

## 1. INTRODUÇÃO

A Copa do Mundo FIFA requer operações de segurança em nível internacional. Os preparativos exigem planejamento ao longo de vários anos e a incorporação de novas práticas e tecnologias mais avançadas [DECRETO SESG/MJ, 2011] /1/.

Nesses eventos a área de segurança (privada, pública e de defesa) requer ações voltadas aos serviços de urgência capazes de responder a ameaças à segurança e à proteção da população em geral, dos espectadores, das delegações, das comitivas e dos convidados. Dessa forma, o planejamento de segurança pública e de defesa, deve prever o gerenciamento e a resposta em caso de catástrofes naturais, distúrbios civis e outros acontecimentos que coloquem em risco a segurança da sociedade ou do Estado.

É necessário incremento de recursos humanos para o desempenho da missão, pois o Plano de Segurança e Defesa deve estar preparado antes, durante e após o evento. Isto é verificado não apenas no Brasil, mas em qualquer país que se proponha a sediar um evento dessa magnitude. Assim, o Estado precisa obter e integrar meios necessários para fazer frente a esse desafio, prestando à sociedade um serviço de segurança pautado na eficiência, balizado por padrões de qualidade internacionais.

Embora o sucesso do Plano durante o evento esteja ligado aos resultados das políticas de segurança, é necessária a distinção das ações ordinárias de segurança pública (combate à violência, ao crime organizado, ao narcotráfico, etc.) das ações específicas de segurança pública e de defesa para a Copa do Mundo e outros eventos subordinados.

Assim, para que as estratégias de Segurança Pública e Defesa do Estado sejam executadas de maneira integrada, foi estabelecida uma coordenação entre o Ministério da Justiça (Secretaria Extraordinária de Segurança para Grandes Eventos - SESGE) /1/ e o Ministério da Defesa (Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas - EMCFA) [LEI EMCFA/MD, 2010] /2/, com o propósito de planejar, definir, coordenar, implementar, acompanhar e avaliar as ações integradas de Segurança Pública e Defesa para a Copa do Mundo de 2014, além de outros eventos designados pela Presidência da República.

O desafio da SESGE/MJ e do EMCFA/MD consiste em articular esforços, promover a integração, a organização e a operacionalidade integrada de recursos humanos e materiais, das estruturas organizacionais e direcionar a aplicação de fundos públicos com eficiência, visando à obtenção de um ambiente pacífico e seguro para a realização do evento.

O Plano de Segurança e Defesa compreende a coordenação conjunta do Ministério da Justiça e do Ministério da Defesa com o objetivo de integrar as ações de segurança privada, pública, defesa civil e militar em proveito da Matriz de Segurança e do sucesso da COPA DO MUNDO de 2014.

As cidades escolhidas como sedes dos jogos foram: Belo Horizonte - MG, Brasília - DF, Cuiabá - MT, Curitiba - PR, Fortaleza - CE, Manaus - AM, Natal - RN, Porto Alegre - RS, Recife - PE, Rio de Janeiro - RJ, São Paulo - SP e Salvador - BA.

O escopo do Plano de Segurança Pública para a Copa do Mundo objetiva a integração das instituições, com consequentes resultados na forma de utilização de recursos humanos, materiais e financeiros.

A SESGE e o EMCFA, dentro de suas áreas de competência, atuarão de forma estratégica na coordenação e execução das ações nas três esferas de governo. No âmbito nacional, articularão as ações e promoverão a integração das instituições policiais e não policiais envolvidas, bem como a participação das Forças Armadas, da Agência Brasileira de Inteligência (ABIN) e da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

A responsabilidade por planejar, definir, coordenar, implementar, acompanhar e avaliar as ações de segurança para a Copa do Mundo de 2014 é da SESGE/MJ e do EMCFA/MD dentro de suas respectivas áreas de atribuição.

A equipe da SESGE/MJ tem perfil heterogêneo. Seus integrantes provêm de diversos órgãos de segurança pública federais, estaduais e municipais. Tal característica proporciona a interação de conhecimentos de profissionais com experiência no planejamento de segurança para grandes eventos, concretizando, desde logo, a promoção da INTEGRAÇÃO e da COOPERAÇÃO.



Figura 1: Organograma de Ação Integrada e Cooperação do Ministério da Justiça

O EMCFA/MD é constituído por militares da Marinha, do Exército e da Força Aérea, conferindo-lhe capacidade para desenvolver a integração, coordenação e execução de operações militares conjuntas que privilegiam a interoperabilidade e viabilizam ações interagências com os diversos órgãos participantes da matriz de segurança geral.

A Copa do Mundo 2014 é um Grande Evento que requer ações de Segurança Pública e Defesa Militar.

SESGE/MJ - CCCI

EMCFA/MD - CCTI



Figura 2: Segurança Pública (SESGE - CCCI) e Defesa (MD – CCTI)

O Comitê Organizador Local (COL FIFA) é uma empresa privada, totalmente financiada pela FIFA e independente da Confederação Brasileira de Futebol (CBF). Tem como propósitos o gerenciamento dos recursos da FIFA, assim como garantir que o país sede forneça as condições especificadas, em contrato, para ser palco dos jogos desse grande evento esportivo.

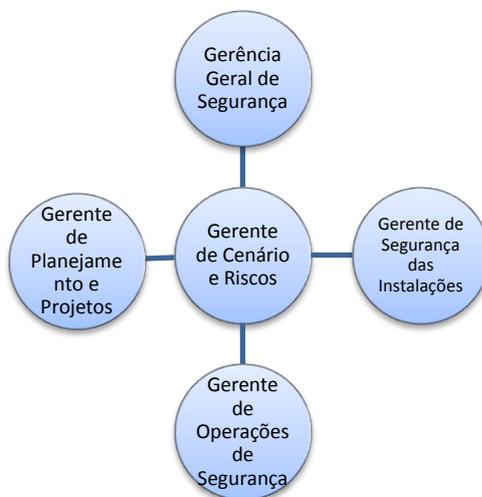


Figura 3: Organograma da Matriz de Segurança

O fator fundamental para o sucesso do Plano de Segurança e Defesa será a coordenação advinda da integração e da interoperabilidade entre todos os órgãos de segurança pública e de defesa e de empresas de segurança privada.

No âmbito de cada cidade-sede em nível operacional e tático essa integração será propiciada por intermédio da atuação da Comissão Estadual de Segurança Pública e Defesa Civil (Ministério da Justiça) e da Coordenação de Defesa de Área (Ministério da Defesa).

O órgão de coordenação máximo para a segurança do Evento será constituído pelo Ministro Chefe da Casa Civil da Presidência da República, pelo Ministro da Justiça e pelo Ministro da Defesa assessorados pelo Ministro Chefe do Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República. A esse colegiado competirá as decisões no nível político-estratégico e a interlocução com os demais Ministros em proveito das ações de segurança.

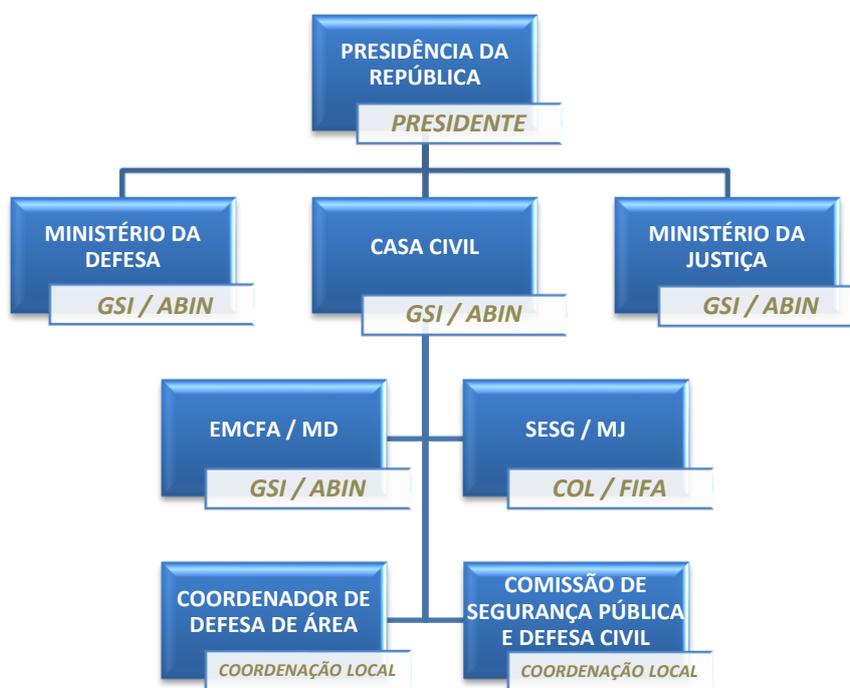


Figura 4: Colegiado de Coordenação máximo

### 1.1. Estrutura da Segurança Nuclear e Radiológica em Grandes Eventos Públicos.

O Plano de Segurança e Defesa contra ameaças QBRNE deve contemplar ações preventivas, repressivas e corretivas. É necessário o emprego conjunto de diversas instituições dos níveis federal, estadual e municipal, contemplando ações de inteligência, policiamento preventivo, ações táticas, investigação, perícia, busca e salvamento, serviços médicos de

emergência, **monitoramento de produtos perigosos** (entre eles fontes de radiação e/ou materiais radioativos e/ou nucleares), comunicações, logística e, entre outros, comando e controle integrado.

Dentro deste conceito de integração, a SESGE/MJ, em conjunto com demais instituições envolvidas no processo, elaborou o Caderno de Atribuições para a Copa do Mundo da FIFA de 2014, que é uma ferramenta para definir as responsabilidades das instituições de segurança pública e orientar o processo de integração de procedimentos operacionais.

Algumas Atribuições da SESGE estão citadas abaixo:

a) Planejar, definir, coordenar, implementar, acompanhar e avaliar as ações de segurança pública e defesa civil para a Copa do Mundo da FIFA de 2014.

b) Elaborar e atualizar a Diretriz Operacional para o evento.

c) Acompanhar o desenvolvimento das ações decorrentes da presente diretriz.

d) Promover reuniões de alinhamento e orientação para o planejamento operacional a ser desenvolvido pelos órgãos envolvidos.

e) Estabelecer a data para a validação dos planejamentos com a participação de todos os órgãos envolvidos.

f) Fortalecer e integrar as instituições federais, estaduais e municipais de Segurança Pública, Defesa, Inteligência, Defesa Civil e Gerenciamento de trânsito, primando pela realização de todas as ações de segurança e controle voltadas para o evento.

g) Promover a interface de ações com organizações, governamentais e não governamentais, de âmbito nacional e internacional, na área de sua competência.

Independente de quaisquer outras ferramentas administrativas e operacionais colocadas a disposição dos órgãos, a integração definitiva das instituições será o maior de todos os legados e certamente terá sido justificada a realização da Copa do Mundo de 2014 /3/ e /4/.

Essa integração vai envolver também outros órgãos federais, estaduais e municipais (ANVISA, Corpo de Bombeiros, Defesa Civil, concessionárias de energia, gás, luz).

Na segurança de grandes eventos a capacidade de resposta às ameaças QBRNE fica latente e, dessa maneira, algumas instituições têm procurado articular seus recursos e efetivo de maneira a trazer uma segurança mínima aos participantes dos eventos, equipes de segurança e para a população em geral. São parcerias formadas ao longo dos

últimos anos, que conseguiram evoluir com a troca mútua de experiências e treinamentos. Os resultados colhidos são que as unidades especializadas da Polícia Federal, Polícias Civis e Militares, Exército e CNEN, já operam em conjunto dentro do mesmo teatro de operações.

Assim, pode-se apresentar um resumo de ações desempenhadas por unidades destas instituições na operação integrada para a resposta às ameaças QBRNE.

### **Atribuições dos órgãos envolvidos:**

#### **Departamento de Polícia Federal**

- a) Planejar e executar, em coordenação com a SESGE a segurança no local do evento.
- b) Atuar na prevenção e repressão de um possível atentado do tipo QBRNE.
- c) Outra atribuição é o trato de produtos perigosos, tais como: explosivos, artefatos explosivos, agentes químicos e biológicos, agrotóxicos, combustíveis e fontes radioativas.
- d) planejar e atuar em ações anti-bombas relacionadas a suas atribuições ou em composição de meios com outros órgãos, atuando de forma integrada compartilhando esforços e coordenando estas atividades com as forças armadas entre outras ações.

#### **Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN**

A Comissão Nacional de Energia Nuclear, através da equipe do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), atua em resposta a situações de emergência radiológica e nuclear, sendo que nas ações de prevenção, em vistorias antibombas, fica encarregado na detecção de fontes de radiação. A CNEN exerce ainda a supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e a licença, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil.

- a) Realizar em coordenação com a SESGE, a varredura radiológica dos locais de hospedagem, dos eventos e outros locais estratégicos.
- b) Fiscalizar o cumprimento das normas de proteção radiológica e segurança nuclear nas instalações e áreas de interesses do evento.
- c) Disponibilizar sua equipe de resposta a emergência radiológica, em condição de pronto emprego, durante todo o período do evento.

d) Disponibilizar profissionais de proteção radiológica, em condições de pronto emprego, para avaliação de alarmes nos pontos de controle de acesso de áreas estratégicas.

e) Assessorar os órgãos de segurança pública e de defesa civil na preparação e resposta a situações potenciais e reais de segurança radiológica e nuclear, incluindo treinamento.

### **Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro**

a) Realizar atividades de polícia e de preservação da ordem pública dentro de suas atribuições, nos locais relacionados ao evento.

b) Disponibilizar efetivo de operações especiais, por meio do BOPE, para posicionamento e atuação nos termos estabelecidos no planejamento operacional integrado da SESGE.

c) Disponibilizar cães de faro e condutores para realização de varreduras com vistas a artefatos explosivos, nas condições e possibilidades da PMERJ atendendo o planejamento operacional.

d) Empregar equipe de pronta resposta, para atuar quando necessário.

### **Secretaria de Estado de Defesa Civil**

a) Promover ações de Defesa Civil na sua esfera de competência, voltadas aos locais de eventos dentro dos parâmetros da política nacional de defesa civil.

b) Apoio e coordenação às ações de respostas aos desastres dentro de sua esfera.

c) Priorizar ações relacionadas com a prevenção de acidentes na sua esfera de competência.

### **Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro**

a) Estabelecer postos avançados equipados com viaturas para o atendimento pré-hospitalar, de resgate, e de combate a incêndios em locais estratégicos nas vias de maior fluxo de tráfego e locais indicados pela SESGE.

b) Estabelecer serviços de resgate e de prevenção contra incêndio e pânico nas edificações e nos locais de reunião de público relacionado com o evento.

### **Ministério da Defesa e Forças Armadas**

- a) Prevenção e combate ao terrorismo e defesa química, biológica, radiológica e nuclear.
- b) Segurança e defesa cibernética.
- c) Defesa de estruturas estratégicas.
- d) Ações de inteligência estratégicas operacionais
- e) Fiscalização de explosivos
- f) Apoio a outros órgãos de segurança pública, quando necessário.

## **1.2. Principais Dispositivos em ameaças Nucleares e Radiológicas**

### **1.2.1. Dispositivos de Dispersão Radiológica (DDR) /5/**

Os chamados Dispositivos de Dispersão de Radiação (DDR) correspondem a qualquer método empregado com a finalidade de dispersar deliberadamente material radioativo para criar terror ou causar dano. A *bomba suja*, constituída pelo empacotamento de explosivos, como dinamite, em conjunto com material radioativo para serem dispersos no momento da explosão, constitui o exemplo mais comum de DDR. Não obstante, um DDR também pode ser confeccionado para dispersar de forma passiva o material radioativo, sem necessidade de explosão, como através de um sistema de pulverização. Dos diversos radionuclídeos usados amplamente na indústria, pesquisa e na medicina, apenas alguns poucos são considerados prováveis candidatos a DDR, com base em suas características físico-químicas e portabilidade associada a valores preferencialmente altos de atividade, e características associadas à facilidade de obtenção do Radionuclídeo. São eles: (a) Amerício-241; (b) Califórnio-252; (c) Césio-137; (d) Colbato-60; (e) **Irídio-192**; (f) Plutônio-238; (g) Polônio-210; (h) **Rádio-226**; (i) Estrôncio-90 [FERREIRA; AMORIM, 2013] /5/.



