser causado por uma dose mínima de radiação. Tem a característica também de serem acumulativos, sendo que quanto maior a dose, maior a probabilidade de ocorrência. Exemplos de efeitos estocásticos:

- carcinogênese de pele: exposições de pele, capaz de provocar radiodermite crônica;
- leucemia: período de latência, que vai de 6 a 10 anos;
- câncer de tireóide: observados nos sobreviventes de Hiroshima e Nagasaki e crianças expostas à radiação para tratamento de hipertrofia de timo;
- formação de cataratas: de seis meses a vários anos após a exposição.

### 2.5.4.2 Efeitos Determinísticos

Os efeitos determinísticos são aqueles cuja gravidade aumenta com o aumento da dose, tendo como exemplo a radiodermite, que é uma queimadura originada por irradiação. Na figura 2.5.4, temos um exemplo de uma “Síndrome Aguda por Radiação”.(Borges, 2012; Bellintani et al. 2002)



Figura 2.5.4 – Síndrome aguda da radiação

Fonte: Bellintani et al. 2002

### 3. APLICAÇÃO DE RADIAÇÕES IONIZANTES NA INDÚSTRIA

Na indústria, os materiais radioativos têm uma série de aplicações, destacando, principalmente, o controle de processos e produtos e o controle de qualidade de solda.

#### 3.1 Equipamentos para controle de qualidade do produto final

Na indústria de celulose, papel e filmes – tecidos e não tecidos - scanners são utilizados para monitorar continuamente o produto final, garantindo a qualidade do produto, através de um severo controle. Na figura 3.1.1, temos um exemplo de scanner muito utilizado, no qual a folha passa entre os cabeçotes do scanner, que se movimentam no sentido transversal, fazendo a varredura constantemente.



Figura 3.1.1 – Scanner para controle de qualidade do produto final

Fonte: catálogo da Metso Automation

Na figura 3.1.2, temos uma ampliação do cabeçote, onde podemos visualizar a fonte localizada na parte inferior e o detector na parte superior. Quando a folha passa entre o detector e a fonte (emissor), a mesma age como uma “blindagem”, fazendo com que o fluxo detectado varie e gerando uma resposta com relação a variável medida. Este conjunto está ligado a um computador de processo, no qual terá o resultado on line da medição, como podemos visualizar na figura 3.1.3.

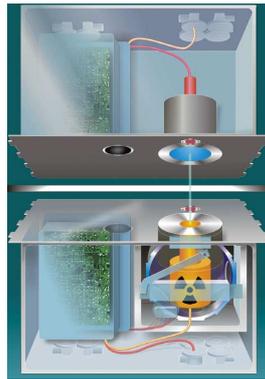


Figura 3.1.2 – Cabeçote, que faz parte do scanner, onde está localizada a fonte (emissor) e o detector (receptor)

Fonte: catálogo da Metso Automation

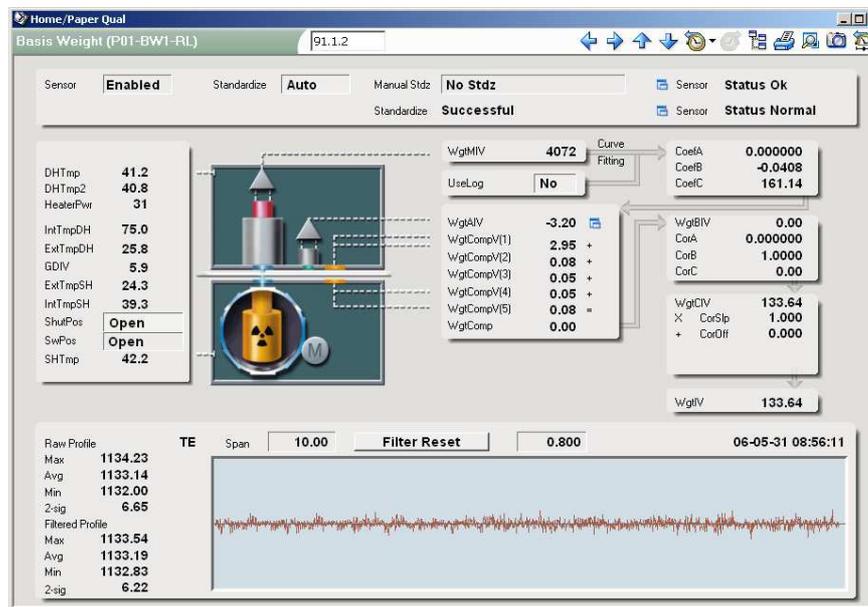


Figura 3.1.3 – Tela do computador de processo, com as informações geradas.

Fonte: catálogo da Metso Automation

Na tabela 3.1, temos os principais radioisótopos usados nos scanners de processo.

Tabela 3.1 – Radioisótopos típicos usados em scanner da indústria de celulose e papel

Radioisótopo	Atividade Inicial (mCi)	Meia-Vida (anos)	Radiação Emitida	Propriedade Medida
Fe-55	100	2,73	Raios X	Cinzas
Kr-85	400	10,76	Radiação $\beta$	Baixas e Médias Gramaturas
Sr-90	15	28,6	Radiação $\beta$	Altas Gramaturas

Fonte: manuais da Metso Automation

### 3.2 Equipamentos para medição de nível, densidade, vazão mássica e sólidos

O controle de processo através de medidores nucleares é uma medição sem contato e não é afetado pela pressão, temperatura ou propriedades físico-químicas do produto. Quando em uso, a radiação ionizante não afeta o material sendo medido. Além disso, os sistemas são montados externamente ao vaso/tubulação, evitando, desta maneira, a parada do processo para a sua instalação. Normalmente são usados fontes de Césio-137 ou Cobalto-60, ambos emissores de radiação gama.

#### 3.2.1 Medidores de nível e de densidade contínuo

Conforme a figura 3.2.1, o emissor é instalado do lado oposto do receptor, onde a radiação gama atravessa o produto e o vaso até o detector. Com o aumento do material (ou a sua densidade) certa quantidade é absorvida pelo produto, fazendo com que chegue menos radiação ao detector. Assim, quanto mais radiação incidente no detector, menor o nível ou a densidade do produto e quanto menor a radiação incidente, maior o nível ou a densidade.

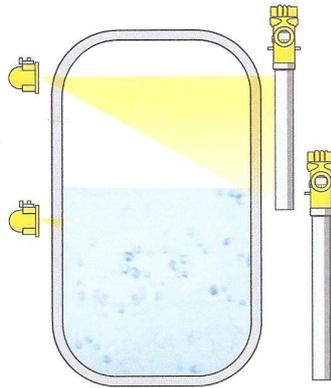


Figura 3.2.1 – Medidor radiométrico de nível/densidade contínuo

Fonte: catálogo da Lince Instrumentos (Ohmart-Veja)

#### 3.2.2 Medidores de nível/densidade pontual

Para uma medição pontual, um feixe de radiação gama focado é direcionado para um pequeno detector que sente a presença ou a ausência do feixe. Quando o material processado na câmara bloqueia a radiação gama, a queda é usada para energizar ou desenergizar um relé. Na figura 3.2.2, temos uma aplicação de um medidor pontual.

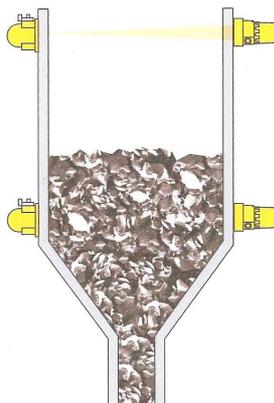


Figura 3.2.2 – Medidor radiométrico de nível/densidade pontual

Fonte: catálogo da Lince Instrumentos (Ohmart-Vega)

### 3.2.3 Medidores de peso de sólidos em transportadores

Neste tipo de equipamento (figura 3.2.3), a fonte e o detector são montados sobre uma estrutura de aço, sendo a estrutura montada ao redor do transportador (normalmente correia ou rosca) para medir a quantidade de produto que o atravessa, sem contato com o processo.



Figura 3.2.3 - Medidor radiométrico de peso de sólidos em transportadores

Fonte: catálogo da Lince Instrumentos (Ohmart-Vega)

### 3.2.4 Medidores de fluxo sólido em suspensão

Neste tipo de medidor, figura 3.2.4, o sinal de saída é combinado com o sinal de vazão, tendo como determinar, com precisão, o fluxo mássico.

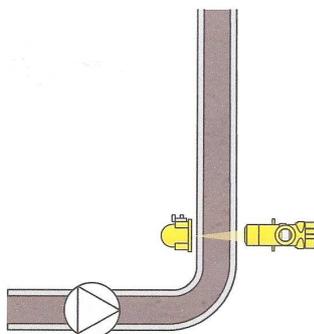


Figura 3.2.4 – Medidor radiométrico de peso de sólidos em suspensão

Fonte: catálogo da Lince Instrumentos (Ohmart-Vega)

### 3.3 Radiografia industrial

Em radiografia industrial, utilizam-se basicamente dois tipos de equipamentos: os irradiadores e os aparelhos de raios X. O primeiro, figura 3.3.1, utiliza da emissão de radiação gama para impressionar filmes fotográficos e produzir imagens. Já os aparelhos de raio X valem-se da radiação de raios X para obter o mesmo resultado, sendo que a escolha do aparelho irá depender das características do serviço. Por exemplo, quando se quer filmes com uma melhor resolução, opta-se por raios X. Porém, a utilização deste equipamento irá depender da existência de instalação elétrica compatível no local. Além disso, para a aplicação de altas voltagens, os equipamentos são grandes, dificultando o manuseio dos mesmos. Assim, por estas razões, normalmente usam os irradiadores, que são menores e mais práticos e não requerem instalação elétrica no local, embora a imagem não seja tão boa quanto os equipamentos de raios X.



Figura 3.3.1 – Exemplo de irradiador portátil

Fonte: catálogo do fornecedor Sentinela

O corpo do dispositivo onde está a fonte consiste tubo um “S” em titânio, figura 3.3.2., fabricado em urânio exaurido, que atua como excelente blindagem contra radiação.

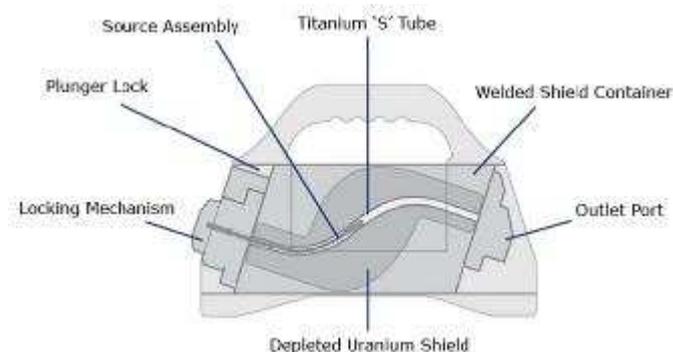


Figura 3.3.2 – Detalhes do interior do irradiador

Fonte: catálogo do fornecedor Sentinela

Na figura 3.3.3, temos um exemplo do conjunto de elementos que compõe um irradiador.

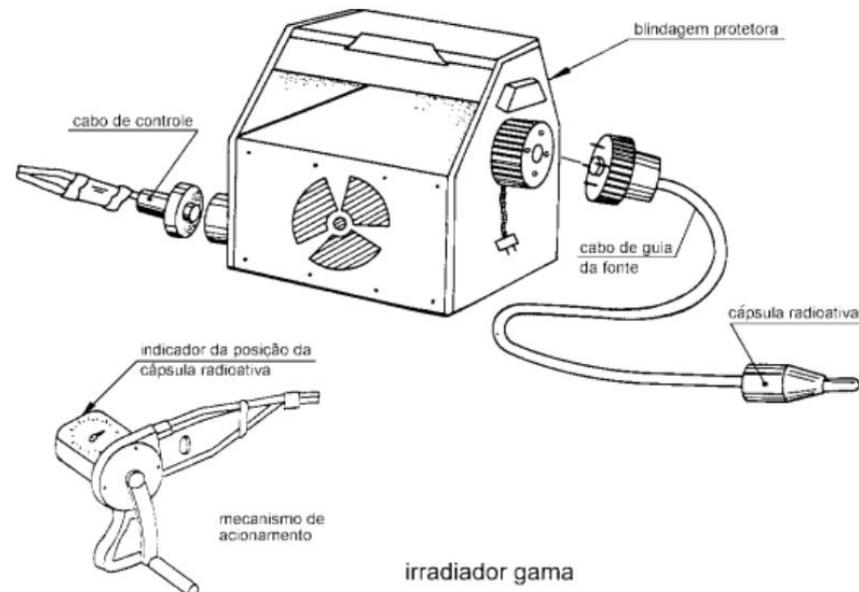


Figura 3.3.3 – Elementos de um irradiador

Fonte: Da Costa (2009)

Segundo Da Costa (2009), os principais componentes de um irradiador são: a blindagem, o cabo de guia da fonte e os comandos. A blindagem tem como finalidade absorver a radiação emitida continuamente pela fonte, mantendo a parte externa em padrões aceitáveis, determinados em normas internacionais. É pelo cabo de guia da fonte que a fonte radioativa será conduzida da blindagem até o ponto determinado para irradiação. Os comandos permitem o acionamento e o controle da fonte. O controle pode ser elétrico, pneumático ou, como é mais comum, manual. Por meio desses acionamentos, leva-se a fonte radioativa para fora da blindagem, pelo cabo de guia da fonte, expondo-a no local onde vai ser realizado o ensaio. Após o tempo de exposição a fonte é recolhida novamente à blindagem. Neste tipo de equipamento, normalmente isótopo utilizado é o Irídio-192.

## 4. PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

### 4.1 Princípios de proteção radiológica

#### 4.1.1 Distância

A proteção contra as radiações ionizantes, usando-se a distância como um fator de redução da exposição é o meio mais prático, baixo custo e mais rápido em uma situação normal de emergência (Andreucci, 2001).

A intensidade da radiação emitida diminuiu à medida que nos afastamos da mesma, e conseqüentemente a exposição radiológica e a dose de radiação diminui na mesma proporção. Este fenômeno é explicado pela Lei do Inverso do Quadrado da Distância, onde, pequenos afastamentos da fonte podem causar uma grande redução da intensidade da radiação. Na equação (7) temos representada esta lei.

$$I_1/I_2 = D_2^2/D_1^2 \quad (7)$$

onde  $I_1$  é a intensidade da radiação a uma distância  $D_1$  e  $I_2$  é a intensidade da radiação a uma distância  $D_2$ .

Assim, ao dobrarmos a distância com relação a fonte a exposição será 4 vezes menor. A distância é um método poderoso para proteção radiológica, pois é de fácil entendimento e de fácil aplicação. Na prática, o aumento da distância fonte-indivíduo, durante o manuseio com substâncias radioativas, é conseguido por meio da utilização de pinças e garras.

#### 4.1.2 Blindagem

Conforme Bellintani et al. (2002) blindagem é todo o sistema destinado a atenuar um campo de radiação por meio da utilização de um meio material entre a fonte de radiação e as pessoas ou objetos a proteger, sendo a blindagem o método mais importante de proteção contra a radiação externa. De acordo com o tipo e a característica de radiação, teremos um tipo específico de blindagem:

- Blindagem para partículas alfa: o reduzido alcance das partículas alfa no ar e a sua pouca penetração no tecido, não chegando a atravessar a camada de pele morta, torna desnecessário qualquer tipo de proteção contra a radiação externa;

- Blindagem para partícula beta: a proteção, no caso de irradiação externa por partículas beta, tem por objetivo evitar a irradiação da pele, cristalino dos olhos e gônadas. Devido ao pequeno alcance das partículas beta, a taxa de dose pode ser reduzida a zero quando se interpõe um material de espessura maior ou igual que o alcance das partículas mais energéticas deste material.

- Blindagem para radiação gama ou X: o método mais prático para a estimativa da espessura de blindagem para a radiação gama ou X é a utilização do conceito de camada semicondutora. A camada semicondutora de um material é utilizada para a blindagem é a espessura necessária para reduzir a intensidade da radiação à metade. Na tabela 4.1.2, tem-se alguns valores para radionuclídeos.

Tabela 4.1.1 – Valores para a camada semicondutora de chumbo para alguns radionuclídeos

Radionuclídeo	Meia-espessura (cm)
Cs-137	0,5
Co-60	1,2
Fe-59	1,1
I-131	0,3
Au-198	0,3
Na-24	1,5

Fonte: adaptado de Bellintani et al. (2002)

Ainda conforme comenta Bellintani et al. (2002), a seleção dos materiais a serem empregados dependerá das condições técnicas e econômicas. A tabela 4.1.2 apresenta alguns materiais que são utilizados como blindagens para a radiação beta, gama e raio X.

