

Evelyn Pereira Martins Neri

**AÇÕES DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NO RECOLHIMENTO DE MATERIAL
RADIOATIVO DESCARTADO INDEVIDAMENTE**

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2017

T
574.19156
N445a

Neri, Evelyn Pereira Martins
Ações de proteção radiológica no recolhimento de material radioativo descartado
indevidamente / Evelyn Pereira Martins Neri / Rio de Janeiro: IRD/IAEA, 2017.

XIII, 65f.: il.; tab.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização (Lato Sensu) em Proteção Radiológica e
Segurança de Fontes Radioativas) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2017.

Referências bibliográficas: f. 44-48

1. Proteção Radiológica 2. Material Radioativo Descartado 3. Profissionais de Limpeza . I.
Título

Evelyn Pereira Martins Neri

**AÇÕES DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NO RECOLHIMENTO DE MATERIAL
RADIOATIVO DESCARTADO INDEVIDAMENTE**

Rio de Janeiro, 18 de Setembro de 2017.

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

Prof. Dr. Paulo Fernando L.Heilbron Filho – DIREJ/CNEN

M.Sc. Camila Moreira Araújo de Lima - MAXIM INDUSTRIAL

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter permitido que eu chegasse até aqui e por ter me dado forças para transpor todos os obstáculos que enfrentei. Agradeço ainda, por ter posto em meu caminho pessoas maravilhosas que ajudaram a superar momentos difíceis durante esta jornada.

Agradeço ao IRD por oferecer aos alunos um ensino de qualidade, pelos professores competentes e atenciosos, pela direção de ensino e secretaria dedicadas que sempre estão prontos para ajudar.

Agradeço ao professor Francisco Cesar pela atenção e dedicação que teve comigo, pelo apoio que me proporcionou durante a realização deste trabalho e por seus sábios conselhos.

Agradeço aos meus pais, Carlos e Lúcia, pelo carinho e apoio, por sempre acreditarem em mim e por me ensinarem o valor do trabalho.

Agradeço ao meu companheiro, Alexandro e sua mãe, Edinea por toda ajuda fornecida durante o curso.

Agradeço aos meus familiares e amigos por compreenderem os momentos em que estive ausente devido aos estudos.

Agradeço ao gerente de departamento Alberto Corrêa Balão, ao gerente adjunto Gilberto de Jesus, aos garis e toda a gerência de serviços oeste da COMLURB de Pedra de Guaratiba pela colaboração durante a entrevista para elaboração deste trabalho.

Agradeço aos colegas do Lato Sensu pelo companheirismo e pela ajuda durante o curso.

RESUMO

O Brasil possui, aproximadamente, 1729 instalações radiativas que usam fontes radioativas ou equipamentos geradores de radiação nos seus processos e são controladas pela CNEN através de Normas, autorizações e inspeções. Estas fontes radioativas são usadas em vários processos, como na área médica (radioterapia, medicina nuclear), na área industrial (medidor nuclear, gamagrafia, perfilagem de poços de petróleo, etc.). Por outro lado, materiais contaminados em atividades com fontes radioativas abertas; materiais radioativos utilizados para pesquisa e não reutilizáveis; para-raios radioativos e detectores de fumaça fora de uso; NORM de petróleo e gás; etc., algumas vezes são descartados e encontrados em locais inadequados, tal como, lixões, lixo industrial, ruas, praças, etc., podendo, assim, serem encontrados por profissionais de limpeza sem o devido treinamento em proteção radiológica para o manuseio. Este trabalho apresenta as ações de proteção radiológica necessárias para a identificação e recolhimento de material radioativo visando prevenir a exposição desnecessária dos profissionais de limpeza. As ações estão baseadas nos princípios, guias e normas de proteção radiológica. De acordo com o tipo de material radioativo as principais ações de proteção radiológica são, entre outras: reconhecimento de um material radioativo; uso correto de equipamento de proteção individual para conter possível contaminação radiológica; uso de um monitor de radiação; implementação de um controle de área; etc. Para que as ações de proteção radiológica, na identificação e recolhimento de material radioativo descartado, sejam eficazes há necessidade de implementar um programa de treinamento em proteção radiológica para os profissionais de limpeza urbana de maneira que não se exponham desnecessariamente até a chegada de um perito em proteção radiológica da CNEN que providencie o recolhimento seguro deste material.

Palavras-chave: Proteção radiológica; material radioativo descartado; profissionais de limpeza.

ABSTRACT

Brazil has approximately 1729 radiative facilities that use radioactive sources or radiation generating equipment in their processes and are controlled by CNEN through Standards, Authorizations and Inspections. These radioactive sources are used in various processes, such as in the medical field (radiotherapy, nuclear medicine), in the industrial area (nuclear gauge, gamma radiography, well oil petroleum, etc.). On the other hand, materials contaminated in activities with open radioactive sources; radioactive materials used for research and not reusable; radioactive lightning rods and smoke detectors out of use; NORM oil and gas; etc., are sometimes disposed of and found in unsuitable places, such as garbage dumps, industrial waste, streets, squares, etc., and can therefore be found by street cleaner without adequate training in radiological protection for handling. This work presents the radiation protection actions necessary for the identification and collection of radioactive material in order to prevent unnecessary exposure of street cleaner. The actions are based on the principles, guidelines and standards of radiological protection. According to the type of radioactive material the main actions of radiation protection are, among others: recognition of a radioactive material; correct use of personal protective equipment to contain possible radiation contamination; use of a radiation monitor; implementation of an area control; etc. In order for radiological protection actions in the identification and collection of discarded radioactive material to be effective, there is a need to implement a training program in radiation protection for street cleaner so that they are not exposed unnecessarily until a CNEN radiological protection expert arrives of to ensure the safe recovery of this material.

Keywords: Radiation protection; Discarded radioactive material; Street Cleaner.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
2. DESENVOLVIMENTO.....	3
2.1. A limpeza urbana.....	3
2.1.2. Cenário de resíduos sólidos no Rio de Janeiro.....	4
2.2. Inventário de instalações radiativas controladas pela CNEN.....	7
2.2.1. Fontes radioativas.....	9
2.2.2. A categorização de fontes e práticas.....	14
2.2.3. Identificar materiais radioativos pelo embalado e seu transporte.....	16
2.3. Notícias envolvendo eventos anormais com material radioativo.....	18
2.4. Trajeto de um material radioativo como se fosse um resíduo comum.....	23
2.5. Os principais conceitos relacionados à proteção radiológica, relacionados ao descarte de material radioativo.....	25
2.5.1. Rejeitos radioativos.....	28
2.6. Recomendações internacionais, a legislação e regulamentação brasileiras sobre descarte de material radioativo.....	32
3. METODOLOGIA.....	35
4. RESULTADOS.....	37
5. CONCLUSÃO.....	42
6. RECOMENDAÇÕES.....	43
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXOS.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Inventário das instalações radiativas autorizadas no Brasil.....	8
Tabela 2: Principais Radionuclídeos utilizados na indústria e na medicina.....	11
Tabela 3: Categorização de práticas segundo a IAEA.....	15
Tabela 4: Categorias de embalados.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Divisão da origem do lixo na cidade do Rio de Janeiro em 2014.....	5
Figura 2: Divisão do lixo domiciliar coletado no Rio de Janeiro em 2014.....	6
Figura 3: Garis em serviço.....	7
Figura 4: Esquema da divisão das instalações radiativas no Brasil.....	9
Figura 5: Símbolo internacional da radiação ionizante.....	10
Figura 6 - A: Irradiador para gamagrafia THECH OPS.....	12
Figura 6 - B: Irradiador para gamagrafia. GAMMAMAT.....	12
Figura 7: Porta fontes utilizados em gamagrafia.....	13
Figura 8: Medidor nuclear de densidade de solo portátil.....	14
Figura 9: Etiquetas de embalados.....	17
Figura 10: Sinalização de veículos e contêineres.....	18
Figura 11: Notícia de medidor nuclear roubado.....	19
Figura 12: Notícia de medidor nuclear recuperado.....	19
Figura 13: Notícia de material radioativo encontrado no lixo.....	20
Figura 14: Notícia sobre carro com material radioativo roubado no Rio de Janeiro.....	21
Figura 15: Notícia sobre para-raios radioativo encontrado em obra no DF.....	22
Figura 16 – A: Um modelo de para-raios radioativo comercializado no Brasil.....	23
Figura 16 – B: Para-raios radioativo recuperado do lixo.....	23
Figura 17: Fluxograma do trajeto do lixo até a disposição final.....	24
Figura 18: Depósito provisório de rejeitos radioativos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).....	31

Figura 19: Classificação das ações de proteção radiológica no recolhimento de material radioativo descartado..... 38

LISTA DE ABREVIATURAS

A/D - Activity / Dangerous.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear.

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

EW - Exempt waste.

HLW - High level waste.

IOE - Indivíduo ocupacionalmente exposto.

IAEA - International Atomic Energy Agency.

ILW - Intermediate level waste.

IRD - Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

IT – Índice de transporte.

LLW - Low level waste.

mRem/h – miliRem por hora.

mSv/h – miliSievert por hora.

keV – Quiloelétron-Volt.

kW/m³ – quilowatt por metro cúbico.

NORM - Naturally occurring radioactive material.

RAN - Rejeitos de Alto Nível de Radiação.

RBMN - Rejeitos de Baixo e Médio Níveis de Radiação.

RBMN-RN - Rejeitos Contendo Radionuclídeos Naturais.

RBMN-VC - Meia-Vida Curta.

RBMN-VL - Rejeitos de Meia-Vida Longa.

RCC - Resíduos de construção civil.

RI - Rejeitos Isentos.

RSS - Resíduos de serviços de saúde.

RVMC - Rejeitos de Meia-Vida Muito Curta.

VLLW - Very low level waste.

VSLW - Very short lived waste.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios atuais é estabelecer o local ideal para descarte e a disposição final de resíduos. Com o aumento da população, demanda uma maior produção de lixo. Com isso, a cidade do Rio de Janeiro possui a maior empresa pública de limpeza urbana da América Latina, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) cujas suas atividades vão desde a coleta de lixo domiciliar até a sua disposição final, incluindo a limpeza de áreas públicas, logradouros e hospitais municipais. Estas atividades são executadas por profissionais de limpeza urbana, os garis.

Estão se tornando frequentes notícias a respeito de materiais radioativos extraviados que foram encontrados descartados em locais inapropriados e assim terminarem em lixões, terrenos baldios ou até mesmo nas ruas. Por exemplo, medidores de densidade nuclear furtados de caminhões durante seu transporte, carros contendo fontes radioativas que foram roubados e localizados em comunidades, para-raios radioativos encontrados em canteiros de obras, embalagens de radionuclídeos utilizados em medicina nuclear encontradas na rua.

Sendo assim, caso um profissional de limpeza urbana encontre um material radioativo durante suas atividades de trabalho, se não tiver conhecimento, é provável que se exponha a radiação, se contamine ou ainda, que afete toda uma comunidade. É de extrema importância que esse profissional seja orientado a proceder de maneira segura quando se deparar com esta situação.

No Brasil há 1729, aproximadamente, instalações radiativas autorizadas em atividade que utilizam fontes radioativas e geradores de radiação. Sua maioria está localizada na região sudeste do país. São várias fontes com diferentes características físicas, químicas e radiológicas utilizadas nestas instalações e das diversas práticas dentro da indústria e da medicina.

O cuidado com o descarte de materiais radioativos não deve ser negligenciado para evitar que estes sejam descartados em locais inapropriados como ruas, praças ou canteiros de obras e se tornem um perigo quanto à contaminação e à exposição para quem os encontrar. Além disso, que sigam o

caminho de um resíduo comum e serem dispostos em aterros sanitários, oferecendo um grande risco ao meio ambiente e às pessoas.

Recomendações internacionais e legislações brasileiras devem ser seguidas visando proteger o homem e o meio ambiente dos efeitos nocivos da radiação ionizante, incluindo o descarte destes materiais.

Baseado nos conceitos de proteção radiológica relacionados ao descarte de materiais radioativos, este trabalho descreve ações a serem realizadas por profissionais da limpeza urbana ao se depararem com estes materiais durante suas atividades de trabalho.