Figura 5: DDR - *Bomba Suja*

Na hierarquia estabelecida pela AIEA, os DDR /5/ são as principais ameaças, de acordo com a probabilidade de ocorrência em casualidades relacionadas às emergências radiológicas. A implantação de um DDR é susceptível de resultar em exposição relativamente baixa à radiação da população-alvo, na maioria dos casos insuficiente para causar um dano à radiação da população-alvo, e um dano mais grave à saúde decorrente da exposição à radiação. Todavia, os efeitos sociais e psicológicos podem ser graves, especialmente em uma área urbana e um Grande Evento, com elevada densidade populacional, onde um grande número de pessoas pode crer na possibilidade de estarem contaminadas.

### 1.2.2. Dispositivos de Exposição Radiológica (DER)

É necessário ressaltar que um dispositivo que envolve apenas a colocação de uma fonte radioativa numa determinada área, de maneira a conseguir a exposição radiológica das pessoas que passam próximas desta fonte é denominado Dispositivo de Exposição Radiológica (DER).



Figura 6: DER – Irradiadores, Fontes Órfãs, Fontes de Medicina Nuclear

### 1.2.3. Dispositivos Nucleares Improvisados (DNI)

Os Dispositivos Nucleares Improvisados (DNI) se caracterizam como dispositivos construídos por terroristas para produzirem uma explosão nuclear ou uma criticalidade, segundo definição da AIEA, em seu documento TECDOC-953/S. Apesar da detonação de um DNI ser considerada menos provável do que um ataque usando um DDR ou DER, o cenário seria muito mais devastador.

Uma arma nuclear nas mãos de terroristas poderia variar de um dispositivo do tamanho de uma mochila, de 1 kiloton (KT) a um dispositivo de poder análogo às armas nucleares usadas na Segunda Guerra Mundial, de 10 a 20 KT. A detonação de um dispositivo nuclear levaria a exposições de radiação gama e nêutrons.

A AIEA assume três cenários principais, com relação à emergência envolvendo casualidades nucleares ou radiológicas em Grandes Eventos Públicos (AIEA, 2006).

(a) Roubo de armas nucleares ou outros materiais radioativos com o objetivo de serem usados como um DER, para a construção e detonação de um DDI ou DDR próximo ao local de um evento ou em outro local estratégico;



Figura 7: Arma Nuclear que pode ser roubada e Tráfico ilegal de materiais radioativos

(b) Obtenção de material nuclear ou radioativo por meio de tráfico ilegal de armas nucleares e outros materiais radioativos no país, com o objetivo de usá-los com DER, para a construção e detonação de um DNI ou DDR, próximo ao local de um evento ou em outro local estratégico;

(c) Sabotagem envolvendo material nuclear e outros materiais radioativos localizados em instalações tais como hospitais e indústrias no país, com a intenção de causar uma dispersão radiológica resultando na contaminação do local de um grande evento público ou de outra localização estratégica, bem como na contaminação da cadeia alimentar ou do meio ambiente.



Figura 8: Fontes de Braquiterapia usadas em medicina nuclear e geradores termoeletrônicos

### 1.3. Detecção da Ameaça Radiológica – Varredura em Grandes Eventos Públicos

O conceito geral de detecção da Ameaça Radiológica em um Grande Evento Público deve incluir em parte ou totalmente as seguintes etapas /5/:

(1) **Medida de Background:** Consiste no mapeamento da radiação de fundo da instalação (por exemplo: Estádio de Futebol) e de outros locais estratégicos (por exemplo: Aeroportos, Hotéis, Veículos de Transportes de autoridades), que deve ser realizado com antecedência ao evento público, para se determinar os níveis de radiação natural existente na localidade. Serve como parâmetro para a detecção da elevação dos níveis de radiação, bem como referência caso seja necessária uma ação de remediação, mediante exposição e/ou contaminação por ocorrência de um atentado utilizando material nuclear e/ou radioativo.

(2) **Varredura Radiológica e Nuclear:** Deve ser realizada em trabalho conjunto do IRD/CNEN com as demais forças de segurança envolvidas na operação (por exemplo: Polícia Federal, Polícia Civil e/ou Polícia Militar, e seus cães farejadores; Companhias de Defesa QBNR do Exército e/ou da Marinha). A pesquisa simultânea para localizar a presença de agentes QBNR é fundamental e deve ser realizada com o máximo possível de minúcia e técnica, para garantir de forma eficaz que a área coberta pela varredura seja segura e livre dos agentes pesquisados.

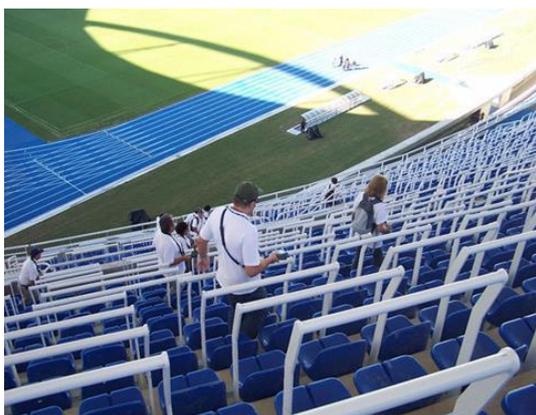


Figura 9: Mapeamento da Radiação de Fundo e Varredura Radiológica e Nuclear

(3) **Lacre da Instalação (Lockdown):** Após o término da varredura, quando for declarada a área segura em relação a agentes QBNR, a instalação deve ser lacrada e mantida em contínua vigilância física por agentes das Forças de Segurança ou Defesa (por exemplo: agentes da Polícia Federal; Polícia Militar, Polícia Civil; ou Militar do Exército e/ou Marinha). Neste momento entra em ação um rigoroso controle de acesso de veículos, pessoas, cargas, víveres, equipamentos, que somente poderão ter acesso mediante vistoria e autorização.

## 1.4. Controle da Ameaça – Controle de Acesso em Grandes Eventos Públicos.

### 1.4.1. Primeira Linha de Defesa

Deve ser realizada com a convergência do acesso à instalação, conduzindo e restringindo o fluxo do público em geral, pessoal de imprensa, trabalhadores diversos, autoridades VIP, equipamentos, cargas, víveres, veículos, etc, de maneira obrigatória, de modo que todos apenas terão acesso mediante a passagem pelos detectores de metais, Portais *Mag&Beg*, Detectores por Raios-X e de monitoração à radiação. Os detectores de radiação estarão operando em conjunto com detectores de metal e aparelhos de Raios-X. Esta é a Primeira Linha de Defesa.



Figura 10: Primeira Linha de Defesa

### 1.4.2. Segunda Linha de Defesa

Caso algum detector indique a elevação do nível de radiação, em alguma pessoa, veículo, equipamento ou embalado, deve ser realizada uma Triagem. A pessoa ou objeto portando material radioativo (por exemplo: marca-passo; pessoa que tenha vindo de diagnóstico ou tratamento de medicina nuclear ou outra fonte de radiação qualquer suspeita) deve ser segregada para uma área em separado a fim de ser monitorada para a identificação do radionuclídeo. A leitura deve ser repetida com a utilização de um detector de maior sensibilidade, com capacidade de identificar o tipo de radionuclídeo e a taxa de contagem (por exemplo: PRD, RID *IdentiFinder*; Espectrômetro tipo de Mochila). Existem casos de pacientes que se submeteram a diagnóstico ou tratamento médico em medicina nuclear, com o uso de Radiofármacos, Quimioterapia ou Braquiterapia. Nos jogos Pan-Americanos, em 2007 a CNEN recomendou às clínicas que realizassem esse tipo de tratamento, que forneçam uma declaração aos pacientes tratados a partir de 30 dias anteriores ao Grande Evento Público.



Figura 11: Segunda Linha de Defesa

### 1.4.3. Terceira Linha de Defesa

Em local próprio, um grupo formado por agentes da coordenação de segurança e especialistas em proteção radiológica, cálculo de doses, dosimetria *in vivo* e *in vitro*, análise de impacto e amostras ambientais (MEST) deve ser acionado para realizar uma investigação preliminar, caso ocorra na Segunda Linha de Defesa os seguintes casos:

- (a) Seja identificada taxa de dose superior a  $100 \mu\text{Sv/h}$ , além da Radiação de Fundo (*background*) estabelecida; Mesmo as taxas de dose abaixo de  $100 \mu\text{Sv/h}$  e acima de 3 Bg devem ser investigados.
- (b) O radionuclídeo não seja usado para fins médicos;
- (c) Haja radiação de nêutrons (indicando a presença de material nuclear).



Figura 12: Terceira Linha de Defesa

NOTA: O controle dos níveis de taxa de dose deve ser feito de forma contínua, iniciando-se várias horas antes e assim permanecendo durante e após o término do Grande Evento Público, sendo realizado desde um perímetro fora da área de segurança da instalação (por exemplo: Estádio de Futebol), até próximo aos pontos de controle de acesso, objetivando a localização de material radioativo e nuclear, de forma eficiente e discreta /5/.

## 1.5. Equipamentos para Varredura Radiológica.

Todos os detectores de radiação empregados em Grandes Eventos Públicos, para serem eficazes, devem estar em perfeito funcionamento; com manutenção em dia; devidamente calibrados, com seus certificados de calibração disponíveis; aferidos antes do uso; e pessoal devidamente treinado para sua utilização, não apenas com respeito às medidas e leituras, propriamente, mas principalmente para interpretação das mesmas. Para varreduras e controle de acesso em Grandes Eventos Públicos os equipamentos detectores de radiação mais empregados são os seguintes:



Figura 13: Detector Tipo Portal para monitoração de Pessoas e Veículos

### 1.5.1 Detectores tipo Portal

São detectores e monitores de radiação constituídos em forma de portal; são projetados para serem usados no controle de pontos de convergência, nos acessos às instalações. São empregados também para rastrear a presença de material radioativo e nuclear em pedestres, veículos e cargas [DENIZART, 2013] /6/.

### 1.5.2. Detectores Portáteis

São aqueles usados para detectar, localizar, medir taxa de dose ou dose, taxa de exposição e/ou identificar radionuclídeos ou artefatos nucleares, e outros materiais radioativos. Dependendo do tipo de radionuclídeo ou material nuclear ou do tipo de radiação, podem ser divididos em três categorias: (a) Detectores de Radiação Gama; (b) Detectores de Nêutrons, podendo ser combinados com os detectores de Radiação Gama; (c) Dispositivo de Identificação de Radionuclídeos (RID).



Figura 14: Detectores Portáteis de radiação

### Detector e identificador de radionuclídeos *IdentiFINDER* ultra (RID)

- Mede Taxa de Dose
- Realiza Busca de Fontes
- Identifica Fontes
- Salva Espectros e Transfere para um PC



Figura 15: Diagrama Esquemático do *IdentiFINDER* Ultra

### 1.5.3. Detectores Pessoais de Radiação

São instrumentos pequenos e leves, geralmente usados em cinto ou uniforme, destinado a alertar o usuário para a existência de um campo de radiação ionizante. Na ausência de equipamento mais sensível, podem ser usados na varredura individual de pessoas e pequenos pacotes. Não sendo adequados para dosimetria pessoal. Alguns, porém, possuem sensibilidade suficiente para detectar a presença de materiais radiativos a uma distância significativa. Por exemplo o Monitor *Polimaster* PM1703M (*Pager*) detecta a presença de uma pessoa que tenha feito diagnóstico ou tratamento de medicina nuclear a uma distância de até 20 ou 30 metros.

### **Detector Polimaster PM1703M (PRD)**



Figura 16: Diagrama Esquemático do *Detector PoliMaster PM1703M*

#### **1.5.4. Detectores Tipo Espectrômetro de Radiação Portátil (ERP)**

São detectores que consistem em um espectrômetro de radiação Gama automatizado, com programas de identificação de radionuclídeos. Estes equipamentos trabalham em sincronia com sistemas de GPS, permitindo o mapeamento dos pontos cobertos pela varredura, podendo armazenar os dados em uma memória interna ou enviá-los através de comunicação para uma central de processamento de dados, podendo, ainda, suas medidas serem plotadas no *GoogleMap*. Existem dois tipos: (a) Um para varreduras em áreas pequenas que vai montado dentro de uma Mochila; (b) Outro para varreduras ou levantamentos radiométricos de grandes áreas, que vai montado numa viatura (levantamento radiométrico via terrestre); numa embarcação (varredura em ilhas); ou numa aeronave (varreduras aéreas).



Figura 17: Espectrômetro Tipo Mochila e Espectrômetro para Varredura Terrestre



Figura 18: Espectrômetro para Varredura aérea

### 1.5.5. Contador Móvel de Corpo Inteiro e Laboratório Móvel de Radiometria

Encontram-se, ainda, disponíveis no IRD, profissionais especializados, compondo a Equipe MEST, que são responsáveis por dois Tipos de Detectores de fundamental importância em Grandes Eventos Públicos:

(a) **Contador Móvel de Corpo Inteiro:** Um Detector instalado no interior de uma viatura usado para medição de exposições internas de pessoas, decorrentes da incorporação de materiais radioativos. Estes detectores são extremamente sensíveis para medição de dose interna e identificação do radionuclídeo.



Figura 19: Contador Móvel de Corpo Inteiro

(b) **Laboratório Móvel de Radiometria:** Uma viatura equipada com um laboratório de Radiometria para análise de amostras ambientais. Seus detectores são capazes de medir radiação Alfa, Beta e Gama, por serem constituídos de espectrômetros, ou seja, detectores de NaI e Germânio Puro.



Figura 20: Laboratório Móvel de Radiometria

### 1.5.5. Outros Sistemas e Detectores

Além dos equipamentos de detecção já mencionados, se faz necessários outros equipamentos complementares, mas não menos importantes como: Dosímetros Individuais (Filmes Dosimétricos, Dosímetros Termoluminescentes, Dosímetros digitais com integrador de dose e medida instantânea da taxa , etc) e Equipamentos de Proteção Individual (macacão, luvas, sapatilhas, gorros, capuz, mascaras de proteção respiratória, etc) [DENIZART, 1996] /7/.

Um importante detector de radiação é o TELETECTOR, um equipamento que possui uma sonda Geiger Müller para medição de radiação Gama, ajustável para várias distâncias, permitindo a medida e leitura de taxas de dose à distâncias seguras, dentro deste critério de Proteção Radiológica contra Irradiação Externa.



Figura 21: Filmes Dosimétricos e Canetas Dosimétricas



Figura 22: Teletector

## 2. OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo a proposição de um protocolo de resposta de emergência a um acidente Radiológico envolvendo exposição e contaminação decorrentes de uma fonte de Irídio-192 e sulfato de Rádio-226 ( $\text{RaSO}_4$ ), detectados durante a varredura de explosivos e varredura QBNR em um dos banheiros de um conjunto de salas do primeiro nível do Maracanã, durante a Copa do Mundo 2014.