Tabela 4.1.2 – Materiais usados para blindagem de acordo com o tipo de radiação

Tipo de Radiação	Material para Blindagem
Gama e X	Usa-se chumbo, onde a espessura dependerá da atividade da fonte e da radiação emitida. Também são usados concreto, ferro, urânio e outros materiais de alta densidade.
Beta	Normalmente usa-se 1 cm de lucite ou outro material plástico, seguido de uma folha de chumbo de 1 cm, que é usado para blindar a radiação de freamento (bremsstrahlung). Para fontes de baixa intensidade, pode ser dispensável o uso desta folha de chumbo.

Fonte: adaptado de Bellintani et al. (2002)

#### 4.1.3 Tempo de exposição

O terceiro princípio de proteção radiológica é o tempo de exposição, ou seja, é um fator associado à carga de trabalho do equipamento. Assim, se as condições de trabalho não permitem reduzir a taxa de exposição ambiental, a carga de trabalho consiste em uma ferramenta indispensável para compensar a dose recebida pelos trabalhadores. Logo, a exposição pode ser expressa pelo produto entre o tempo de exposição – t - e a intensidade da radiação no local, I.

$$E = I \times t \quad (8)$$

onde, E é a exposição, t é o tempo e I é a intensidade da radiação no local.

#### 4.2 O papel da CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) desenvolve e elabora o Sistema Internacional de Proteção Radiológica e as suas recomendações são adotadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e pelas autoridades reguladoras nacionais. As normas de proteção radiológica do Brasil seguem as recomendações da IAEA e, portanto, da ICRP.

Após o acidente nuclear de Chernobyl em 1986, passou a existir uma maior cooperação internacional em matéria de segurança nuclear facilitada por convenções internacionais e códigos de conduta. Esses instrumentos, quando ratificados e promulgados por meio de decreto, passam a ser de cumprimento obrigatório no país.

A AIEA divulga os princípios fundamentais de segurança e um conjunto de padrões de segurança que refletem um consenso internacional sobre o que é importante para a segurança e proteção das pessoas e do ambiente contra os efeitos nocivos das radiações ionizantes. Também difunde padrões de segurança e promove a cooperação entre os Estados-Membros para avaliação de suas necessidades de segurança, reduzindo os riscos e aumentando a segurança tanto nuclear quanto do material radioativo que é utilizado, armazenado ou transportado.

Os padrões de segurança da AIEA estabelecem os requisitos e as ações necessárias para controlar a exposição à radiação de pessoas e a liberação de material radioativo para o ambiente, além de minimizar a probabilidade de eventos que possam levar a uma perda de controle sobre um núcleo do reator nuclear ou uma fonte de radiação, além de mitigar as consequências de tais eventos se estas ocorressem. Esses padrões são aplicáveis às instalações e atividades que possam oferecer riscos radiológicos e nucleares.

A elaboração e revisão dos padrões de segurança envolvem o Secretariado da AIEA e os comitês de segurança nuclear (NUSSC), de segurança e proteção radiológica (RASSC), de

segurança dos rejeitos radioativos (WASSC), de transporte de material radioativo (TRANSSC) e uma comissão (CSS) que aprova todos os padrões de segurança.

Com relação ao cumprimento dos padrões de segurança publicados pelo AIEA, o Brasil, através do CNEN, não é obrigatório o cumprimento, apenas os padrões são recomendados. Entretanto, a CNEN considera os padrões normativos da AIEA na elaboração das normas nucleares e nas atividades regulatórias em geral.

Por outro lado, os benefícios do programa de cooperação técnica da AIEA, tais como missões de peritos, treinamento e participação em congressos, são baseados nos padrões de segurança da AIEA.

Tanto as normas quanto as posições regulatórias são aprovadas por Resolução da CNEN e, portanto, têm o mesmo valor legal e são de cumprimento obrigatório. Atualmente, as novas normas absorvem as posições regulatórias para simplificar o entendimento e a aplicação da regulação.

O CENEN é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), criada em 1956. É responsável por regular e fiscalizar o uso da energia nuclear no Brasil. Possui as seguintes áreas de atuação: Radioproteção, Segurança Nuclear, Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Nucleares e as seguintes unidades: Rio de Janeiro (IEN), Rio de Janeiro (IRD), São Paulo (IPEN), Belo Horizonte (CDTN), Goiânia (CRCN-CO) e Recife (CRCN-NE).

A área de Radioproteção e Segurança Nuclear visa a segurança dos trabalhadores que lidam com radiações ionizantes, da população em geral e do meio ambiente. Com esse objetivo, atua no licenciamento de instalações nucleares e radioativas; na fiscalização de atividades relacionadas à extração e à manipulação de matérias-primas e minerais de interesse para a área nuclear; no estabelecimento de normas e regulamentos; na fiscalização das condições de proteção radiológica de trabalhadores nas instalações nucleares e radioativas; no atendimento a solicitações de auxílio, denúncias e emergências envolvendo fontes de radiações ionizantes; no desenvolvimento de estudos e na prestação de serviços em metrologia das radiações ionizantes. O transporte, o tratamento e o armazenamento de rejeitos radioativos são regulamentados por normas técnicas e procedimentos de controle. O controle do material nuclear existente no País é de responsabilidade da CNEN, a fim de garantir seu uso somente para fins pacíficos.

### 4.3 Requisitos de um Plano de Radioproteção

#### 4.3.1 Legislação aplicada

As normas do CNEN são divididos nos seguintes grupos:

- Grupo 1 – Instalações Nucleares
- Grupo 2 – Salvaguardas, Proteção Física e contra Incêndio
- Grupo 3 – Radioproteção
- Grupo 4 - Materiais, Minérios e Minerais Nucleares
- Grupo 5 - Transporte
- Grupo 6 – Instalações Radiativas
- Grupo 7 – Certificação de pessoas
- Grupo 8 – Rejeitos Radioativos

Com relação ao “Grupo 03 – Radioproteção”, objeto deste estudo, tem-se uma série de normas e posições regulatórias, conforme o anexo 2 – Grupo 3 – Radioproteção.

Dentro das normas citadas no anexo 2, a análise do Plano de Radioproteção tomará como base o item 5.3.8 da norma NN – 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, no qual este item apresenta uma série de itens que deve constar um Plano de Proteção Radiológica.

Também será utilizado nesta avaliação, conforme disponível no site da CNEN, um “Roteiro Básico para a implantação de um Plano de Radioproteção para a Prática de Medidores Nucleares e/ou Perfilagem de Poços”, no qual se encontra no anexo 3. Além disso, serão utilizadas as normas NE 3.02 - Serviços de Radioproteção e a resolução Res 111/11 – Certificado da Qualificação de Supervisores de Radioproteção.

#### 4.3.2 Dados Cadastrais

Este é o primeiro item obrigatório, devendo conter os dados como Nome da Instalação, Endereço, Bairro, CEP, Cidade, Nome do Titular, do Supervisor e do Substituto.

Caso o Supervisor de Radioproteção não seja funcionário da empresa, a empresa deverá apresentar cópia do Contrato de Prestação de Serviço, firmado entre a instalação radioativa e supervisor, devendo ainda conter as atividades desenvolvidas, conforme item 5.3.9 da Norma NN -3.01 e a jornada de trabalho.

Quanto ao substituto do supervisor, o mesmo não precisa ser habilitado pela CNEN, mas precisa comprovar treinamento em radioproteção de 40h, além de ser funcionário da empresa.

#### 4.3.3 Descrição da Instalação

Neste tópico, conforme NN-3.01, devem estar descritos a atividade principal da empresa, bem como a justificativa para o uso de radiações ionizantes. Além disso, devem ser descritos o objetivo da instalação e a descrição da prática

#### 4.3.4 Descrição do Serviço de Radioproteção

##### 4.3.4.1 Descrição do Pessoal

Neste item, deve constar o pessoal que faz parte do Serviço de Radioproteção, como Supervisor, Substituto e Técnicos. Devem constar, ainda, dados como nome, função, jornada e credenciamento junto ao CNEN, quando aplicável, como para o caso do Supervisor de Radioproteção.

##### 4.3.4.2 Descrição dos Medidores de Radiação

Quando aos medidores de radiação utilizados para atividades como teste de fuga, levantamento radiométrico, situações de emergência envolvendo as fontes radioativas, devem ser descritos no plano de radioproteção, contendo os seguintes dados:

- Tipo
- Fabricante
- Modelo
- Número de Série
- Número do Certificado de Calibração
- Laboratório de Calibração (credenciado junto ao CNEN)

##### 4.3.4.3 Descrição dos Medidores Nucleares

Neste tópico do plano de radioproteção devem ser descritas as características dos medidores Nucleares, incluindo a aplicação, o fabricante, o modelo/tipo de medidor e a fonte incorporada.

##### 4.3.4.4 Outros equipamentos

Neste item devem ser citados outros equipamentos que fazem parte do Serviço de Radioproteção, como a fonte para a aferição dos medidores de radiação

#### 4.3.5 Inventário das fontes e equipamentos emissores de radiação ionizante

##### 4.3.5.1 Inventário das fontes de radiação ionizante

Com relação ao inventário, é importante contar informações relativas ao tipo de fonte, número de série, atividade (mCi), data da atividade e fabricante, devendo estar informações estarem prontamente disponíveis.

#### 4.3.5.2 Inventário de equipamentos emissores de radiação ionizante

Neste item, é importante observar os dados dos equipamentos medidores de radiação ionizante, como:

- Equipamento;
- Fabricante;
- Modelo;
- Número de Série
- Energia (KeV);
- Kv Máximo;
- Corrente (mA);
- Aplicação;
- Localização

#### 4.3.6 Controle e Segurança

Segundo Torres (2012), temos como objetivos da segurança física das fontes radioativas:

- Evitar atos de sabotagem contra materiais, equipamentos e instalações (nucleares e radiativas);
- Impedir a remoção não autorizada de material (nuclear, radioativo e/ou componentes de uso dual);
- Prover meios para a rápida localização e recuperação de material desviado;
- Defender o patrimônio da instalação e a integridade física de seu pessoal, bem como proteger a população em geral e o meio ambiente

Torres (2012) complementa a sua apresentação, dando exemplos de Proteção Física:

- Delimitação de áreas de segurança sucessivas: Áreas vigiada, protegida e vital (defesa em profundidade);
- Força de Segurança e de Apoio: Guardas, equipamentos, Polícia Militar, Forças Armadas, etc...
- Barreiras físicas e zonas de isolamento: Muros, cercas, paredes, tetos, etc...
- Controle de acesso: Sistema de identificação e registro de pessoas
- Sistemas de fechaduras e controle de chaves: Tipos e Procedimentos
- Sistemas de detecção, alarme e certificação: sensores (infravermelho, micro ondas, etc..) e CFTV;

- Comunicações de segurança: rádio, telefones, etc. (vistoria, ronda, custódia de chaves, etc...)

- Programas de treinamento, exercícios e testes

- Situações de emergência

Além disso, é importante identificar com o trifólio (símbolo internacional de radiações ionizantes, que pode ser preto ou magenta, com o fundo amarelo), conforme figura 4.3.6, os equipamentos emissores de radiações ionizantes, bem como a sinalização do local com uma placa identificando as características da fonte e uma placa identificando a classificação da área e o telefone de emergência.

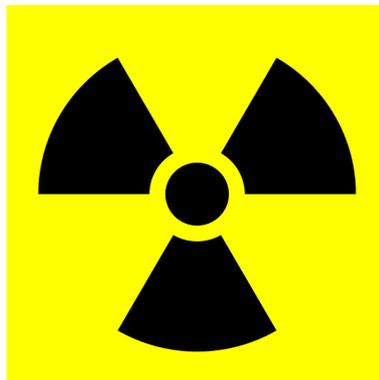


Figura 4.3.6 – Símbolo Internacional de Radiação Ionizante

Fonte: disponível na web em <http://deanradiologia.blogspot.com.br/>

#### 4.3.7 Programa de Controle dos Equipamentos do Serviço de Radioproteção

##### 4.3.7.1 Calibração dos Medidores de Radiação

Conforme a norma CNEN 3.02 – Serviços de Radioproteção, item 6.5.4 “É obrigatória a calibração prévia dos instrumentos de medição do Supervisor de Radioproteção, por entidades autorizadas pela CNEN”. Assim, deve-se ter um procedimento definido, bem como um modelo de ficha de registro e a sua periodicidade, sendo a calibração realizada em uma entidade homologada pelo CNEN.

##### 4.3.7.2 Aferição dos Medidores de Radiação

Deve ser realizada antes da utilização do medidor de radiação, devendo-se registrar em um formulário padrão, bem como tendo-se um procedimento associado.

##### 4.3.7.3 Teste de Fuga nos Medidores Nucleares

Também chamado de *Wipe Test* ou “Teste de Esfregaço”, é realizado, de acordo com procedimento, ficha de registro e periodicidades definidas. Tem como objetivo verificar a integridade das fontes radioativas, prevenindo possíveis contaminações. Conforme CNEN NE 3.02, item 6.4.3, o Supervisor de Radioproteção deve “estabelecer e executar um programa de

supervisão para as fontes de radiação da instalação”, onde na letra “b” tem-se “a verificação de estado físico, existência de contaminação e vazamento”, verificados através do Teste de Fuga.

#### 4.3.8 Programa de Monitoramento de Área e Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante

Este programa consiste no levantamento radiométrico, verificando, através de um medidor de radiação, o nível de radiação, tanto nas proximidades do emissor de radiação, como no detector. Tipicamente, são realizadas medições em diversos pontos, procurando verificar tanto a integridade da blindagem, como as condições do emissor/detector e a sinalização do local. Deve-se prever uma periodicidade para este levantamento, bem como um procedimento e um modelo de ficha de registro.

Além disso, conforme NE 3.02 (6.2.4.4, alínea “b”), o programa de monitoração de área deve abranger a execução da seleção de marcação de pontos de referência para a realização de medições de campos de radiação, favorecendo a repetibilidade das medições radiométricas.

#### 4.3.9 Função, Descrição e Classificação das Áreas

##### 4.3.9.1 Área Controlada

Conforme CENEN NM 3.01, uma área é classificada como controlada quando for necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança para garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das exposições potenciais.

##### 4.3.9.2 Área Supervisionada

É a área que, embora não requeira a adoção de medidas específicas de proteção e segurança, devem ser feitas reavaliações regulares das condições de exposições ocupacionais, com o objetivo de determinar se a classificação continua adequada.

##### 4.3.9.3 Área Livre

Qualquer área que não for classificada como controlada ou supervisionada

#### 4.3.10 Programa de Treinamento

Conforme NM 3.02, os trabalhadores da instalação devem possuir treinamento e aptidões específicos para o exercício de suas funções em condições seguras de trabalho.

O Supervisor de Radioproteção (SR) é o responsável pela execução do programa de treinamento dos trabalhadores, conforme descrito no Plano de Radioproteção, e pela contínua avaliação de sua eficácia com relação às condições radiológicas da instalação e grau de aprendizagem dos trabalhadores. Além disso, o SR deve, com a devida periodicidade, ou sempre que necessário, providenciar o treinamento ou a atualização dos conhecimentos dos trabalhadores.

Quanto ao plano de treinamento, deve constar o programa, a carga horária e os participantes envolvidos.

#### 4.3.11 Instruções Fornecidas aos Trabalhadores

Os trabalhadores da organização devem possuir conhecimento sobre os riscos associados à sua saúde em virtude do desempenho de suas funções, bem como noções de primeiros socorros.

#### 4.3.12 Programa de Monitoramento Individual

Neste programa, devem constar informações sobre o tipo de dosímetro, incluindo a empresa fornecedora e como será realizado o controle.

O controle de trabalhadores de áreas controladas deve ser executado através de monitoração individual, avaliação de doses e supervisão médica.