1.1 Objetivo

Apresentar as ações de proteção radiológica necessárias para a identificação segura de material radioativo a ser realizado pelos profissionais de limpeza urbana. As ações estão baseadas nos princípios, guias e normas de proteção radiológica.

1.2 Objetivos específicos

Demonstrar a necessidade de implementar um treinamento em proteção radiológica para os profissionais de limpeza urbana.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. A Limpeza Urbana

Com o aumento da população, demanda uma maior produção de lixo e torna-se um desafio estabelecer o local ideal para a disposição final de resíduos. Sendo a limpeza urbana de extrema importância tanto para a saúde do homem quanto para o meio ambiente é cada vez mais necessária a preocupação com a disposição adequada de resíduos (JACOBI, 2011).

Quando os resíduos são descartados irregularmente na natureza podem poluir o solo, afluentes, o ar e contribuir para o aumento da população de vetores de transmissores doenças que afetam diretamente as pessoas o meio em que vivem (CUNHA, 2002).

A separação de resíduos somente tornou-se realidade a partir do fim do século XIX, com a percepção da necessidade de afastar o produto das atividades humanas que não tinha utilidade. Esse processo de separação do lixo é chamado de segregação. A destinação adequada do lixo é um reflexo da civilização humana ao longo dos anos (EIGENHEER, 2009). Quando realizada de maneira eficaz, a segregação torna possível a reciclagem e a reutilização de uma parte do lixo inerte; e o que não pode ser reciclado é destinado a sua disposição final com um volume reduzido (FONSECA, 2009).

Quando se fala em lixo, deve-se ressaltar que o mesmo passa por algumas etapas entre sua geração e a disposição final adequada. Estas etapas estão incluídas no gerenciamento de resíduos sólidos. Primeiramente, os resíduos são gerados a partir de tudo o que não tem mais utilidade e é desprezado pelo ser humano. Os resíduos gerados são, então, acondicionados em sacos plásticos, tambores, contêineres, etc. com a intenção de facilitar a sua coleta. Os resíduos contaminados devem ser separados dos resíduos não contaminados e essa segregação deve ser realizada onde são gerados. Por exemplo, os resíduos hospitalares, radioativos ou químicos devem ser separados dos demais e terem disposição final de forma especial para cada caso (CUNHA, 2002).

Geralmente, a coleta é feita utilizando caminhões que possuem um sistema de compactação do lixo. São, então, destinados aos centros de

tratamento de resíduos, às estações de transferência ou transbordo ou para sua disposição final. A coleta é realizada respeitando a separação dos resíduos considerados perigosos ou inertes. Ou seja, os resíduos perigosos são separados para receber sua destinação adequada, de maneira, a não causar impactos ambientais negativos. Grande parte dos resíduos comuns pode ser tratada pelo processo de compostagem, que consiste na produção de adubo a partir de matéria orgânica. Outros tipos de resíduos podem ser reaproveitados através da reciclagem. O que não pode ser reaproveitado é destinado lixões ou aterros sanitários. Alguns resíduos perigosos devem ser incinerados. Enquanto outros devem ser tratados de forma especial, como os rejeitos radioativos (CUNHA, 2002).

2.1.2. Cenário de resíduos sólidos no Rio de Janeiro

A cidade do Rio de Janeiro possui a maior empresa pública de limpeza urbana da América Latina, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB). As atribuições da COMLURB vão desde a coleta de lixo domiciliar até a sua disposição final, incluindo a limpeza de áreas públicas, logradouros e hospitais municipais (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2017).

A lei de Limpeza Urbana da cidade do Rio de Janeiro classifica os resíduos sólidos em urbanos e especiais. Os resíduos urbanos compreendem o lixo domiciliar; bens inservíveis, resíduos de manutenção de jardins e poda e entulho de pequenas obras de habitação familiar, lixo público proveniente da limpeza de ruas, espaços públicos e eventos realizados em áreas públicas; excrementos de animais em logradouros; e tipos de resíduos tidos como domiciliares desde que respeitando o limite diário de cento e vinte litros ou sessenta quilogramas (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2017b).

Os resíduos sólidos especiais englobam o lixo extraordinário, que excede o limite diário de cento e vinte litros e sessenta quilogramas; lixo perigoso o qual atribui riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente; lixo infectante; lixo químico; lixo radioativo, composto ou contaminado por substâncias radioativas; lamas e lodo com umidade inferior a 70% oriundos de

esgoto sanitário; material de embalagem de objeto utilizado para sua proteção e/ou transporte que possa gerar riscos de contaminação do meio ambiente; outros tipos de resíduos que não sejam classificados como resíduos urbanos (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2017b).

Para o gerenciamento dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro, a COMLURB elaborou um plano de gestão integrada com diferentes etapas de “atenção ao lixo” cujos objetivos são proteger a saúde da população e meio ambiente em que vivem; incentivar a reciclagem e a recuperação dos resíduos para proporcionar sua reutilização e, dessa maneira reduzir o volume dos resíduos produzidos; encaminhar os resíduos para uma disposição final ecologicamente correta, utilizando técnicas para geração de energia produzida através dos gases provenientes da decomposição do lixo orgânico; definir as responsabilidades da sociedade e do setor privado quanto o gerenciamento dos resíduos sólidos e dos objetivos desta gestão como impactos positivos para o meio ambiente (COMLURB, 2015).

No Rio de Janeiro, os resíduos de origem domiciliar e pública ultrapassaram 80% de todo resíduo coletado na cidade em 2014, como demonstra a figura 1. Dentre os resíduos domiciliares, mais de 41% eram recicláveis como ilustrado na figura 2 (COMLURB, 2015).

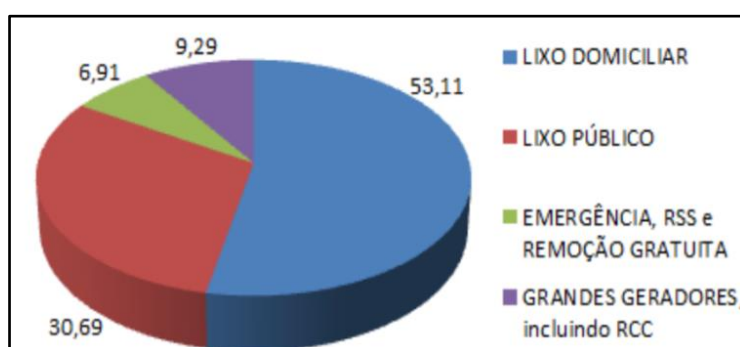


Figura 1: Divisão da origem do lixo na cidade do Rio de Janeiro em 2014. Fonte: COMLURB, 2015.

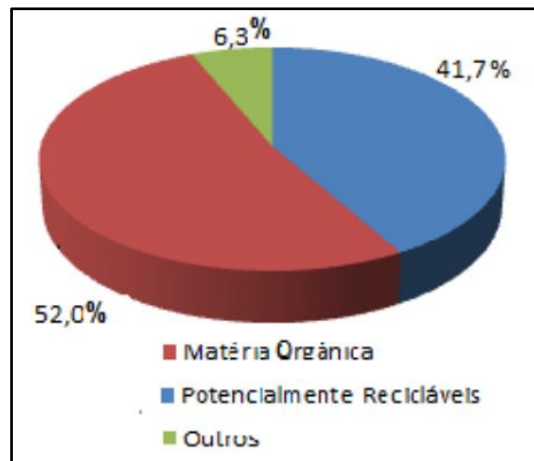


Figura 2: Divisão do lixo domiciliar coletado no Rio de Janeiro em 2014. Fonte: COMLURB, 2015.

A COMLURB repassa o resíduo coletado para a empresa Ciclus que é responsável por destinar este resíduo para a sua disposição final, após a transferência do lixo dos caminhões compactadores para uma carreta. A empresa Ciclus possui licenciamento ambiental para receber e tratar resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro e outras cidades do estado (COMLURB, 2015).

Neste cenário estão inclusos os profissionais de limpeza urbana, conhecidos como garis. Os garis são responsáveis por executar a varrição, capinação, raspagem de terra em logradouros; a limpeza das areias de praias; a coleta de lixo; a limpeza em hospitais, entre outras. A figura 3 mostra garis realizando o serviço de coleta de lixo (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2017a).



Figura 3: Garis da COMLURB em serviço. Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro, 2017 (adaptado).

Dentre todo tipo de resíduos desprezados em lixões, terrenos baldios ou até nas ruas pode haver lixo doméstico, industrial e, até mesmo, materiais radioativos. Notícias sobre materiais radioativos encontrados, nas ruas, canteiros de obras, em lixões, entre outras têm sido divulgadas com frequência.

No caso de um gari encontrar um material radioativo durante suas atividades de trabalho, se não tiver conhecimento do que está manipulando, é provável que se exponha a radiação, se contamine ou ainda, que afete toda uma comunidade. Por isso, é de extrema importância que esse profissional seja orientado a proceder de maneira segura quando se deparar com esta situação.

2.2. Inventário de instalações radiativas controladas pela CNEN.

Instalação radiativa é todo espaço físico onde entidade, legalmente licenciada, processe, produza, utilize, distribua ou armazene fontes radioativas (CNEN, 2015).

No Brasil, o licenciamento das instalações radiativas é autorizado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) através de suas regulações. As instalações radiativas são classificadas de acordo com o tipo de prática que executam. A CNEN é responsável desde a aprovação do local escolhido para situar a instalação até a retirada de operação e descomissionamento da

mesma, incluindo transporte das fontes. Este controle é feito com inspeções tendo como base os seus regulamentos técnicos sobre segurança física e radiológica das fontes e instalações (TAUHATA, 2014).

Segundo a CNEN, atualmente, há um total de 1729 instalações radiativas principais que utilizam radionuclídeos autorizadas e estão relacionadas na tabela 1 (CNEN, 2017a).

Tabela 1: Inventário das instalações radiativas autorizadas no Brasil.

Tipo de Instalações	Quantidade
Consultório de Betaterapia	1
Irradiação de Sangue	15
Medicina Nuclear	435
Produção de Radioisótopos (Ciclotron)	10
Radiofarmácia	2
Radioimunoensaio	11
Radioterapia	239
Irradiação por Equipamento Gerador de Radiação	13
Irradiador por fonte	4
Medidores Nucleares – Controle de processos	474
Medidores Nucleares – Sistemas Portáteis	20
Perfilagem de Poços	13
Radiografia Industrial	81
Técnicas Analíticas	60
Traçadores Radioativos Industriais	2
Inspeção Corporal	42
Laboratório de Pesquisa	205
Armazenamento de Fontes	1
Distribuição de Dispositivo com Fonte Incorporada Selada	9
Distribuição de Equipamentos Geradores de Radiação	2
Distribuição de Fontes	1
Desmontagem de Para-Raios	1
Inspeção de Bagagem e Contêineres	55
Laboratório de Calibração de Instrumentos	4

Laboratório de Monitoração Individual	5
Manutenção de Equipamentos Emissores	23
Materiais contaminados	1
Total	1729

Fonte: CNEN, 2017a.

Das instalações relacionadas na tabela acima, aproximadamente, 1005 estão localizadas na região Sudeste do país, o que representa cerca de 58% do total e o restante delas está distribuído entre as regiões Norte, Nordeste, Sul e Centro-Oeste (CNEN, 2017a). A figura 4 representa esta divisão.

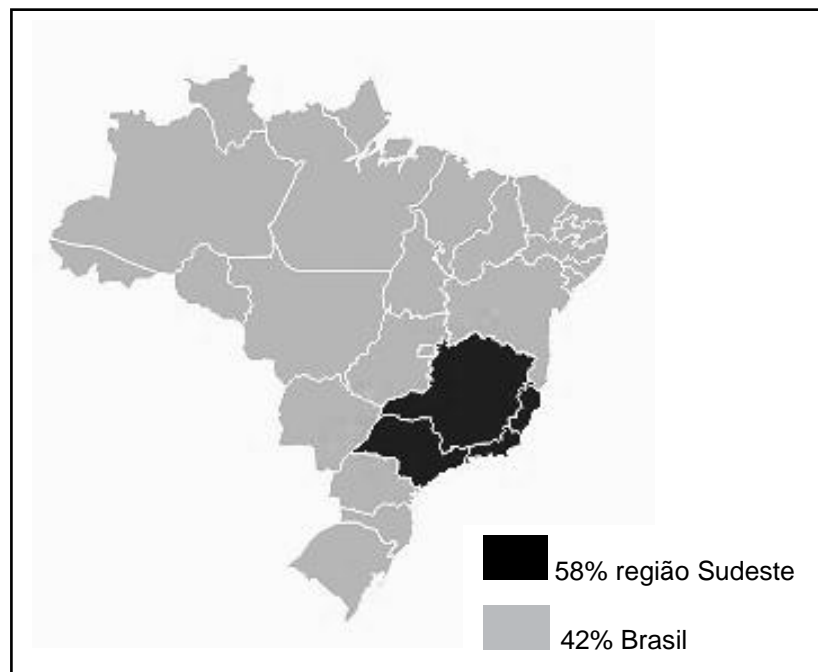


Figura 4: Instalações radiativas no Sudeste e no Brasil. Fonte: CNEN, 2017a.