## 3. CENÁRIO

No decorrer da etapa de Varredura prévia para detecção de Explosivos, e QBNR visando o jogo dos EUA versus Inglaterra, agentes da PF constataram que seus PRD emitiram alarme vibratório, correspondente a uma medida de 8 mSv /h, à uma distância de 2 metros, muito acima do nível de radiação de fundo local. Foi registrada com ponto inicial de detecção a porta de um dos banheiros que integra um complexo de escritório e salas, no primeiro piso do Estádio Mario filho (Maracanã). No banheiro havia alguns armários metálicos, algumas cadeiras e um recipiente para colocação de roupas. Sobre um dos armários o agente da PF pode identificar facilmente a presença de um pote de vidro com capacidade para 1,5kg, contendo produto na forma de pó, de cor marrom-escura, preenchendo-o até a metade; e um castelo de chumbo. Notificados pela PF, técnicos do IRD/CNEN e da Companhia de DQBRN do Exército, usando Equipamento Tipo *Identifinder* e Espectrômetro Tipo Mochila, confirmaram a presença de alto nível de taxa de dose e identificaram os radionuclídeos Ra-226 e Ir-192, de uso industrial. Enquanto o local estava sendo isolado para vigilância física e planejamento da retirada dos materiais radioativos, devido à ação inesperada de um cão farejador da PF, o castelo de chumbo caiu do armário, sua tampa abriu-se e a fonte de Irídio-192 rolou para debaixo de outro armário metálico; o pote de vidro, por vez, também caiu do armário; quebrou-se em pedaços e o Sulfato de Rádio-226 de seu interior espalhou-se pelo piso, numa área de aproximadamente  $2\text{m}^2$ , provocando sua contaminação. Ao lado havia outro banheiro. O acidente foi imediatamente comunicado a Diretoria de Radioproteção e Segurança (DRS) da CNEN, cujo seu Diretor incumbiu os próprios técnicos do IRD que gerenciassem às Ações de Resposta necessárias, para a mitigação e solução dos problemas advindos do acidente. Usando a câmera fotográfica de seu aparelho celular, um agente da PF fotografou o cenário do acidente no banheiro, cujas imagens seguem:



Figura 23: Fotos das Fontes Radioativas no Banheiro

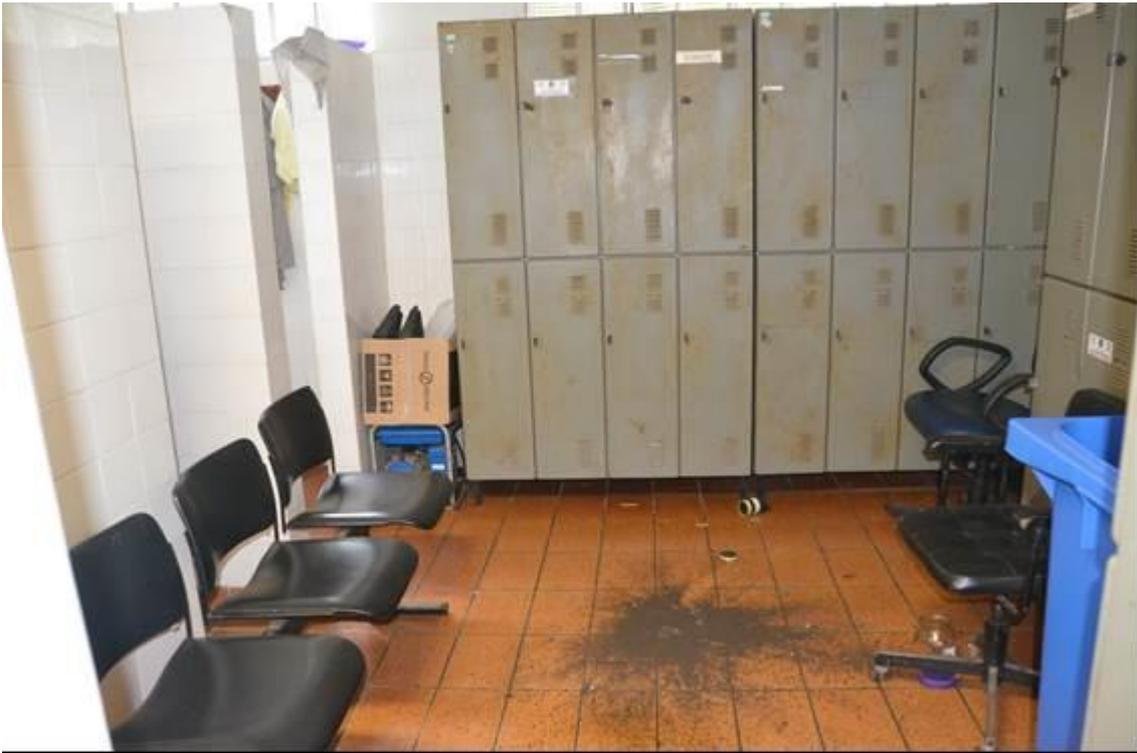


Figura 24: Fotos do Acidente Radiológico no Banheiro

## **4. PROCEDIMENTOS PARA AS AÇÕES DE RESPOSTA**

### **4.1. Isolamento da Área, Segurança Física e Planejamento das Ações de Resposta.**

Inicialmente o banheiro foi isolado, identificado com o símbolo internacional de presença de material radioativo, e mantido sua vigilância física contínua a fim de impedir seu acesso por qualquer pessoa. Devido a possível emissão da radiação pela fonte de Iridio-192 e pelo fato do Sulfato de Rádio-226 ser solúvel, facilita o espalhamento e a contaminação.

Numa das salas do conjunto os técnicos da CNEN/IRD e da CDQBRN do Exército reuniram-se para o Planejamento das Ações de Resposta.

A primeira providência foi notificar o acidente ao Sistema de Atendimento a Emergências Radiológicas do IRD, ou seja, ao Plantonista P3. Este notificou o acidente aos Plantonistas P1 e P2 e ao Chefe da DIEME. O chefe da DIEME acionou, além dos Plantonistas, as seguintes equipes de emergência do IRD: Equipe de Descontaminação de Área e de Pessoas; Equipe de Resgate de Fontes; Equipe de Proteção Radiológica; e Equipe de Apoio Logístico. Todos se dirigiram ao Local (Maracanã) e o Chefe da DIEME juntamente com os Plantonistas P1 e P2 e o Coordenador da CDQBRN do CeTex passaram a Coordenar a Emergência. A equipe MEST ficou de prontidão no IRD.

A primeira decisão de consenso, por parte dos técnicos da CNEN/IRD e da CDQBRN, foi que as ações de respostas deveriam ser executadas com a máxima urgência, embora cuidadosamente e com a devida segurança radiológica dos trabalhadores de emergência, uma vez que o local deveria ser totalmente descontaminado, a fonte de Irídio recolhida e a área liberada, antes do jogo dos EUA e Inglaterra no dia seguinte.

Dessa forma, aspectos técnicos como Justificação, Otimização e Limitação de Dose em relação a Níveis de Intervenção em Situações de Emergências Radiológicas e Nucleares, bem como a distribuição de trabalho em fases (Inicial ou Imediata; Intermediária ou a curto e médio prazo; e, Final ou à Longo Prazo), que normalmente são considerados num acidente radiológico ou nuclear [TECDOC 1162, 200] /8/ e [ PSE/CNEN, 1995] /9/, nesse caso, não foram levados em conta.

Porém, foi decidido que nenhum trabalhador deveria receber exposição acima do Limite Anual de Dose Equivalente para Trabalhador, ou seja, acima de 50 mSv /10/. Considerando que a taxa de dose média no local era de 8 mSv/h, nenhum trabalhador, portanto, deveria permanecer no local por mais que 6 horas, de forma conservativa. Esse tempo, entretanto, foi considerado suficiente para a execução de todas as medidas necessárias, para mitigação e solução do problema.

Ainda como parte do Planejamento Inicial das Ações de Resposta, o chefe da DIEME solicitou a um técnico que procedesse a um levantamento radiométrico no banheiro; este fez um *croqui* da área e utilizando o Teletector procedeu a medição de taxas de exposição em R/h em diversos pontos, inclusive à distância de 1 metro da Fonte de Iridio-192; todos os valores medidos foram anotados no croqui da área.

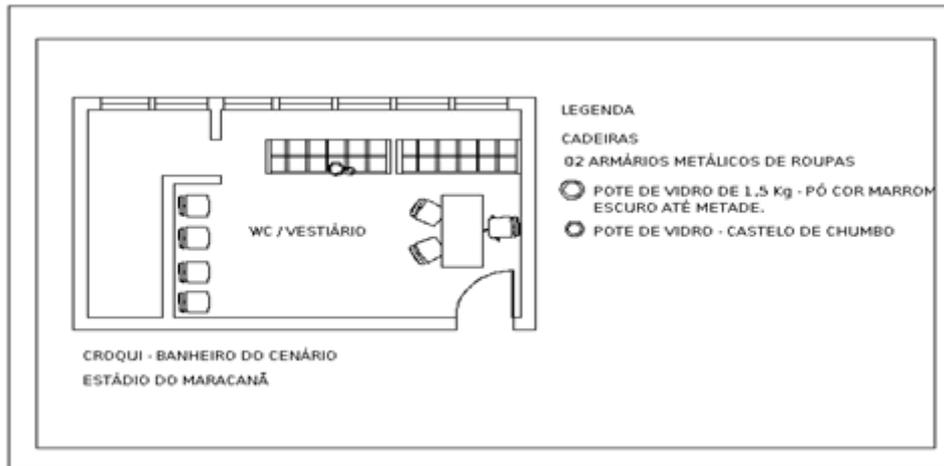


Figura 25: Croqui do banheiro masculino

Há que se lembrar, aqui, que as medidas de taxas de exposição efetuadas tiveram seus valores decorrentes da contribuição tanto da Fonte de Irídio-192 como do Sulfato de Rádio-226, espalhado no piso. Essas medições tiveram dois objetivos principais:

(a) estimar a atividade da Fonte de Irídio-192. Com base na medida da taxa de exposição em R/h realizada a 1 metro da fonte, com o Teletector, desconsiderando a contribuição da contaminação do Radio-226, devido à distância significativa da fonte de Iridio-192 do principal inventário de contaminação do Radio-226, e com base no “Gamão” do Irídio, foi estimada a atividade da fonte em 2,5 Ci (92,5 GBq).

$$X = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} (R/h) \therefore A = \frac{X \cdot d^2}{\Gamma}$$

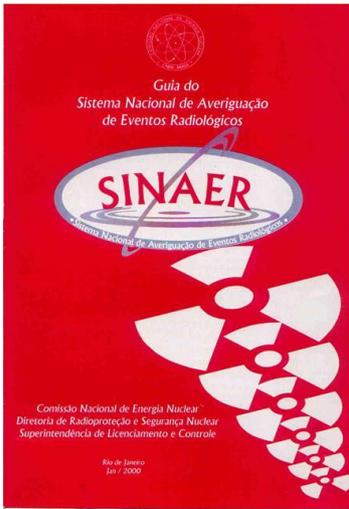
X = Taxa de Exposição (R/h)

A = Atividade da fonte (Ci ou Bq)

$\Gamma$  = Constante Específica da Radiação Gama – Para o Ir-192: 0,486 R.m<sup>2</sup>/h.Ci

d = Distância à fonte (m<sup>2</sup>)

(b) estimar a quantidade de Sulfato de Rádio-226 espalhado no chão. Com base na foto do frasco de vidro foi estimada uma quantidade de 20g de Sulfato de Rádio-226 com 12g de SO<sub>4</sub> e 8 gramas de Rádio-226, ou seja, uma atividade de 8 Ci ou 296 GBq.



Outra medida inicial tomada pela coordenação da emergência foi compilar todos os dados disponíveis na literatura sobre os radionuclídeos. Do *Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos*, edição de 1997, foram obtidos esses dados.

Finalmente, a Coordenação das Operações decidiu executar os seguintes Procedimentos de Emergência: (a) Estabelecimento e Gerenciamento do Ponto de Controle para Proteção Radiológica das Equipes de Emergência; (b) Descontaminação de superfície do Piso; (c) Monitoração da Equipe de Descontaminação; (d) Resgate da Fonte de Irídio-192; (e) Monitoração do Local após a Descontaminação.

Irídio - 192		Meia-Vida: 73,8 dias		<sup>192</sup> Ir			
Utilização da Fonte	* IV	Atividade	Forma Físico/Química				
Indústria: Gamagrafia Industrial Irradiadores de Laboratório	pag. 105	0,74 a 7,4 TBq 3,7 a 5,18 TBq	Sólido/Forma Especial Sólido/Forma Especial				
Medicina: Braquiterapia		30 300 MBq	Sólido/Fios de Irídio				
<b>** Principais Emissores</b>	E(keV)	%	E(keV)	%	E(keV)	%	Toxicidade
Gama ou X	317	83	468	48	604	8	
Beta (Emax)	256	6	536	41	672	48	
Elétron	230	2	238	5	303	2	
Alfa							
Exposição Externa para uma atividade de 37 MBq (1 mCi) - (1 mSv/h = 100 mrem/h)							
IRRADIAÇÃO							
Fonte a 30 cm	Frasco de penicilina (vidro) a 1 m	Vidro (50 ml) ao contato	Seringa de plástico ao contato (5 ml)				
(Beta:emiss: pele) 3,1 mSv/h (Gama:X: profundidade) 5,3 x 10 <sup>-2</sup> mSv/h	3 mSv/h <sup>(1)</sup>	14 mSv/h <sup>(1)</sup>	71 mSv/h <sup>(1)</sup>				
CONTAMINAÇÃO							
Na pele		Límites					
Homogênea 37 kBq/cm <sup>2</sup>	Uma Got (1/20ml) 37 Bq	Superfície do corpo		3 Bq/cm <sup>2</sup>			
69 mSv/h	24 mSv/h	Superfície de áreas livres		3 Bq/cm <sup>2</sup>			
Exposição Interna							
Inalação				Ingestão			
(a)	(b)	(c)	(d)				
1 x 10 <sup>7</sup> Bq	8 x 10 <sup>6</sup> Bq	4 x 10 <sup>7</sup> Bq					
(a) Todos os compostos do Irídio, exceto os das letras (b) e (c); (b) Halogenetos, alótropos e Irídio metálico; (c) Óxidos e hidrídidos; (d) Todos os compostos do Irídio.							

74

Rádio - 226		Meia-Vida: 1600 anos		<sup>226</sup> Ra			
Utilização da Fonte	* IV	Atividade	Forma Físico/Química				
Medicina: Agulhas de Rádio e Tubos para Braquiterapia		30 a 300 MBq	Sólido/Fonte Selada				
Indústria: Para-Raios Medidores Industriais	pag. 109	2,146 a 16,28 MBq 222 a 444 MBq	Sólido/Fonte Selada Sólido/Fonte Selada				
<b>** Principais Emissores</b>	E(keV)	%	E(keV)	%	E(keV)	%	Toxicidade
Gama ou X	186	3					
Beta (Emax)							
Elétron							
Alfa	4602	6	4784	94			
Exposição Externa para uma atividade de 37 MBq (1 mCi) - (1 mSv/h = 100 mrem/h)							
IRRADIAÇÃO							
Fonte a 30 cm	Frasco de penicilina (vidro) a 1 m	Vidro (50 ml) ao contato	Seringa de plástico ao contato (5 ml)				
(Beta:emiss: pele) 0 mSv/h (Gama:X: profundidade) 9,0 x 10 <sup>-2</sup> mSv/h	8,25 x 10 <sup>-3</sup> mSv/h <sup>(1)</sup>	mSv/h <sup>(1)</sup>	mSv/h <sup>(1)</sup>				
CONTAMINAÇÃO							
Na pele		Límites					
Homogênea 37 kBq/cm <sup>2</sup>	Uma Got (1/20ml) 37 Bq	Superfície do corpo		3 Bq/cm <sup>2</sup>			
1,7 mSv/h	7,1 x 10 <sup>-3</sup> mSv/h	Superfície de áreas livres		3 Bq/cm <sup>2</sup>			
Exposição Interna							
Inalação				Ingestão			
2 x 10 <sup>4</sup> Bq		7 x 10 <sup>4</sup> Bq		2 x 10 <sup>7</sup> Bq (Superfície Óssea)			
* Página onde se encontra a Ficha de Equipamento, com fotos e/ou ilustrações que auxiliam na identificação. ** Os emissores preponderantes estão destacados em negrito.							