A monitoração individual e os cuidados relativos à exposição externa devem atender aos seguintes requisitos:

- a) monitoração permanente de cada trabalhador de áreas controladas com dosímetros individuais, de uso obrigatório por qualquer pessoa durante a sua permanência em áreas controladas;
- b) especificações dos dosímetros individuais compatíveis com as condições de exposição, tais como tipo de radiação, energia, geometria de irradiação do corpo, tempo de exposição e taxa de dose;
- c) utilização de tantos dosímetros quantos forem necessários para a avaliação de doses de regiões do corpo em separado, quando existir o risco de exposição não homogênea do corpo humano;
- d) possibilidade dos dosímetros individuais permitirem avaliações em separado de doses devido a exposições de raios X e gama, nêutrons e radiação beta, quando ocorrerem na instalação;
- e) período de uso e procedimentos de avaliação dos dosímetros individuais compatíveis com as condições de exposição;
- f) após a ocorrência de exposições de emergência ou acidentes, ou suspeita de ocorrência de acidentes, providências para imediata avaliação dos dosímetros individuais dos trabalhadores envolvidos;
- g) antes da distribuição de dosímetros individuais, exame para verificação da adequação das suas condições de uso;

h) estabelecimento de um programa de controle da qualidade dos dosímetros individuais (inspeções, aferições e ajustes); e

i) providências para a calibração e, quando necessário, para a avaliação dos dosímetros individuais em instituições autorizadas pela CNEN .

#### 4.3.12.1 Limites de dose individual

Conforme NM – 3.01, 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 4.3.1, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela CNEN.

Tabela 4.3.1 – Limites de Doses Anuais

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

Fonte: adaptado de CENEN-NN-3.01:2011

[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.

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

[d] Valor médio em 1 cm<sup>2</sup> de área, na região mais irradiada.

#### 4.3.13 Exames Médicos

Deve ser implementado um programa de saúde ocupacional, para avaliação inicial e periódica da aptidão dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE), baseados nos princípios gerais de saúde ocupacional, tendo como referência o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO).

Os registros de dose para cada IOE devem ser preservados durante o período ativo do indivíduo. Esses registros devem ser preservados até os IOE atingirem a idade de 75 anos e , pelo menos, por 30 anos após o término de sua ocupação, mesmo que já falecido.

Conforme a NR 07 (Portaria 3214/78), Quadro II, os IOE's deverão ser submetidos aos Parâmetros para Monitoração da Exposição constante no Quadro II, devendo realizar a contagem de plaquetas e hemograma completo na admissão e semestralmente.

#### 4.3.14 Local para a Guarda Temporária de Equipamentos Emissores de Radiações Ionizantes

Quanto ao local temporário de armazenamento de fontes radioativas, o mesmo deve possuir um sistema de segurança, sinalização, isolamento e fotos do local e arredores.

#### 4.3.15 Programa de Emergência

No programa de emergência devem ser descritos os tipos de acidentes previsíveis, incluindo o sistema de detecção dos mesmos e com destaque os mais prováveis e os de maior porte. Além disso, deve incluir o planejamento de respostas em situações de emergência até o completo restabelecimento da situação normal.

Qualquer irregularidade constatada com fontes de radiação, o SR deve comunicar imediatamente a Direção da instalação, para que sejam tomadas as devidas providências, conforme descrito na norma CNEN 3.02, item 6.4.2,2. No caso da fonte radioativa ter sido danificada ou inaproveitável deve ser retirada do serviço e considerada como rejeito devendo ser armazenado no depósito para a guarda temporária.

No programa de emergência também devem ser incluídos os telefones da empresa, do titular, Supervisor de Radioproteção, Substituto e da própria CNEN.

#### 4.3.16 Programa da Garantia da Qualidade

O sistema de garantia da qualidade estabelecido e implementado pelo titular deve proporcionar, no que se refere a proteção radiológica:

- a) garantia de que os requisitos especificados estão satisfeitos; e
- b) mecanismos e procedimentos de controle de qualidade, para revisar e avaliar se as medidas de proteção radiológicas são eficientes.

#### 4.3.17 Programa de Registros da Instalação

Conforme item 6.7 da norma do CNEN NN 3.02 o SR deve:

- estabelecer e manter atualizado um sistema centralizado de registros relativo a sua estrutura, Plano de Radioproteção , procedimentos, regulamentos, funções, atividades, relatórios, e de todas as demais informações exigidas pela CNEN;

- fazer com que os registros devem estar devidamente rubricados, classificados e arquivados em local seguro e reservado pelo respectivo responsável.

- restringir o acesso aos registros e arquivos do SR é restrito às pessoas autorizadas pelo Supervisor de Radioproteção , à Direção da instalação e aos inspetores da CNEN;

- manter os registros pelos prazos que forem exigidos pela CNEN;

- fazer com que os trabalhadores de áreas restritas devem receber, periodicamente ou sempre que necessário, os respectivos dados radiológicos;

- manter atualizado um registro individual de cada trabalhador da instalação , contendo as seguintes informações:

a) identificação, endereço e nível de instrução;

b) datas de admissão e saída do emprego;

c) funções associadas a fontes de radiação com as respectivas áreas de trabalho, riscos radiológicos, horário e período de ocupação;

d) dosímetros individuais empregados;

e) doses recebidas nos períodos de monitoração , doses anuais e doses integradas no período de ocupação na instalação ;

f) treinamentos necessários e treinamentos realizados;

g) estimativas de incorporações ;

h) relatórios sobre exposições de emergência e de acidentes ;

i) históricos radiológicos anteriores;

j) nome e endereço do chefe imediato atual.

Quanto as áreas da instalação, o SR deve registrar as seguintes informações relativas às áreas da instalação :

a) denominação, localização e delimitação;

b) descrição e função;

c) classificação e riscos radiológicos associados;

d) sistemas de controle para entrada e saída de trabalhadores, fontes de radiação e equipamentos em geral;

e) programa de monitoração de área com descrição de procedimentos, equipamentos e frequência de medidas e amostragens;

f) relatórios das inspeções e monitorações;

g) identificação dos responsáveis pela segurança em geral e pelos trabalhadores da área;

h) identificação do integrante do SR responsável local pelo controle radiológico da área;

- i) relatórios sobre acidentes;
- j) procedimentos de emergência; e
- k) plantas gerais e plantas detalhadas.

Já com relação ao meio ambiente e a população, o SR deve registrar as seguintes informações:

- a) descrição e delimitação das áreas do meio ambiente sob seu controle;
- b) descrição da população vizinha e do grupo crítico associado, com estimativas de doses em condições normais e em acidentes postulados;
- c) programa de monitoração ambiental;
- d) relatórios das monitorações ambientais ;
- e) relatórios sobre acidentes com impacto sobre o meio ambiente e população; e
- f) procedimentos de emergência.

Quanto as fontes de radiação, o SR deve registrar as seguintes informações:

- a) identificação, descrição e localização;
- b) finalidades;
- c) procedimentos relativos ao uso, sinalização, manuseio, controle, transporte e armazenamento;
- d) identificação do responsável pela segurança da fonte;
- e) identificação das pessoas autorizadas para o uso da fonte;
- f) relatórios das inspeções; e
- g) identificação dos instrumentos de medidas associadas ao controle da fonte.

O SR deve registrar as seguintes informações relativas aos rejeitos da instalação :

- a) identificação e descrição conforme norma específica;
- b) origem, destino e condições de transporte;
- c) plano de transporte;
- d) condições de tratamento, acondicionamento e armazenamento provisório; e
- e) identificação dos responsáveis pela gerência dos rejeitos.

#### 4.3.18 Planta da Instalação com a Localização dos Equipamentos Emissores de Radiação

Neste planta devem constar a localização dos equipamentos que contém fontes radioativas. Caso possua depósito de guarda de fontes, o mesmo também deve constar no plano.

#### 4.3.19 Referências Bibliográficas

Neste capítulo, a bibliografia usada para a elaboração do plano de radioproteção.

## 5. PLANO DE RADIOPROTEÇÃO ATUAL

Na sequência, segue o plano de radioproteção atual de uma indústria química que utiliza medidores nucleares fixos. Por questões de ética, os dados que identificam a empresa foram omitidos, bem como a identificação do Serviço de Radioproteção e o titular da organização

### 5.1 Dados Cadastrais:

- Nome da Instalação: ABCDEGH
- C.N.P.J.: 11.XX.9XX4/0001-85
- Inscrição Estadual: 0XX58/01XX29187
- Endereço: Rua Sem Numero, 000  
CEP: XX.XX-000 – Sem Rua – RS
- Telefone: 51-XXX-7480
- Fax: 51-XXX-7104
- Diretor: João da Silva
- Supervisor de Radioproteção: Silva Joao
- Substituto do Supervisor de Radioproteção: Silva da Silva

### 5.2 Descrição da Instalação

A ABCDEFGH enquadra-se como Instalação Radioativa do Grupo III, pois utiliza, em suas instalações, equipamentos com fontes seladas como Medidores Nucleares de Nível, Densidade (Peso), Gramatura e Teor de Cinzas nos processos de transporte e cozimento de cavacos, obtenção de polpa de celulose, produção e recuperação de insumos utilizados (forno de cal) controle de qualidade (QCS) na fabricação de celulose e de papel. Também existe um Depósito Intermediário para fontes desativadas temporariamente ou que aguardam futura destinação.

#### 5.2.1 Atividade Principal

A fabricação da produto obtida da madeira passa pelas seguintes etapas, locais e áreas no seu processo:

##### Área dos Silos de Cavacos

Local de armazenamento dos cavacos oriundos da seleção de cavacos. Na descarga dos três silos existe uma fonte (354 WX-034) para balança radiométrica para medição da vazão (t/h) de cavacos para o digestor.

### Área do Digestor

Local onde se dá o processo de cozimento da madeira picada e a produção da polpa de celulose em que existem fontes radioativas para medir o nível do silo de cavacos ao digestor (361 LX-SSS.1 e SSS.2), o nível do tubo de cavacos (361 SS-000) e o nível de cavacos do digestor (361 SS -000). A polpa marrom produzida é enviada para ser branqueada na seqüência do processo.

### Forno de Cal

Local onde se dá calcinação da lama de cal. Existe uma chave de nível com fonte radioativa (382 XX-000) para sinalizar nível alto no funil de cinzas localizado entre o forno de cal e o precipitador.

### Máquina de Secagem

Na etapa final do processo de fabricação de celulose, a mesma é secada em uma máquina de secagem. Para medir e controlar a gramatura da folha de celulose será utilizada uma fonte radioativa (465 XX-XXX) no QCS (Sistema de Controle de Qualidade).

O processo de fabricação de papel também possui controles utilizando fontes radioativas na seguinte área e etapa:

### Área da Máquina de fabricação de Papel

A fabricação de papel é feita com a utilização da celulose de madeira como matéria prima, e possui, no final do processo, duas fontes radioativas (660 XX-XXX e 660 XX-XXX) instaladas no QCS que servem para medir a gramatura sem contato e o teor de cinza da folha de papel produzida na máquina.

### 5.3 Justificativa:

A utilização dos medidores de nível e densidade (peso) pela ABCDEFGH é inevitável, pois não existem outros equipamentos que consigam medir, com aceitável precisão, o nível e densidade (peso) dos produtos existentes em nosso processo. Alguns dos produtos em que são utilizados os medidores nucleares são: cavaco de madeira, cinza de lama de cal e massa (fibras celulósicas). O mesmo ocorre no caso da utilização de fontes radioativas nos QCS (Sistemas de Controle de Qualidade), na medição de gramatura e carga mineral (teor de cinzas).

### 5.4 Descrição de Serviço de Radioproteção

O Serviço de Radioproteção, mantém em sua estrutura, um arquivo com toda a documentação, bibliografia e registros relacionados à radioproteção. Os seguintes registros são mantidos com o objetivo de controle:

- Plano de Radioproteção;
- Controle dosimétrico dos trabalhadores;
- Atestados de Saúde Ocupacional – ASO's (arquivados no Centro Médico);
- Certificados de calibração e aferição dos monitores de radiação;
- Relatórios dos levantamentos radiométricos e teste de fuga dos Medidores Nucleares;
- Registros de treinamento e aproveitamento do pessoal (registro eletrônico no BD do sistema Universal RH);
- Manuais e catálogos dos medidores;
- Normas da CNEN.

Tendo em vista as características operacionais das fontes utilizadas na ABCDEGH, os levantamentos radiométricos e os resultados das doses mensais dos trabalhadores nos últimos anos, pode-se dizer que em condições normais de exposição, a dose equivalente para pessoas expostas ocupacionalmente a radiação não ultrapassa a 1,0 mSv/ano. Caso isto ocorra, o Supervisor de Radioproteção iniciará imediatamente ações tais que possibilite o esclarecimento do fato e adoção de medidas corretivas e/ou preventivas a fim de evitar reincidências.

O Serviço de Radioproteção da ABCDEGH é composto por duas equipes de trabalhadores, coordenada pelo Supervisor de Radioproteção, que desempenham suas funções nos seguintes segmentos:

#### 5.4.1 Segmento Administrativo

A função administrativa é realizada por um Consultor que possui o curso de Radioproteção Nível superior - na Área de Medidores Nucleares - que tem sob sua responsabilidade a elaboração, tramitação e arquivo de documentos, o controle dos prazos de validade das autorizações de operação e certificados de calibração dos instrumentos detectores de radiação, o acompanhamento dos registros das dosimetrias, o prazo de validade dos exames médicos e laboratoriais dos trabalhadores do Serviço de Radioproteção, registro de treinamentos, arquivamento de relatórios dos levantamentos radiométricos e o encaminhamento de dosímetros para avaliações mensais.

#### 5.4.2 Segmento Técnico/Operacional

É desenvolvido por profissional capacitado e nível técnico em instrumentação com curso de Radioproteção Nível Médio - na Área de Medidores Nucleares - que efetuam levantamentos radiométricos, instalação, retirada, manutenção e recolhimento das fontes radioativas ao Depósito Intermediário.

Supervisor em Radioproteção:

Silva Joao – Consultor I

Registro CNEN: MN XXX

CPF:XXXXXX/20

*Telefones para contato em caso de emergência:*

Profissional: +55 (51) XXX-7378 (horário administrativo)

Celular: +55 (51) XXXX-1528 (24 horas)

Supervisor de Radioproteção Substituto:

Silva e Silva – Coordenador de Riscos de Processo e Patrimônio

*Telefones para contato em caso de emergência:*

Profissional: +55 (51) XXX-7136 (horário administrativo)

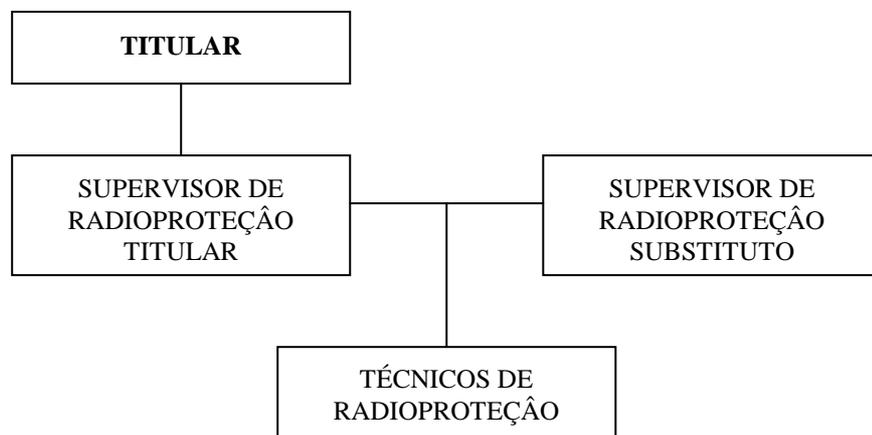
Celular: +55 (51) 9913-XXXX (24 horas)

Equipe de Radioproteção Terceira (Levantamento Radiométrico)

- Supervisor de Radioproteção: Pinto e Pinto - Formação: Engenheiro Civil Pós-graduado em Engenharia do Trabalho - Registro no CNEN: MN-XXXX
- Técnico - Silva e Silva e Silva - Função: Especialista JR B - Formação: Técnico em Eletrônica
- Técnico – Silva e Silva e João - Função: Técnico de Instrumentação JR - Formação: Técnico em Eletrônica

A Equipe de Radioproteção da Empresa Terceira trabalha em horário administrativo.

Organograma do Serviço de Radioproteção:



### 5.4.3 Descrição dos Medidores de Radiação:

Tabela 5.5 – Medidores de Radiação

<b>Tipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>N.º Série</b>	<b>Data da última Calibração</b>	<b>Certificado de Calibração</b>
Geiger-Müller	Victoreen	190 w / 491-40	XXX/103100	27/02/2009	5253/0209
Geiger-Müller	Victoreen	190 w / 491-40	XXX/103106	30/06/2009	5396/0609
Geiger-Müller	MRA	G1 PLUS	G1I-XXX	17/09/2009	5519/0909
Geiger-Müller	MRA	G1 PLUS	G1E-32XX	12/11/2008	5091/1108

Fonte: adaptado pelo autor

Os certificados estão no anexo 5.