2.2.1. Fontes radioativas

A definição de fonte radioativa é todo material ou equipamento que tenha a capacidade de emitir ou gerar energia na forma de radiação ionizante ou ainda, liberar substâncias radioativas (CNEN, 2015).

Algumas fontes de radiação somente são geradas quando ligadas à tensão. Outras são conhecidas como radioisótopos ou radionuclídeos devido

aos elementos radioativos que as forma e emitem radiação continuamente (TAUHATA, 2014).

Radionuclídeos podem ocorrer espontaneamente na natureza ou serem produzidas artificialmente. A presença de radiação ionizante é indicada pelo trifólio, um símbolo internacionalmente reconhecido e fácil de ser identificado (TAUHATA, 2014). A figura 5 ilustra o trifólio.



Figura 5: Símbolo internacional da radiação ionizante. Fonte: TAUHATA, 2014.

Os radioisótopos naturais são os que existem naturalmente na natureza. São gerados a partir de raios cósmicos e da formação da crosta terrestre. Por exemplo, o Carbono-14, o trítio e Berílio-7 são de origem cosmogênica; enquanto o Potássio-40, o Tório-232, o Urânio-238 e o Urânio-235, além de suas famílias radioativas são integrantes da composição da crosta terrestre. O Urânio-238 é mais frequente na natureza, com cerca de 99,28% e, o Urânio-235, com 0,7% (TAUHATA, 2014).

O Iodo-131 é um tipo de fonte artificialmente produzida em reatores nucleares através da fissão do núcleo de outros elementos. Ainda há o cobalto-60, o césio-137 e o plutônio-239, entre outros. (MAZZILLI, 2002).

Quando um isótopo apresenta instabilidade em seu núcleo, emite energia na forma de radioatividade para alcançar a estabilidade, ele é denominado radioisótopo. Essa emissão ocorre, principalmente, como decaimentos das radiações alfa, beta ou gama (FARRACHO, 2011).

Cada radioisótopo tem um tempo determinado para que ocorra o decaimento da sua atividade. E o tempo necessário para que a atividade ou a

quantidade de átomos de um radioisótopo decaia pela metade é chamada meia-vida ($T_{1/2}$). Além da meia-vida, existem outras características que o definem como o tipo de radiação que emite ao se desintegrar; a energia da radiação emitida, além de sua forma física, o grau de toxicidade, entre outros fatores (TAUHATA, 2014).

Os radioisótopos ou fontes de radiação podem se aplicadas na medicina, na indústria, em pesquisas, na área nuclear, entre outras. Neste estudo serão abordadas as principais fontes de radiação utilizadas na medicina e indústria (TAUHATA, 2014). Os principais radioisótopos utilizados na indústria e na medicina são relacionados na tabela 2.

Tabela 2: Principais Radionuclídeos utilizados na indústria e na medicina.

Radionuclídeo	Meia-vida ($T_{1/2}$)	Tipo de emissão	Energia dominante (keV)	Aplicação	Toxicidade
Americío-241	433 anos	α	5486	Indústria	Muito alta
Césio-137	30,2 anos	γ/β	662/512	Indústria/Medicina	Relativa
Cobalto-60	5,27 anos	γ/β	1173 e 1333/318	Indústria/Medicina	Alta
Criptônio-85	10,7 anos	β	687	Indústria	Baixa
Estrôncio-90	28,2 anos	β	2284 e 546	Indústria/Medicina	Alta
Iodo-125	59,9 dias	γ	114	Indústria/Medicina	Alta
Iodo-131	8,0 dias	γ/β	365/606	Indústria/Medicina	Alta
Iródio-192	73,8 dias	γ	317	Indústria/Medicina	Alta
Molibdênio-99	2,75 dias	γ/β	141/1214	Medicina	Relativa
Polônio-210	138,4 dias	α	530	Indústria	Muito alta
Rádio-226	1600 anos	α	4784	Indústria	Muito alta
Tálio-201	3,04 dias	γ	167	Medicina	Relativa
Tálio-204	3,8 anos	β	763	Indústria	Alta
Tecnécio-99m	6,0 horas	γ	141	Medicina	Baixa
Trício (Trítio)	12,3 anos	β	19	Indústria/Medicina	Baixa

Fonte: CNEN, 1996 (adaptado).

As práticas mais empregadas na medicina são a radioterapia e medicina nuclear. A radioterapia consiste em entregar altas doses de radiação ionizante de forma precisa para obter a cura ou palição de tumores benignos ou malignos e de algumas doenças funcionais e ao mesmo tempo poupar as células sadias adjacentes; pode ser realizada através de fontes de raios X, fontes radioativas ou partículas pesadas (SALVAJOLI, 2013).

Na medicina nuclear utilizam-se fontes não seladas, *in vivo*, no paciente com o objetivo diagnóstico ou terapêutico, onde são contadas as radiações emitidas pelo radiofármaco administrado (TAUHATA, 2014).

Na indústria, estas fontes podem ser aplicadas na radiografia industrial, na perfilagem de poços de petróleo, medidores nucleares, entre outros.

A radiografia industrial é um ensaio não destrutivo que tem o objetivo detectar discontinuidades em peças metálicas como tubulações ou estruturas de concreto, por exemplo. Ela avalia a qualidade do material ensaiado sem danificá-lo através de imagens geradas por raios x ou raios gama (TAUHATA, 2014). As imagens 6-A e 6-B ilustram dois tipos de irradiadores de gamagrafia.



Figura 6-A: Irradiador para gamagrafia TECH OPS. Fonte: Laboratório de Indústria IRD, 2017.

Figura 6-B: Irradiador para gamagrafia GAMMAT. Fonte: Laboratório de Indústria IRD, 2017.

A gamagrafia também é conhecida como gamagrafia quando utiliza radiação gama (TAUHATA, 2014). Na imagem 7, alguns tipos de porta-fontes

utilizados em irradiadores de gamagrafia cuja sua dimensão é aproximada a de uma caneta.



Figura 7: Porta fontes utilizados em gamagrafia. Fonte: Laboratório de Indústria do IRD, 2017.

Na perfilagem de poços de petróleo, fontes de radiação são aplicadas para estudo de densidade e a porosidade das camadas rochosas em um poço e analisa os tipos de substâncias nele existentes, para averiguar a presença de petróleo e gás (CARVALHO, 2015).

Os medidores nucleares são utilizados na indústria para determinar o nível, a densidade ou a espessura de objetos produzidos como nível de refrigerantes em latas ou a densidade e espessura de um caderno. Podem ser ainda utilizados para medir a densidade de solo na construção de estradas (IRD, 2017). A figura 8 é a foto de um modelo de medidor nuclear de densidade de solo portátil.



Figura 8: Medidor nuclear de densidade de solo portátil. Fonte: Laboratório de Indústria do IRD, 2017.

2.2.2. A categorização de fontes e práticas

A Agência Internacional de Energia Atômica ou IAEA - International Atomic Energy Agency identificou uma grande necessidade em atribuir categorias diferentes às práticas e/ou fontes radioativas empregadas. Segundo o TEC DOC 1344 da IAEA, foram considerados, para isto, fatores com o tipo de prática, a periculosidade da fonte em relação à saúde das pessoas, a atividade e histórico de acidentes da fonte/prática, propriedades químicas e físicas e a meia-vida.

O objetivo desta categorização consiste em disponibilizar condições harmônicas de âmbito internacional para uma tomada decisão visando o risco envolvido nas práticas com fontes de radiação. Serve como instrumento para aplicação dos aspectos regulatórios aos processos de notificação, registro, licenciamento e inspeções pelos órgãos nacionais reguladores bem como o controle de importação e exportações e a formulação do inventário nacional de fontes radioativas. Além de ser de grande valia na adoção de níveis de medidas de seguranças a serem aplicados em instalações e em respostas a emergências, visto que, estas devem ter a mesma proporção da categorização da fonte envolvida (IAEA, 2003).

De maneira geral, foi considerada a razão A/D, onde A é a atividade de uma fonte radioativa e D (Dangerous) é o fator de periculosidade desta fonte. De acordo com a razão A/D, as práticas e fontes são classificadas em 5 categorias, onde a 1 é a mais perigosa e a 5, menos perigosa. Cada radioisótopo apresenta um valor D que representa numericamente, o potencial de dano. A categorização baseada nas práticas é mostrada na tabela 3 (IAEA, 2003).

Tabela 3: Categorização de práticas segundo a IAEA.

Categoria	Categorização de práticas comuns¹	Razão A/D²
1	Geradores termoelétricos de radioisótopos (RTGs); Irradiadores; Teleterapia fixa, teleterapia de feixes múltiplos (<i>Gamma Knife</i>).	$A/D \leq 1000$
2	Gamagrafia industrial; Braquiterapia de taxa de dose alta / média.	$1000 > A/D \geq 10$
3	Medidores industriais fixos: - indicadores de nível; - medidores de draga; - Medidores de transporte que contenham fontes de alta atividade; - medidores de tubos de montagem; Medidores de corte.	$10 > A/D \geq 1$
4	Braquiterapia com baixa taxa de dose (exceto placas oculares e fontes de implantes permanentes); Medidores de nível de espessura / preenchimento; Medidores portáteis (por exemplo, medidores de umidade / densidade); Densitômetros ósseos; Eliminadores estáticos.	$1 > A/D \geq 0.01$
5	Plaquetas de olho de braquiterapia de baixa dose e fontes de implantes permanentes; Dispositivos de fluorescência de raios X; Dispositivos de captura de elétrons; Espectrometria de Mossbauer Verificação de Tomografia de Emissão de Positron (PET).	$0.01 > A/D \geq \text{Isentas}^3/D$

Fonte: IAEA, 2003 (adaptado).

¹ Reconhecendo que fatores que não sejam A / D foram levados em consideração [...].

² Esta coluna pode ser usada para determinar a categoria de uma fonte, baseada apenas em A/ D. Isso pode ser apropriado se, por exemplo: a uma prática que não é conhecida ou não está listada; As fontes que têm uma meia-vida curta e /ou não são seladas; Ou as fontes são agregadas [...]

³ As quantidades isentas são fornecidas no apêndice do documento TECDOC – 1344 da IAEA.

O sistema de categorização tem como base o potencial que as propriedades e o tipo de uso de fontes radioativas têm para gerar danos determinísticos à saúde do homem. Para isso, foram considerados cenários como uma fonte não blindada sendo carregada na mão por uma hora, no bolso por dez horas ou ser mantida em um quarto por dias a semanas. Outro cenário considerado foi a dispersão de uma fonte por incêndio, explosão ou ação humana, gerando uma dose por inalação, ingestão ou contaminação da pele.

2.2.3. Identificar materiais radioativos pelo embalado e seu transporte

Para que materiais radioativos sejam transportados de maneira segura é necessário que obedecem as especificações para transportes do controle regulatório como a embalagem e sua sinalização, além da sinalização do veículo que será utilizado para este fim. Estas especificações devem ser seguidas por quaisquer modalidades de transportes, sejam terrestres, aéreos ou aquáticos (TAUHATA, 2014).

A embalagem contendo o material radioativo é chamada de embalado e deve ser projetada para evitar que este material interaja com o meio ambiente durante o transporte normal ou em caso de acidente dentre outros aspectos (TAUHATA, 2014).

A Organização das Nações Unidas (ONU), através de sua classificação internacional de produtos perigosos, rotula materiais radioativos como sendo classe 7 (TAUHATA, 2014).

