



5º SEMINÁRIO DE SEGURANÇA INDUSTRIAL

Toluca

25/07/79

SEGURANÇA NO TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS RADIOATIVOS

. Arnaldo Mezrahi<sup>1</sup>  
. Ana Maria Xavier<sup>2</sup>

RESUMO

A crescente utilização de radioisótopos pela Indústria, Medicina e Centros de Pesquisa, bem como o processamento de materiais nucleares envolvem atividades rotineiras de transporte.

O presente trabalho tem como objetivos principais:

- i) identificação dos aspectos de segurança relacionados ao manuseio, transporte e armazenamento de materiais radioativos;
- ii) a orientação dos responsáveis pela segurança radiológica de instalações que utilizam radioisótopos visando a elaboração de procedimentos de rotina para minimizar a ocorrência de acidentes;
- iii) o relato de alguns casos-exemplos de acidentes ocorridos no Brasil em decorrência de não cumprimento das Normas de Transporte.

ABSTRACT

The increasing utilization of radioisotopes in Industrial, Medical and Research Facilities as well as the processing of Nuclear Materials involve transport activities in a routine basis.

The present work has the following main objectives:

- i) the identification of the safety aspects related to handling, transport and storage of radioactive materials;
- ii) the orientation of the personnel responsible for the radiological safety of Radioactive Installations viewing the elaboration and implementation of procedures to minimize accidents;
- iii) the report of case-examples of accidents that have occurred in Brazil due to non-compliance with Transport Regulations.

- 
- 1 Engenheiro Civil, MSc. em Ciência e Tecnologia Nuclear, Engenheiro da Comissão Nacional de Energia Nuclear, atua na área de Licenciamento de Instalações Radiativas e Nucleares.
  - 2 Engenheira Química, MSc. em Engenharia Química, Ph.D. pela Universidade de Cambridge, Diretora da Divisão de Instalações Nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear, atua na área de Licenciamento de Instalações Nucleares e Radiativas.



## 1- INTRODUÇÃO

A crescente utilização de radioisótopos por estabelecimentos industriais, médicos e de pesquisa vem acarretando um aumento nas atividades relacionadas ao transporte de materiais radioativos no país. Assim, fontes de Co-60 para aplicação em radioterapia e em esterilização de produtos, radionuclídeos tais como I-131, Tc-99m, Tl-201 e Ga-67 empregados em medicina nuclear, fontes seladas utilizadas em medidores industriais e ensaios não destrutivos transitam frequentemente por portos, aeroportos e principais rodovias do Brasil.

O presente trabalho tem como objetivo contribuir para um melhor entendimento dos requisitos necessários à realização com segurança de transportes de materiais radioativos.

## 2- CONCEITOS BÁSICOS

Em linhas gerais, a segurança no transporte de materiais radioativos está fundamentada na capacidade que a embalagem apresenta para fornecer a necessária contenção e blindagem.

Embalagem é definida como sendo um conjunto de componentes necessários para assegurar conformidade com os requisitos normativos. Pode, em particular, consistir de um ou mais recipientes, materiais absorventes, dispositivos para resfriamento, blindagem etc. A embalagem, juntamente com o seu conteúdo radioativo é denominada embalado.

A determinação do tipo mais adequado de embalagem está relacionada aos seguintes aspectos:

### 2.1- Forma física do material contido na embalagem

Os materiais radioativos transportados são classificados de acordo com a forma física em que se apresentam do seguinte modo:

- . material sob forma especial - não sujeito a dispersão
- . material sob forma normal - sujeito a dispersão

Os materiais radioativos sob forma especial apresentam-se em cápsulas seladas ou em forma sólida não sujeita a dispersão e devem atender aos seguintes requisitos:

- a) ter pelo menos uma dimensão maior que 5 mm;



b) possuir aprovação específica, após protótipos destes materiais terem sido submetidos aos seguintes testes:

- térmico
- queda livre
- percursão
- flexão

## 2.2- Tipos de materiais contidos na embalagem

Os principais materiais radioativos que podem estar contidos em embalagens são os seguintes:

### 2.2.1- Material Radioativo Sólido de Baixo Nível

#### 2.2.1.1- Sólidos nos quais:

- . a atividade sob condições normais de transporte, permanece uniformemente distribuída no sólido, ou num conjunto de objetos sólidos, ou ainda em agentes aglutinantes sólidos (cimento, betume, etc.);
- . a perda de material radioativo pelo efeito de vento, chuva, etc. e por imersão total em água, seja inferior a limites fixados;
- . o valor da atividade média distribuída uniformemente no material seja inferior a limites fixados.