### 5.5 Descrição dos Medidores Nucleares:

Os medidores Nucleares são amplamente utilizados por sua elevada confiabilidade e precisão. Estes equipamentos foram projetados para efetuarem medições sem contato com o processo do produto.

Estes sistemas de medição são compostos basicamente por duas unidades:

- Fonte radioativa e respectiva blindagem;
- Detector de radiação.

Estes medidores operam sem sofrer interferência do meio onde encontram-se instalados, mas em situações onde a temperatura externa à eletrônica é superior à 65 °C, utiliza-se uma “camisa d’água”, para resfriamento da mesma (QCS). As temperaturas, dos locais onde estão instaladas as fontes radioativas, não excedem 180 °C.

#### 5.5.1 Fontes Radioativas Utilizadas:

As fontes radioativas utilizadas pela ABCDEFH são basicamente de Césio (Cs-137), Criptônio (Kr-85), Ferro (Fe-55) e Estrôncio (Sr-90). A justificativa para a adoção destes radioisótopos são as seguintes:

- Césio (Cs-137) - possui uma meia-vida de 30,17 anos, com possibilidade de recalibrações o que reduz o nº de paradas no processo fabril;
- Criptônio (Kr-85) - Além de trazer a vantagem dos radioisótopos indicados anteriormente, o Kr-85 foi escolhido devido ao poder de penetração dos raios beta emitidos e da distância entre a fonte e o detector. Possui uma meia-vida de 10,7 anos;
- Ferro (Fe-55) - Possui uma meia-vida de 2,7 anos, não necessitando recalibrações e manutenção que venham a interferir no processo fabril. A característica preponderante na escolha deste radioisótopo se deve a sua emissão de raio “x” com energia de 5,9 Kev, utilizada para a determinação de materiais componentes das cinzas;

➤ Estrôncio (Sr-90) – Possui uma meia-vida de 28,6 anos, este isótopo é um dos mais conhecidos emissores beta de alta energia e de grande meia-vida. O mesmo é utilizada na medições de folhas de celulose com alta gramatura.

#### 5.5.2 Blindagens Utilizadas:

Para as fontes radioativas emissoras de radiação gama (Césio-137) são utilizadas blindagens de chumbo, com revestimento em aço inox. O chumbo é utilizado por possuir um valor de densidade elevado e ser de fácil aquisição no mercado. A parte externa da blindagem é de aço inox, visando minimizar os efeitos do “tempo” (oxidação) e ser mais resistentes a algumas agressões químicas que possam existir nas áreas.

No interior da blindagem de chumbo, é adequadamente colocado o radioisótopo. O modelo exato desta blindagem é projetado tendo em vista a atividade do radioisótopo e a forma do feixe de radiação. Em todos os casos, o radioisótopo é colocado em um estojo de aço inox, duplamente encapsulado. Um feixe de ondas eletromagnéticas de baixo comprimento (raios gama) é colimado através de um pórtico geometricamente bem definido. A blindagem da fonte radioativa é constituída externamente de aço inox, e internamente com chumbo. Todo o projeto da blindagem é feito, levando-se em consideração os níveis máximos de radiação permitidos junto à blindagem, bem como a 30 centímetros da mesma. A única passagem de radiação para o exterior, pode ser interrompida por um bloco de chumbo (denominado “obturador”), comandado por uma alavanca externa.

Esta alavanca pode ser colocada em duas posições distintas:

- Obturador aberto;
- Obturador fechado.

Na posição “obturador fechado”, e somente nesta, pode ser colocado um cadeado de segurança.

Os feixes de raios gama são precisamente colimados.

#### 5.5.3 Descrição dos Sistemas de Detecção/Medição:

##### Medição de Nível

Medição de nível sem contato, em silos de cavacos de madeira, tubo de cavacos e digestor, onde a fonte radioativa é instalada em posição diametricamente oposta ao detector. Os raios gama gerados pela fonte radioativa atravessam as paredes e o meio absorvedor incidindo no detector . A resultante de radiação (que é proporcional ao nível) encaminha o sinal para o transmissor eletrônico, onde devidamente processado, indicará o nível ou o sinal de alarme.

### Medição de Peso

Medição de peso sem contato, em esteiras transportadoras de cavacos onde a fonte é instalada em posição superior ao detector. Os raios gama gerados pela fonte atravessam a pilha de cavacos na esteira transportadora. Pela atenuação ocorrida neste meio, o detector capta a radiação resultante proporcional ao peso linear do processo, encaminhando o sinal para o transmissor eletrônico, onde devidamente processado, indicará o peso e vazão.

### Medição de gramatura

Medição de gramatura sem contato, em máquina de papel e celulose, onde temos a fonte radioativa instalada em posição diametricamente oposta ao detector, que se movimenta horizontalmente fixa a uma barra chamada scanner. Os raios beta gerados pela fonte atravessam a espessura do papel e determinam a medição da gramatura deste.

### Medição de Teor de Cinza

Medição de Teor de Cinza sem contato, em máquina de papel, onde temos a fonte radioativa instalada em posição diametricamente oposta ao detector, que se movimenta fixa a uma barra chamada scanner. Os raios “x” gerados pela fonte atravessam a espessura do papel determinando assim a medição do teor de cinza.

## 5.6 Aquisição, Recebimento, Instalação e Desativação dos Medidores Nucleares:

### Aquisição

Para a aquisição de equipamento para controle de processo, que incorpora fonte radioativa, é necessário cumprir alguns procedimentos básicos, descritos a seguir:

- A área de projeto deve criar uma interface com o Serviço de Radioproteção;
- O responsável pelo projeto deve entrar em contato com o Supervisor em Radioproteção, para apresentar os projetos, que incluam uso de radioisótopos, antes da aprovação dos mesmos,
- O Supervisor em Radioproteção verificará se todas as recomendações para uso de radioisótopo estão contidas ou se é necessário incluir algo;
- As solicitações feitas pelo Supervisor em Radioproteção ao responsável pelo projeto devem ser repassadas ao fornecedor;
- O formulário de Requerimento para Aquisição de Radioisótopo (RAR) ou Solicitação de Licenciamento de Importação (SLI) da CNEN, deve ser devidamente preenchido e assinado pelo Supervisor em Radioproteção;
- Após assinado, o requerimento deve ser encaminhado, pelo fornecedor, à CNEN, para autorização;

- Somente após a aprovação pela CNEN o material poderá ser enviado à ABCDEFGH;
- O transporte de todo e qualquer material radioativo, só pode ser realizado por empresa credenciada e autorizada para transporte de material radioativo.

#### Recebimento

Imediatamente após a chegada de material radioativo, na ABCDEFGH, o Supervisor em Radioproteção deverá ser comunicado, para que possa realizar a inspeção inicial, conforme descrição a seguir:

- Realizar monitoramento na fonte radioativa;
- Checar se a fonte recebida corresponde àquela autorizada pela CNEN;
- Registrar seus dados para atualização das informações no arquivo do SPR;
- Armazená-la no Depósito Intermediário, até a instalação na área.

#### Instalação

Quando da programação da instalação, a fonte é retirada do Depósito Intermediário com cadeado e levada até o local de instalação. Só após a instalação completa, o cadeado é retirado e o equipamento entra em operação.

#### Desativação

Quando um equipamento for desativado, ou seja, não for mais utilizado em determinada área, o Supervisor em Radioproteção deverá ser imediatamente comunicado, para que possa tomar as devidas providências, que são:

- Trancar a fonte com cadeado;
- Efetuar monitoramento;
- Providenciar a retirada da fonte radioativa para encaminhamento ao Depósito Intermediário;
- Registrar no controle de fonte a movimentação da fonte
- Quando a fonte for desativada definitivamente, a mesma deverá ser encaminhada à CNEN. Para tal, dever ser seguidos os seguintes procedimentos:
  - Informar a CNEN, a desativação do equipamento;
  - Solicitar a autorização para transferência do radioisótopo, para instituição credenciada pela CNEN;
  - Providenciar toda a documentação necessária para o transporte;
  - Efetuar o transporte conforme os procedimentos ditados pela CNEN

## 5.7 Inventário das Fontes Radioativas

Todas as fontes radioativas da ABCDEFGH estão relacionadas em planilha (anexo 6), a qual contém as seguintes informações:

- Radioisótopo
- Atividade
- Data
- Número de TAG (aplicação)
- Local de Instalação (área)
- Número de Série
- Fabricante
- Modelo de Blindagem

Todas as informações acima fazem parte da planilha, as quais serão atualizadas, sempre que ocorrerem alterações.

## 5.8 Controle e Segurança

A grande maioria das fontes radioativas a serem instaladas na ABCDEFGH ficam posicionadas em locais de difícil acesso aos indivíduos do público.

As blindagens contendo fontes radioativas, utilizadas nos processos foram fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos e possuem ficha de monitoramento, demonstrando que a fabricação é feita levando-se em consideração os limites de dose para indivíduos do público e trabalhadores, como determinado na norma CNEN N.E. 3.01.

### 5.8.1 Sistemas de sinalização

Todas as blindagens com material radioativo serão identificadas por placa de identificação, provenientes de fábrica, contendo todos os dados do material radioativo, as quais vêm com o símbolo internacional de radiação.

Na área de instalação dos medidores nucleares, estão colocadas placas de material resistente às condições das áreas, com o símbolo internacional de radiação.

Todas as sinalizações são inspecionadas visualmente trimestralmente, pela equipe de radioproteção, para verificação de sua perfeita condição de identificação. Quando se faz necessário, a etiqueta em mau estado de conservação é substituída por nova, garantindo deste modo, que todos os medidores nucleares serão sempre facilmente localizáveis e identificáveis.

Durante o levantamento Radiométrico, é feita a substituição se necessário.

## 5.9 Controle dos Equipamentos do Serviço de Radioproteção

### 5.9.1 Calibração dos Monitores de Radiação:

A calibração dos monitores de área é realizada anualmente em instituição credenciada pelo LNMRI / CNEN, e consiste na exposição do equipamento à fontes radioativas padrão, para o devido ajuste das escalas de leitura.

Caso seja determinado algum problema, mecânico ou eletrônico, no equipamento, quando da realização da calibração, o mesmo é devolvido pela instituição, e encaminhado à manutenção. Após a determinação do problema e reparo, o mesmo será retornado à instituição, para a calibração e emissão do certificado.

### 5.9.2 Aferição dos Monitores de Radiação:

O objetivo da aferição, é garantir que o equipamento, após retornado da calibração, não está com nenhum problema de leitura ou resposta à radiação.

Faz parte do procedimento de rotina, o teste de aferição dos monitores de área. Os equipamentos de monitoramento de área, possuem uma planilha de aferição (anexo 7). A aferição consiste em:

- Ao retornar da calibração, ligar o equipamento e colocá-lo exposto à micro fonte de teste;
- Realizar a medida de radiação encontrada pelo equipamento, quando exposto à micro fonte;
- Registrar na planilha o valor encontrado (valor inicial), com data da medida;
- Realizar, na data da operação a medida de radiação, e registrar o valor encontrado;
- Comparar este valor com o valor inicial;
- Caso a variação do valor encontrado seja superior à  $\pm 20\%$  do valor inicial, o teste deve ser repetido;
- Sendo confirmado o valor, fora do padrão, o equipamento deverá ser retirado de operação e encaminhado à manutenção.

O técnico de radioproteção, antes de cada uso, efetuará a aferição dos monitores de radiação (Geiger-Müller), registrando em planilha específica.

Cada equipamento de monitoramento, é cadastrado, o qual possui todas as informações referentes ao mesmo. São elas:

- Modelo;
- Fabricante;

- Número de Série;
- Data da Última Calibração Realizada;
- Data da Próxima Calibração Programada;
- Números dos Certificados de Calibração.

Os certificados de calibração, assim como os manuais dos monitores, são mantidos em arquivo, juntamente com todos os documentos relativos à Radioproteção, sob responsabilidade do SPR.

### 5.9.3 Teste de Fuga (Wipe-Test) nos Medidores Nucleares:

Visando o controle da integridade das fontes radioativas, bienalmente serão realizados wipe-test (testes de vazamento) em todas as fontes (com exceção da fonte gasosa de Kr-85). Todos os resultados dos testes serão arquivados e registrados no Arquivo de dados.

O wipe-test consiste de teste de esfregação da blindagem de material radioativo, para coleta de amostras, visando a emissão de laudos sobre a integridade da fonte radioativa. Após o recebimento dos laudos, eles são arquivados, no serviço de radioproteção.

Caso o resultado apresente contaminação (vazamento de material radioativo de seu encapsulamento), a fonte será fechada com cadeado, e encaminhada ao local de armazenamento temporário para que o teste seja refeito. Caso a contaminação seja realmente comprovada será providenciada a transferência da mesma para a CNEN, como rejeito radioativo.

Deve ser feito por técnico credenciado pelo CNEN o qual executará o seguinte procedimento:

- Certifica-se do uso do Dosímetro individual, verificando se o mesmo está dentro do prazo de validade.
- Confere as condições gerais para uso (indicador, bateria e reação ao estímulo à micro fonte de teste) do contador Geiger Müller ou similar que é utilizado para o levantamento. Registra o resultado na Ficha de Aferição dos Detectores (Conforme modelo no Anexo 11).
- Certificar-se da disponibilidade de todo o material necessário para executar o teste.
- Providenciar uma área isolada.
- Sinalizar para o perigo de radiação.
- Fechar a janela da fonte através da manopla de acionamento.
- Trancar a janela da fonte com chave, para evitar abertura indesejada.
- Faz o levantamento Radiométrico na fonte, na área de instalação.

- Verifica se em alguma das posições de medição a 1 m de distância da blindagem, a radiação ultrapassou o limite permissível de 7,5  $\mu\text{Sv/h}$  (0,75 mR/h), caso positivo, efetua o isolamento da área imediatamente e, toma as medidas de emergência cabíveis para o caso.
- Remove a fonte para o local isolado, seguindo as normas de segurança para o transporte de materiais radioativos.
- Coloca a fonte com a tampa de segurança para cima.
- Certifica-se de que todo o material necessário para executar o teste está a disposição ao redor da fonte no local isolado.
- Realiza novo levantamento Radiométrico na fonte (detecção de problemas de transporte).
- Remove os parafusos e retira a tampa.
- Dobra o arame a 20 cm de distância da extremidade com algodão, formando um “L”.
- Certifica-se de que a mão ou qualquer parte do corpo não fique exposta ao feixe de radiação. Utiliza um espelho para visualizar o alojamento da cápsula radioativa.
- Abre o obturador da fonte.
- Introduce o arame com a extremidade de algodão no orifício da fonte até encostar na cápsula.
- Segura o arame na extremidade oposta ao algodão.
- Gira o arame três vezes na horizontal a fim de coletar o material para análise.
- Remove o arame do interior da fonte sem que o mesmo encoste em qualquer parte da fonte.
- Evita o contato da extremidade do arame revestida com algodão em algum objeto ou trabalhador.
- Coloca a extremidade do arame com algodão no envelope plástico.
- Corta com um alicate a extremidade do arame que ficou dentro do envelope.
- Certifica-se de que a haste com algodão se encontra dentro do envelope plástico.
- Lacre o envelope e colocar a etiqueta sobre o lacre.
- Fecha o obturador da fonte.
- Verifica as condições gerais da blindagem, bem como o estado de conservação da mesma e do obturador da fonte e providenciar a manutenção da mesma, se for o caso .
- Coloca a tampa da fonte fixando a com parafusos.
- Executa um outro levantamento radiométrico na fonte, afim de verificar se os valores anteriores se mantiveram. Caso contrário identificar a causa do problema.
- Preenche o formulário que acompanha o “Kit de Wipe Test”.
- Coloca os três levantamentos radiométricos, a segunda via do formulário e o envelope plástico com a amostra dentro do envelope fornecido pelo “Kit de Wipe Test”.
- Fecha e lacra o envelope.
- Envia o envelope ao fabricante para análise, utilizando envelope especial com revestimento interno em plástico tipo bolha, através do Recex, que providencia imediatamente o envio para análise.
- Reinstala a fonte no local de origem e realiza o levantamento radiométrico final.