80

Figura 26 E 27 : Dados técnicos dos Radionuclídeos Irídio-192 e Rádio-226

#### **4.2. Procedimento para Estabelecimento e Gerenciamento do Ponto de Controle.**

Este procedimento é de responsabilidade da Equipe de Proteção Radiológica, chamada no Plano de Emergência do IRD para acidentes externos de Equipe de Controle Ocupacional de Operações (ECOO). Esta Equipe tem por objetivo apoiar as demais Equipes de Emergência no cumprimento de todos os procedimentos de proteção radiológica ocupacional, na execução de medidas de radioproteção e na proposição de ações preventivas e/ou corretivas, no sentido de minimizar as doses equivalentes, individual e coletiva, recebidas pelos trabalhadores de emergência envolvidos em tarefas nas áreas controladas e minimizar a disseminação de contaminação para outras áreas.

Os procedimentos de proteção radiológica mencionados constituem-se das seguintes atividades, entre outras:

(a) Classificação, delimitação e sinalização das áreas do acidente em área controlada, área supervisionada e área livre quanto aos níveis de exposição e/ou contaminação; Nesse caso específico haverá apenas área controlada e área livre.

(b) Estabelecimento e gerenciamento de um Ponto de Controle;

(c) Especificação e orientação do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), detectores de radiação e dosímetros pessoais pelos trabalhadores de emergência na área controlada;

(d) Controle de acesso à área controlada;

(e) Execução de medidas de radioproteção na área controlada, incluindo: medidas de monitoração de área; monitoração individual dos trabalhadores; estabelecimento de tempo de permanência, limites diários de dose equivalente e limites para contaminação de superfície e do ar; avaliação de doses equivalentes, individual e coletiva;

(f) Gerenciamento de um almoxarifado no Ponto de Controle com os seguintes itens: monitores e dosímetros individuais; equipamentos de proteção individual; detectores para monitoração de área e superfície; dispositivos para sinalização de áreas e resgate de fontes; dispositivos para descontaminação de superfícies e acondicionamento de rejeitos radioativos;

(g) Apoio as demais Equipes no planejamento das atividades na área controlada visando à limitação da dose ocupacional.

(h) Elaboração e execução de procedimentos de descontaminação de superfícies, resgate de fontes, gerenciamento de rejeitos radioativos, etc.

## **Etapa 1 – Classificação, delimitação e sinalização das áreas do acidente:**

(i) Definir as Áreas Controlada e Livre.

NOTA 1: Em geral as áreas de um acidente radiológico são classificadas em Área Livre, Área Supervisionada e Área Controlada, com base nas medidas de taxa de dose, contaminação de superfícies e contaminação do ar, realizadas por uma Equipe de Levantamento Radiométrico. Na prática, as áreas são definidas a partir dos limites derivados e secundários, que são mensuráveis.

NOTA 2: Nesse caso específico de acidente (fonte radioativa fora de controle e contaminação) em local fechado, a classificação deve ser feita de forma mais conservativa. Assim, o próprio banheiro (local do acidente) será considerado Área Controlada; o restante do complexo de salas será considerado área Livre.

(ii) Delimitar a Área Controlada utilizando barreira física ou balizamento.

NOTA 1: Em geral, as áreas classificadas são separadas uma das outras utilizando-se barreiras físicas (bancos, por exemplo); quando isso não é possível, a separação é feita através de balizamento utilizando-se cones ou hastes/cavaletes com cordão de isolamento (cordão de nylon, preferencialmente).

NOTA 2: Nesse caso específico de acidente a delimitação será feita pelo Próprio Ponto de Controle estabelecido na entrada do local.

(iii) Sinalizar radiologicamente as áreas Controlada e supervisionada ,por meio de placas de aviso.

NOTA: A placas à entrada da área controlada devem conter o símbolo internacional de radioatividade; as inscrições: Perigo – área de alta radiação e/ou Perigo – área de alta contaminação; e, as medidas de taxa de dose (mR/h ou mSv/h), contaminação de superfície (Bq/cm<sup>2</sup>) e contaminação do ar (Bq/m<sup>3</sup>).

(iv) Manter um croqui atualizado da área controlada indicando sua delimitação; este croqui deve conter os dados do levantamento radiométrico, os equipamentos utilizados, o nome do técnico, a data e a hora.

## **Etapa 2 – Montagem e Gerenciamento do Ponto de Controle:**

(i) Montar o ponto de controle no limite entre a área livre e a supervisionada.

NOTA: as dimensões e a infraestrutura do Ponto de Controle variam em função do tipo e natureza do acidente bem como do tipo e natureza do material radioativo e/ou nuclear envolvido podendo exigir alguns ou todos os requisitos abaixo relacionados:

(1) Sala ou local de trabalhadores com material de escritório e apoio;

(2) Almojarifado otimizado com vestuário, equipamentos de proteção individual, detectores de radiação, dosímetros pessoais, dispositivos para remoção de rejeito ou para descontaminação, fichas individuais de controle radiológico, etc;

(3) Sala ou local na área livre, para a troca de roupas comuns pelas roupas de trabalho na área controlada (vestiário);

(4) Sala ou local de acesso à área controlada com recipientes para colocação de roupa usada, descarte de vestuário contaminado, colocação de máscaras para serem descontaminadas, dosímetros pessoais, etc;

(5) Chuveiro ou banheira para realização de descontaminação de pessoas; deve ser observada a necessidade de controle dos efluentes de descontaminação;

(6) Local radiologicamente limpo, aonde se possa realizar a monitoração dos trabalhadores, quando de seu retorno da área controlada, ao fim da jornada de trabalho;

(7) Pessoal responsável pela monitoração dos trabalhadores, controle de acesso de trabalhadores e equipamentos, e pelo controle ocupacional das operações;

(8) Lavanderia para lavagem das vestimentas usadas na área controlada;

(9) Dependendo do acidente, um acesso para caminhões, caixa de rejeito, etc;

(10) Suprir o almojarifado do Ponto de Controle com todos os recursos necessários e disponíveis.

(11) Solicitar à Equipe de Apoio Logístico a reposição dos recursos, sempre que necessário;

(12) Colocar recipientes forrados com sacos plásticos triplos nas saídas da área Controlada e supervisionadas, para a estocagem diferenciada de materiais potencialmente contaminados, tais como macacão, sapatilhas, luvas, capuz, mascaras de proteção respiratória, etc;

(13) Gerenciar o Ponto de Controle, mantendo toda sua infraestrutura e realizando todas as atividades de proteção radiológica, inerentes ao mesmo (**Figura 27**).

### **Etapa 3 – Controle de acesso à Área Restrita:**

#### **Etapa 3.1 – Entrada na área restrita**

(i) Definir que tipos de EPI'S, detectores, dosímetros e demais equipamentos e instrumentos serão utilizados em cada tipo de operação;

(ii) Especificar o tipo de equipamento de proteção respiratória em função da Concentração de Material Radioativo no Ar (CMRA) e do CAD do radionuclídeo envolvido, conforme mostra a seguir:

Tabela 1: Limites para Especificação de Equipamentos de Proteção Respiratória /10/

CMRA	EPR
0,25 CAD < CMRA ≤ 1 CAD	Máscaras Descartáveis
1 CAD < CMRA ≤ 10 CAD	Máscaras Semi-Faciais com filtros
10 CAD < CMRA ≤ 50 CAD	Máscaras Faciais com filtros
50 CAD < CMRA	Equipamentos Provedores de Ar ou Equipamentos Autônomos
50 CAD < CMRA em Ambiente Fechado	Equipamentos Autônomos

CMRA – Concentração de Material Radioativo no Ar

EPR – Equipamento de Proteção Respiratória

CAD – Concentração no Ar Derivada para o radionuclídeo contaminante

NOTA: caso haja mais de um radionuclídeo, considera-se o maior valor do valor CAD.

(iii) Verificar se todos os trabalhadores estão devidamente equipados e revestidos dos EPI'S apropriados para entrar na área, conforme procedimento específico;

(iv) Identificar o trabalhador, registrar a hora de entrada na área de trabalho, colocar os dosímetros (filme dosimétrico e, se necessário um dosímetro de alarme integrador);

(v) Com letras grandes, escrever o nome de guerra do trabalhador na parte da frente e de trás do macacão;

(vi) Testar a bateria e o funcionamento dos detectores e verificar se os mesmos estão protegidos em invólucros de plástico;

(vii) Orientar cada trabalhador para não comer, beber e fumar na Área Controlada para impedir a ingestão desnecessária de material radioativo;

(viii) Calcular e controlar o tempo de permanência dos trabalhadores na Área Controlada, com base na taxa de dose no local de trabalho e/ou nas concentrações de material radioativo no ar, na dose máxima autorizada pela coordenação da emergência.

$$TPA = \frac{DMA}{TD} \quad TPA = \frac{40 \text{ horas}}{\text{semana}} \times \frac{CMPer}{Car}$$

TPA = Tempo de Permanência na Área

DMA = Dose Máxima Autorizada

TD = Taxa de Dose

CMPer = Concentração Máxima Permissível do Radionuclídeo Considerado

Car = Concentração do Radionuclídeo Considerado no Ar

NOTA: Essas fórmulas são empíricas. Na prática considera-se como tempo de permanência aquele que for mais restritivo entre os tempos de permanência calculados para as taxas de dose e para as concentrações de material radioativo no ar.

(ix) Acompanhar os trabalhos na Área restrita efetuando os levantamentos radiométricos necessários, quando necessário;

(x) Participar do planejamento e do treinamento simulado das operações com a finalidade de reduzir o tempo de permanência, quando necessário;

(xi) Determinar, quando necessário, o rodízio dos trabalhadores, numa tarefa específica, afim de se obter uma distribuição uniforme de doses;

(xii) Manter sob controle a dose que cada trabalhador acumulou e/ou poderá vir a receber (com base nos levantamentos radiométricos efetuados e de acordo com o local e tipo de tarefa a ser efetuada). Este controle deve ser mantido através do preenchimento de uma ficha individual de controle radiológico (**Figura 28**), que permanece no ponto de controle.

### **Etapa 3.2 – Saída da área controlada e/ou supervisionada**

(i) Retirar os dosímetros pessoais e outros objetos da vestimenta e colocá-los em saco plástico para posterior leitura; Retirar os EPI's dos trabalhadores, conforme procedimento específico, tomando o cuidado de separar as luvas, máscaras, macacão e etc, das vestimentas e utensílios descartáveis que devem ser tratados como rejeito; os EPI'S devem ser colocados nos recipientes próprios, na saída da área supervisionada, para posterior monitoração, triagem e descontaminação;

(ii) Monitorar o trabalhador no local radiologicamente limpo, conforme procedimento específico, anotando nas fichas individuais de monitoração de pessoas (**Figuras 29, 30e 31**), os resultados das medidas de contaminação, nos respectivos pontos do corpo;

(iii) Se necessário, fazer esfregaço no nariz e boca [TECDOC1092, 1999] /11/;

(iv) No caso de se constatar contaminação, submeter o trabalhador a banho com água fria, sabão neutro e esponja para banho e efetuar nova monitoração;

(v) Persistindo a contaminação, encaminhar o trabalhador ao setor de descontaminação de pessoal para detalhamento e/ou atendimento médico especializado;

(vi) Fazer o registro da hora de retorno da área controlada e efetuar e registrar as leituras dos dosímetros nas fichas próprias;

(vii) Monitorar constantemente e descontaminar, quando necessário, o local radiologicamente limpo, para evitar problemas na monitoração dos trabalhadores;

(viii) Efetuar a monitoração dos equipamentos, objetos, ferramentas, etc, permitindo a saída para a área livre apenas dos que não apresentarem contaminação. Em caso contrário, efetuar a descontaminação antes da liberação dos mesmos.

(ix) Encaminhar os dados dos levantamentos radiométricos das áreas e das leituras dos dosímetros para a EAR afim de que esta possa efetuar os cálculos das doses.



Figura 27a: Ponto de Controle



Figura 27b: Ponto de Controle

	PROCEDIMENTO PARA ESTABELECIMENTO E GERENCIAMENTO DE UM PONTO DE CONTROLE DE EMERGÊNCIA NA ÁREA DE UM ACIDENTE RADIOLÓGICO OU NUCLEAR	PO-SAER-4.01-09
		Edição 01    Página 11/14

**ANEXO IV**  
Ficha individual de controle radiológico

	<b>FICHA INDIVIDUAL DE CONTROLE RADIOLÓGICO</b>	
--	---	--

Nome: ..... Idade: ..... Sexo: ( ) M ( ) F  
Instituição / Setor: .....

Ficha Nº: ..... Data: ..... / ..... / .....

**DOSÍMETROS**

FILME DOSIMÉTRICO			
Nº	Data de Entrega	Data de Recolhimento	Dose Recebida ( mSv )

CANETA DOSIMÉTRICA ( 0 - 200 mR )				
Nº	LEITURA			
	Inicial ( mR )	Hora ( h )	Final ( mR )	Hora ( h )

CANETA DOSIMÉTRICA ( 0 - 5 R )				
Nº	LEITURA			
	Inicial ( mR )	Hora ( h )	Final ( mR )	Hora ( h )

**EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL**

TIPO	QUANTIDADE
Macacão de Pano	( )
Macacão Descartável	( )
Louças	( )
Sapatilhas	( )
Capuz	( )
Gorro	( )
Capa de Chuva	( )
Bota de Vinil	( )
Coturno de Selva	( )
Tênis	( )
Mascara de Proteção Respiratória	( )
Outros:	( )

Dose Acumulada: ..... mSv  
Dose Recebida no Dia: ..... mSv  
Dose Total Acumulada: ..... mSv

Técnico Responsável: ..... Hora: ..... h

	PROCEDIMENTO PARA ESTABELECIMENTO E GERENCIAMENTO DE UM PONTO DE CONTROLE DE EMERGÊNCIA NA ÁREA DE UM ACIDENTE RADIOLÓGICO OU NUCLEAR	PO-SAER-4.01-09
		Edição 01    Página 13/14

**ANEXO VI**  
Ficha individual de monitoração de pessoas (Continuação)

	<b>FICHA DE MONITORAÇÃO DE PESSOAS CONTAMINADAS</b>	
--	---	--

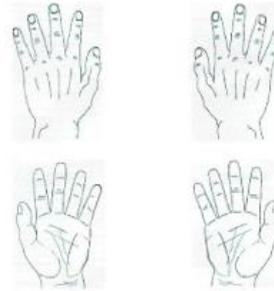
Nome: ..... Idade: ..... Sexo: ( ) M ( ) F  
Endereço: R/Av. .... N° / Comp. .... Bairro: .....

Cidade: ..... CEP: ..... Identidade: ..... Telefone: .....

N° do Protocolo: .....

Tipo do Equipamento	N° de Série	Fator de Calibração	Unidade de Medida	Distância da Medida (cm)	Medida do Background

**MONITORAÇÃO**



Recomendações: .....

Nome do Técnico: ..... Assinatura: ..... Data: ..... / ..... / .....

Figura 28 e 29: Ficha Individual de Controle Radiológico e Ficha Individual de Monitoração de Pessoas

	PROCEDIMENTO PARA ESTABELECIMENTO E GERENCIAMENTO DE UM PONTO DE CONTROLE DE EMERGÊNCIA NA ÁREA DE UM ACIDENTE RADIOLÓGICO OU NUCLEAR	PO-SAER-4.01-09
		Edição 01    Página 14/14

**ANEXO VII**  
Ficha individual de monitoração de pessoas (Continuação)

	<b>FICHA DE MONITORAÇÃO DE PESSOAS CONTAMINADAS</b>	
--	---	--

Nome: ..... Idade: ..... Sexo: ( ) M ( ) F  
Endereço: R/Av. .... N° / Comp. .... Bairro: .....

Cidade: ..... CEP: ..... Identidade: ..... Telefone: .....