Além da classe 7 da ONU, o embalado deverá conter na etiqueta a cor referente a sua categoria de acordo com o potencial de risco que oferece relacionado com a taxa de dose que apresenta na sua superfície e o índice de transporte, que representa o valor máximo de taxa de dose a um metro da superfície do embalado. As categorias de embalados são demonstradas na tabela 3 (TAUHATA, 2014).

Tabela 4: Categorias de embalados.

Índice de transporte (IT) (mRem/h)	Nível Máximo de Radiação (NMR) na Superfície Externa do Embalado (mSv/h)	Categoria
IT = 0	NMR < 0,005	I – BRANCA
0 < IT ≤ 1	0,005 < NMR ≤ 0,5	II – AMARELA
1 < IT ≤ 10	0,5 < NMR ≤ 2	III – AMARELA
IT < 10	2 < NMR ≤ 10	III – AMARELA USO EXCLUSIVO

Fonte: TAUHATA, 2014 (adaptado).

As cores das etiquetas são, internacionalmente, padronizadas e estão representadas na figura 9.



Figura 9: Etiquetas de embalados. Fonte: TAUHATA, 2014.

O veículo rodoviário utilizado no transporte deve ser identificado com placas fixadas em suas duas laterais e traseira como classe 7 e possuir o símbolo internacional da radiação ionizante. No caso de contêineres, as placas de identificação deverão ser afixadas em suas quatro faces (TAUHATA, 2014). A placa de identificação de veículos e contêineres padronizada internacionalmente é ilustrada na figura 10.



Figura 10: Sinalização de veículos e contêineres. Fonte: TAUHATA, 2014.

2.3. Notícias envolvendo eventos anormais com material radioativo

Muitos fatos de materiais radioativos roubados ou perdidos foram divulgados através de meios de comunicação tanto no Brasil como no exterior e que reapareceram descartados de forma inapropriada ou abandonados. Ou ainda, evidências de rejeitos que não foram descartados corretamente. A seguir, serão narrados alguns destes casos.

Caso 1: Em La Serena, no Chile, um medidor de densidade nuclear foi roubado em 13 de abril de 2016. Este medidor da marca Troxler, modelo 3430 e número de série 60651, e apresentava uma fonte radioativa de Césio-137 e outra de Amerício-241/Berílio como mostra a figura 11 (Jornal Publimetro, 2017). Porém, este dispositivo foi localizado após dois meses de investigação e antes que ocorressem acidentes com as fontes contidas neste equipamento (Biobiochile, 2017). A figura 12 ilustra esta notícia.

PDI procurando densitômetro nuclear perigoso roubado em La Serena

Esta é uma marca Troxler medidor de densidade nuclear, modelo 3430, amarelo, número de série 60651, roubado da empresa Euroconsult em 13 de abril e desde então não houve qualquer registro de seu paradeiro.



Por: Aton Chile

© 3 de junho de 2017 / 11:58 hrs.

Figura 11: Notícia de medidor nuclear roubado. Fonte: JORNAL PUBLIMETRO, 2017.

Domingo 18 de junho de 2017 | Publicado às 00:24 (CHI) - 01:24 (MAG)

A polícia recuperou uma construção medidor de densidade nuclear roubado em La Serena



Carabineros de Chile



3066 Visualizações

URL curta: <http://rbb.cl/h4o9>

Publicado por Christian Leal

Figura 12: Notícia de medidor nuclear recuperado. Fonte: BIOBIOCHILE, 2017.

Caso 2: Uma embalagem de iodeto de sódio utilizada na medicina nuclear, jogada no lixo comum foi encontrada na rua. A área foi isolada pelos bombeiros enquanto aguardavam a chegada de técnicos da CNEN. Como mostra a figura 13 (G1, 2017a).



Figura 13: Notícia de material radioativo encontrado no lixo. Fonte: G1, 2017a.

Caso 3: Uma fonte de criptônio-85 emissora de radiação beta de um medidor de densidade. O medidor deixou de ser utilizado e ficou guardado durante oito anos até que foi decidido pela retirada da fonte do medidor para aguardar o seu transporte para um local adequado. Porém, os procedimentos para realizar a disposição da fonte demoraram cerca de três anos. Finalmente, quando pôde ser transportada, a fonte não foi localizada. Posteriormente, foram realizadas investigações que constataram que o destino provável desta

fonte foi um aterro sanitário. Esta fonte nunca pôde ser encontrada. Não foi possível determinar as doses recebidas pelas pessoas que fizeram a remoção da fonte para o lixo e das pessoas que trabalham no aterro sanitário (Othea Relir, 2017).

Caso 4: Um carro que continha um irradiador de gamagrafia com uma fonte selênio-75 foi roubado no Rio de Janeiro. Após uma denúncia recebida pela defesa civil, o carro foi localizado na comunidade Cidade Alta, no Bairro de Cordovil, na Zona norte da cidade, como ilustrado na figura 14 (G1, 2017b).



Figura 14: Notícia sobre carro com material radioativo roubado no Rio de Janeiro. Fonte: G1, 2017b.

Caso 5: Um para-raios radioativo contendo amerício-241 foi localizado por um pedreiro em um terreno em obra no Distrito Federal. A área foi isolada

pelos bombeiros e polícia militar até a chegada de um técnico da CNEN. Este recolheu o objeto para descartá-lo corretamente. A seguir, a imagem 15 demonstra esta notícia (G1, 2017c).



MENU **G1** **DISTRITO FEDERAL**

06/04/2012 09h04 - Atualizado em 06/04/2012 09h24

Material supostamente radioativo é encontrado no Entorno do DF

Para-raio com amerício 95 foi encontrado em obra no Novo Gama. Técnico da CNEN informou que material era inofensivo ao ser humano.

Do G1 DF, com informações do BDDF

[FACEBOOK](#) [TWITTER](#) [G+](#) [PIN](#)



Um para-raio supostamente radioativo com amerício 95, obtido a partir do plutônio, foi encontrado abandonado na noite desta quinta-feira (5) em um terreno em obra no Novo Gama, região do Entorno do Distrito Federal. O objeto foi achado por um pedreiro.

O Corpo de Bombeiros e Polícia Militar isolaram o local para evitar qualquer tipo de acidente. Os bombeiros informaram que em uma das bordas do material uma etiqueta indicava perigo radioativo.

Figura 15: Notícia sobre para-raios radioativo encontrado em obra no DF. Fonte: G1, 2017c.

Com a proibição de sua comercialização pela CNEN, iniciou-se a substituição dos para-raios radioativos pelos para-raios comuns. Com isso, surgiu uma preocupação com o descarte destes materiais. Como apenas uma pequena porcentagem foi recolhida à CNEN, passou a ser considerado que uma grande parte desses artefatos pudesse ter sido desprezada como lixo comum. E dessa forma, serem destinados a aterros sanitários. A figura 16-A mostra um dos modelos de para-raios radioativos que foi comercializado no Brasil. A figura 16-B mostra um para-raios radioativo encontrado no lixo e recolhido à CNEN. Os para-raios radioativos contendo, principalmente, Amerício-241 surgiram no Brasil nos anos de 1970 (MARUMO, 2006).

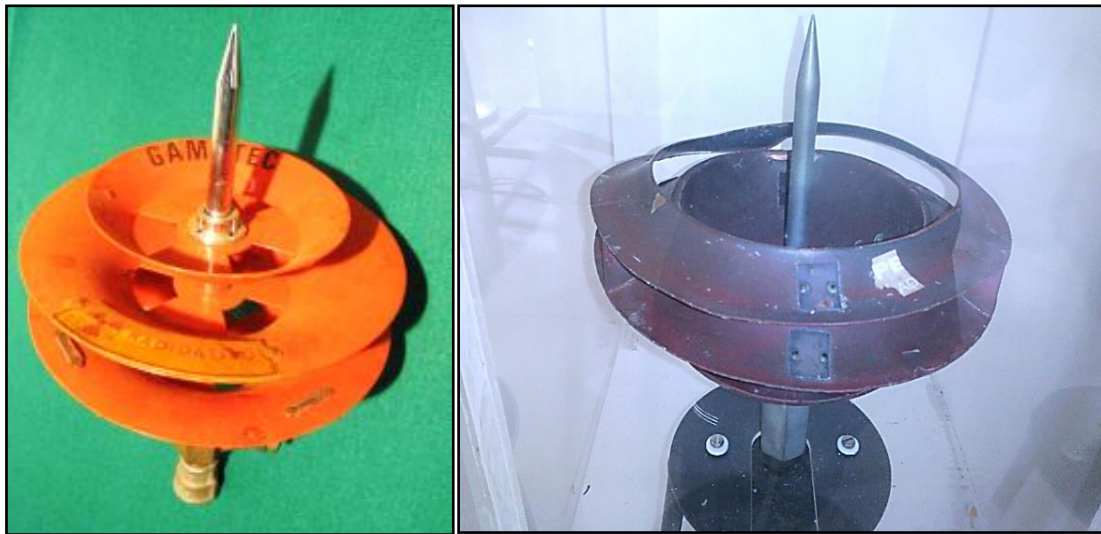


Figura 16 – A: Um modelo de para-raios radioativo comercializado no Brasil. Fonte: MARUMO, Júlio Takehiro, 2006. Figura 16 – B: Para-raios radioativo recuperado do lixo. Fonte: Laboratório de Indústria do IRD/CNEN.

Com as evidências aqui relacionadas é possível perceber que não são apenas as fontes aplicadas às práticas com materiais e equipamentos radioativos; os rejeitos produzidos por essas práticas também devem ser regidos pelas normas de proteção radiológicas por oferecerem riscos ao homem e ao meio ambiente quando extraviados ou descartados de forma inadequada. Pois, mesmo que estes materiais não sejam mais úteis do ponto de vista prático, podem ainda oferecer riscos à saúde das pessoas de forma direta ou através de danos ambientais.

2.4. Trajeto de um material radioativo como se fosse um resíduo comum

No caso de um gari desprezar um material radioativo encontrado em via pública, este rejeito irá seguir o trajeto que um resíduo comum, normalmente, segue.

Um gari varre e recolhe o material radioativo juntamente com o lixo comum e os deposita dentro de sua caçamba ou contêiner; irá permanecer próximo desta caçamba até que o saco de lixo esteja repleto e seja necessária a sua troca. Então, o gari vai amarrar e deixar este saco em um ponto estratégico para que a equipe do caminhão compactador o recolha.

O saco com o material radioativo é compactado e a equipe de profissionais continua seu trabalho até seja necessário o transbordo do caminhão. Este caminhão segue para um local onde é pesado para conhecer a quantidade de lixo recolhido e tem sua carga transbordada para uma carreta que irá conduzir os resíduos até uma estação de tratamento de resíduos (COMLURB, 2015). Neste caso, o material radioativo juntamente com o lixo comum poderá terminar seu trajeto ou ainda, ser enviado a algum aterro sanitário e recolhido por algum catador de material reciclável, que poderá reciclar o perigo deste rejeito. O fluxograma a seguir (figura 17) ilustra este possível caminho realizado pelo rejeito radioativo.