#### 5.9.4 Serviços nos Medidores Nucleares:

Os serviços nos Medidores Nucleares na área só poderão ser realizados por Indivíduo Ocupacionalmente Exposto portando dosímetro pessoal.

Ao se iniciar quaisquer serviços nos Medidores Nucleares, são seguidas as instruções:

➤ Solicitar autorização ao supervisor de radioproteção ou eventual substituto nomeado por este;

➤ Realizar levantamento radiométrico no medidor;

➤ Acionar a alavanca para bloqueio do feixe de radiação;

➤ Trancar a alavanca com cadeado;

➤ Certificar-se do bloqueio do feixe, utilizando o medidor de radiação;

➤ Realizar o serviço necessário;

➤ Acionar a alavanca para abertura do feixe;

➤ Realizar novo levantamento radiométrico;

➤ Submeter relatório (incluindo os levantamentos radiométricos) ao supervisor de radioproteção.

Quando da necessidade de manutenção em blindagens, contendo material radioativo, as mesmas devem ser encaminhadas ao fabricante, por serem estes, os únicos autorizados pela CNEN, a realizarem este serviço.

#### 5.9.5 Programa de Monitoração de Área

##### 5.9.5.1 Levantamento Radiométrico

Consiste no levantamento e mapeamento das emissões das fontes radioativas através de contador Geiger Muller ou similar, com objetivo de detectar vazamentos na blindagem externa ou na cápsula da fonte. Os resultados dos levantamentos radiométricos são registrados em relatório de verificação. Os levantamentos radiométricos são realizados a cada 12 (doze) semanas, com tolerância de +/- uma semana.

O responsável pelo Levantamento executa as seguintes ações:

➤ Usa o Dosímetro individual, verificando o prazo de validade do mesmo.

➤ Confere as condições gerais para uso (indicador, bateria e reação ao estímulo à micro fonte de teste) do contador Geiger Müller ou similar que é utilizado para o levantamento. Registra o resultado na Ficha de Aferição dos Detectores (Conforme modelo do Anexo 11).

- Certifica-se que o contador Geiger Müller ou similar a ser utilizado está dentro de período de validade de calibração.
- Liga o contador Geiger Müller ou similar.
- Verifica as condições gerais de instalação da blindagem, bem como o estado de conservação da mesma e do obturador da fonte.
- Executa as medições observando o mapeamento e os pontos definidos .
- Anota na Solicitação de Serviço os valores indicados pelo contador Geiger Müller ou similar, em cada um dos pontos de mapeamento.
- OBS.: Verifica se em alguma das posições de medição a 1 m de distância da blindagem da Fonte Radiativa, a radiação ultrapassou o limite permissível de 7,5  $\mu\text{Sv/h}$  (0,75 mR/h), caso positivo, efetua o isolamento da área imediatamente e notifica o Supervisor de Radioproteção.
- Para o levantamento radiométrico no depósito intermediário, caso haja necessidade, antes de abrir a porta do mesmo, o trabalhador efetua a medição da radioatividade existente a um metro da parede.
- Preenche a ficha de controle de permanência na área.
- A radiação existente fora do depósito intermediário não deve ultrapassar 0,5  $\mu\text{Sv/h}$  (0,05 mR/h) caso positivo, efetua o isolamento do local imediatamente e toma as medidas de emergência cabíveis.
- Providencia o visto do Supervisor de Proteção Radiológica na Solicitação de Serviço.
- Informa o sistema de manutenção, todos os dados registrados na Solicitação de Serviço.
- Emite o relatório do levantamento radiométrico efetuado em cada fonte distribuída na área industrial e encaminha cópia ao Arquivo de Radioproteção (anexo 8).

#### 5.10 Descrição e classificação das áreas

De acordo com a Norma CNEN-NN-3.01, as áreas podem ser classificadas como:

Controlada: área sujeita a regras especiais de proteção e segurança, com a finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais;

Supervisionada: área para a qual as condições de exposição ocupacional são mantidas sob supervisão, mesmo que as medidas de proteção e segurança específicas não sejam necessárias;

Livre: qualquer área que não seja classificada como área controlada ou área supervisionada.

O isolamento de áreas controladas ao acesso de pessoas não autorizadas será realizado tomando-se como base os níveis de radiação permitidos para indivíduos do público, garantindo, desta maneira, que nos pontos de passagem, e onde possam haver funcionários não classificados como IOE's os níveis medidos não ultrapassem  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  ( $0,05 \text{ mR/h}$ ).

As áreas controladas na instalação serão as áreas entre o isolamento e as fontes; e o local para armazenamento temporário de fontes, quando estiver com fontes armazenadas em seu interior.

A sinalização do local para armazenamento temporário de fontes se dará sempre quando houver fontes radioativas armazenadas em seu interior. Quando não houver presença de material radioativo no local para armazenamento temporário de fontes, o mesmo será classificado como área livre, não permanecendo sinalizado.

#### 5.11 Programa de Treinamento

Os trabalhadores do Serviço de Radioproteção possuem Treinamento Básico em Radioproteção e participam anualmente de eventos tipo Cursos, Seminários, Palestras e Encontros de Profissionais que atuam na área, com a finalidade de manterem-se atualizados sobre os assuntos da matéria.

O Supervisor de Radioproteção é o Responsável pelo Treinamento dos Trabalhadores e poderá atuar como Instrutor ou encaminhar o pessoal para participar nos eventos programados por Instituições Externas.

Considera-se o trabalhador como atualizado em radioproteção quando participar anualmente em cursos abordando os assuntos abaixo relacionados (com carga horária mínima de 16h):

- Fundamentos de Física Nuclear.
- Instrumentos de Medição e Equipamentos de Proteção Individual usados em Radioproteção.
- Conceitos Básicos de Radioproteção.
- Gamagrafia Industrial.
- Métodos de blindagem para fontes radioativas.
- Efeitos Biológicos das Radiações.
- Transporte e Armazenamento de fontes radioativas.

Os critérios acima descritos são válidos também para os trabalhadores da empresa terceira, empresa contratada para prestar serviços técnicos e operacionais de radioproteção. As evidências dos treinamentos efetuados pela Terceira, são mantidos no banco de dados de treinamentos da Terceira

Os Cursos de Radioproteção desenvolvidos na SINDUS são os seguintes:

- Curso de Qualificação: 24h
- Curso de Reciclagem: 16h (com periodicidade anual)

O conteúdo programático do Curso de Radioproteção para Técnicos é:

- Aplicações da Radioatividade
- Histórico e Classificação das Radiações
- Radioatividade Natural e Artificial
- Leis da Radioatividade
- Desintegração Radioativa
- Interação das Radiações com a Matéria
- Unidades de Medida das Radiações
- Cálculos Básicos em Radioproteção:
  - Atividade
  - Curva de Decaimento Radioativo
  - Atenuação
  - Coeficiente de Absorção
  - Fator de Redução
  - Camada Semi-Redutora e Meia-Espessura
  - Exposição
  - Raio de Isolamento
  - Dose
  - Constante Específica de Radiação
- Efeitos Biológicos das Radiações
- Limites de Doses
- Medidores Nucleares Industriais
- Monitores de Radiação
- Métodos de Controle da Radiação (Blindagens)
- Monitoramento de Áreas (L.R.)
- Wipe-Test

- Monitoramento de Pessoal
- Situações de Emergência
- Glossário de Radioatividade
- Análise / Discussão sobre as Normas:
  - CNEN.NN.3.01
  - CNEN.NE.3.02
  - CNEN.NE.3.03
- Implantação dos Procedimentos POA XXX e POA YYY
- Análise e discussão do Plano de Radioproteção da Instalação Radiativa objeto do

Contrato.

#### 5.12 Instruções fornecidas aos trabalhadores

Todo o pessoal envolvido na operação e/ou manutenção dos equipamentos que contenham fontes radioativas recebem orientações sobre como proceder em caso de acidentes e/ou emergências.

##### Instruções Básicas

- Nunca colocar a mão através da abertura da blindagem, nem aproximar os olhos, principalmente se o obturador estiver aberto;
- Sempre que o equipamento não estiver sendo usado, fechar o obturador. Terminado o trabalho, trancar o obturador com seu respectivo cadeado ou chave.
- Nenhum material radioativo deve ser movimentado sem autorização do Supervisor de Radioproteção.
- O transporte interno de material radioativo deve ser executado em um recipiente adequado sob condições controladas e por pessoal devidamente treinado e autorizado.
- Qualquer situação caracterizada como emergência deve ser notificada ao Supervisor de Radioproteção para a adoção de medidas que induzam ao retorno a normalidade. Se as medidas corretivas adotadas não surtirem efeito, a CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear será contatada pelo Supervisor de Radioproteção, visando obter orientações específicas.

Além disto, orientações por escrito, são descritas em placas de sinalização junto as fontes radioativas, com as seguintes instruções:

**Área Supervisionada**  
**FONTE RADIOATIVA**



**INSTRUÇÕES DE SEGURANÇA:**

Mantenha-se afastado da fonte no mínimo 1 (um) metro de distância;  
Qualquer sinal de dano na estrutura, ligue para à Emergência, pelo ramal nº XXXX;

Manutenção junto as fontes serão liberadas pelo Serviço de Radioproteção, via Permissão de Trabalho (PET)

O acesso às fontes radioativas é restrito ao pessoal do Serviço de Radioproteção ou pessoas autorizadas.

Figura 5.12 – Identificação de Área Supervisionada

Fonte: adaptado da empresa pelo autor

As áreas próximas às fontes radioativas são consideradas restritas e o acesso é limitado ao pessoal da equipe de radioproteção ou ainda as pessoas com a autorização do Supervisor de Radioproteção;

Todo o serviço em tanques, transportadores, linhas e silos onde haja fontes radioativas instaladas será liberado somente após o devido fechamento da fonte por técnicos da Terceira, empresa contratada para este fim, e com o conhecimento do Supervisor de Radioproteção.

### 5.13 Programa de Monitoração Individual

Todos os trabalhadores do Serviço de Radioproteção são monitorados através de equipamento de leitura indireta do tipo termoluminescente tendo como referência um dosímetro padrão utilizado no momento da leitura, o que é realizado mensalmente por uma empresa especializada contratada para este serviço (PRO RAD).

Os crachás com o dosímetro são utilizados, pelos trabalhadores do Serviço de Radioproteção, sempre que houver necessidade de intervenções junto às fontes radioativas.

Observação - O uso do crachá com dosímetro não exclui o emprego do Detector Geiger Müller nas intervenções junto às fontes radioativas.

#### 5.13.1 Procedimento

- O trabalhador recebe do Supervisor de Radioproteção o seu crachá dosímetro sempre que houver necessidade de exposição à radiação.
- Efetua as intervenções durante o mês junto às fontes radioativas portando o crachá com o dosímetro.
- O Supervisor de Radioproteção recolhe o Crachá com o dosímetro de todos os trabalhadores no último dia útil do mês.
- O Supervisor encaminha os dosímetros para leitura e avaliação junto à empresa especializada contratada.

- O Supervisor recebe o relatório das doses recebidas e providencia no registro dos valores na ficha individual de cada trabalhador, junto com os novos dosímetros que serão colocados à disposição dos membros da equipe para novo período de monitoração.

#### 5.13.2 Exposição acidental ou de emergência

A pessoa envolvida em alguma exposição acidental ou de emergência à radiação, acima dos limites estabelecidos, será imediatamente entrevistada pelo Supervisor de Radioproteção, a fim de levantar detalhadamente os fatos ocorridos e estimar a dose recebida. Após esta avaliação este providencia, se for o caso, a leitura imediata do dosímetro ou a medição do nível de radiação recebida pela pessoa e, de posse do resultado adota as ações, normativas, preventivas e/ou corretivas, pertinentes para evitar a reincidência dos fatos.

#### 5.14 Exames Médicos

➤ Os funcionários da ABCDEFGH, e empresas contratadas, que se expõem ocupacionalmente à radiação realizam exames médicos e laboratoriais, pré-ocupacionais, periódicos e pós-ocupacionais.

➤ Os Exames periódicos ocorrem anualmente (Port. 3214/78 – NR-7/ Anexo II). Nestes exames estão incluídos a avaliação do quadro clínico com o parecer do médico responsável e hemograma com contagem de plaquetas. Os resultados dos exames permanecem no Prontuário Médico da empresa.

➤ Os exames médicos e hemogramas dos trabalhadores da Terceira, empresa prestadora de serviço em Radioproteção, ficam no arquivo próprio daquela empresa.

➤ Os trabalhadores em radioproteção poderão exercer suas atividades somente com o parecer favorável do Médico e do Supervisor de Radioproteção.

➤ O conjunto dos registros médicos e radiológicos atualizados de cada trabalhador são mantidos ao longo de sua vida, no mínimo por 30 (trinta) anos após o término da sua ocupação e o seu desligamento da empresa, mesmo que já tenha falecido.

##### 5.14.1 Exames de Admissão:

Os trabalhadores admitidos para o serviço de radioproteção são submetidos a exame de sangue (hemograma completo) no ato da contratação e, caso já tenham trabalhado com material radioativo apresentam FICHA DE CONTROLE DOSIMÉTRICO.

##### 5.14.2 Exames Periódicos:

Para os IOE's é realizado, além do exame médico periódico, exame de sangue (hemograma completo com contagem de plaquetas). Estes exames são semestrais e seus resultados são arquivados no serviço de radioproteção.

#### 5.14.3 Exames Demissionais:

Os funcionários da instalação demitidos são submetidos a exames demissionais.

Para os IOE's demitidos é realizado, além do exame médico demissional, exame de sangue (hemograma completo com contagem de plaquetas).

#### 5.14.4 Exames Especiais:

Em situações extremas, onde trabalhadores corram riscos reais de detrimento de sua saúde em virtude da dose recebida, os órgãos competentes, como a Secretaria Estadual de Saúde e a CNEN, devem ser acionados pelo supervisor em radioproteção e pelo médico responsável da instalação.

#### 5.15 Local para armazenamento temporário de fontes:

O depósito intermediário é utilizado para armazenamento dos rejeitos radioativos (fontes fora de uso), é um bunker fechado, especialmente construído para evitar o acesso, por pessoas não autorizadas, às fontes radioativas fora de uso.

#### 5.16 Transporte de material radioativo

##### 5.16.1 Transporte Interno:

Caso haja necessidade de mudança do local da instalação dos medidores, esta será realizada por pessoal da ABCDEFGH.

Sempre que houver qualquer transferência no local de instalação dos Medidores Nucleares o Mapa de localização dos Medidores será atualizado.

##### 5.16.2 Transporte Externo:

Caso haja necessidade do envio dos medidores contendo fonte radioativa para manutenção, troca da fonte radioativa ou mesmo devolução, o transporte somente será realizado com prévia autorização da CNEN e em conformidade com a norma NE-5.01 – TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS.

Sempre que houver qualquer alteração de quantitativo de Medidores Nucleares o Mapa de localização dos Medidores será atualizado.

#### 5.17 Programa de Emergência

Este Programa de Emergência aborda as possíveis ocorrências de uma situação de emergência que possam envolver fontes radioativas durante sua guarda, operação ou transporte, tendo como objetivo instruir o pessoal quanto aos procedimentos diante desta situação, para retorno à situação normal.

### 5.17.1 Procedimentos Gerais:

Os procedimentos a seguir deverão ser adotados em toda e qualquer situação de emergência:

a) socorrer possíveis acidentados. Salvar Vidas é prioridade sobre a Proteção Radiológica;

b) isolar e sinalizar a área evitando a aproximação de pessoas não autorizadas;

c) contactar o supervisor de radioproteção e os órgãos envolvidos conforme a situação.

Ex.: Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Polícia, etc.;

d) comunicar o acidente a CNEN;

e) identificar os indivíduos do público eventualmente expostos para posterior assistência médica;

f) após o controle da situação, encaminhar os dosímetros pessoais para leitura imediata, avaliando os danos causados pelo acidente;

g) determinar as causas do acidente e certificar-se que medidas de precaução serão tomadas para evitar a ocorrência dos mesmos;

h) elaborar e encaminhar relatório detalhado à CNEN, incluindo: causas do acidente, pessoas envolvidas, doses recebidas, medidas corretivas, medidas de precaução e outros tópicos que julgar necessários.

### 5.17.2 Tipos de Acidentes Previstos:

Pela característica das fontes empregadas no processo industrial da ABCDEFGH são os seguintes acidentes com alguma probabilidade de ocorrência:

➤ Ruptura de linhas pressurizadas próximas dos equipamentos que possam atingir as fontes radioativas.