N° do Protocolo: .....

Tipo do Equipamento	N° de Série	Fator de Calibração	Unidade de Medida	Distância da Medida (cm)	Medida do Background

**MONITORAÇÃO**



Recomendações: .....

Nome do Técnico: ..... Assinatura: ..... Data: ..... / ..... / .....

	PROCEDIMENTO PARA ESTABELECIMENTO E GERENCIAMENTO DE UM PONTO DE CONTROLE DE EMERGÊNCIA NA ÁREA DE UM ACIDENTE RADIOLÓGICO OU NUCLEAR	PO-SAER-4.01-09
		Edição 01    Página 12/14

**ANEXO V**  
Ficha individual de monitoração de pessoas

	<b>FICHA DE MONITORAÇÃO DE PESSOAS CONTAMINADAS</b>	
--	---	--

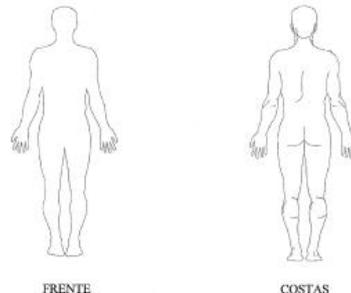
Nome: ..... Idade: ..... Sexo: ( ) M ( ) F  
Endereço: R/Av. .... N° / Comp. .... Bairro: .....

Cidade: ..... CEP: ..... Identidade: ..... Telefone: .....

N° do Protocolo: .....

Tipo do Equipamento	N° de Série	Fator de Calibração	Unidade de Medida	Distância da Medida (cm)	Medida do Background

**MONITORAÇÃO**



Recomendações: .....

Nome do Técnico: ..... Assinatura: ..... Data: ..... / ..... / .....

Figura 30 e 31: Ficha Individual de Monitoração de Pessoas

#### **Etapa 4 – Proteção Radiológica dentro da Área Controlada:**

Dentro da área controlada, um técnico da ECOO precederá à monitoração da área antes e após cada operação e, se necessário, durante a referida operação, de acordo com procedimento específico, que será descrito mais adiante.

Esta monitoração terá como objetivo estabelecer as reais modificações ocorridas nas taxas de dose e/ou contaminação em decorrência dos trabalhos executados, além de possibilitar o estabelecimento do tempo de permanência de cada trabalhador nas operações a serem executadas [AURÉLIO, 1994] /12/.

Precederá também a monitoração individual externa e interna dos trabalhadores, para, juntamente com as medidas de monitoração de área, permitir a avaliação das doses equivalentes, individual e coletiva, conforme procedimento específico.

Os resultados da monitoração de área serão registrados em formulário próprio. Os resultados da monitoração individual serão registrados na ficha individual de controle radiológico de cada trabalhador (figura 28).

(1) **Monitoração Individual Externa**: Será feita através do uso de dosímetros pessoais que permitem a determinação dos níveis de dose devidos à radiação externa e, portanto, um melhor controle do ponto de vista de proteção radiológica. Antes de iniciar suas atividades na área controlada o trabalhador receberá de um técnico da ECOO, no Ponto de Controle, os seguintes dosímetros:

(a) **Canetas Dosimétricas**: Na área controlada serão utilizadas duas canetas dosimétricas: uma de 0–200 mR e outra de 0-5R. A primeira, 0-200 mR, será lida logo após cada operação e, no final do trabalho, para seu registro na ficha de controle de dose. A segunda caneta, 0-5R, servirá como integradora de dose, devendo também ser lida para conformação do registro da caneta de 0-200mR. As canetas serão lidas na entrada e na saída da área controlada e os valores devidamente registrados.

(a) **Filme Dosimétrico**: O filme dosimétrico será identificado com o nome do trabalhador e terá um número de controle, sendo intransferível. Será imediatamente revelado: (i) se a caneta dosimétrica atingir o fundo da escala; (ii) se o técnico haver terminado seu trabalho e regressar a seu lugar de origem; (iii) se durante o período de utilização do filme, sua dose acumulada no período for igual ou superior a 5 mSv.

(c) **Dosímetro Termoluminescente (TLD) de Extremidade**: O uso de dosímetro de extremidade só é justificável quando as doses esperadas nas mãos sejam superiores às do corpo inteiro, nos casos de manipulação de material radioativo e/ou houver muita

contaminação de superfície de pisos. A leitura e substituição destes dosímetros são realizadas: (a) quando a caneta dosimétrica de 0-200mR atinge o fundo da escala; (b) Quando suspeita-se que a dose acumulada na extremidade é igual ou superior a 10 mSv; (c) Quando o levantamento radiométrico indica altos campos de exposição devidos à radiação de pequeno alcance. Neste caso específico serão utilizados TLD de anel e tornozelo pelos membros da Equipe de Descontaminação de área.

(2) **Monitoração Individual Interna:** Será feita para cada trabalhador da Equipe de Descontaminação e da Equipe de Resgate de Fontes, ao término de suas atividades na área controlada. Será feita uma monitoração da contaminação interna através de exames “in vivo” e “in vitro” [HUNT, 1994] /13/.

(3) **Limitação da Dose Ocupacional:** Com o propósito de estimar e limitar a dose recebida durante as operações, todas as atividades dentro da área controlada serão detalhadamente planejadas.

Tabela 2: Limites anuais de dose recomendados pela Norma CNEN NN.3.01:

DOSE EQUIVALENTE	TRABALHADOR	INDIVÍDUOS DO PÚBLICO
Dose equivalente efetiva	50 mSv (5 rem)	1 mSv (0,1 rem)
Dose equivalente para órgão ou tecido T	500 mSv (50 rem)	1 mSv/W <sub>T</sub> (0,1 rem/W <sub>T</sub> )**
Dose equivalente para a pele	500 mSv (50 rem)	50 mSv (5 rem)
Dose equivalente para cristalino	150 mSv (15 rem)	50 mSv (5 rem)
Dose equivalente para extremidades*	500 mSv (50 rem)	50 mSv (5 rem)

\* Extremidades são: mãos, antebraços, pés e tornozelos.

\*\* WT - fator de ponderação para o tecido ou órgão T.

#### OBSERVAÇÕES:

(i) a ICRP 60 adotou agora uma proposta mais abrangente estabelecendo um nível de dose, para um conjunto definido de práticas, acima do qual as conseqüências para o indivíduo seriam consideradas inaceitáveis. Dessa forma, a ICRP 60 recomenda um limite de Dose Efetiva de 20 mSv por ano, média em 5 anos (100 mSv em 5 anos), com uma disposição adicional de que a dose efetiva não deve exceder a 50 mSv em um único ano. Deixa implícito com este limite de dose recomendado que a restringência de dose /14/.

(ii) Em irradiação externa planejada (que é nosso caso específico), o limite de dose para o corpo inteiro não poderá ultrapassar duas vezes o limite anual de 50 mSv (100 mSv) /15/.

(iii) Nas doses previstas, superiores a 100 mSv a exposição será voluntária. Abaixo deste valor a exposição poderá ser decidida diretamente /16/.

(iv) Após a irradiação externa especial planejada o trabalhador não poderá permanecer em área controlada.

(v) A irradiação especial planejada não será permitida se o trabalhador recebeu nos últimos 12 meses uma irradiação ou incorporação com dose superior ao limite trimestral de 30 mSv /15/.

(4) **Limite Diário de Dose Equivalente:** O Coordenador da Emergência, depois de planejar as operações, deverá se certificar que nenhum técnico ultrapasse a dose de 0,4 mSv/dia, devendo utilizar-se de rodízio de pessoal segundo a tabela:

Tabela 3: Limite diário de Dose Equivalente

Número de Grupos para Rodízio	Dose Acumulada (mSv)
2	0,2
4 ou mais	0,1

Quando for necessário uma irradiação de emergência com dose superior à 100 mSv, esta só poderá ser voluntária e mediante autorização do Coordenador de Operações. Em nosso caso específico, a Coordenação deliberou que a dose equivalente máxima a ser recebida por cada trabalhador será de 50 mSv.

(5) **Limites para Contaminação de Superfícies:** Serão empregados os limites recomendados pela norma CNEN-NE.3.01/88, que são:

Tabela 4: Limite de contaminação de superfície

Superfície	Bq/cm <sup>2</sup>
Superfícies da área controlada, materiais, equipamentos e roupas	30
Superfície do corpo (emissores alfa)	0,3
Superfície do corpo (outros emissores)	3,0
Superfície das áreas livres e roupas individuais	3,0

#### OBSERVAÇÕES:

(i) Obter valores médios de superfícies de no máximo: (a) 300 cm<sup>2</sup>, para objetos; (b) 1000 cm<sup>2</sup>, para pisos, paredes, tetos.

(ii) Para teste de esfregação considerar um fator de remoção de 10% (a atividade detectada no papel de esfregação será 1/10 da atividade contida na superfície).

(6) **Limites para Contaminação do Ar:** Os limites recomendados pela norma CNEN-NE.3.01/88, são: (a) O DAC do radionuclídeo, quando este é conhecido; (b) O DAC do Strôncio-90 ( $60 \text{ Bq/m}^3$ ), quando o radionuclídeo não é conhecido; (c)  $0,02 \text{ Bq/m}^3$ , no caso da existência de Plutônio-239. Em nosso caso específico, como o radionuclídeo contaminante é conhecido o Limite será o DAC do mesmo, ou seja,  $1,1 \times 10^{-1} \text{ Bq/m}^3$ .

(7) **Avaliação de Doses Equivalentes Individual e Coletiva:** É da responsabilidade da Equipe de Avaliação Radiológica (EAR) do MEST, a partir dos resultados de monitoração, efetuar a avaliação das doses equivalentes, individual e coletiva, tanto doses externas como dose interna, dos trabalhadores de emergência, conforme procedimento específico. Cabe, porém, a ECOO fornecer a EAR todos os dados relativos à monitoração individual e de área e todos os demais dados radiológicos necessários a avaliação de doses. Sempre que possível a ECOO, inclusive, participará dessas avaliações, como principal responsável pela proteção radiológica dos trabalhadores de emergência.

Estabelecido o Ponto de Controle, planejado os critérios de proteção radiológica para os trabalhadores de emergência, inicia-se a execução das ações de resposta para a solução dos problemas decorrentes do acidente. Têm-se dois casos a serem resolvidos: (a) a descontaminação do piso do banheiro pela remoção do sulfato de Rádio-226; e, (b) o resgate da fonte de Irídio-192. A Coordenação deliberou pela descontaminação em primeiro lugar, para que não haja dispersão do material radioativo para as áreas livres, decorrentes de movimentação de pessoas na área controlada durante outras atividades.

#### **4.3. Procedimento para a Descontaminação de Superfície do Piso.**

Contaminação radioativa de superfície resulta, basicamente, do contato de materiais radioativos com uma superfície. Os elementos contaminadores são classificados em três tipos: solúveis, particulados, e coloidais. Já as superfícies expostas à contaminação são classificadas como sendo: orgânicas, metálicas e vítreas. Os métodos de descontaminação são divididos em físicos e químicos. Os métodos físicos consistem na limpeza com aspiradores, polidores ou abrasivos. Os químicos incluem também agentes esterificadores e complexantes, como o DTPA e EDTA.

Diversos fatores influenciam a eficiência de descontaminação: características físicas e químicas do contaminante, o tempo de contato deste com o substrato

contaminado, as condições ambientais no decorrer deste contato, a estrutura física do substrato, o grau de afinidade do substrato pelo contaminante.

Quando uma contaminação é detectada o melhor procedimento é eliminá-la imediatamente, uma vez que a reatividade do contaminante com o substrato é, quase sempre, função do tempo de contato entre ambos, pois com o passar do tempo o material contaminador pode reagir com a superfície, resultando na necessidade de utilização de métodos drásticos para remover a contaminação. Eventualmente, a descontaminação não se justifica do ponto de vista do custo-benefício, devendo o material, objeto, ser gerenciado como rejeito radioativo.

A obrigatoriedade de monitoração da área de trabalho após a utilização de material radioativo possibilita uma descontaminação imediata. O que não pode ser destruída é a radioatividade, mas o radioelemento pode, eventualmente, ser neutralizado por remoção. A existência de um grande número de elementos capazes de causar contaminação aliado ao fato destes elementos não poderem ser neutralizados ou destruídos, são fatores que tornam a descontaminação um ato complexo /17/.

É de responsabilidade da Coordenação da Emergência prover os meios necessários e autorizar as operações de descontaminação do piso do banheiro. É de responsabilidade do líder da ECOO elaborar o relatório das operações de descontaminação, preenchendo o formulário de acompanhamento das mesmas. É de responsabilidade dos componentes designados da ECOO efetuar a monitoração de superfícies, identificando tipo, local e nível da contaminação, efetuar a descontaminação do piso e liberar a área descontaminada /18/.

### **Etapas 1: Análise e seleção do método de descontaminação:**

Existem vários métodos de descontaminação de superfícies em função do tipo de contaminante (forma química, radiotoxicidade, abrasividade, penetrabilidade, etc) e do tipo de superfície (seca, lisa, porosa, horizontal ou vertical pintada, metálica, grande ou pequena, etc) /19/. Os métodos mais importantes e analisados foram: (a) **superfícies secas**: remoção por sucção (vácuo) com aspirador de pó; (b) **superfícies lisas** (metal, superfície pintada, plástica, vidro, etc.): (i) dissolução e remoção usando água e/ou detergente; (ii) remoção da superfície por abrasivos; (iii) remoção da camada da superfície por jateamento de areia; (c) **superfícies lisas** (impregnadas com graxa, cera, óleo ou pintada): dissolução e remoção por vapor ou dissolução de materiais orgânicos usando solventes orgânicos (tricloroetileno, xileno, etc); (d) **superfícies lisas** (não

desgastadas, isto é, não enferrujadas e sem crescimentos calcáreos): formação de complexos solúveis com o elemento contaminador, usando agentes complexantes (EDTA, ácidos fracos, carbonato de sódio, sulfato de alumínio, etc); (e) **superfícies lisas metálicas** como canalizações, tubulações, etc, (com depósitos porosos, isto é, enferrujadas ou com crescimentos calcáreos): dissolução dos depósitos de contaminação por (i) misturas ácidas (ácido clorídrico, sulfúrico, acético e cítrico); (ii) ácidos inorgânicos (ácido clorídrico, sulfúrico, nítrico e ácido fosfórico); (f) **superfícies horizontais pintadas**: remoção da pintura contaminada usando misturas cáusticas (soda: hidróxido de sódio; hidróxido de cálcio; hidróxido de potássio e outros); (g) **superfícies verticais pintadas**: remoção da pintura contaminada por fosfato de sódio; (h) **superfícies de pequenos orifícios em ferramentas**: remoção da contaminação por ultrassom; (i) **superfícies lisas e porosas**: (i) remoção por sucção à vácuo com aspirador de pó; (ii) confinamento da contaminação por revestimento com cimento ou pintura; (j) **Todo tipo de superfície**: (i) remoção por água para pequenas superfícies; (ii) remoção por atrito através da raspagem com pá, lixas, palha de aço, escovas, esponja de aço, etc.

NOTA 1: (a) Água, detergente, ácidos e bases não devem ser utilizados para descontaminar superfícies porosas pois o resultado pode ser uma maior difusão do agente contaminador no material da superfície; (b) Ácidos e bases causam danos em superfícies pintadas ou revestidas de epóxi e borracha.