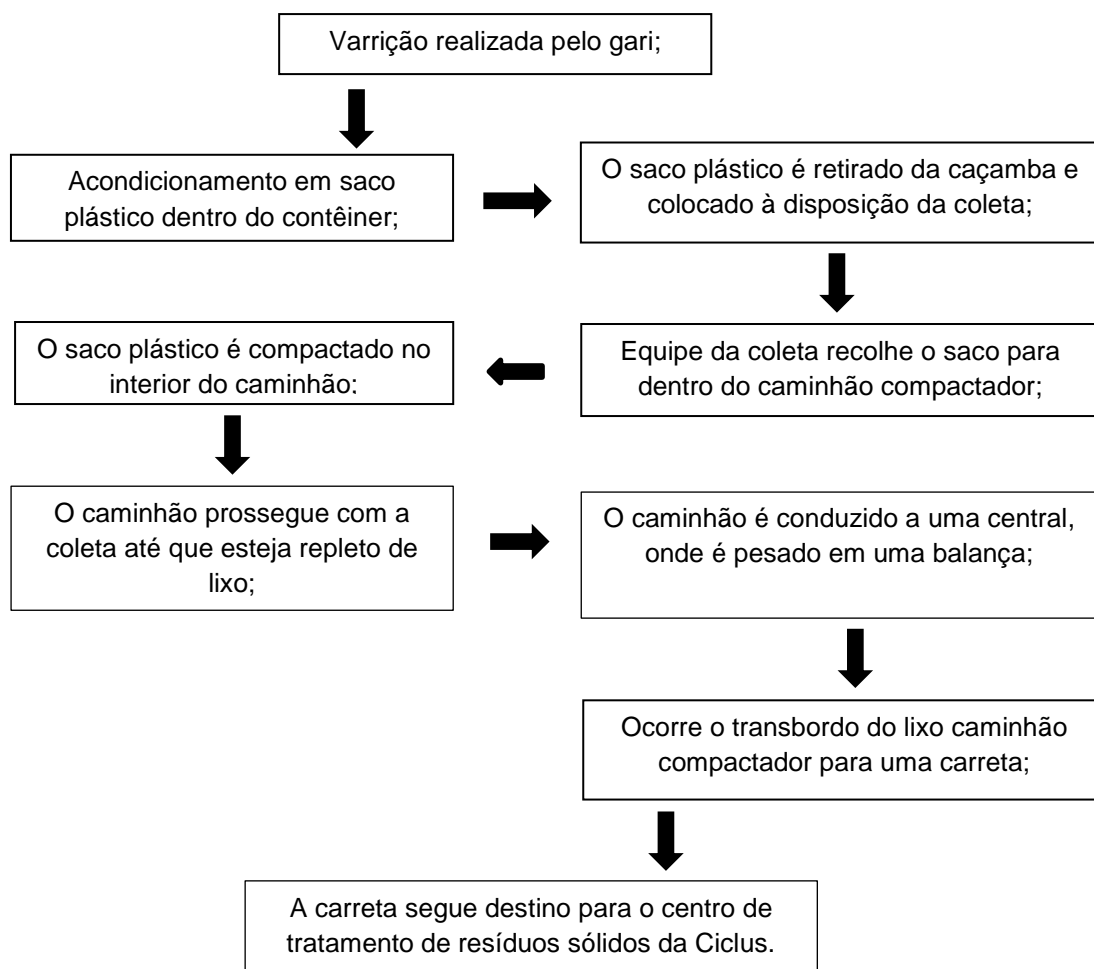


Figura 17: Fluxograma do trajeto do lixo até a disposição final. Fonte: COMLURB, 2015

Analisando o percurso acima é possível ter uma noção de que o número de pessoas expostas pode ser bastante alto. Além disso, os profissionais que

estariam a trabalhar no caminhão recolhedor de lixo ficariam expostos por um tempo prolongado, até que fosse necessário o transbordo do caminhão.

2.5. Os principais conceitos relacionados à proteção radiológica, relacionados ao descarte de material radioativo

As radiações ionizantes têm inúmeras aplicações benéficas sejam na área médica, industrial ou nuclear. Porém se não forem utilizadas com prudência podem causar efeitos indesejados. E para assegurar que o uso dessas radiações seja realizado de maneira correta evitando acidentes e excessos, foi estabelecido como objetivo da proteção radiológica a proteção de pessoas e do meio ambiente dos efeitos nocivos das radiações ionizantes (TAUHATA, 2014).

As práticas com fontes radioativas seguem três princípios básicos para alcançar o objetivo da proteção radiológica. São eles, a justificção do uso, a otimização e a limitação das doses de exposiçõo relativas a estas práticas. Estes princípios são estabelecidos por recomendações internacionais e adotadas pelo órgão regulamentador nacional através e de normas ou regulamentos técnicos específicos e também devem ser aplicados quanto ao cuidado com o descarte de materiais radioativos (TAUHATA, 2014).

Os materiais radioativos não devem ser descartados da mesma forma que outros tipos de materiais. Não podem ser desprezados juntamente com o lixo comum ou na rede de esgoto sem controle. A eliminaçõo destes materiais no meio ambiente deve ser controlada e seguir recomendações internacionais e legislaçõo nacional de preservaçõo do meio ambiente e da CNEN. Para isto, os materiais radioativos devem ser segregados de outros materiais quaisquer no local onde são produzidos ou utilizados ao serem descartados (TAUHATA, 2014).

Materiais radioativos em estado sólido podem ser descartados por eliminaçõo em sistema de coleta de lixo de urbano respeitando os requisitos de dispensa incondicional previstos na legislaçõo vigente, da mesma forma como os materiais em estado líquido podem ser descartados por eliminaçõo na rede de esgoto (TAUHATA, 2014).

Caso estes materiais apresentem um nível de radioatividade acima do nível de dispensa, podem ser contidos de forma segura no local onde são gerados até que decaiam e possam ser eliminados como dispensa incondicional, observando outros critérios tais como seu risco biológico ou químico (TAUHATA, 2014).

Existem alguns casos de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica que são estabelecidos pela sua autoridade reguladora brasileira. Deste modo, estão excluídas do controle regulatório as exposições que não possam ser reduzidas através de ações de proteção radiológica como, por exemplo, a radiação cósmica, o potássio-40 e radionuclídeos naturais (CNEN, 2011).

Práticas ou fontes radioativas empregadas nas práticas são isentas do controle do órgão regulador se contribuírem com uma dose efetiva individual inferior ou igual a 10 microSievert por ano ou dose efetiva coletiva inferior ou igual a 1 pessoa.Sievert durante o período de 1 ano de realização de uma prática. Consideram-se isentas práticas ou fontes cujo risco da radiação é tido como irrelevante para causar danos e impactos radiológicos o suficiente para dispensar o cumprimento dos requisitos de proteção radiológica. Materiais radioativos isentos do controle regulatório serão aqueles cujo radionuclídeo presente ou sua concentração de atividade não ultrapassem os níveis de isenção estabelecidos pela CNEN (CNEN, 2011).

Para serem dispensados do controle regulatório e serem eliminados no sistema de coleta de resíduos urbanos e no sistema de esgoto sanitário, materiais radioativos devem estar em conformidade com os níveis de isenção estabelecidos pela CNEN. Materiais em estado sólido devem ser descartados no sistema de coleta de lixo urbano e materiais líquidos devem ser descartados na rede de esgoto (CNEN, 2011).

Para que a dispensa incondicional de materiais radioativos inutilizados em estado sólido seja autorizada deverão ter o valor máximo de atividade ou concentração de atividade baseado nestes níveis de isenção para quantidades moderadas. Enquanto para grandes quantidades, a CNEN fica incumbida de

estabelecer os valores de dispensa analisando cada caso individualmente (CNEN, 2011).

Consideram-se quantidades moderadas até 1 tonelada de material radioativo; e grandes quantidades são superiores a 1 tonelada destes materiais, objetos oriundos do descomissionamento de instalações nucleares e radiativas e de depósitos de rejeitos ou de rejeitos de mineração (CNEN, 2011).

A aplicação dos níveis de isenção leva em consideração apenas quantidades moderadas destes materiais. Caso haja mais de um radionuclídeo no material, deve-se considerar que o somatório das razões entre as concentrações presentes nos radionuclídeos contidos na mistura e o valor de concentração do nível estabelecido para o mesmo radionuclídeo seja inferior ou igual a 1 unidade. Esta relação é exemplificada pela expressão 1 (CNEN, 2011).

$$\frac{Ca}{CMPa} + \frac{Cb}{CMPb} + \frac{Cc}{CMPc} \leq 1 \quad (1)$$

Onde:

- a, b e c são radionuclídeos presentes na mistura;
- Ca, Cb, e Cc são as concentrações dos radionuclídeos presentes na mistura;
- CMPa, CMPb e CMPc representam as concentrações dos níveis de dispensa dos radionuclídeos contidos na mistura.

Para que a dispensa incondicional de materiais radioativos em estado líquido seja autorizada estes materiais devem ser solúveis ou facilmente dispersáveis em água; a relação entre a quantidade de radionuclídeos liberada por mês em uma determinada instalação e a quantidade de esgoto liberado por esta instalação, no qual estes radionuclídeos estariam diluídos, não deve exceder os valores de concentração estipulados como níveis de isenção; no caso de o radionuclídeo a ser dispensado não constar dentre os níveis de isenção, deve-se adotar o valor máximo de $3,7 \times 10^{10}$ Bq como a soma das quantidades de radionuclídeos liberados na rede de esgoto anualmente (CNEN, 2014b).

Os materiais radioativos gasosos tem sua eliminação por dispensa incondicional sujeita a autorização da CNEN e esta autorizando, devem ser seguidos os valores de níveis de isenção (CNEN, 2014b).

As tabelas com os valores de níveis de isenção contendo as atividades e as concentrações de atividades isentadas podem ser consultadas nos anexos da norma CNEN NN 8.01 (CNEN, 2014b).

Quando materiais radioativos sem utilização prevista mantêm altos níveis de radiação, devem ser contidos e mantidos isolados de seres humanos e do meio em que vivem. Então, são enviados para depósitos da CNEN, onde esta contenção é feita de acordo com o grau de risco que oferecem (TAUHATA, 2014).

2.5.1. Rejeitos radioativos

Embora semelhantes, as definições de rejeito radioativo e resíduo radioativo não são a mesma. Rejeito é todo material que restou de atividades humanas com radionuclídeos que não será reutilizado e ainda contenha níveis de radiação acima dos valores previstos na legislação. Resíduo radioativo é o material restante de atividades em instalações nucleares ou radioativas, que podem ser reutilizados de acordo com as normas da CNEN, respeitando determinados quesitos de proteção radiológica (CNEN, 2015).

Rejeitos radioativos podem ser gerados a partir de diversos processos como de NORM, indústrias, área médica, pesquisa, etc. (IAEA, 2009).

O processo de exploração de minérios que contenham materiais radioativos de ocorrência natural conhecidos como NORMs (naturally occurring radioactive material) geram rejeitos radioativos. Os NORMs são compostos pelos elementos da série do urânio e do tório advindos da formação da crosta terrestre (REIS, 2012). Na indústria, são utilizadas fontes radioativas em diversas aplicações como radiografia industrial, medidores nucleares, perfilagem de poços de petróleo, entre outras. Quando essas fontes deixam de ser úteis tornam-se rejeitos, assim como suas embalagens, luvas, agulhas e outros materiais radiocontaminados (FONSECA, 2009).

Os rejeitos radioativos acima do nível de dispensa devem ser isolados do acesso humano e do meio em que vivem. A dispensa destes materiais irá depender de diversos fatores físicos e químicos, tais como o tipo de radionuclídeo e sua meia-vida, sua forma física e concentração. Para que seja possível o isolamento seguro destes rejeitos, é fundamental que um sistema de gerenciamento seja estabelecido (TAUHATA, 2014).

Assim sendo, uma gerência de rejeitos radioativos é responsável pelo armazenamento e segurança física e radiológica dos rejeitos em todas as etapas desde a sua coleta até a disposição final. Além de assegurar que o volume e a atividades destes rejeitos gerados na instalação em questão sejam reduzidos e sejam mantidos separadamente de quaisquer outros materiais. No ato do licenciamento de uma instalação radiativa deve estar incluído um plano de gerenciamento de rejeitos radioativos (TAUHATA, 2014).

No caso de os rejeitos não atingirem os valores previstos na legislação para serem dispensados, deverão ser acondicionados em embalagens especiais até que sua eliminação seja possível. O embalado deverá ser identificado, classificado e armazenado em um depósito inicial preestabelecido ainda no projeto de licenciamento da instalação e deverá manter um sistema de registro do inventário dos rejeitos. Sua segregação considera características como a atividade e meia-vida dos radionuclídeos, natureza de sua radiação, estados físico e químico, capacidade de serem compactados, se são orgânicos ou inorgânicos, se são biológicos e outras características como, por exemplo, explosividade, combustibilidade, inflamabilidade, corrosividade e toxicidade química. As embalagens contendo os rejeitos deverão estar identificadas com informações sobre o material contido. Seu armazenamento se dará em depósito inicial até que seja autorizada sua transferência para um depósito intermediário ou até que atinjam o nível de dispensa e sejam eliminados (CNEN, 2014c).