➤ Incêndio com derretimento da blindagem e da cápsula

➤ Ataque Químico que provoque rachaduras ou fissuras no corpo da blindagem e que permita o vazamento da radiação.

➤ Manutenção de tanques, silos, equipamentos ou linhas sem o fechamento da fonte radioativa.

➤ Exposição acidental em gamagrafias.

➤ Toda e qualquer exposição acima dos limites primários de Dose Equivalente detectada por ocasião da leitura imediata do dosímetro ou constatada através do levantamento radiométrico.

Os equipamentos do processo industrial da ABCDEFGH, que possuem fontes radioativas no processo, são monitorados periodicamente, com medidor de radiação portátil nos levantamentos radiométricos e nas intervenções de abertura/fechamento das mesmas para trabalhos de manutenção nas malhas.

Qualquer movimentação da fonte (queda, deslocamento, desalinhamento, etc...) é imediatamente detectada pela operação da área, no painel de controle, através de indicação incorreta, alarme e/ou Inter travamento no processo. Este tipo de evento demanda o acionamento da equipe de manutenção para verificação das causas da anormalidade.

A liberação para manutenção de tanques, silos, equipamentos ou linhas, próximas à fontes radioativas, somente é realizada após avaliação de um técnico de radioproteção.

No caso de acidentes listados no item anterior (Acidentes possíveis) é acionado o Plano de Atendimento à Emergência (PE).

#### 5.17.3 Roubo do Medidor Contendo Fonte Radioativa:

No caso de roubo, devem ser tomadas as seguintes providências:

- Comunicar imediatamente à Polícia e à CNEN, solicitando auxílio específico;
- Contactar o supervisor de radioproteção;
- Ao localizar o medidor, deve ser feita monitoração do mesmo, para certificar-se da presença da fonte e de sua perfeita blindagem;
- Não sendo localizado o medidor e transcorrido o prazo de 72 horas após a comunicação do fato, deve ser solicitado com anuência da CNEN, auxílio dos meios de comunicação com o intuito da localização do medidor;
- Enviar relatório detalhado à CNEN.

#### 5.17.4 Acidente Durante o Transporte Rodoviário:

No caso de acidente durante a realização de transporte rodoviário, devem ser tomadas as seguintes providências:

- Atender os feridos, quando houver;
- Verificar visualmente se a embalagem que transporta o medidor permanece lacrado e fixado ao veículo;

- Isolar a área evitando a aproximação de pessoas não autorizadas;
- Contactar o supervisor de radioproteção;
- Monitorar a embalagem para conferir o índice de transporte anotado;
- Se a blindagem da fonte estiver danificada e após a monitoração for constatado um aumento nos níveis de radiação, deve ser providenciada blindagem adicional de emergência;
- Em todos os casos, o trânsito deve ser desviado do local do acidente, caso isto não seja possível, o veículo deve ser removido a uma distância suficiente para liberar o trânsito;
- Enviar relatório detalhado à CNEN.

#### 5.17.5 Incêndio / Explosão:

No caso de incêndio e/ou explosão, devem ser tomadas as seguintes providências:

- Notificar ao Corpo de Bombeiros mais próximo da instalação;
- Contactar o supervisor de radioproteção;
- Após a chegada do Corpo de Bombeiros, indicar o local exato onde a fonte se encontra, orientar sobre o melhor caminho para entrar na área de radiação;
- Manter a área do incêndio continuamente monitorada durante o combate ao fogo;
- Não permitir que os bombeiros ou quaisquer outras pessoas entrem na área de radiação, após a extinção do fogo, sem que antes tenha sido realizada uma monitoração completa da área;
- Caso a blindagem de fonte tenha sido avariada e os níveis de radiação estejam acima dos limites normais, providenciar blindagem adicional de emergência;
- Colocar a blindagem avariada dentro da blindagem de emergência;
- Providenciar o envio da blindagem avariada para o fabricante;
- Enviar relatório detalhado à CNEN.

#### 5.17.6 Exposição do Trabalhador:

No caso de exposição acidental de trabalhadores, devem ser tomadas as seguintes providências:

- contactar supervisor de radioproteção;
- identificar os funcionários envolvidos;
- calcular as doses recebidas, levando-se em consideração: tempo, distância, blindagem e posição;

- enviar os filmes dosimétricos para leitura imediata;
- comparar o resultado da revelação dos filmes com o resultado dos cálculos;
- caso necessário encaminhar as pessoas envolvidas para exames médicos;
- enviar relatório de trabalho à CNEN.

#### 5.17.7 Telefones de Emergência:

Tabela 5.17.7 – Telefones de emergência

<b>CONTATO</b>	<b>TELEFONE</b>
Supervisor de Radioproteção Titular	(51) xxx-xxxx (51) xxx-xxx
Supervisor de Radioproteção Substituto	(51) xxx-xxx (51) xxx-xxx
(Titular da Instalação)	(51) 2139-0000
Defesa Civil – XXXX - RS	(51) 3480-1300
Defesa Civil – Porto Alegre - RS	(51) 3210-4100
Polícia Rodoviária (BR 116) - RS	(51) 3481-3286
Polícia Rodoviária (BR 290) - RS	(51) 3481-2040
Corpo de Bombeiros – Guaíba - RS	(51) 3480-2022
Corpo de Bombeiros – Porto Alegre - RS	(51) 3288-3177
IRD / RJ	(21)2442-2539
IEN / RJ	(21) 2173-3700
CNEN / RJ	(21) 2173-2001 (21)9982-1861
IPEN / SP	(11) 3816-9000

Fonte: adaptado pelo autor

#### 5.17.8 Relatório:

Na ocorrência de um acidente envolvendo equipamento com fonte radioativa incorporada, certos fatos devem ser obtidos com detalhes e imediatamente. Esses fatos são essenciais para a estimativa da magnitude do acidente, para limitar a extensão do dano e

principalmente no estabelecimento de medidas de precaução, objetivando que o mesmo, não mais ocorra.

Após a ocorrência de um acidente, deve ser enviado para a apreciação da CNEN, relatório claro e detalhado, incluindo:

Dados do Acidente:

- O que aconteceu ?
- Quando ocorreu?
- Onde ocorreu ?
- Causas da ocorrência ?
- Quem foi notificado ?
- Que medidas foram tomadas ?
- Quem esteve envolvido ?
- Quem foi exposto a radiação ?
- Existem vítimas ?
- Houve contaminação ?
- Que medidas foram tomadas para evitar uma nova ocorrência ?

Dados da Fonte Radioativa:

- Nome ou Símbolo do radioisótopo
- Forma, especial ou não
- Sólido, líquido ou gasoso?
- Atividade atual
- Tipo do embalado
- Rótulo e índice de transporte ( caso tenha havido acidente de transporte).
- Estimativa de dose das pessoas envolvidas
- Resultados obtidos na revelação dos dosímetros.

#### 5.18 Programa de Garantia da Qualidade do Sistema de Radioproteção:

Como forma de se obter uma garantia da qualidade no sistema de radioproteção, a instalação possui um programa de Auditorias, conforme abaixo:

##### 5.18.1 Auditoria Interna:

Anualmente é realizada uma auditoria interna direcionada ao Serviço de Radioproteção, baseado nos seguintes documentos:

- Plano de Radioproteção da instalação;
- Norma CNEN-NN-3.01;

- Norma CNEN-NE-3.02;
- Norma CNEN-NN-3.03;
- Norma CNEN-NE-5.01;
- Norma CNEN-NE-6.02;
- Norma CNEN-NE-6.05.

#### 5.18.2 Auditoria Externa:

Periodicamente, a instalação é auditada externamente para:

- Qualidade;
- Meio Ambiente;
- Segurança do Trabalho.

Em tais auditorias, o serviço de radioproteção também é auditado, visto a instalação dos medidores nucleares no processo da empresa.

Sempre quando o Supervisor de Radioproteção achar necessário, a instalação pode contratar o serviço de Auditoria específica para o Serviço de Radioproteção, a ser realizado por empresa capacitada, coordenado por um Supervisor de Radioproteção na área de Medidores Nucleares.

#### 5.19 Registros da Instalação

O serviço de radioproteção manterá em sua estrutura um arquivo com toda a documentação, bibliografia e registros relacionados à radioproteção. Os seguintes registros são mantidos com o objetivo de controle:

- Plano de Radioproteção;
- Controle dosimétrico dos trabalhadores;
- Atestados de Saúde Ocupacional – ASO's (Arquivados no Centro Médico);
- Certificados de calibração dos monitores de radiação;
- Relatórios dos levantamentos radiométricos dos Medidores Nucleares;
- Registros de treinamento e aproveitamento do pessoal (registro eletrônico no BD do sistema Universal RH);
- Manuais e catálogos dos medidores;
- Normas da CNEN

## 5.20 Planta da Instalação com a Respectiva Localização dos Medidores Nucleares

Todos os medidores Nucleares são identificados e localizados em áreas conhecidas e aprovadas pelo Serviço de Radioproteção da instalação. Estes locais poderão ser verificados no Mapa de Localização dos Medidores Nucleares, o qual segue no anexo 4.

## 5.21 Termo de Responsabilidade do Diretor da Instalação

Conforme descrito na Norma CNEN-NN-3.01, as responsabilidades do Titular da Instalação são:

a) implantar, implementar e documentar um sistema de *proteção radiológica*, em consonância com a natureza e extensão dos riscos associados com as *práticas e intervenções* sob sua responsabilidade, em conformidade com esta Norma e demais normas aplicáveis, estabelecidas pela *CNEN*;

b) determinar as medidas e os recursos necessários para garantir o cumprimento das diretrizes de *proteção radiológica* desta Norma, assegurar que os recursos sejam fornecidos e que essas medidas sejam implementadas corretamente;

c) rever, continuamente, tais medidas e recursos, identificar quaisquer falhas e deficiências na sua aplicação, corrigi-las e evitar suas repetições, bem como verificar regularmente se os objetivos de *proteção radiológica* estão sendo alcançados;

d) estabelecer mecanismos para facilitar a troca de informação e cooperação entre todas as partes interessadas com relação à *proteção radiológica*, incluindo a segurança das *fontes*;

e) manter os registros apropriados relativos ao cumprimento de suas responsabilidades;

f) tomar as ações necessárias para assegurar que os *IOE* estejam cientes de que sua segurança é parte integrante de um programa de *proteção radiológica*, no qual os *IOE* possuem obrigações e responsabilidades tanto pela sua própria proteção como pela de terceiros;

g) investigação das causas e conseqüências de falhas no cumprimento das Normas da *CNEN*;

h) adoção das medidas apropriadas para evitar a repetição de falhas semelhantes;

i) comunicação à *CNEN*, na forma e nos prazos por ela estabelecidos, as causas e as ações corretivas ou preventivas adotadas ou que devam ser adotadas. Esta comunicação deve ser em caráter de urgência, sempre que uma *situação de emergência* tenha se iniciado, esteja se desenvolvendo ou em vias de se desenvolver;

j) adoção de quaisquer outras ações especificadas pela *CNEN*;

k) permitir aos inspetores da *CNEN* o acesso às suas instalações e registros, para fins de verificação do cumprimento dos requisitos das Normas da *CNEN*;

- l) Manter um supervisor de radioproteção, com certificação de qualificação, em conformidade com a norma específica da CNEN;
- m) Ser a responsável pela Radioproteção e segurança da instalação;
- n) Tomar, perante a *CNEN*, as providências necessárias relativas ao licenciamento e/ou alteração da instalação;
- o) Estabelecer limites derivados e limites operacionais sempre que julgar conveniente;
- p) Autorizar exposições de emergência;
- q) Manter um serviço médico adequado ao tipo e às proporções da instalação, e prover tratamento médico aos trabalhadores envolvidos em acidentes, quando necessário;
- r) Estabelecer e implementar um plano anual de auditoria e garantia da qualidade para a verificação da adequação do plano de radioproteção.

#### 5.22 Referências Bibliográficas:

- Comissão Nacional de Energia Nuclear – Norma CNEN-NN-3.01, Diretrizes Básicas de Radioproteção;
- Comissão Nacional de Energia Nuclear – Norma CNEN-NE-3.02, Serviços de Radioproteção;
- Comissão Nacional de Energia Nuclear – Norma CNEN-NNE-3.03, Certificação da Qualificação de Supervisores de Radioproteção;
- Comissão Nacional de Energia Nuclear – Norma CNEN-NE-5.01, Transporte de Materiais Radioativos;
- Comissão Nacional de Energia Nuclear – Norma CNEN-NE-6.02, Licenciamento de Instalações Radiativas;
- Ministério do Trabalho e Emprego – NR 7;
- <http://www.stuarthunt.com>;
- <http://www.stanford.edu>;
- Comissão Nacional de Energia Nuclear – Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos.

### 5.23 Termo de Fechamento:

A direção da ABCDEFGH e o Serviço de Radioproteção assumem o compromisso de implementar o presente Plano de Radioproteção estabelecido em conformidade com as normas da CNEN.

Cidade, 03 de novembro de 2009.

---

XXXXXXXXXX  
DIRETOR

---

XXXXXX  
SUPERVISOR DE RADIOPROTEÇÃO

---

YYYYYYY  
SUPERVISOR SUBSTITUTO

### 5.25 Anexos do Plano Atual

Tabela 5.25 Anexos do Plano de Radioproteção da Indústria

ANEXO 4	Mapa de Localização dos Medidores Nucleares
ANEXO 5	Cópia dos Certificados de Calibração dos Monitores de Radiação
ANEXO 6	Inventário das Fontes Radioativas
ANEXO 7	Modelo da Ficha de Aferição
ANEXO 8	Modelo da Ficha de Monitoramento de Área

## 6 ANÁLISES E DISCUSSÃO DO PLANO DE PROTEÇÃO ATUAL

Conforme comentado anteriormente, a análise será realizada comparando-se o conteúdo que deve possuir um plano de radioproteção, conforme capítulo 4, com o plano de radioproteção atual, apresentado no capítulo 5. Nesta análise, serão descritos e realizados comentários apenas com relação ao tópicos em que haja uma divergências entre o plano ideal e o real.

Como primeiro item analisado e que poderia ser melhor descrito é com relação a classificação da instalação. No plano apresentado, aparece a informação que a mesma pertence ao grupo III. Conforme a norma do CENEN que trata sobre Instalações Radioativas (CENEN Res 112/11), o grupo III é subdividido em 3A, 3B e 3C. No caso de organizações que utilizam mais de uma fonte selada, a sua classificação será determinada pelo valor da atividade normalizada de fontes seladas ( $S_n$ ), de acordo com a seguinte fórmula:

$$S_n = \sum A_i/D_i \quad (9)$$

onde  $A_i$  é a atividade de cada radionuclídeo  $i$  e  $D_i$  é o valor de referência para fontes seladas, listado no Anexo 9, para o radionuclídeo  $i$ . Ainda, conforme a Res 112/11 tem-se:

- Subgrupo 3A: se  $S_n$  for menor ou igual a 0,1 (um décimo);
- Subgrupo 3B: se  $S_n$  for maior que 0,1 (um décimo) e menor ou igual a 1 (um); ou
- Subgrupo 3C: se  $S_n$  for maior que 1 (um).

Considerando as fontes utilizadas na indústria em análise e os valores de referência de  $D$  para o grupo 3 (Anexo 9), foi calculado o valor de  $S_n$ , conforme a tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Cálculo do valor da atividade normalizada de fontes seladas -  $S_n$

Radionuclídeo	Nº Radionuclídeos	Atividade Individual (mCi)	Atividade ( $A_i$ )	Referência( $D_i$ )	$A_i/D_i$
Cs-137	3	500	1,5	3,0E+00	5,0E-01
Cs-137	1	50	0,05	3,0E+00	1,7E-02
Cs-137	1	10	0,01	3,0E+00	3,3E-03
Cs-137	1	20	0,02	3,0E+00	6,7E-03
Sr-90	1	15	0,015	3,0E+01	5,0E-04
Fe-55	1	100	0,1	2,0E+04	5,0E-06
Kr-85	1	400	0,4	8,0E+02	5,0E-04
<b>Soma (<math>S_n</math>)</b>					<b>0,528</b>

Fonte: próprio autor

Assim, como o valor de  $S_n$  é maior que 0,1 e menor que 1, a empresa em estudo pertence ao grupo III, subgrupo 3B.