NOTA: Da análise dos métodos, levando em conta o tipo de contaminante (sulfato de Radio-226, em pó, seco, com atividade de 296GBq) e o tipo de piso (cerâmica, lisa, rejuntada, seca, pequena área) a coordenação deliberou efetuar a descontaminação em três fases: (1<sup>a</sup>) Remoção por sucção a vácuo com aspirador de pó (sua vantagem é que apresenta bom desempenho em superfícies secas e porosas; sua desvantagem é que o aspirador de pó fica contaminado); (2<sup>a</sup>) Remoção por atrito através da raspagem com escova e esponja de aço (sua vantagem é que pode reduzir o nível de contaminação ao valor mais baixo desejado; sua desvantagem é que não pode ser utilizado em superfícies porosas pois provoca a penetração do elemento contaminado; a superfície deve ser mantida umedecida para evitar suspensão de poeira); (3<sup>a</sup>) Remoção por água, ou melhor, com pano úmido (sua vantagem é que pode reduzir a contaminação em 90%; sua desvantagem é que não é eficiente para grandes áreas). Para cada fase será determinado o Fator de Descontaminação (FD)

Este fator não se sobrepõe à análise de custo-benefício. Permanecendo em área restrita o equipamento, material contaminado e com previsão de reutilização, pode-se optar pela simples fixação da contaminação através do jato de tinta.

## **Etapa 2: Preparativos:**

(a) Os componentes da Equipe para a Monitoração e Descontaminação do piso usarão EPI'S completos em duas camadas de proteção da pele do corpo: (1) Camada Interna: macacão de pano; luvas tipo cirúrgica; sapatilha de plástico; capuz de plástico ou pano; (2) Camada Externa: macacão tipo Tyvek; luvas de borracha; sapatilha de plástico; máscara de proteção respiratória panorâmica (face inteira) com um ou dois filtros contra pó, conforme procedimento específico /6/ e /7/;

(b) Revestir todos os detectores e/ou monitores de radiação a serem usados na monitoração da área com plástico, para evitar a contaminação dos mesmos;

(c) Selecionar e disponibilizar todos os formulários necessários para registro dos dados da monitoração da contaminação e para a determinação do FD; bem como etiquetas com símbolo da radiação para sinalizar e identificar todos os rejeitos gerados na descontaminação;

(c) Selecionar e disponibilizar para utilização todos os materiais necessários para a descontaminação (aspirador de pó; recipiente para acondicionar o filtro do aspirador com o material radioativo aspirado, pois o mesmo estará contaminado; saco plástico para acondicionar o próprio aspirador contaminado; escova; Bombril; balde com água; pano; materiais absorventes para limpeza; sacos plásticos para recolher todos os materiais usados na descontaminação, etc);

## **Etapa 3: Blindagem da Fonte de Irídio-192:**

(a) O acidente do cenário proposto consta da contaminação de pó de Rádio-226 e uma Fonte de Irídio-192. Decidiu-se pela descontaminação em primeiro lugar. Dessa forma a fonte de Irídio será blindada com chumbo, para diminuir a dose da Equipe de Monitoração e Descontaminação.

(b) A blindagem será calculada de forma empírica, conservativa, usando-se a equação de cálculo de blindagem para fonte pontual levando em conta as medidas de taxa de exposição com o Teletector, efetuadas na monitoração da fonte (conforme

procedimento específico), na superfície da fonte e outras distâncias da mesma (curva de isodose):

$$X = X_0 \cdot e^{-\mu x}$$

X = taxa de exposição final da radiação emergente após a blindagem, em R/h;

X<sub>0</sub> = taxa de exposição inicial da radiação incidente na blindagem, em R/h;

x = Espessura do material absorvedor, em cm;

μ/cm = Coeficiente de absorção linear total do absorvedor para uma dada energia de radiação γ e para o chumbo. A energia da radiação γ do Irídio-192 é 317 KeV (0,317 MeV). Dessa forma, o μ/cm do Chumbo foi obtido de tabela para energia de 0,5 MeV, conservativamente, sendo seu valor 1,7.

NOTA: Feitos os cálculos verificou-se que uma manta de chumbo de 1,5 cm seria suficiente para a blindagem; porém, conservativamente, além da manta utilizou-se blocos de chumbo (Figura 32)



Figura 32: Blindagem da Fonte de Irídio-192

#### **Etapa 4: Monitoração da Contaminação /20/:**

(a) localizar a extensão da contaminação com os monitores portáteis disponíveis mencionados no capítulo 1 deste trabalho;

(b) delimitar e sinalizar a área contaminada indicando o nível de contaminação;

(c) preencher a etiqueta de identificação, conforme procedimento específico.

(d) estimar o Fator de Descontaminação final a ser adotado para a liberação da área com base nos limites de contaminação de superfície apresentados na Norma CNEN-NN-3.01 – Diretrizes Básicas de Radioproteção /10/.

#### **Etapa 5: Ações de Descontaminação /21/**

(a) Para cada fase selecionada, a descontaminação deverá ser iniciada utilizando-se os métodos mais brandos;

(b) Iniciar a descontaminação pela área mais próxima do Ponto de Controle, ponto de acesso, e prosseguir para o interior;

(c) Monitorar a área após cada fase de descontaminação para avaliar a eficiência do processo, calculando seu Fator de Descontaminação (FD) pela equação:

$$FD = \frac{\text{Nível de Contaminação inicial}}{\text{Nível de Contaminação Final}}$$

(d) Todos os equipamentos, ferramentas e instrumentos devem se necessários ser retirados da área contaminada para uma descontaminação mais eficiente. Neste caso os mesmos devem ser envoltos em plásticos para evitar espalhamento da contaminação. Não se deve desmontar equipamento sem autorização.

(e) Todo material utilizado nos processos de descontaminação deve ser colocado em saco plástico e será considerado rejeito radioativo.

(f) Liberar a área quando a superfície descontaminada apresentar o Fator de Descontaminação planejado.

(g) Terminados os trabalhos de descontaminação os trabalhadores deverão sair da área controlada obedecendo todos os procedimentos de proteção radiológica: entregarão seus dosímetros pessoais, materiais de registro, materiais de descontaminação, equipamentos de monitoração, aos técnicos da ECOO no Ponto de Controle. Deverão retirar todos os EPI'S (vestimentas especiais de corpo inteiro e proteção respiratória) obedecendo aos procedimentos específicos /7/, /22/ e /23/.

#### **4.4. Procedimento para Monitoração da Equipe de Descontaminação.**

É da responsabilidade da ECOO efetuar a monitoração da pele e das roupas dos componentes da Equipe de Descontaminação ao término dos trabalhos na área controlada. Esta monitoração será realizada no Ponto de Controle. Este local de monitoração deverá ter um *background* baixo, em torno de 100-200 cps (Bq) /24/. Para o trabalhador que necessite atendimento médico e que, também, possa estar contaminado, deve ser dada prioridade ao atendimento médico.

Na saída da área controlada, os trabalhadores terão retirado todos os seus EPI'S (vestimentas especiais de corpo inteiro e proteção respiratória), em duas camadas de proteção da pele de corpo, e colocado os mesmos em recipientes forrados de saco plástico na área controlada (figura 33), que serão levados para posterior monitoração no IRD.



Figura 33: Recipientes para coleta de EPI's usados na área controlada

No Ponto de Controle os trabalhadores estarão somente de roupas íntimas ou com as roupas de passeio para serem monitorados. Os equipamentos usados na monitoração da contaminação devem ser apropriados para detectar e medir o material radioativo contaminante (Rádio-226) e para verificar se estão dentro dos limites de contaminação para pele e para vestimentas. Deve-se ter atenção ao fato de que a maioria dos monitores de contaminação saturam rápido.

**Etapa 1: Seleção e preparação dos equipamentos de monitoração:**

(a) Executar a seleção e verificação da instrumentação nuclear, controle de qualidade do monitor de radiação a ser empregado, usando o procedimento específico. Os detectores mais empregados para execução de monitoração de pessoas são os seguintes: (a) Cintilômetro (marca SPT SPP-2-NF; MICROLAB modelo 346; ou gamômetro da STUDSVICK); (b) Eberline E520; (c) Eberline E140; (d) Eberline E600; (e) FAG 100; (f) IdentiFinder Ultra;

(b) Antes de iniciar a monitoração, verificar as pilhas, fazer uma medida com a fonte teste e o “background” do local de monitoração;

(c) Ligar o áudio do monitor. É desejável que o monitor tenha uma área ativa de pelo menos 20 cm<sup>2</sup> para bons resultados; o alarme deve ser regulado em duas vezes o “background” local, usando a fonte teste;

(d) Revestir a sonda com um saco plástico fino e leve ou cobri-lo, para prevenir sua contaminação. Não cobrir a janela da sonda;

(e) Medir e registrar periodicamente a radiação de fundo no local onde será feita a monitoração. Os valores e medidas devem ser anotados no formulário específico. Encontrar um local com melhor blindagem se a leitura do medidor for maior que 10 vezes a leitura da radiação de fundo.

## Etapa 2: Ações de Monitoração:

(a) Efetuar monitoração pessoal mantendo a sonda aproximadamente 1 cm do corpo da pessoa que esta sendo monitorada sem no entanto toca-la; começar pelo topo da cabeça, mover a sonda descendo em um dos lados do pescoço, colarinho, ombro, braço, pulso, mão, abaixo do braço, axila, lateral do tórax, pena e sapato. Monitorar o interior das pernas. Mover a sonda descendo do outro lado do pescoço, colarinho, ombro, braço, pulso, mão, abaixo do braço, axila, lateral do tórax, pena e sapato. Monitorar a frente e a parte de trás do corpo. Prestar especial atenção aos pés, nádegas, cotovelos, mãos e face.

(b) Mover a sonda a uma velocidade de aproximadamente 5cm/s. Qualquer contaminação será detectada inicialmente através do sinal sonoro.

(c) Colocar a sonda a menos de 0.5 cm da pessoa para monitoração de radiação alfa.



Figura 34: Monitoração de um Trabalhador de Descontaminação de área

(d) Em casos de urgência monitorar a pele exposta e posteriormente, providenciar a troca de roupas. A roupa potencialmente contaminada poderá ser monitorada mais tarde. A pessoa deverá ser auxiliada na tarefa de mudança de roupas e receber luvas para a transferência de contaminação se há suspeita de contaminação séria.

NOTA: Para medidas de pele e vestimentas podem ser tirados a média de 100 cm<sup>2</sup>; para as mãos a média de 30 cm<sup>2</sup>; e para as pontas dos dedos a média de 3 cm<sup>2</sup>.

(e) Caso seja medida contaminação em alguma área do corpo registrar o resultado no formulário próprio. Executar a descontaminação seguindo o procedimento específico. O valor equivalente a três vezes a taxa de contagem de fundo é considerada contaminação /16/, /21/, [TECDOC 1092, 1992] /25/ e [LILIA, 2008] /26/.

NOTA: Onde os limites derivados da contaminação de superfície não estão especificados pela CNEN usar os seguintes valores:

Tabela 5: Níveis de intervenção operacionais gerais para pele e vestimentas

<b>Contaminante</b>	<b>Níveis operacionais de Intervenção (Bq/cm<sup>2</sup>)<sup>(a)</sup></b>
Emissores beta/gama e emissores alfa mais tóxicos	4
Emissores alfa mais tóxicos	0,4

(a) Medir estes níveis levará alguns minutos com uma sonda. Em caso de urgência multiplicar os níveis por um fator de 100. Usar as instruções de troca de roupa para um kit de limpeza conhecido seguido por lavagem de mão e lavagem de cabelo.

(f) Monitorar todos os pertences inclusive relógios, bolsa, dinheiros, TLD. Ensacar e rotular o material contaminado para descontaminação; remover a roupa, pessoal contaminada; ensacar; rotular e fornecer artigos de vestuário de substituição.

### **Etapa 3: Caso Especial de Trabalhador Ferido e Contaminado:**

(a) Ajudar o pessoal médico na avaliação e no trato inicial ao paciente, fazendo uma rápida avaliação da contaminação; se o paciente estiver contaminado isto não deve impedir as medidas de primeiros socorros.

(b) Se o paciente necessitar imediatamente ir para o hospital, designar um membro da equipe para acompanhá-lo na ambulância ou para dar apoio no hospital.

(c) Orientar os membros da equipe da ambulância sobre os níveis de contaminação. A descontaminação pode ser feita no hospital. O paciente deve ser enrolado em uma manta ou outra cobertura de metal adequado durante o transporte para o hospital, para minimizar o espalhamento da contaminação.

(d) Se necessário completar o formulário próprio de monitoração do trabalhador e entregar ao pessoal da ambulância para acompanhar o paciente.

### **Etapa 4: Gerenciamento dos Rejeitos Radioativos:**

(a) Todo o material radioativo de Sal de Rádio-226 removido do piso e dos pedaços do vidro quebrado e todo o material contaminado durante os trabalhos de descontaminação, devidamente acondicionados em recipientes próprios e/ou sacos de plástico e identificados, serão encaminhados para o depósito de Rejeitos do IRD e devidamente Gerenciados conforme procedimento específico [DENIZART, 2006] /27/.

#### **4.5. Procedimento para o Resgate da Fonte de Iridio-192.**

Descontaminada a área controlada com a remoção de todo o inventário de Sulfato de Rádio-226, cabe agora a Equipe de Monitoração e Resgate de Fontes, executar sua tarefa. Seguindo todos os requisitos de proteção radiológica estabelecidos pela ECOO juntamente com a Coordenação da Emergência, os componentes da Equipe entrarão na área, devidamente protegidos pelos EPI'S necessários, conforme descritos para a Equipe de Monitoração e Descontaminação e executarão o trabalho em duas etapas: (1) Retirada da Blindagem da Fonte e sua Monitoração; e, (2) Resgate da Fonte com uma garra mecânica de 1,5 metros e sua colocação em outro castelo de chumbo para sua blindagem e encaminhamento ao depósito de fontes e rejeitos do IRD/CNEN.

##### **Etapa 1: Monitoração da Fonte:**

(a) Receber as instruções iniciais e tarefas do Responsável pela ECOO e Coordenador da Emergência;

(b) Obter o equipamento apropriado (Teletector nesse caso específico de acidente com fonte) e testar suas baterias. Encapar a sonda e cabo em plástico para prevenir a contaminação;

(c) Ajustar os alarmes dos dosímetros de leitura direta;

(d) Usar Equipamento de Proteção Individual apropriado;

(e) Ligar o instrumento antes de entrar na área controlada;

(f) Medir a taxa de dose da fonte, anotar a distância da fonte. Se as medidas de taxa de dose são feitas em contato com a fonte esta deve ser expressa junto com a leitura da taxa de dose; se necessário, fazer uma curva de isodose usando a lei do inverso do quadrado das distâncias. Deve ser enfatizado que esta lei somente é válida para fontes puntiformes e absorção desprezível da radiação entre a fonte e o ponto de interesse. Então, a lei do inverso dos quadrados das distâncias, para o caso da taxa de dose, pode ser escrita da forma:

$$D \propto \frac{1}{r^2} \quad \text{ou} \quad D = \frac{k}{r^2} \quad \text{ou} \quad Dr^2 = k$$

Onde k é uma constante para cada fonte puntiforme particular. Então:

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

$D_1$  = taxa de dose à distância  $r_1$  da fonte

$D_2$  = taxa de dose à distância  $r_2$  da fonte

$r_1$  = distância original

$r_2$  = distância final

Observação: Uma fonte é considerada puntiforme se o objeto irradiado estiver a uma distância de no mínimo 3 vezes a maior dimensão da fonte.

Assim, a intensidade da radiação se reduz com o quadrado da distância entre a fonte pontual e o ponto considerado. Desse modo, conhecendo-se a intensidade de radiação a uma determinada distância, pode-se calcular a distância adequada do trabalhador à fonte, a fim de que sua proteção radiológica fique assegurada. Deve-se notar que dobrando a distância da fonte, se reduz a intensidade de radiação a 1/4 de seu valor original, triplicando-se a distância, se reduz a intensidade a 1/9, etc.

(g) Registrar todos os dados no formulário, conferir periodicamente o dosímetro e notificar ao Responsável da ECOO se as leituras excederem os níveis prescritos;

(h) Desligar os instrumentos quando não estiverem sendo usados para evitar o vazamento das baterias.