Os rejeitos são classificados de acordo com a IAEA em Resíduos isentos (Exempt waste-EW); Resíduos de vida muito curta (Very short lived waste-VSLW); Resíduos de muito baixo nível (Very low level waste-VLLW); Resíduos de baixo nível (Low level waste-LLW); Resíduos de nível intermediário (Intermediate level waste-ILW); Resíduos de alto nível (High level

waste-HLW) (IAEA, 2009). A CNEN segue o postulado da IAEA e classifica os rejeitos em Classe 0, Classe 1, classe 2, classe 3:

I - Classe 0: Rejeitos Isentos (RI): rejeitos contendo radionuclídeos com valores de atividade ou de concentração de atividade, em massa ou volume, inferiores ou iguais aos respectivos níveis de dispensa [...];

II - Classe 1: Rejeitos de Meia-Vida Muito Curta (RVMC): rejeitos com meia-vida inferior ou da ordem de 100 dias, com níveis de atividade ou de concentração em atividade superiores aos respectivos níveis de dispensa;

III - Classe 2: Rejeitos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN): rejeitos com meia-vida superior a dos rejeitos da Classe 1, com níveis de atividade ou de concentração em atividade superiores aos níveis de dispensa estabelecidos nos Anexos II e VI, bem como com potência térmica inferior a 2 kW/m³ ;

IV - Classe 2.1: Meia-Vida Curta (RBMN-VC): rejeitos de baixo e médio níveis de radiação contendo emissores beta/gama, com meia-vida inferior ou da ordem de 30 anos e com concentração de radionuclídeos emissores alfa de meia-vida longa limitada em 3700 kBq/kg em volumes individuais e com um valor médio de 370 kBq/kg para o conjunto de volumes;

V - Classe 2.2: Rejeitos Contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos de extração e exploração de petróleo, contendo radionuclídeos das séries do urânio e tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa [...];

VI - Classe 2.3: Rejeitos contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos contendo matérias primas minerais, naturais ou industrializadas, com radionuclídeos das séries do urânio e do tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa [...];

VII - Classe 2.4: Rejeitos de Meia-Vida Longa (RBMN-VL): rejeitos não enquadrados nas Classes 2.2 e 2.3, com concentrações de radionuclídeos de meia-vida longa que excedem as limitações para classificação como rejeitos de meia-vida curta; e

VIII - Classe 3: Rejeitos de Alto Nível de Radiação (RAN): rejeitos com potência térmica superior a 2kW/m³ e com concentrações de

radionuclídeos de meia-vida longa que excedam as limitações para classificação como rejeitos de meia-vida curta. (CNEN NN 8.01-Capítulo II, 2014b).

Dependendo do nível de radiação do rejeito, os depósitos podem ser classificados em quatro tipos diferentes. São eles os iniciais, os intermediários, os finais e os provisórios como destacados na norma regulamentadora da CNEN NN 8.02. E no ato do licenciamento de uma instalação radiativa deve estar incluído um plano de gerenciamento de rejeitos radioativos (CNEN, 2014c).

Um depósito inicial ou intermediário deve zelar pela segurança radiológica dos rejeitos. A segurança física será alcançada através do uso de barreiras para a restrição de pessoas não autorizadas e animais que possam dispersar a contaminação e o local em que está situado deverá ser cercado, sinalizado e possuir blindagem para a proteção externa. Deverá conter um sistema de monitoração de área e, caso seja autorizado, um sistema de liberação de material radioativo no meio ambiente; entre outras condições (TAUHATA, 2014). A figura 18 ilustra um depósito provisório de rejeitos radioativo.



Figura 18: Depósito provisório de rejeitos radioativos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN. Fonte: MARUMO, 2006.

2.6. Recomendações internacionais, a legislação e regulamentação brasileiras sobre descarte de material radioativo

Existem diversas recomendações internacionais, legislações e recomendações brasileiras sobre o descarte adequado de materiais radioativos visando à proteção das pessoas e do meio ambiente.

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica ou International Commission on Radiological Protection - ICRP cria recomendações de aspectos da proteção radiológica que podem ser adotadas por diversos países. Sua 25^a publicação sobre Manipulação e Eliminação de Materiais Radioativos em Hospitais e Estabelecimentos de Pesquisa Médica (em inglês, Handling, Storage, Use and Disposal of Radioactive Materials in Hospitals and Medical Research Establishments) recomenda as formas ideais de descarte de materiais radioativos, bem como o uso, a manipulação e o armazenamento em hospitais e instituições que realizam pesquisas médicas (ICRP, 2017).

A Agência Internacional de Energia atômica tem o objetivo de contribuir para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia atômica garantindo que o uso seja seguro e pacífico. Para isso, existe a cooperação em estudos na área nuclear entre seus países membros, incluindo o Brasil. A IAEA cria recomendações sobre proteção radiológica que são seguidas por seus países membros (IAEA, 2017a).

Cada país membro deve estabelecer um programa nacional regulador para garantir que os princípios da proteção radiológica das práticas sejam seguidos sem que os seus benefícios sejam reduzidos (IAEA, 2017b). No Brasil, a autoridade reguladora é a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, que é responsável por estabelecer regulamentos técnicos pertinentes às práticas e fazer com estes sejam cumpridos. Emitir regulamentos, conceder licenciamento para a realização das práticas, bem como fiscalizá-las e proceder com coerção, quando necessário, estão entre suas responsabilidades principais. Os regulamentos técnicos estabelecidos pela CNEN são baseados em recomendações internacionais (TAUHATA, 2014).

A recomendação da IAEA General Safety Guide – GSG No.1 – Classification of Radioactive Waste (em português, Classificação de resíduos

radioativos) estabelece a classificação dos vários tipos de rejeitos com o objetivo de determinar sua disposição segura a longo prazo desde a disposição próxima a superfície à disposição geológica (IAEA, 2009).

Outra publicação de recomendação da IAEA sobre a segurança com o descarte de materiais radioativos é Specific Safety Requirements - SSR No. 5 - Disposal of Radioactive Waste (em português, Disposição de resíduos radioativos) determina que a autoridade reguladora estabeleça regulamentos para a Disposição segura de rejeitos radioativos e os requisitos para as etapas do processo de licenciamento, operação e encerramento de uma instalação para disposição destes rejeitos (IAEA, 2011).

A principal norma da CNEN que trata sobre proteção radiológica é a NN-3.01- Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, onde está descrito os princípios da proteção radiológica (CNEN, 2014a).

A norma CNEN NN-3.01 apresenta a posição regulatória 001 de 2011 que estabelece os critérios de exclusão, isenção e dispensa dos requisitos de proteção radiológica (CNEN, 2011).

As principais normas da CNEN que dispõem sobre o descarte de materiais radioativo são a norma CNEN NN-8.01 Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação de abril de 2014 e a norma CNEN NN-8.02 Licenciamento de Depósitos de rejeitos radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação de abril de 2014 (CNEN, 2017).

A norma CNEN NN-8.01 tem como objetivo estabelecer os critérios gerais e requisitos básicos de segurança e proteção radiológica relacionados ao gerenciamento de rejeitos de baixo e médio níveis de radiação e rejeitos de meia-vida muito curta. Ela é aplicada à gerência de rejeitos pertencentes às classes 1 e 2, exceto às classes 0, 2.2 e 2.3 e 3 (CNEN, 2014b).

O objetivo da norma CNEN NN-8.02 é estabelecer os requisitos e critérios básicos de segurança e proteção radiológica para a garantia do cumprimento da legislação pertinente ao licenciamento de depósitos de rejeitos iniciais, intermediários e finais de baixo e médio níveis de radiação. Esta norma se aplica aos depósitos iniciais, intermediários e finais de baixo e médio níveis de radiação, exceto às classes 2.2 e 2.3 que não estejam embalados, aos de

classe 3, as rejeitos de radionuclídeos de meia-vida longa provenientes da indústria de mineração e que a responsabilidade de fazer cumprir este regulamento é do titular do depósito (CNEN, 2014c).

Em abril de 1989, a CNEN pôs em vigor a Resolução 04/89 Para Raios com Material Radioativo de abril de 1989, que tem como objetivo suspender a concessão de autorização de uso de materiais radioativos em para-raios e determinar que estes fossem direcionados aos institutos da CNEN quando desativados. Como não foi constatada sua eficácia em relação aos para-raios convencionais, seu uso foi injustificado, desobedecendo a um dos princípios fundamentais da proteção radiológica (CNEN, 1989).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA do Ministério do Meio ambiente através da resolução 358, de 29 de abril de 2005 estabelece acerca do tratamento e da disposição de resíduos de serviços de saúde, incluindo materiais radioativos remanescentes destas atividades que serão descartados (CONAMA, 2005).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA do Ministério da Saúde com sua Resolução RDC Nº 306, de 7 de dezembro de 2004 estabelece o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, incluindo materiais radioativos (ANVISA, 2004).

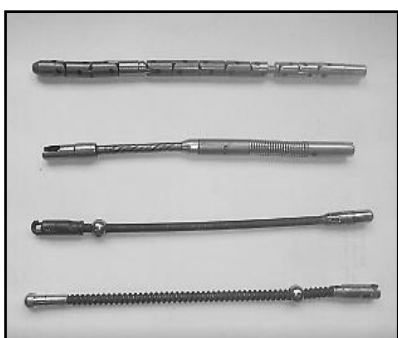
3. METODOLOGIA

Este estudo foi baseado na observação das atividades laborativas de profissionais de limpeza urbana durante os anos atuação da autora e entrevistas a estes profissionais e seus superiores.

Uma entrevista foi realizada com os garis e os seus gerentes para avaliar o nível de informação dos mesmos com relação a materiais radioativos. Estas entrevistas foram realizadas através de questionários, foram entrevistados 21 garis e a entrevista consistiu em um questionário composto por três perguntas relacionadas da seguinte maneira:

1-O que você faz se encontrar uma peça de chumbo ou outro metal jogados na rua durante seu trabalho?

2-Você conhece estes objetos?



Sim () ou Não ().

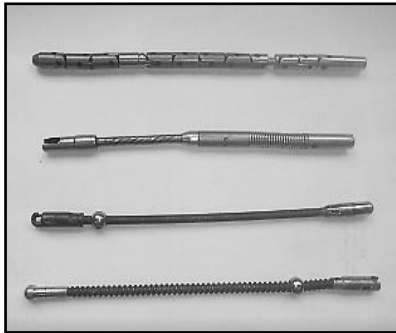
3-Você conhece este símbolo?



Sim () ou Não ().

O questionário dirigido aos 2 gerentes, o de departamento e ao adjunto, era composto de três questões relacionadas da seguinte forma:

1. Qual é o trajeto do lixo desde a varrição até sua disposição final?
2. Você conhece estes objetos?



Sim () ou Não ().

3. No caso de você ou um subordinado seu encontrar um objeto com o símbolo da radiação ionizante, a quem você recorreria?

As observações e resultados da entrevista foram cruzados com evidências de materiais radioativos encontrados descartados de maneira inapropriada divulgadas na mídia. Além de revisão de literatura que envolve informações técnicas referentes à proteção radiológica relacionada ao descarte de materiais radioativos e recomendações internacionais, legislação e regulamentações nacionais.

4. RESULTADOS

Com relação à entrevista com os garis, embora 19 dos participantes tenha reconhecido o símbolo internacional das radiações ionizantes, praticamente todos não reconheceram os porta-fontes. O único que disse conhecer não soube explicar do que se tratava. Além disso, quando questionados sobre o que fariam se encontrassem algum metal durante seu trabalho, 17 dos participantes responderam que descartariam dentro do saco de lixo com o qual trabalham, 2 participantes o deixariam no mesmo local, 1 participante não soube explicar e 1 participante afirmou que venderia o metal no ferro-velho.

Na entrevista com os gerentes, os 2 participantes descreveram o trajeto do lixo como sendo que ensacado e recolhido pelo caminhão da coleta para um aterro sanitário. Sendo que 1 deles mencionou que o lixo é conduzido até uma estação de transferência da Ciclus para depois ser conduzido ao aterro sanitário. Entretanto, nenhum dos 2 reconheceu os porta-fontes. E com relação à questão sobre a quem recorreriam em caso de encontrarem algum objeto com o símbolo de radiação ionizante, 1 dos participantes acionaria a defesa civil e a sua diretoria e 1 participante telefonaria para o gerente do aterro sanitário para buscar informações.