Outro ponto de melhoria é com relação ao grupo responsável pelo Serviço de Radioproteção. No plano atual, em descrição da pessoal, não existe, pelo menos citado no plano, técnicos da equipe de radioproteção para atendimento fora do horário administrativo. Como a fábrica opera 24 horas, seria importante que pelo menos um técnico da equipe de radioproteção estivesse no turno das 17h às 8h.

Com relação ao inventário de fontes radioativas são citadas duas melhorias. A primeira é a inclusão da fonte de Cs 137 utilizada na aferição dos medidores de radiação no inventário de fontes. A segunda melhoria é com relação a descrição das fontes e dos equipamentos de medição. No inventário de fontes radioativas, equipamentos e fontes estão na mesma tabela, não contemplando todos os itens descritos em 4.3.5, Inventário das fontes e equipamentos emissores de radiação ionizante. Recomenda-se a separação do inventário das fontes do equipamento, incluindo, quando aplicável, todos os itens constantes em 4.3.5.

O próximo item analisado e que possui oportunidades de melhoria é com relação a segurança física da instalação, tema este bastante atual, principalmente após o evento de Goiânia, que vitimou várias pessoas com o Cs-137. Neste tópico, recomenda-se:

- Melhorar a segurança do depósito intermediário, instalando e registrando no plano de radioproteção medidas de segurança, como, por exemplo, a instalação de um sistema de alarme/CFTV;

- Listar no plano as medidas de controle de segurança existentes na fábrica, como controle de acesso fábrica via catraca; a área da fábrica é cercada monitorada continuamente por vigilantes e relatando a atividade da terceirizada responsável pela vigilância patrimonial;

- Avaliar o uso de grades/tela de proteção metálica ou outro material resistente ao redor dos medidores nucleares. Algumas fábricas já adotam esta estratégia que, além de proteger contra roubo das fontes radioativas instaladas na área, se teria uma barreira física para que indivíduos do público não tivessem acesso as fontes.

Um tópico muito importante listado no plano e que merece uma atenção especial é com relação a sinalização de segurança, no qual recomenda-se:

- Rever a questão de área controlada versus área supervisionada. No plano atual, no item relativo a classificação de áreas, em sua maioria são citadas como áreas controladas, enquanto que na prática são áreas supervisionadas, com exceção do depósito intermediário, que é área controlada mas no local apresenta uma placa como área supervisionada;

- Deve ser prevista a colocação de sinalização de área supervisionada ou controlada nos locais onde estão presente as fontes radioativas, além da sinalização já prevista no plano atual (trifólio na fonte e informações da fonte radioativa);

- Outra sinalização eficiente no qual a operação tem o conhecimento dos riscos são os mapas de riscos. O plano atual não faz nenhuma menção sobre os mapas de riscos e a sobre a inclusão das radiações ionizantes nestes mapas. Assim, sugere-se incluir nos mapas de riscos das

áreas que possuem fontes radioativas informações e cuidados sobre o uso de radiações ionizantes, incluindo esta informação no plano de radioproteção.

Outro tópico analisado e que também merece uma atenção especial é com relação a comunicação, tanto para o titular da empresa quanto aos empregados. Conforme NN 3.02, Serviço de Radioproteção, item 6.3.4, em caso de emergência deve ser comunicado o Titular da empresa, sendo que esta informação deveria constar no plano. Com relação as instruções fornecidas aos trabalhadores, que laboram nas áreas onde há a presença de fontes radioativas, apesar das instruções relativas ao plano de radioproteção estarem disponíveis no Sistema de Documentação da intranet da empresa, não se tem uma divulgação clara a todos os trabalhadores. Recomenda-se, além da inclusão da informação nos mapas de risco que esta informação também esteja disponível nos locais de trabalho.

Com relação ao programa de garantia da qualidade sugere-se duas melhorias:

- A primeira é com relação a realização das auditorias internas anuais no Serviço de Radioproteção e auditorias externas periódicas com relação a qualidade, meio ambiente e segurança. Como a empresa é certificada nas normas ISO 9001 – Gestão da Qualidade e ISO 14001 – Gestão do Meio Ambiente, pelas normas da empresa não tem a obrigatoriedade de se auditar as normas da segurança, incluindo o Serviço de Radioproteção. Eventualmente, em uma verificação do atendimento a requisitos legais da ISO 14001, pode-se auditar o SR, mas com fonte na parte de rejeitos radioativos. Assim, recomenda-se neste item, citar as auditorias como eventuais e dar mais ênfase em outros temas, como a manutenção periódica dos equipamentos emissores de fontes radioativa e o Sistema de Documentação da empresa no qual os empregados tem acesso a informações do plano de radioproteção;

- A segunda melhoria é com relação ao controle de registros ligados a radioproteção. Sugere-se, de acordo com a ISO 9001, ter-se um controle dos registros ligados ao SR, tendo-se, conforme item 4.2.4 da ISO 9001, para cada registro uma matriz com a identificação, o armazenamento, a recuperação, a retenção e o descarte do resíduo. Além disso, os registros devem ser legíveis, prontamente identificáveis e recuperáveis.

Por último, no item da revisão bibliográfica, deve-se atualizar a bibliografia, em função da revisão de grande parte das normas, incluindo as posições regulamentárias em 2011.

## 7 CONCLUSÕES

A aplicação das radiações ionizantes na indústria para o controle de processo traz uma série de benefícios com relação a medição convencional, pois os instrumentos nucleares evitam o contato com o material de processo. Assim, a sua aplicação se dá em processos onde as condições de temperatura e pressão são extremas, fluidos com características corrosivas e demais características especiais que impedem o uso de medidores não nucleares. Além disso, há processos onde a medição por meio tradicionais, como ultrassom, microondas, laser, ... não dão bons resultados e se faz, portanto, o uso de radiações ionizantes.

Para que possamos aproveitar todos os benefícios do uso de medidores radiométricos (nucleares) e não tenhamos os efeitos biológicos aos indivíduos ocupacionalmente expostos e ao público em geral, é necessário que se tenha um plano de proteção radiológica consistente e aprovado pelo CENEN, que é o órgão responsável pela regulamentação do uso de energia nuclear em geral, incluindo os medidores nucleares.

Neste enfoque, analisando-se o plano de radioproteção atual de uma indústria química verificou a necessidade de melhoria, principalmente, nos seguintes pontos:

- Segurança física das instalações: infelizmente, intencionalmente ou não, as radiações ionizantes se utilizadas de modo inadequado, não respeitando as normas do CNEN, podem trazer danos irreversíveis ao ser humano. Casos como o acidente de Goiânia, casos de roubos na antiga União Soviética e, recentemente, acidentes envolvendo usinas nucleares são exemplos do uso descontrolado. Embora os medidores possuem fontes com baixíssimas atividades, deve ter um cuidado durante a sua utilização. Por isto, sugere-se uma maior controle físico das instalações, como o uso de alarme e/ou CFTV no depósito intermediário de fontes e a avaliação quanto ao fechamento dos medidores com uma proteção rígida de tela, evitando, além da questão do roubo, que pessoas não autorizadas fiquem expostas a radiação, embora se tenha sinalização.

- Comunicação: fundamental para a implantação do plano, todos os colaboradores onde há a presença de fontes radioativas devem ter o conhecimento básico sobre proteção radiológica. Por isto, sugerido a inclusão, além das informações disponíveis no Sistema de Documentação da empresa, dos riscos de radiação ionizantes nos mapas de risco.

- Sinalização: há a necessidade de uma padronização da sinalização com um todos os pontos onde se utiliza radiações ionizantes, definindo claramente o que é área controlada, supervisionada e livre.

- Garantia da Qualidade: como a empresa analisada possui ISO 9001, incluir os registros relativos a proteção radiológica, fazendo com que os mesmos possam ser prontamente identificáveis e recuperáveis.

Enfim, tanto o objetivo principal do trabalho, que era avaliar o plano de radioproteção existente em uma indústria química, propondo melhorias, como os secundários foram plenamente alcançados.

Assim, este estudo poderá servir, dentro da filosofia de melhoria contínua, na adequação do plano de radioproteção atual, onde as melhorias propostas proporcionaram um maior conhecimento e uma melhor segurança a todos, sendo este um dos principais objetivos da proteção radiológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreucci, R. 2001 **“Curso Básico de Proteção Radiológica – Aspectos Industriais”** Abende, São Paulo

Bellintani, S. A, Mazzilli, B.P., Filho, C.R.R, Kodama, Y., Susuki, F.F., Dellamano, J.C., Maruno, J.T., Sanches, M.P., Vicente, R. 2002 **“Noções Básicas de Proteção Radiológica”** IPEN, São Paulo.

Borges, V. 2012 **“Radiações – Apostila do Curso de Pós Graduação em Eng. de Segurança do Trabalho”**. UFRGS

Brody, J. E. 2012 **“Os Riscos da Radiação”** Jornal Zero Hora, Porto Alegre – RS.

Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN-NM-3.01, 2011 – **“Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”**

Comissão Nacional de Energia Nuclear . Disponível na internet em <http://www.cnen.gov.br/acnen/inf-perguntasfrequentes.asp#norma>. Acessado em 12/11/2012

Comissão Nacional de Energia Nuclear – Res 111/2011 – **“Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica”**

Comissão Nacional de Energia Nuclear – Res 112/2011 – **“Licenciamento de Instalações Radioativas”**.

Comissão Nacional de Energia Nuclear – Posição Regulatória 3.01/2011 – **“Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica”**.

Comissão Nacional de Energia Nuclear CNEN NE 2.01 – **‘Proteção Física de Áreas Operacionais de Áreas Nucleares’** (2011)

Da Costa, R. M. M. C, 2009. “**Estudo do campo de radiação na envolvente de instrumentação radiológica utilizada na indústria**”. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. Portugal.

IAEA Nuclear, Security Series N 5. “**Technical Guidance – Reference Manual**”. Disponível em [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1278\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1278_web.pdf). Acessado em 02/11/12

Lince Instrumentos, 2012. “**Série Protaq – Sistemas e Medidores Nucleares**”. Disponível na internet em <http://www.instrumentos-lince.com.br/paginas/catalogo.aspx?linha=2>, acessado em 12/11/2012

Marechal, M. H. 2012. “**Fórum Internacional de Proteção Radiológica**”, IPEN, São Paulo.

Metso Automotion, 2006 “**Catálogos de Produtos**”.

NBR ISO 9001 “**Requisitos do Sistema de Gestão da Qualidade**”. 2008

NR 07. “**Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional**”. Disponível na internet [http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D308E21660130E0819FC102ED/nr\\_07.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D308E21660130E0819FC102ED/nr_07.pdf) e acessado em 11/12/2012.

Ramires, A. M. 2000. “**Análises dos Acidentes Radiológicos no Contexto Organizacional das Empresas de Radiografia Industrial**”, Tese de Mestrado Profissional em Engenharia, UFRGS.

Sentinela Instrumentos, 2012. “**Catálogo de Produtos**”. Disponível na internet em [http://www.kubika.com.br/sub\\_conteudo.asp?idMenu=8&gamagrafiaindustrial=&idsub=17](http://www.kubika.com.br/sub_conteudo.asp?idMenu=8&gamagrafiaindustrial=&idsub=17), acessado em 15/11/12.

Símbolo Internacional de Radiações Ionizantes – Trifólio. Disponível na web em <http://deanradiologia.blogspot.com.br/>, sendo acessado em 02/11/12.

Torres, L. F (2012). “**Proteção Física de Fontes Radioativas**”. Coordenação de Salvaguardas e Proteção Física - COSAP / CNEN Palestra Fórum Internacional de Proteção Radiológica – SP

## ANEXOS

## Anexo 01 – Principais unidades e grandezas usadas em radiações

GRANDEZA	SÍMBOLO	UNIDADE ANTIGA			UNIDADE NOVA			UNIDADE ANTIGA VALE COM RELAÇÃO A NOVA	UNIDADE NOVA VALE COM RELAÇÃO A ANTIGA
		NOME	SÍMBOLO	VALOR	NOME	SÍMBOLO	VALOR		
ATIVIDADE	A	Curie	Ci	$3,7 \times 10^{10}$ dps	Becquerel	Bq	1 dps	$3,7 \times 10^{10}$ Bq	$2,7 \times 10^{-11}$ Ci
EXPOSIÇÃO	X	roentgen	R	$2,58 \times 10^{-4}$ C/kg	Coulomb Kilograma	C/kg	1 C/kg	$2,58 \times 10^{-4}$ C/kg	$3,88 \times 10^3$ R
DOSE ABSORVIDA	D	radiation absorbed dose	rad	$10^{-2}$ J/kg	Gray	Gy	1 J/kg	$10^{-2}$ Gy	$10^2$ rad
DOSE EQUIVALENTE	H	roentgen equivalent man	rem	$10^{-2}$ J/kg.Q.N	Sievert	Sv	1 J/kg.Q.N	$10^{-2}$ Sv	$10^2$ rem

## Anexo 2 – Grupo 3 – Radioproteção

 <b>CNEN</b> Comissão Nacional de Energia Nuclear Comissão Nacional de Energia Nuclear		Principal	Segurança	Pesquisa	Ensino	Produtos e Serviços
<b>Normas para Proteção Radiológica</b>						
<b>NN 3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica</b> <b>Posições Regulatórias</b>						
3.01 / 001:2011 - Critérios de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica						
3.01 / 002:2011 - Fatores de ponderação para as grandezas de proteção radiológica						
3.01 / 003:2011 - Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos						
3.01 / 004:2011 - Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas						
3.01 / 005:2011 - Critérios de cálculo de dose efetiva a partir da monitoração individual						
3.01 / 006:2011 - Medidas de proteção e critérios de intervenção em situações de emergência						
3.01 / 007:2005 - Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica						
3.01 / 008:2011 - Programa de monitoração radiológica ambiental						
3.01 / 009:2011 - Modelo para elaboração de relatórios de programa de monitoração radiológica ambiental						
3.01 / 010:2011 - Níveis de dose para notificação à CNEN						
3.01 / 011:2011 - Coeficientes de Dose para Exposição do Público						
<b>NE 3.02 Serviços de Radioproteção</b>						
Res 111/11 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica						
<b>NN 3.05 Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear</b>						
Res 120/12 - Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia						

## Anexo 3 – Roteiro Básico para a implantação de um Plano de Radioproteção para a Prática de Medidores Nucleares e/ou Perfilagem de Poços

### CNEN Roteiro Básico para Elaboração de Plano de Radioproteção para a Prática de Medidores Nucleares e/ou Perfilagem de Poços (De acordo com a subseção 5.3.8 da CNEN-NN-3.01)

Divisão de Aplicações Industriais - DIAPI/CGMI/CNEN

#### 1 - Dados Cadastrais

(Nome da instalação, CNPJ, Endereço, Bairro, Cep, Cidade, Estado, Nome do Titular, do Supervisor de Radioproteção e do Substituto)

Obs.: Caso o Supervisor de Radioproteção não seja funcionário da Empresa, a empresa deverá apresentar cópia do Contrato de Prestação de Serviço, firmado entre a instalação radiativa e o supervisor, devendo ainda conter as atividades desenvolvidas (item 5.3.9 da Norma CNEN-NN-3.01) e a jornada de trabalho.

O substituto do supervisor não precisa ser habilitado pela CNEN, mas precisa comprovar treinamento em radioproteção (40 h), além de ser funcionário da empresa.

#### 2 - Descrição da Instalação

(Atividade principal, Justificativa para a utilização de Radiações Ionizantes)

#### 3 - Descrição do Serviço de Radioproteção

##### 3.1 - Relação de Pessoal

(Nome, Formação, Função, jornada, Credenciamento CNEN quando aplicável)

##### 3.2 - Descrição dos Medidores de Radiação

(Tipo, Fabricante, Modelo, Nº de Série, Nº do Certificado de Calibração, laboratório de calibração)

##### 3.3 - Descrição dos Medidores Nucleares

(Aplicação, Fabricante, Modelo/Tipo, No de Série, Fonte Incorporada)

##### 3.4 - Outros Equipamentos

4 - Inventário das Fontes e Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante

##### 4.1 - Inventário das Fontes de Radiação Ionizante

(Fonte, Nº de Série, Atividade (mCi), Data da Atividade, fabricante)

##### 4.2 - Inventário dos Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante

(Equipamento, Fabricante, Modelo, Nº de Série, Energia (keV), kV Máx, Corrente (mA), Aplicação, Localização)

#### 5 - Controle e Segurança: Descrição e fotos dos Sistemas

(Sistema de Proteção Física, Sistema de Sinalização e Sistema de Isolamento)

Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN  
Diretoria de Radioproteção e Segurança - DRS  
Coordenação Geral de Instalações Médicas e Industriais - CGMI

Rua General Severiano, 90, 4º andar - Botafogo.