### **Etapa 2: Resgate da Fonte /28/**

(a) Posicionar o novo castelo de chumbo para acondicionamento da fonte e sua tampa próximo do mesmo e da fonte;

(b) Usando a garra mecânica de 1,5 metros (Figura 35) recolher a fonte e colocá-la no interior do castelo de chumbo;

(c) Fechar adequadamente o castelo de chumbo com sua tampa rosqueada;

(d) Sinalizar o Castelo de Chumbo com o símbolo internacional de radiação;

(e) Efetuar uma monitoração na superfície do castelo de chumbo;

(f) Etiquetar o castelo de chumbo identificando na etiqueta os valores de atividade e taxa de dose obtida da monitoração anterior, bem como a data e a hora das medidas efetuadas;

(g) Entregar o castelo de chumbo para o técnico da ECOO a fim de este o envie para o depósito de Fontes e rejeitos do IRD/CNEN.



Figura 35: Garras mecânicas para resgate de fontes

#### **4.6. Procedimento para Monitoração da Equipe de Resgate da Fonte de Irídio-192**

##### **Etapa 1: Remoção dos EPI'S:**

(a) Será feita da mesma forma que na remoção dos EPI'S dos componentes da Equipe de Descontaminação;

##### **Etapa 2: Monitoração dos trabalhadores :**

(a) Como a área controlada já fora descontaminada e não existe mais focos de contaminação, a passagem dos trabalhadores da Equipe de Resgate de Fontes para a área livre se dará sem nenhuma restrição, ficando o trabalhador sujeito apenas a controle de exposição ao deixar a área, sendo anotado no formulário de registro de dose individual (figura 28), as leituras obtidas nas canetas dosimétricas de 0-200 mR e 0-5 mR ou outro dosímetro de leitura direta.

(b) Entretanto para fins conservativos, os trabalhadores também serão submetidos à monitoração de contaminação de roupas e pele do corpo, como nos trabalhadores da Equipe de Descontaminação.

#### **4.7. Procedimento para a Monitoração do Local após a Descontaminação.**

Tendo sido a área controlada (o banheiro) totalmente descontaminada do Sal de Rádio-226 e recolhida a Fonte de Irídio-192, e todo o material entregue a Equipe de Gerenciamento de Fontes e Rejeitos para o destino final, executar-se-á a monitoração final (“pente fino”) da área para sua liberação /29/ e /30/.

Esta monitoração poderá ser feita pelos componentes de qualquer das Equipes convocadas para a emergência (Equipe de Controle Ocupacional das Operações, Equipe de Descontaminação ou Equipe de Resgate de Fontes).

Esta monitoração constará de medidas de taxa de dose equivalente (levantamento radiométrico), contaminação de superfícies e contaminação do ar.

##### **Etapa 1: Medida de Taxa de Dose Equivalente (varredura) /31/:**

(a) Selecionar os medidores de radiação apropriados. Neste caso poderão ser utilizados os mesmos equipamentos que estavam sendo usados na varredura do estádio juntamente a PF e a CDQBRN, ou seja, os Polimaster (PRD), os IdentiFinder Ultra (RID) e as Mochilas (Espectrômetros).

(b) Testar os equipamentos de detecção de radiação, usando o procedimento específico. Testar a resposta da bateria dos equipamentos e a resposta dos mesmos usando as fontes radioativas de teste.

(c) Testar a taxa de dose do “background” e a resposta à fonte de radiação; caso o “background” ou a resposta à fonte de radiação de teste estiverem fora dos limites estabelecidos, à unidade deve ser substituída e encaminhada ao serviço de manutenção para identificação e correção do problema e nova calibração. Efetuar a medida do background fora da área de interesse e anotar seu valor em formulário próprio.

(d) Checar os itens acessórios (caneta, formulários, prancha, baterias, etc.).

(e) Ao chefe de Equipe cabe designar a função de cada componente da equipe e coordenar pontualmente a operação. Todo o trabalho de Monitoração deve ser feito em dupla para que um efetue as medidas e o outro seus valores nos formulários próprios.

(f) Planejar previamente as medidas a serem efetuadas, ao longo de um Sistema de Malhas estabelecido sobre a área controlada. Se julgado pertinente, fazer um croqui da área em formulário próprio para anotação das medidas. O sistema métrico de unidade deve ser o utilizado nas medidas das malhas. A linha de base de uma malha é, geralmente, selecionada pela maior dimensão da área analisada. Normalmente os cantos das salas são utilizados como pontos iniciais de referência.

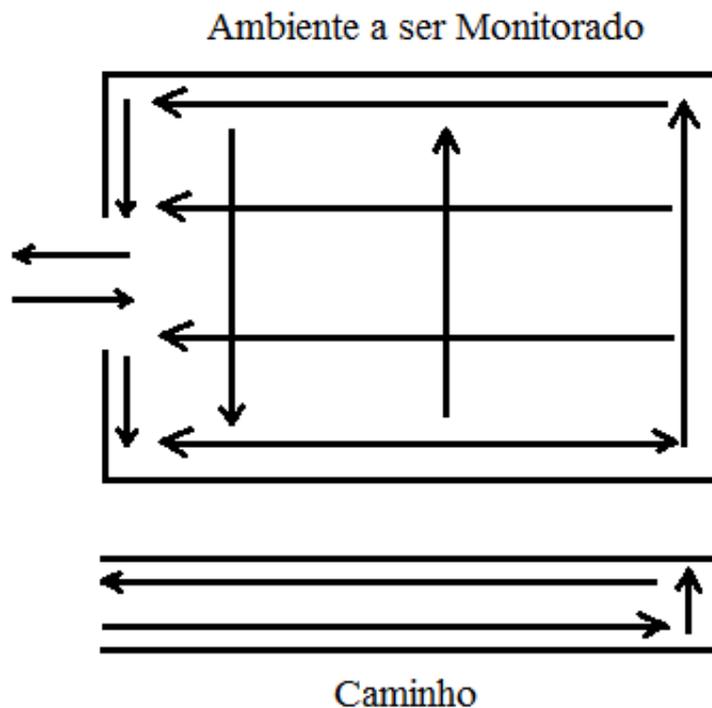


Figura 36: Esquema para o Levantamento Radiométrico Final

(f) O intervalo básico da malha, em locais fechados é de 2 ou 3 metros, dependendo do tamanho dos mesmos. Neste caso específico poderá ser usado o intervalo de 1 metro para uma melhor definição do nível de medida. Em áreas abertas (externas ao banheiro), o intervalo das malha pode ser 4 metros. Os blocos das malhas devem ser marcados no croqui, e as interseções das linhas que formam os pontos das malha devem ser assinaladas. Para a identificação dos pontos, utiliza-se um sistema alfanumérico, onde as linhas perpendiculares à linha de base são identificadas alfabeticamente, e as linhas paralelas são identificadas por números representando a distância à linha de base. A localização de uma posição dentro do sistema de malha pode ser designada pela medida da distância da posição a um ponto marcado da malha. Para as demais salas do conjunto do estádio, pode ser conveniente o uso de um sistema de malha individualizado, em vez de tentar incluir todas as áreas no mesmo sistema. Áreas do forro e acima de 2 metros da parede não são geralmente mapeadas. As medidas dessas áreas são relacionadas como fatores extras e referenciados ao piso ou parede abaixo.

(g) Cada equipe será composta por dois membros. Um fará as medidas de taxa de dose com o PRD e o levantamento do espectro de energia com o RID e o outro anotará os resultados das medidas e os tempos de entrada e saída das áreas a serem monitoradas.

(h) Anotar em formulário próprio a hora de entrada e saída da área de interesse.

(i) Com o PRD ligado, efetuar as leituras em cada ponto da malha demarcado no croqui da área, a 1 metro de altura do solo, tomando-se o cuidado de esperar o registro correto do equipamento, uma vez que podem existir muitas causas de variações das leituras, além de posicionar os detetores em diferentes posições, em busca da leitura máxima, do ponto a ser medido. Anotar em formulário próprio o valor máximo das medidas de taxa de dose, dos pontos de interesse da malha. Anotar também nesse formulário, a data e a hora da medida; o equipamento utilizado, identificando seu número de série e a unidade de medida, o nome do técnico que efetuou a medida e do que registrou o seu valor. Confrontar os resultados das medidas com os limites de exposição para membros do público, para as devidas recomendações e para os devidos cálculos de dose.

(j) Com o RID sempre ligado no modo de “Medida de Espectro”, percorrer toda a malha da área demarcada no croqui correspondente, anotando no formulário próprio a identificação da área monitorada; a hora de entrada e saída da área; o equipamento utilizado, identificando seu número de série; e o nome do técnico da medida e do

registro. Após todo o trabalho de varredura, em todas as áreas a serem monitoradas, com o RID ainda ligado, o mesmo deverá ser entregue ao técnico especializado para “descarregar” no computador os dados das medidas dos “Espectros” para serem avaliadas as taxas de doses em programa específico.

## **Etapa 2: Medida de Contaminação de Superfície /31/**

### **Etapa 2.1: Medida Direta da Contaminação de Superfície**

(a) Selecionar o equipamento apropriado de acordo com a lista de verificação. Este deve medir diretamente a taxa de contagem nas superfícies em cpm ou cps. Esta taxa de contagem deve ser diminuída da taxa de contagem do “background” do local fornecendo a taxa de contagem líquida. Esta, dividida pela área útil do detector fornece, então, a concentração de atividade por unidade de área, em cpm/cm<sup>2</sup> ou cps/cm<sup>2</sup>. Assim, as medidas são praticamente imediatas. Os detectores mais indicados são: detector Geiger-Müller tipo “Pancake”; detector Proporcional de Grande Área tipo CONTAMAT; e, detector com sonda cintilométrica com janela. Dois tipos de medidas de contaminação podem ser feitos com estes detectores: (a) Varredura de Contaminação de Superfície; (b) Medida de Contaminação ALFA e BETA/GAMA de superfície.

#### **(A) Varredura de Contaminação de Superfície**

Os equipamentos utilizados para este tipo de medida são: (a) **Para Radiação Gama:** analisador monocal: RASCAL; ESP-2; Detector de Cintilação, NaI: SPA-3; PG-2 (para fótons de baixa energia); (b) **Para Radiação Beta-Gama:** analisador: RASCAL; ESP-2; E-520; Detector GM: HP-210 (pancake); HP-260 da EBERLINE; (c) **Para Radiação Alfa:** analisador: RASCAL; ESP-2 da EBERLINE; Detector de Cintilação: AC 3-7; AC 3-8 da EBERLINE; (d) **Para Radiação Alfa/Beta Para Piso (GRANDE ÁREA):** Monitores de piso: poliradiometro IAPB7 C/SAP 400; SBC-2

(a) Montar a unidade com cabos apropriados, testar a bateria, e se necessário, ajustar a alta tensão e o nível de base (threshold) de acordo com o manual do equipamento.

(b) Testar a leitura da taxa de contagem do background e a resposta à fonte teste de radiação, seguindo o procedimento descrito para tal. Se o background ou a resposta a fonte de radiação estiverem fora dos limites estabelecidos, a unidade deve ser substituída e encaminhada ao serviço de manutenção para identificação e correção dos problemas.

(c) Fazer um planejamento prévio das medidas a serem realizadas, conforme o sistema de malhas descrito anteriormente;

(d) Proteger os instrumentos com plástico para prevenir a contaminação com exceção da janela do detector.

(e) Ligar o instrumento e selecionar a constante de tempo apropriada (se possível) antes de entrar na área ou ao se aproximar da superfície.

(f) Fazer uma varredura passando o detector lentamente sobre a superfície contaminada, medindo o nível de contaminação à 2,5 cm da superfície. Nunca encostar o detector na superfície contaminada para não contaminá-lo, danificando-o;

(g) Medir e registrar o nível da radiação de fundo no formulário de registro de medidas. Conferir este nível periodicamente para assegurar que o detector não tenha sido contaminado.

(f) Começar a monitoração pelos arredores e mover para o centro. Fazer a leitura esperando o suficiente para que o instrumento estabilize sua indicação média. Registrar a indicação média em cada ponto de interesse. Os dados das medidas do equipamento e dos materiais devem ser afixados ao equipamento ou ao material. A equipe deve monitorar com cuidado para não entrar em contato com a superfície contaminada durante as atividades para evitar se contaminar ou espalhar a contaminação.

(g) Registrar qualquer acréscimo na taxa de contagem indicada pelo sinal sonoro ou pelo gráfico de barra.

NOTA: São consideradas concentrações significativas taxas de contagem: excedentes a ambiental da ordem de 5000 a 10000 cpm (para radiação gama); de 5-10 vezes a taxa do background ou das concentrações excedentes aos níveis de referência (para radiações beta-gama e alfa); de 2-3 vezes a taxa do background ou das concentrações excedentes aos níveis de referência (para radiações alfa/beta para piso de grande área);

(h) As áreas de acréscimos de taxa de contagem devem ser sinalizadas ou marcadas com tinta ou giz;

(i) Rastrear a área continuamente com intervalos de 0,5-5 m. Este intervalo dependerá do histórico radiológico, do potencial de contaminação e dos resultados encontrados no processo de medida em andamento; Para as radiações alfa, beta-gama e alfa/beta para piso, repassar as áreas, devido ao pequeno alcance relativo das partículas e a dependência direcional da detecção;

(j) Após a varredura de uma área de interesse (geralmente um bloco de malha), registrar a localização e os níveis de radiação gama, em formulário apropriado.

**(B) Medida de Contaminação Alfa e Beta/Gama de Superfície**

Nestes tipos de medidas, embora as taxas de contagem dos radionuclídeos contaminantes sejam feitas por detectores portáteis, tem-se que usar uma equação matemática para o cálculo da concentração de atividade alfa, beta e gama. Os equipamentos normalmente usados são: (a) **Para Contaminação Alfa de Superfície:** analisador portátil: PRS -1 (RASCAL); ESP-2; ASP-1 da EBERLINE; detector: AC 3 - 7; AC 3 - 8 da EBERLINE; (b) **Para Contaminação Beta/Gama de Superfície:** analisador portátil: PRS-1 (RASCAL); ESP-2; ASP-1; E-520 da EBERLINE; detector: HP-260; HP-210 da EBERLINE; blindagem beta: espessura mínima de 200 mg/cm<sup>2</sup> ;

NOTA: No caso do HP-260 com janela de 1,8 mg/cm<sup>2</sup> a sonda pode ser coberta por uma espessura fina de papel para prover uma espessura total de 7 mg/cm<sup>2</sup> e aumentar o grau de proteção da sonda para furos acidentais e contaminações.

(a) Montar a unidade com cabos apropriados, testar a bateria, e se necessário, ajustar a alta tensão e o nível de base de acordo com o manual do equipamento.

(b) Testar a leitura da taxa de contagem do background e a resposta a fonte de radiação, seguindo o procedimento descrito para tal. Se o background ou a resposta a fonte de radiação estiverem fora dos limites estabelecidos, a unidade deve ser substituída e encaminhada ao serviço de manutenção para identificação e correção dos problemas.

(c) Colocar a face da sonda voltada para a superfície sob investigação, o mais próximo possível. Como a face da sonda é muito fina e frágil, ter cuidado na medida para evitar danos no detector, principalmente em superfícies rugosas ou objetos pontiagudos;

(d) Selecionar um período de contagem para assegurar uma atividade mínima detectável de pelo menos 50% do padrão utilizado.