Uma vez que um gari encontre um material radioativo ele deverá ter conhecimento do que pode ou não fazer nesta situação. Este conhecimento poderá ser adquirido através de treinamento sobre proteção radiológica e sobre situação de emergência radiológica voltada para a função que desempenha. É importante que este treinamento aborde tópicos sobre como identificar o símbolo internacional de presença da radiação ionizante, as fontes de radiação ionizante que se extraviam com maior frequência e como reconhecê-las; além dos efeitos nocivos que a manipulação incorreta destes materiais podem causar. O ideal é que o treinamento referido seja ministrado de forma clara e objetiva, utilizando uma linguagem de mais fácil compreensão.

Ações incorretas ou precipitadas podem potencializar o risco de exposição e, possivelmente, de contaminação. As ações de proteção radiológica no recolhimento de um material radioativo descartado

indevidamente podem ser classificadas como primárias e de emergência como demonstra a figura 19.



Figura 19: Classificação das ações de proteção radiológica no recolhimento de material radioativo descartado indevidamente. Fonte: A autora, 2017.

As ações primárias referem-se às primeiras medidas de proteção radiológica realizadas pelo indivíduo que localizou o material radioativo. São elas:

- 1ª: Reconhecer o objeto.

O objeto localizado poderá ser reconhecido através do símbolo internacional da radiação ionizante nele contido ou ainda por fotos dos materiais radioativos mais suscetíveis ao seu extravio como para-raios radioativos, porta-fontes de gamagrafia, entre outros.

- 2ª: Manter-se a distância.

O trabalhador deverá manter-se a distância para que a exposição seja reduzida com o inverso do quadrado da distância.

- 3ª: Não manipular o objeto radioativo.

Ainda que esteja usando luvas, o profissional não deverá manipular o objeto radioativo. Em hipótese alguma deverá tentar comercializar o artefato

sob o risco de provocar danos biológicos em si próprio e nas demais pessoas que tiverem contato ou mesmo se manterem próximas próximos a ele.

- 4ª: Não tentar realizar o resgate do material radioativo.

O profissional que localizar o material radioativo não deverá tentar realizar seu resgate, pois esta é uma tarefa a ser realizada por especialistas em emergências radiológicas. Caso uma pessoa despreparada e sem os equipamentos necessários o faça, poderá estar sujeita a danos severos.

- 5ª: Rapidez na resposta à emergência.

A emergência deve ser respondida o mais breve possível para evitar que o risco de exposição se potencialize e os níveis de doses aumentem com o decorrer do tempo.

- 6ª: Não seja omissos.

A perda de controle de uma fonte de radiação ionizante é uma situação crítica que requer uma resposta visando proteger o homem e o meio ambiente de seus efeitos nocivos. Se esta emergência for ignorada, as pessoas poderão sofrer danos de forma direta ou através do meio ambiente em que está inserido. Por isso, a importância de notificar a ocorrência.

- 7ª: Notificar o seu superior.

O superior deverá ser comunicado de forma clara e detalhada através de um canal eficaz.

- 8ª: Notificar a CNEN.

O profissional terá acesso a um canal de comunicação eficaz ao órgão responsável pelo resgate do dispositivo radioativo de forma direta ou indireta, ou seja, através de seu superior imediato.

- 9ª: Solicitar auxílio.

Autoridades como, a polícia, os bombeiros, a defesa civil, entre outras podem ser solicitadas para isolar a área e afastar curiosos sem causar pânico.

- 10ª: Aguardar a chegada da equipe de emergências radiológicas do IRD/CNEN.

É importante que o trabalhador envolvido aguarde a equipe especializada que se responsabilizará por reconhecimento do material radioativo, a fim de prestar informações importantes relacionadas ao fato.

As ações de emergência têm o objetivo de mitigar as consequências de uma situação crítica e são realizadas por especialistas em resposta a emergências. Estes especialistas realizam ações baseadas no conhecimento e na experiência que têm sobre proteção radiológica e dispõem dos equipamentos necessários para este tipo de ocorrência. São elas:

- 1ª. Atender à notificação.

Após o grupo de emergência do IRD/CNEN de plantão receber o contato do solicitante, fará algumas perguntas pertinentes ao caso e irá atendê-lo. O grupo seguirá para o local informado levando consigo detectores de radiação, pinças, placas e fitas de sinalização, dosímetros de leitura direta, equipamentos de proteção individual e outros equipamentos adequados para uma resposta eficaz à emergência em questão.

- 2ª. Analisar a emergência em questão.

Ao chegar ao local indicado, o grupo de resposta à emergência vai analisar a situação, realizar levantamento radiométrico e estabelecer a distância do isolamento. Para isto será necessário um detector de radiação de área devidamente calibrado, conhecer os limites de dose para área controlada e livre para calcular o balizamento destas áreas, sempre de posse do seu dosímetro pessoal de leitura direta.

- 3ª. Entrevistar o profissional que localizou o material radioativo.

Ao questionar o indivíduo que localizou o material radioativo, é possível obter informações importantes sobre o fato. Estas informações servirão como um guia para proceder de forma adequada na resposta a emergência, por exemplo, se há possibilidade de haver contaminação, as pessoas envolvidas e em quais circunstâncias.

- 4ª. Recolher o material radioativo descartado

A equipe de emergências do IRD/CNEN fará o resgate do material radioativo seguindo requisitos de proteção radiológica, delimitando as áreas e sinalizando-as, utilizando luvas e outros equipamentos de proteção individual (EPI), bem como materiais para resgate em emergências, por exemplo, pinças longas, placas de chumbo para reduzir a exposição dos profissionais envolvidos no resgate, contêineres para transporte de fontes dependendo da geometria da fonte em questão.

O trabalho de resposta à emergência deverá ser realizado com revezamento dos IOE's envolvidos, a fim de evitar que uma única pessoa receba alta dose de radiação e o tempo que cada uma ficar exposta deve ser cronometrado.

- 5ª. Destinar o material radioativo recolhido

Dependendo da classificação do objeto resgatado, ele será destinado a um depósito dos institutos da CNEN ou disposto como resíduo não perigoso caso seja isento ou dispensável segundo controle regulatório.

Como resultado, este trabalho foi apresentado na forma de pôster, na conferência internacional International Joint Conference Radio 2017, realizada nos dias 25 a 29 de setembro deste ano na cidade de Goiânia no estado de Goiás neste país como mostrado nos anexos.

5. CONCLUSÃO

É de extrema importância o cumprimento das recomendações relacionadas ao destarte radioativo pelas instalações e práticas que atuam com fontes radioativas para evitar que estas sejam descartadas de forma inadequada, tornando-se um risco à saúde das pessoas.

Os eventos divulgados pela mídia aqui relacionados demonstram que emergências relacionadas ao abandono de materiais radioativos em locais públicos são fatos frequentes. Podendo assim, ser encontrados por qualquer pessoa, inclusive por garis durante seu trabalho.

Conclui-se, portanto, que para evitar acidentes com fontes órfãs, equipamentos que contenham radionuclídeos, ou quaisquer outros tipos de materiais radioativos descartados em locais impróprios podendo ser encontrados por um profissional de limpeza urbana, deve ser elaborado um treinamento voltado a estes profissionais, baseado nas ações descritas neste estudo.

Tendo em vista a falta de informação dirigida a estes profissionais e seus superiores de como devem proceder nestas circunstâncias, as ações para recolhimento de material radioativo baseadas na proteção radiológica são de grande valia para evitar que os garis se exponham à radiação ionizante ou, até mesmo, se contaminem com essas substâncias e que propaguem este risco para toda uma sociedade.

6. RECOMENDAÇÕES

Baseado nas informações contidas neste estudo, as recomendações da autora estão relacionadas a seguir.

Que o treinamento aos garis seja realizado através de pôsteres ou folders contendo o símbolo internacional da radiação ionizante e imagens materiais radioativos que se extraviam com a maior frequência como para-raios radioativos, medidores nucleares portáteis, irradiadores de gamagrafia e seus porta-fontes, frascos de radiofármacos utilizados em medicina nuclear, entre outros.

Que em cada diretoria da COMLURB haja de um profissional com monitor de radiação ionizante para emergências.

Recomenda-se, ainda, que as estações de transferência tenham um portal detector de radiação ionizante na entrada dos caminhões que irão realizar o transbordo do lixo coletado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC Nº 306, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2004.** Disponível em: <portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0306_07_12_2004.pdf/95eac678-d441-4033-a5ab-f0276d56aaa6>. Acesso em: 06 set 2017.

BIOBIOCHILE. **Medidor nuclear recuperado.** Disponível em: <www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-coquimbo/2017/06/18/carabineros-recupero-densimetro-nuclear-sustraido-a-constructora-en-la-serena.shtml>. 29 jun 2017.

CARVALHO, CAMILA NUNES DE. **Aplicação das Fontes Radioativas na Perfuração de Poços e Aspectos de Radioproteção.** Monografia (Graduação). Natal/RN, Junho de 2015.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Instalações Autorizadas.** Disponível em: <www.cnen.gov.br/instalacoes-autorizadas>. Acesso em 20 set 2017a.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Normas técnicas.** Disponível em: <www.cnen.gov.br/normas-tecnicas>. Acesso em 26 ago 2017.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos.** Rio de Janeiro, 1996.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.** Norma CNEN NN-3.01 - Resolução CNEN 164/14, 2014a.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Critérios de Exclusão, isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radiológica.** Posição regulatória 3.01/001, 2011.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação.** Norma CNEN NN-8.01 - Resolução CNEN 167/14, 2014b.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. - **Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação.** Norma CNEN NN-8.02 - Resolução CNEN 167/14, 2014c.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Glossário de Segurança Nuclear.** Rio de Janeiro, 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 358, DE 29 DE ABRIL DE 2005.** Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>. Acesso em 06 set 2017.

CUNHA, Valeriana; FILHO, José Vicente Caixeta. **Gerenciamento da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estruturação e Aplicação de Modelo Não-Linear de Programação por Metas.** Gestão e Produção. v.9, n. 2, p. 143-161, 2002.

EIGENHEER, Emílio Maciel. **Lixo: A Limpeza Urbana Através dos Tempos** Porto Alegre, 2009.

FONSECA, Janaína Conrado Lyra da. Colaboração de Mary Rosa Rodrigues de Marchi Janaína Conrado Lyra da Fonseca Marchi. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2009.

G1. **Material com selo de radioatividade faz bombeiro fechar rua em Brasília.** Disponível em:<g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2011/09/material-com-selo-de-radioatividade-faz-bombeiro-fechar-rua-em-brasilia.html>. Acesso em 04 jul 2017a.

G1. **Encontrado no subúrbio do Rio carro com material radioativo, diz empresa.** Disponível em: <g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2012/05/encontradono-suburbio-do-rio-carro-com-material-radioativo-diz-empresa.html>. Acesso em 04 jul 2017b.

G1. **Material supostamente radioativo é encontrado no Entorno do DF.** Disponível em: <g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2012/04/material-supostamente-radioativo-e-encontrado-no-entorno-do-df.html>. Acesso em 04 jul 2017c.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Categorization of radioactive sources**. IAEA-TECDOC-1344. Vienna, 2003.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Classification of Radioactive Waste - General Safety Guide – GSG Nº 1**. Vienna, 2009.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Disposal of Radioactive Waste - Specific Safety Requirements - SSR Nº 5**. Vienna, 2011.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY- IAEA. **History**. Disponível em: <www.iaea.org/about/overview/history>. Acesso em 18 Jul 2017a.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY- IAEA. **Statute**. Disponível em: <www.iaea.org/about/statute#a1-4>. Acesso em 18 Jul 2017b.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION - ICRP. **Handling, Storage, Use and Disposal of Radioactive Materials in Hospitals and Medical Research Establishments. ICRP Publication 25**. Disponível em: <journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_1_2>. Acesso em: 06 set 2017.

INSTITUTO DE RADIOPRTEÃO E DOSIMETRIA-IRD. **Medidores nucleares**. Disponível em: <www.ird.gov.br/index.php/component/jdownloads/send/18-radioprotecaodostrabalhadores/34mediadoresnucleares?option=com_jdownloads>. Acesso em 15 ago 2017.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos avançados. Vol.25 no.71. São Paulo, Jan./Abr. 2011.