CEP: 22250-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: (21) 2173-2320 Telefax: (21) 2173-2323

Internet: <http://www.cnem.gov.br>

DIVISÃO DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS - DIAPI  
Chefe da Divisão: M.Sc. JOSILTO DE AQUINO

[industria@cnem.gov.br](mailto:industria@cnem.gov.br)



#### 6 - Programa de Controle dos Equipamentos do Serviço de Radioproteção

##### 6.1 - Calibração dos Medidores de Radiação

##### 6.2 - Aferição dos Medidores de Radiação

(Procedimento, Modelo da Ficha de Registro, Periodicidade)

##### 6.3 - Teste de Fuga nos Medidores Nucleares

(Procedimentos, Modelo da Ficha de Registro, Periodicidade)

#### 7 - Programa de Monitoração de Área e Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante: Descrever o Programa

(Modelo da Ficha de Registro do Levantamento Radiométrico, Periodicidade)

##### 8 - Função, Descrição e Classificação das Áreas

(Se necessário, incluir Cálculo das Taxas de Dose)

#### 9 - Programa de Treinamento (Técnicos do Serviço de Radioproteção):

Carga horária sugerida de 40 horas

(Programa, Carga horária, Periodicidade, Participantes)

#### 10 - Instruções fornecidas aos Trabalhadores, ou afixadas em locais determinados

##### 11 - Programa de Monitoração Individual (Quando aplicável)

(Tipo do Dosímetro, Empresa Fornecedora)

##### 12 - Exames Médicos

(Admissional, Periódicos, Demissional e Especiais, em caso de acidente)

#### 13 - Local de Armazenamento (Sistema de Segurança, Sinalização Isolamento, Fotos do Local e Arredores)

##### 13.1 - Local para Guarda Temporária de Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante (quando necessário)

##### 14 - Programa de Emergência (observar subseção 5.3.8, letras O e P)

(Relatórios e Investigações de Acidentes, Verificações, Auditorias)

Obs.: Incluir telefones da Empresa, Titular, Supervisores de radioproteção e da CNEN.

#### 15 - Programa de Garantia da Qualidade aplicável ao sistema de proteção radiológica

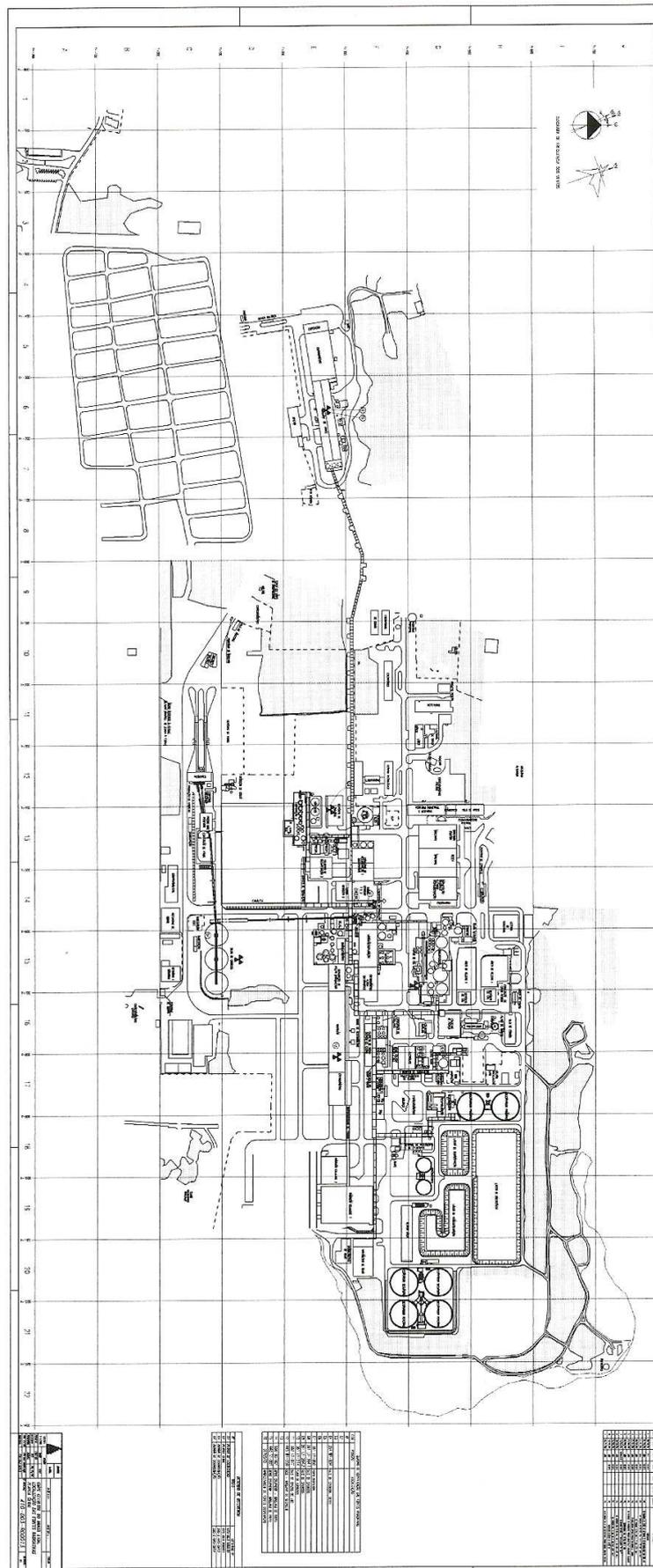
#### 16 - Programa de Registros da Instalação (Documentação da Instalação que deverá ser arquivada, Local de Arquivamento e Responsável)

#### 17 - Planta da Instalação com a Localização dos Equipamentos Emissores de Radiação Ionizante

#### 18 - Referências bibliográficas

Obs.: Todas as folhas do Plano devem possuir em seu "Rodapé", numeração, das páginas, nome e rubrica de quem elaborou, quem revisou e do titular da instalação, e campo reservado para rubrica da CNEN.

Anexo 4 – Mapa de Localização de Fontes Radioativas



## Anexo 5 – Cópia dos Certificados de Calibração dos Monitores de Radiação



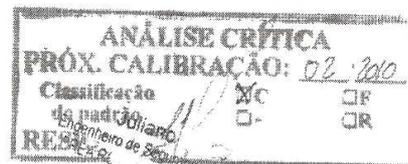
**DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR – UFPE**  
**LABORATÓRIO DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES**  
 Av. Professor Luiz Freire, 1000 Cep: 50740-540 - Recife - PE  
 Fone: (81) 2126-8708 Fax: (81) 2126-7988  
[metrologia@ufpe.br](mailto:metrologia@ufpe.br)



**LABORATÓRIO DE METROLOGIA  
 DAS RADIAÇÕES IONIZANTES  
 LMRI - DEN / UFPE**

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO**

Nº 5253/0209



A CALIBRAÇÃO DO INSTRUMENTO SÓ É VÁLIDA NAS CONDIÇÕES ESPECIFICADAS NESTE CERTIFICADO

## Anexo 6 – Inventário das Fontes Radioativas

## INVENTÁRIO DE FONTES RADIOATIVAS NA EMPRESA

RADIOISÓTOPO	TIPO	MEIA VIDA (anos)	L=Ln2T/12
KRIPTONIO 85	BETA	10,756	0,064442839
FERRO 55	RAIO X	2,73	0,263900086
ESTRÔNCIO 90	BETA	28,6	0,024235915
CÉSIO 137	GAMA	30,17	0,022974716

Dados adquiridos no endereço internet: <http://pt.wikipedia.org/wiki/>

## LISTA DE FONTES RADIOATIVAS INSTALADAS NA EMPRESA

DATA ATUALIZAÇÃO DA PLANILHA:

3 novembro, 2009

Nº	AREA	POSICÃO	LOCAL INSTALAÇÃO	EQUIPAMENTO	FABRICANTE	N.SÉRIE FABRICANTE	MODELO FABRIC.	TIPO ISOT.	ATIVIDADE (original) mCi	DATA (fabricação)	T.DECAIM. (anos)	ATIVIDADE (calculada) mCi
1	A	123	XXX	A	OHMART	1	I	<sup>137</sup> Cs	50	abr-02	7,60	41,99
2	B	234	YYY	B	LINCE	2	K	<sup>137</sup> Cs	500	fev-85	24,77	283,02
3	C	456	ZZZ	C	THERMO MEASUTETCH	3	L	<sup>137</sup> Cs	500	jun-99	10,43	393,43
4	D	789	GGG	D	THERMO MEASUTETCH	4	M	<sup>137</sup> Cs	500	jan-00	9,85	398,77
5	E	134	HHH	R	THERMO MEASUTETCH	5	J	<sup>137</sup> Cs	10	jan-99	10,85	7,79
6	F	675	KKK	F	LINCE	7	H	<sup>137</sup> Cs	200	abr-88	21,61	121,75
7	G	876	LLL	G	AEA TECHNOLOGY	8	G	<sup>89</sup> Sr	15	fev-07	2,73	14,09
8	H	543	PPP	H	OSA Global GmbH	9	T	<sup>55</sup> Fe	100	mar-08	1,63	66,06
9	I	321	VVV	J	AEA TECHNOLOGY	0	R	<sup>89</sup> Kr	400	ago-05	4,24	304,34
TOTAL DE ATIVIDADE INSTALADA NA EMPRESA NA DATA DE ATUALIZAÇÃO (mCi)												1631,25

## LISTA DE FONTES RADIOATIVAS NO DEPOSITO INTERMEDIÁRIO

Nº	AREA	POSICÃO	LOCAL INSTALAÇÃO	EQUIPAMENTO	FABRICANTE	N.SÉRIE FABRICANTE	MODELO FABRIC.	TIPO ISOT.	ATIVIDADE (original) mCi	DATA (fabricação)	T.DECAIM. (anos)	ATIVIDADE (calculada) mCi
1	Almox.	Dep. Intern.	XXX	A	OHMART	1	K	<sup>137</sup> Cs	50	abr-02	7,60	41,99
2	Almox.	Dep. Intern.	YYY	B	OHMART	2	L	<sup>137</sup> Cs	50	abr-02	7,60	41,99
3	Almox.	Dep. Intern.	ZZZ	C	AEA TECHNOLOGY	3	M	<sup>55</sup> Fe	100	jul-05	4,33	33,27
TOTAL DE ATIVIDADE NO DEPOSITO INTERMEDIÁRIO DA EMPRESA NA DATA DE ATUALIZAÇÃO (mCi)												117,26
TOTAL GERAL DE FONTES RADIOATIVAS INSTALADAS E ARMAZENADAS NA EMPRESA (mCi):												1748,51



Anexo 8 – Modelo da Ficha de Monitoramento de Área

SS nº: 0880	Periodicidade: 12 semanas	Data de Execução: 22/out/2009
Posição:	Inventário nº: 65-030003	Radioisótopo: Césio 137
Função: WX	Procedimento: I003_SMT_COP	Tempo Decaimento: 7,61 anos
Descrição:		Atividade Atual: 41,951 mCi

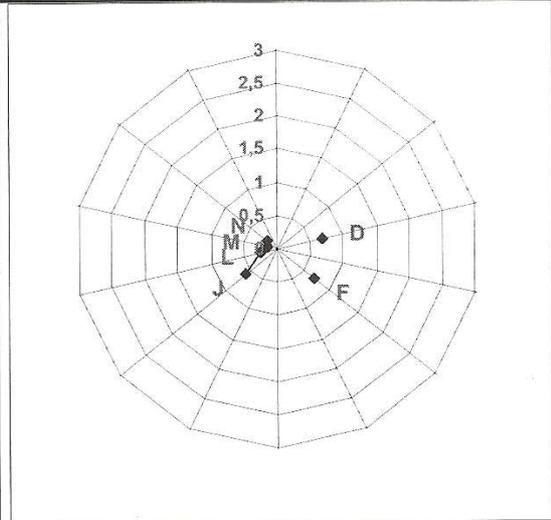
**Padrão(ões) Utilizado(s) na Aferição:** Executante(s):

Valor Ref.: 0,80 mR/h  
 Valor Lido: 0,84 mR/h

**Medidor Aferido**

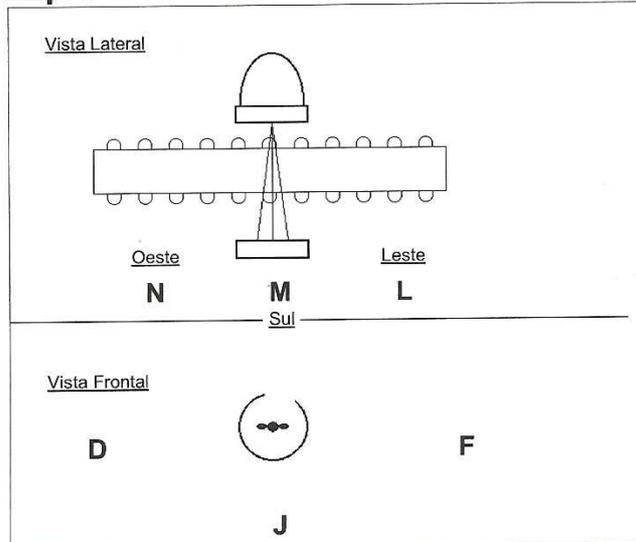
Pontos Válidos    A B C D E F G H I J L M N O

Leituras de Taxas de Exposição					
	Medidor	Dose Equivalente			Dose Equivalente
<b>D</b>	0,70 mR/h	7,0	uSv/h	<b>J</b> <b>L</b> <b>M</b> <b>N</b>	0,60 mR/h    6,0    uSv/h
					0,24 mR/h    2,4    uSv/h
					0,14 mR/h    1,4    uSv/h
<b>F</b>	0,70 mR/h	7,0	uSv/h		0,20 mR/h    2,0    uSv/h



Classificação pontos: **D,F,J,L,M e N**

Conforme: os pontos medidos a distância de no mínimo 1m estão com valores menores que 0,75mR/h (7,5uSv/h).



**Estado da Estrutura de Fixação da Fonte**

<b>Rachaduras ou Fissuras</b> <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<b>Ferrugem / Oxidação</b> <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<b>Parafusos Frouxos</b> <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	<b>Sinalização OK</b> <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
---	--	--	---

**Histórico das Últimas Leituras de Taxas de Exposição:**

ID	DATA	( Leituras em uSv/h )															
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q
0870	24/07/2009				7,0		5,0				7,0	1,0	0,8	7,0			
0860	27/05/2009				7,0		6,0				6,0	1,0	1,0	2,5			
0850	05/03/2009				3,5		6,0				2,0	2,0	1,5	1,5			
0840	06/11/2008				7,0		5,0				2,0	1,5	1,0	1,8			

## Anexo 9 – Valores Referência D, para fins de classificação das instalações radioativas do grupo 3

Radionuclídeo <sup>(a)</sup>	Valores de referência D <sup>(b)</sup>	
	(TBq)	(Ci)
Am-241	6E-02	2E+00
Am-241/Be	6E-02	2E+00
Au-198	2E-01	5E+00
Cd-109	2E+01	5E+02
Cf-252	2E-02	5E-01
Cm-244	5E-02	1E+00
Co-57	7E-01	2E+01
Co-60	3E-02	8E-01
Cs-137	1E-01	3E+00
Fe-55	8E+02	2E+04
Gd-153	1E+00	3E+01
Ge-68	7E-02	2E+00
I-125	2E-01	5E+00
Ir-192	8E-02	2E+00
Kr-85	3E+01	8E+02
Mo-99	3E-01	8E+00
Ni-63	6E+01	2E+03
Pd-103	9E+01	2E+03
Pm-147	4E+01	1E+03
Po-210	6E-02	2E+00
Pu-238	6E-02	2E+00
Pu-239/Be	6E-02	2E+00
Ra-226	4E-02	1E+00
Ru-106 (Rh-106)	3E-01	8E+00
Se-75	2E-01	5E+00
Sr-90 (Y-90)	1E+00	3E+01
Tl-204	2E+01	5E+02
Tm-170	2E+01	5E+02
Yb-169	3E-01	8E+00

NOTA: (a) A CNEN deverá ser consultada para a classificação de instalações com outros radionuclídeos que não constem desta relação.

(b) Os valores de referência D estão associados ao risco de efeitos determinísticos, com base em cenários de exposição e considerando critérios de dose.