(e) Posicionar o botão de tempo (timer) no tempo escolhido e apertar o botão de início (reset). Esperar até o ciclo de contagem terminar e apresentar o resultado; anotar o resultado da contagem e do tempo, em formulário próprio; calcular a atividade alfa em Bq/100 cm<sup>2</sup> pela equação abaixo:

$$\alpha \text{ Bq/100 cm}^2 = \frac{(CT - BG) \cdot 100}{A \cdot T \cdot E}$$

CT = contagem total em cps  
 BG = contagem de background em cps  
 T = tempo de contagem em segundos  
 E = eficiência do detector  
 A = área útil da sonda em cm<sup>2</sup>

(f) Calcular a atividade beta em Bq/100 cm<sup>2</sup>, pela equação abaixo:

$$\beta \text{ Bq/100 cm}^2 = \frac{(CT - BG) \cdot 100}{A \cdot T \cdot E}$$

CT = contagem total em cps  
 BG = contagem de background em cps  
 T = tempo de contagem em segundos  
 E = eficiência do detector  
 A = área útil da sonda em cm<sup>2</sup>

2.8. Calcular a taxa de dose gama em µGy/h, usando o fator de calibração determinado para este tipo de sonda, pela equação abaixo:

$$\gamma \text{ µGy/h} = \frac{\frac{(CT - CTB)}{T \cdot 1,4^a} + (NG^b \cdot 0,87)}{100}$$

CT = contagem total sem blindagem em cps  
 CTG = contagem total com blindagem em cps  
 NG = nível gama em R/h

a = fator que depende do radionuclídeo, das condições da superfície e do tipo do detector; pode variar em função desses parâmetros

b = refere-se ao procedimento de taxa de exposição.

### **Etapa 2.2: Método de Esfregação para Contaminação de Superfície**

Um segundo método é o "teste de esfregação", no qual um pequeno pedaço de papel de filtro é esfregado sobre uma área de no mínimo 100 cm<sup>2</sup> do piso da área controlada. Qualquer substância ativa que se incorpore ao papel é contada com um detector GM e sua atividade é medida. Se for detectada uma contaminação, a área deve ser descontaminada. Seu objetivo é verificar se a contaminação de superfície é transferível ou fixa. É importante que o indivíduo que coletar a amostra por esfregação não espalhe a contaminação e não se contamine.

(a) Fazer uma previsão do número de esfregaços e envelopes a serem utilizados na amostragem;

(b) Identificar o esfregão e anotar os dados no formulário apropriado, de acordo com os pontos selecionados para amostragem; os locais a serem amostrados são aqueles demarcados em pisos e superfícies, com áreas de 1000, 300, 250 e 100 cm<sup>2</sup>;

(c) Esfregar o papel de filtro com as pontas dos dedos indicador e médio sobre toda a superfície demarcada. Colocar um esfregão em cada envelope para evitar o espalhamento da contaminação entre eles e a perda da amostra;

(d) Colocar a amostra de papel de filtro nos detectores do sistema de contagem e contar por um período de tempo adequado para cada tipo de detector, determinando-se, assim, a taxa de contagem da atividade;

(e) A contagem pode ser realizada em monitores portáteis alfa e beta/gama descritos na seção de medidas de contaminação de superfícies, quando se necessitar das medidas de contaminação de superfície de imediato;

(f) Subtrair a contagem do BG (determinado pela contagem de um branco ou de um filtro não usado) da contagem total para obter a contagem líquida (CL = CT-BG);

(g) Converter a contagem líquida para Bq/100 cm<sup>2</sup>, determinando, assim, a concentração de radionuclídeos na área (contaminação), pela equação abaixo:

$$Bq/100 \text{ cm}^2 = \frac{CL}{T \cdot E}$$

CL = contagem líquida em cps  
T = tempo de contagem em segundos  
E = eficiência do detector

### **Etapa 3: Medida de Contaminação de Ar /31/**

Esta medida consiste em determinar a concentração de materiais radioativos em suspensão no ar (em Bq/m<sup>3</sup>, μCi/m<sup>3</sup> ou μCi/l) com os seguintes objetivos principais: (i) fornecer parâmetros para o cálculo da dose equivalente comprometida (dose interna) dos trabalhadores; (ii) avaliar as condições radiológicas das áreas para fins de classificação ou reclassificação das mesmas; (iii) avaliar as modificações radiológicas nas áreas, em especial nas áreas restritas, decorrentes das atividades executadas; (iv) avaliar a necessidade ou não de proteção respiratória, especificando em caso positivo, os tipos de equipamentos de proteção respiratória, bem como os filtros adequados para os respiradores tipo purificadores de ar.

Várias são as técnicas existentes para a determinação da concentração de radionuclídeos em suspensão no ar. O método mais simples consiste na amostragem de

ar, com amostradores de ar de alto fluxo, amostradores simuladores da respiração e/ou amostradores de baixo fluxo, nos quais um volume conhecido de ar é filtrado através de filtros de alta eficiência a uma taxa conhecida, por um tempo determinado. Estes amostradores podem possuir um sistema de seleção de diâmetros aerodinâmicos de partículas na faixa respirável (ciclones), durante toda a jornada de trabalho nas áreas restritas. As partículas ativas ficam depositadas sobre o filtro e as amostras coletadas, que visam representar o ar respirado pelos trabalhadores, são, então, contadas para a determinação da atividade retida no filtro, por uma das seguintes técnicas: radiometria alfa/beta total, com correção para auto-absorção e eficiência de retenção; espectrometria alfa; análise por ativação ou fluoroscopia de raios-X. A radiometria alfa/beta total é a mais rápida e, por isso em geral, a preferida. A eficiência destes métodos depende da capacidade do filtro de reter as poeiras microscópicas em suspensão no ar, do volume de ar amostrado e do sistema de medida da atividade.

O volume total amostrado depende da capacidade de carga do filtro, sendo função da quantidade total de material particulado em suspensão, e do limite de detecção do sistema empregado para análise do filtro, que é função do teor de material radioativo no particulado total. De uma análise preliminar da quantidade de particulado no ar e da atividade total no filtro, encontra-se o tempo de amostragem.

O ar que é retirado das áreas de operação por meio de um sistema de exaustão também deve ser monitorado continuamente, e o sinal do monitor pode ser utilizado para disparar um alarme quando um nível de radiação pré-determinado é atingido.

A concentração de atividade das partículas de material radioativo em suspensão no ar é calculada por:

$$C_{atividade} \text{ Bq/ m}^3 = \frac{(CT - BG) \cdot D}{V \cdot E \cdot R \cdot A \cdot S}$$

CT = taxa de contagem total do filtro em cps

BG = taxa de contagem do background em cps

D = fator para correção do decaimento da atividade do radionuclídeo durante a amostragem

V = volume de ar amostrado em m<sup>3</sup>

E = eficiência do sistema de contagem (%)

R = eficiência de retenção do filtro (%)

A = Fator de auto-absorção da radiação no filtro (%)

S = fator de correção para área útil do filtro

(a) Calcular o tempo de amostragem necessário, dependendo da quantidade de poeira na área:

$$Ta = \frac{V}{Vz}$$

Ta = tempo de amostragem em minutos

V = volume de ar que deve fluir através dos filtros em litros

Vz = vazão da bomba de amostragem do ar

NOTA: A vazão da bomba também depende da quantidade de poeira na área. O volume de ar que deve fluir através dos filtros, por sua vez, depende da vazão. Para bombas de amostragem de ar de alta vazão, por exemplo, este volume pode ser de 10000 litros e para bombas de baixa vazão pode ser de 1000 litros. O volume de ar a ser amostrado, entretanto, poderá ser reduzido de um fator 10 quando se tiver conhecimento de que o local a ser amostrado apresenta alto nível de concentração de material radioativo no ar.

(b) Efetuar a contagem referente a radiação do background, usando um filtro limpo, e determinar a taxa de contagem (em cps) por:

$$BG = \frac{\text{número de contagens}}{\text{tempo de contagem}}$$

(c) Determinar a eficiência do sistema de contagem (E) em % pela razão entre as contagens registradas no sistema de detecção pelos eventos fornecidos por uma fonte padrão (atividade na data de contagem):

$$E(\%) = \frac{\text{contagem média}}{A(\text{fonte padrão})}$$

NOTA: A atividade da fonte padrão deve ser corrigida para o dia da amostragem por:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

A = atividade da fonte corrigida para o dia da amostra

A<sub>0</sub> = atividade inicial da fonte

-λ = constante de desintegração do radionuclídeo da fonte

t = tempo decorrido do dia da atividade A<sub>0</sub> ao dia da amostragem

(d) Determinar a eficiência de retenção dos filtros (R) em % da seguinte maneira: (1º) Fazer amostragem de ar por um tempo t determinado utilizando 2 filtros em série; (2º) Proceder a contagem dos filtros no sistema de detecção seguindo o esquema: (a) Contagem do filtro interno colocado em série (CPS<sub>2</sub>); (b) Contagem do filtro externo colocado em série (CPS<sub>1</sub>); (3º) Com os resultados acima, calcular a eficiência de retenção dos filtros por:

$$E_R = 1 \frac{CPS_2}{CPS_1}$$

(e) Determinar o fator de Auto-Absorção (A) da radiação no filtro em % da seguinte maneira: (1º) Fazer uma amostragem de ar por um tempo t determinado, utilizando um filtro; (2º) Proceder as contagens do filtro no sistema de detecção, seguindo o esquema: (a) Contagem na face externa do filtro (N<sub>1</sub>); (b) Contagem na face interna do filtro (N<sub>2</sub>); (c) Contagem na face externa, tendo um filtro "virgem" idêntico intercalado entre a amostra e o detector (N<sub>3</sub>); (3º) Com os resultados acima, calcular o fator de Auto-Absorção dos filtros por:

$$A = \frac{2 N_1}{2 N_1 + N_2 N_3}$$

(f) Determinar o fator de correção para área útil do filtro por:

$$S = \frac{d_c^2}{d_u^2}$$

d<sub>u</sub> = diâmetro do filtro amostrado (diâmetro útil) em cm;

d<sub>c</sub> = diâmetro do filtro contado em cm.

(g) Determinar o fator para correção do decaimento da atividade de um radionuclídeo específico durante a amostragem (λ) por:

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

λ = constante de decaimento do radionuclídeo;

T<sub>a</sub> = tempo de amostragem;

T<sub>1/2</sub> = meia-vida física do radionuclídeo.

#### **4.8. Liberação da Área**

Uma vez terminada todas as medições de monitoração da área controlada, verificando-se que os níveis de dose retornaram aos valores do *background* local a área é liberada para seu uso normal.

### **5. CONCLUSÕES**

- Neste tipo de atuação, envolvendo grandes contingentes de autoridades e indivíduos do público em espaços fechados ou abertos, a sincronização de etapas e, em consequência, a comunicação, são pré-requisitos essenciais ao sucesso da operação.

- Os membros das Equipes de Proteção Radiológica devem manter, portanto, contato constante com as demais instâncias, do IRD/CNEN ou não, atualizando a troca de informações.

- No processo de tomada de decisões locais, deve ser utilizado bom senso para se definir quais se enquadram no nível de autonomia local e quais necessitam serem encaminhadas as instâncias superiores do IRD/CNEN.

- Manter em mente que alguns procedimentos passíveis de adoção irão contrariar o membro do público ou responsável pelos materiais retidos. Lembrar sempre o papel dos demais segmentos de segurança, na manutenção da integridade física dos membros das Equipes de Proteção Radiológica, e recorrer a eles, caso considere necessário.

- As atividades de varredura radiológica durante os jogos pan-americanos e alguns congressos e conferências internacionais realizados no Brasil até 2010 foram executados pelas Equipes da CNEN. A partir daí (nos 5º Jogos Mundiais Militares, Rio + 20, etc.) esta atividade vem sendo realizada pelas Equipes de DQBNR do Exército e da Polícia Federal, atuando as Equipes da CNEN apenas como Órgão de Apoio, para atuação caso seja constatada a existência de Fontes de Radiação nas áreas do Evento.

### **6. BIBLIOGRAFIA**

- /1/ Decreto nº 7.538, de 1º de agosto de 2011, que cria a Secretaria Extraordinária de Segurança para Grandes Eventos do Ministério da Justiça (SESGE/MJ).
- /2/ Lei Complementar nº 136, de 25 de agosto de 2010, que cria o Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas do Ministério da Defesa (EMCFA/MD).
- /3/ Secretaria Extraordinária para Segurança de Grandes Eventos, 2011c, p. 6-7.
- /4/ Companhia de Defesa Química, Biológica e Nuclear, 2012, p. 153.

- /5/ Silva, Carlos Alberto Ferreira; Amorim, Wilson de Melo: “Proposta para Estrutura de Segurança Radiológica e Nuclear da Copa das Confederações 2013”, IRD/CNEN, 2013.
- /6/ Oliveira Filho, Denizart Silveira: “Estabelecimento e Gerenciamento de um Ponto de Controle em casos de Emergências Radiológicas”: Apostila, IRD/CNEN, 1996.
- /7/ Oliveira Filho, Denizart Silveira: “Equipamentos de Proteção Individual utilizados em situações de Emergências Radiológicas e Nucleares”: livro, IRD/CNEN, 2002.
- /8/ IAEA – TECDOC – 1162 – Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency, Vienna, August 2000.
- /9/ PSE – Plano para Situações de Emergência, CNEN, Rio de Janeiro (Dezembro 1995).
- /10/ Norma CNEN-NN-3.01 – Diretrizes Básicas de Radioproteção
- /11/ IAEA – TECDOC – 1092 – Generic Procedures for Monitoring in a Nuclear or Radiological Emergency, Vienna, June 1999.
- /12/ Moraes, Aurélio: “Procedimento da Equipe de Controle Ocupacional de Operações”, IRD/CNEN, 1994.
- /13/ Hunt, John: “Procedimento de utilização de dosímetros individuais”, IRD/CNEN, 1994.
- /14/ Tauhata, Luiz e Almeida, Elizabeth - “Radiações Nucleares - Usos e Cuidados” IRD/CNEN – 1985.
- /15/ CNEN-NE.3.01: "Normas Básicas de Proteção Radiológica" - Resolução CNEN - 06/73.
- /16/ CNEN-NE.3.01 - “Diretrizes Básicas de Radioproteção” 1988
- /17/ Quintães, Lucia: “Procedimento de Descontaminação”; IRD/CNNEN; 1994.
- /18/ Hunt, John: “Descontaminação de Superfícies em Emergências”; NUCLEI, 1985.
- /19/ EUA – Department of Health – Education and Welfare Public Health Service – Radiological Health Handbook – GPO – 1970.
- /20/ IAEA – Monitoring of Radioactive Contamination on Surfaces – 1970 (Technical Report Series 120).
- /21/ IAEA – Manual on Decontamination of Surfaces – 1979 (Safety Series 48).
- /22/ Programas de proteção respiratória – recomendações: mining safety applines do BRASIL-MSA seleção e uso de respiradores-1995.
- /23/ Rodrigues dos Santos, Carlos Alberto: “Procedimento para Colocação e Remoção de Equipamentos de Proteção Individual” – PO\_AER\_4.1-07; IRD.
- /24/ Hunt, John; Nanni, Guilherme: “Procedimento de monitoração de pessoas”; IRD; 1989.
- /25/ IAEA-TECDOC-1992- Generic Procedures for Monitoring in a Nuclear or Radiological Emergency, Vienna.
- /26/ Belém, Lia: “Procedimento para Descontaminação de Pessoas” – PO-AER-4.1-08.
- /27/ Oliveira Filho, Denizart Silveira: “Procedimento para Gerenciamento de Rejeito em Caso de Acidente Radiológico” - PO-EAR-4.1-10; IRD; 2006.
- /28/ Procedimento para Gerenciar o resgate de uma Fonte Radioativo Perdida – PO-ERA-4.1-04; IRD/CNEN.
- /29/ Oliveira Filho, Denizart Silveira: “Procedimento para Monitoração de Área em Grandes Eventos”; IRD/CNEN; 2013.
- /30/ Ney, Cesar: “Procedimento de Monitoração de Área” 02/2005; IRD/CNEN; 2005.
- /31/ Oliveira Filho, Denizart Silveira: “Proteção Contra Irradiação Externa e Irradiação Interna” – Apostilas para curso de Radioproteção e Dosimetria – Furnas Centrais Elétricas S.A – 1997.