MARUMO, Júlio Takehiro. **Avaliação da Contaminação Provocada por Pára-Raios Radioativos de Amerício-241 Descartados em Lixões**. Tese (Doutorado). Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

MAZZILLI, Barbara P. *et al.* **Noções Básicas de Proteção Radiológica**, 2002.

MIRANDA, Márcia Valéria de Fátima da Encarnação Sá. **Estudo dos Níveis de Emissão de ²²²Rn Presentes nos Materiais Radioativos de Ocorrência Natural – Norm.** Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro, 2009.

OTHEA RELIR. **Eliminação Inadvertida de Fonte de Medidor de Espessura Redundante Kr-85.** Disponível em: <relir.cepn.asso.fr/index.php/en/reports/industrial/gauges/162-mauvaise-elimination-dune-jauge-depaisseur-de-krypton-85.html>. Acesso em 3 Jul 2017.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro.** Base de dados – dez/2014. Dezembro 2015.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Companhia Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB.** Disponível em: <www.prefeitura.rio/web/comlurb/exibeconteudo?id=1771922>. Acesso em 14 Jun 2017a.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. LEI Nº 3.273, 2001. Disponível em: <www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1017211/DLFE229311.pdf/LegislacaoMunicipal.pdf>. Acesso em: 06 set 2017b.

PUBLIMETRO. **Notícia de medidor nuclear roubado** Disponível em: <www.publimetro.cl/cl/noticias/2017/06/03/pdi-busca-peligroso-densimetro-nuclear-robado-la-serena.html>. Acesso em 29 Jun 2017.

REIS, Rócio Glória dos. **Modelo Conceitual para Auxílio a Decisão na Indústria de Mineração Norm – Aspectos de Radioproteção Ambiental.** Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro, 2012.

SALVAJOLI, João Victor; SOUHAMI, Luis ; FARIA, Sérgio Luiz. **Radioterapia em Oncologia.** 2ª ed. São Paulo. Atheneu, 2013.

TAUHATA, L. *et al.* **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos.** 10ª Revisão. Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, Abril/2014.

XAVIER, Ana Maria *et al.* **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica**. 4ªed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2014.

ANEXOS

Anexo I

Resumo expandido submetido à conferencia internacional Radio 2017.



Ações de proteção radiológica no recolhimento de material radioativo descartado

E. P. M. Neri^a; F. C. A. Da Silva^b

^a*Pós-Graduação Lato Sensu em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas, Instituto de Radioproteção e Dosimetria/CNEN, 22783-127, Rio de Janeiro-RJ, Brasil*

^b*Instituto de Radioproteção e Dosimetria/CNEN, 22783-127, Rio de Janeiro-RJ, Brasil*
dasilva@ird.gov.br

RESUMO

O Brasil possui, aproximadamente, 2000 instalações radiativas que usam fontes de radiação nos seus processos e são controladas pela CNEN através de normas, autorizações e inspeções. Esses materiais radioativos, sejam na forma de rejeito ou de fonte radioativa, usados tanto na área médica, indústria, pesquisa, etc, algumas vezes são descartados e encontrados em locais inadequados, tais como, lixões, lixo industrial, ruas, praças, etc., podendo, assim, serem encontrados por profissionais de limpeza urbana sem o devido conhecimento dos mesmos. Este trabalho apresenta as ações de proteção radiológica necessárias para o recolhimento seguro de material radioativo a ser realizado por estes profissionais. De acordo com o tipo de material radioativo as principais ações de proteção radiológica são, entre outras: reconhecimento de um material radioativo; uso correto de equipamento de proteção individual para conter possível contaminação radiológica; implementação de um controle de área; etc. Para que as ações de reconhecimento e recolhimento de material radioativo descartado, sejam eficazes há necessidade de implementar um programa de treinamento em proteção radiológica para os profissionais de limpeza urbana.

Palavras-chave: Proteção radiológica; material radioativo descartado; profissionais de limpeza urbana.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de o controle exercido pela CNEN, através de normas, autorizações e inspeções nas, aproximadamente, 2000 instalações radiativas [1], eventos, tais como, “*uma cápsula radioativa com iodeto de sódio 131, geralmente usada pela medicina nuclear, foi encontrada abandonada em um depósito de lixo em Brasília*” [2] aconteceram com relação a materiais radioativos extraviados que foram encontrados em locais inapropriados. Esses materiais radioativos, sejam na forma de rejeito ou de fonte radioativa, usados em medicina nuclear, medidor nuclear, gamagrafia, etc; materiais contaminados com fontes radioativas abertas; materiais radioativos utilizados para pesquisa e não reutilizáveis; para-raios radioativos e detectores de fumaça fora de uso; NORM de petróleo e gás; etc. podem acabar em lixões, terrenos baldios ou até mesmo nas ruas, devido a queda do veículo de transporte, roubo, furto, descarte inadequado, etc.

Material radioativo abandonado em vias públicas, ao ser encontrado por pessoas sem treinamento para agir em situações como esta, pode provocar um acidente radiológico. No caso de um profissional de limpeza urbana encontrar um material radioativo durante suas atividades de trabalho, se não tiver conhecimento do que está manipulando, pode se expor à radiação, se contaminar ou ainda, afetar toda uma comunidade. É de extrema importância que esse profissional seja orientado a proceder de maneira segura quando se deparar com esta situação.

Este trabalho apresenta as ações de proteção radiológica necessárias para o recolhimento seguro de material radioativo a ser realizado pelos profissionais de limpeza urbana. As ações estão baseadas nos princípios, guias e normas de proteção radiológica [3,4,5].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi baseado na observação das atividades laborativas de profissionais de limpeza urbana, tendo por base o possível trajeto de um material radioativo como se fosse um resíduo comum. Essas observações foram relacionadas com evidências de materiais radioativos encontrados descartados de maneira inapropriada e divulgadas na mídia.

Uma detalhada revisão bibliográfica sobre eventos acontecidos, os riscos de fontes radioativas e as ações de proteção radiológica foi realizada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o tipo de material radioativo, seja selado ou contaminante, ações de proteção radiológica devem ser tomadas pelos profissionais de limpeza urbana. Dentre outras, pode-se destacar: reconhecimento seguro de um material radioativo; uso correto de equipamento de proteção individual para conter possível contaminação radiológica; uso de um monitor de radiação; implementação de um controle de área; etc.

Para que essas ações sejam realizadas com a estrita segurança esses profissionais, voltados para atividade de limpeza urbana, devem realizar um treinamento específico em proteção radiológica, para agir de forma segura caso encontre um dispositivo suspeito de ser radioativo.

Foram selecionados, dentre outros, os seguintes aspectos que devem ser de conhecimento desses profissionais: reconhecer o símbolo da radiação ionizante; conhecer tipos de dispositivos radioativos mais suscetíveis ao extravio; saber realizar um isolamento de área seguro e afastar curiosos sem provocar pânico; saber a quais autoridades que deverá solicitar auxílio imediato; ter ciência de que não deve manipular o objeto suspeito, ainda que esteja usando luvas, muito menos tentar realizar o resgate da suposta fonte radioativa, pois esta é uma tarefa a ser realizada por especialistas em emergências radiológicas e; que deve aguardar a equipe especializada que se responsabilizará por reconhecimento do material radioativo, a fim de prestar informações importantes relacionadas ao fato. O profissional deverá saber, também, dos possíveis efeitos biológicos que podem ocorrer caso se exponha a altas doses de radiação ionizante.

4. CONCLUSÕES

Foi verificado que o descarte de material radioativo em lugares públicos é uma realidade. E que há necessidade de os profissionais de limpeza urbana terem um conhecimento específico para proceder de forma segura o devido reconhecimento e recolhimento desse material radioativo descartado. Para

tal, é fundamental implementar um programa de treinamento em proteção radiológica para os profissionais de limpeza urbana, de forma que as ações sejam eficazes para proteger as pessoas e o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

1. CNEN. **Instalações autorizadas**. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/instalacoes-autorizadas>>. Acesso em 22/07/2017.
2. JORNAL G1. **Material radioativo é encontrado em depósito de lixo em Brasília**. Disponível em:<<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2011/09/material-radioativo-e-encontrado-em-deposito-de-lixo-em-brasilia.html>>. Acesso em 04/07/2017.
3. IAEA. **Fundamental Safety Principles**. IAEA Safety Standards Series SF-1, IAEA, 2006.
4. CNEN. **Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos**. CNEN, 1996.
5. CNEN. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. CNEN-NN-3.01. CNEN, 2014.

Anexo II

Pôster apresentado na conferencia internacional Radio 2017.

25 - 29 SEPTEMBER, 2017
CONVENTION CENTER
GOMANIA, BRAZIL
Sharing Experiences



AÇÕES DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NO RECOLHIMENTO DE MATERIAL RADIOATIVO DESCARTADO

E. P. M. Neri¹; F. C. A. Da Silva²
¹Pós-Graduação Lato Sensu em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas- IRD/CNEN;
²Instituto de Radioproteção e Dosimetria/CNEN
 dasilva@ird.gov.br

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios atuais é estabelecer o local ideal para o descarte a disposição final de resíduos. Por isso, cidade do Rio de Janeiro possui a maior empresa pública de limpeza urbana da América Latina, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) cujas atividades de limpeza são executadas por profissionais de limpeza urbana, os garis.



No Brasil há cerca de 1.722 instalações que utilizam fontes de radiação sendo 35% localizadas na região Sudeste.



Notícias envolvendo materiais radioativos encontrados em locais inadequados estão se tornando frequentes na mídia.



Algumas vezes, materiais radioativos são descartados e encontrados em locais inadequados como ruas, praças, cantinas de obras, aterros sanitários, etc., podendo, assim, serem encontrados por profissionais de limpeza urbana sem o devido treinamento em proteção radiológica para o manuseio, podendo se expor à radiação ou até ser contaminado.



Existem diversas recomendações internacionais, legislações e recomendações brasileiras sobre o descarte adequado de materiais radioativos visando à proteção das pessoas e do meio ambiente.



RESULTADOS

De acordo com o tipo de material radioativo, seja selado ou contaminante, ações de proteção radiológica devem ser tomadas pelos profissionais de limpeza urbana.

Ações de proteção radiológica no recolhimento de material radioativo descartado inadequadamente

- 1º. Identificar o objeto
- 2º. Identificar a distância
- 3º. Não tocar o objeto radioativo
- 4º. Não tentar retirar o resíduo do material radioativo
- 5º. Reportar na resposta à emergência
- 6º. Não seja omissos
- 7º. Notificar o seu superior
- 8º. Notificar o CNEN
- 9º. Solicitar auxílio
- 10º. Aguardar a chegada de equipe de emergência radiológica do IRD/CNEN

Ações Primárias:
Realizadas pelo garç que localizou o material radioativo





**Ações de emergência:
Realizadas por profissionais especializados em proteção radiológica e resposta a emergências radiológicas.**

- 1º. Atender à notificação
- 2º. Analisar a emergência em questão
- 3º. Entrevistar o profissional que localizou o material radioativo
- 4º. Recolher o material radioativo descartado
- 5º. Destinar o material radioativo recolhido

OBJETIVO

Apresentar as ações de proteção radiológica necessárias para o recolhimento seguro de material radioativo a ser realizado pelos profissionais de limpeza.

Demonstrar a necessidade de implementar um treinamento em proteção radiológica para os profissionais de limpeza.

CONCLUSÃO

Foi verificado que o descarte de material radioativo em lugares públicos é uma realidade.

É que há necessidade de os profissionais de limpeza urbana terem um conhecimento específico para proceder de forma segura o devido reconhecimento e recolhimento desse material radioativo descartado.

Para tal, é fundamental implementar um programa de treinamento em proteção radiológica para os profissionais de limpeza urbana, de forma que as ações sejam eficazes para proteger as pessoas e o meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi baseado na observação das atividades laborativas de profissionais de limpeza urbana, tendo por base o possível trajeto de um material radioativo como se fosse um resíduo comum. Essas observações foram relacionadas com evidências de materiais radioativos encontrados descartados de maneira inadequada e divulgadas na mídia.

Uma pesquisa e revisão bibliográfica sobre eventos acontecidos, os riscos de fontes radioativas e as ações de proteção radiológica foi realizada.