2.2.1.2- Objetos contaminados por materiais radioativos, desde que a contaminação não se apresente sob forma prontamente dispersível e com níveis de contaminação superficial fixados.

#### 2.2.2- Material de Baixa Atividade Específica

Esta definição compreende materiais, tais como:

- . Minérios de Urânio ou Tório, concentrados físicos ou químicos destes minérios;
- . Urânio natural não irradiado ou empobrecido ou tório natural não irradiado;
- . Óxido de trício em solução aquosa, desde que a concentração não exceda a 10 Ci/l.

2.2.3- Esta definição abrange qualquer material contendo os seguintes radionuclídeos: Pu-235, Pu-239, Pu-241, U-233 e U-235. Urânio não irradiado e Urânio empobrecido não estão incluídos nesta definição.

## 2.3- Limitação do conteúdo, em atividade, das embalagens

A classificação dos diversos tipos de embalagens deve levar



em consideração a quantidade permissível de cada radionuclídeo a ser contido na mesma.

Desta forma são estabelecidos valores limites de atividades para cada radionuclídeo,  $A_1$  e  $A_2$ , de modo a permitir a identificação do tipo de embalagem a ser utilizada para o transporte.

Os valores de  $A_1$  e  $A_2$  são determinados a partir de considerações sobre radiotoxicidade, tipo de emissão radioativa, energia, etc., sendo adotado:

$A_1$ -Quando o material radioativo encontrar-se sob forma especial e

$A_2$ -Quando o material radioativo estiver sob forma sujeita a dispersão.

### 3- CLASSIFICAÇÃO DE EMBALAGENS PARA O TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS

Os principais tipos de embalagens utilizadas para o transporte de materiais radioativos são classificadas como se segue:

#### 3.1- Embalagens exceptivas

São embalagens utilizadas para o transporte de pequenas quantidades de materiais radioativos, artigos e instrumentos contendo materiais radioativos ou embalagens vazias que já contiveram material radioativo, e que só necessitam estar em conformidade com requisitos gerais de transporte, dentre os quais destacam-se:

3.1.1- Taxa de dose em qualquer parte da superfície externa da embalagem inferior a 0,5mrem/h;

3.1.2- Conteúdo em atividade limitada (Tabela V - Referência 1);

3.1.3- Valores de contaminação superficial não fixada, em qualquer superfície externa da embalagem, inferior aos estabelecidos (Tabela XI - Ref.1);

3.1.4- No caso específico de artigos e instrumentos, a taxa de dose a 10cm da superfície externa do instrumento ou artigo não embalado não deve exceder a 10mrem/h.

Adicionalmente, cada artigo ou instrumento deve portar a inscrição "RADIOATIVO";



3.1.5- No caso específico de pequenas quantidades de material radioativo, a inscrição "RADIOATIVO" deve ser visível quando da abertura da embalagem.

OBS 1: Embalagens para materiais radioativos que sejam explosivos não podem ser consideradas como exceptivas.

OBS 2: O correio brasileiro não aceita remessa de materiais radioativos, mesmo que considerados exceptivos.

### 3.2- Embalagens Industriais

São normalmente utilizadas para o transporte de materiais de Baixa Atividade Específica e Sólidos de Baixo Nível de Atividade e devem atender aos requisitos gerais de projeto, em particular ao que se segue:

3.2.1- Taxa de dose na superfície  $\leq 200\text{mrem/h}$  e  $\leq 10\text{mrem/h}$  a um metro da mesma (estas limitações poderão ser alteradas apenas em caso de transporte em regime de carga completa, i. e., uso exclusivo do veículo).

3.2.2- Valores limites para contaminação não fixada  
 $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\alpha$  de baixa toxicidade  $\leq 10^{-4}$   $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$   
outros emissores  $\alpha$   $\leq 10^{-5}$   $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$

3.2.3- Portar rótulos específicos contendo símbolo internacional indicativo da presença de radiação, devidamente preenchidos.

### 3.3- Embalagens Tipo A

São embalagens especialmente projetadas para resistir a condições normais de transporte e que, se submetidas aos testes abaixo especificados, impediriam:

- 1- perda ou dispersão do conteúdo radioativo, e
- 2- aumento do nível máximo de radiação na superfície externa.

A limitação do conteúdo em atividade para estas embalagens é dada pelos valores de  $A_1$  e  $A_2$ .

#### 3.3.1- Testes para Embalagens Tipo A

3.3.1.1- Testes de jato d'água - (jato d'água em quantidade: equivalente a uma taxa pluviométrica de 5 cm/h, com duração de 1 hora);

3.3.1.2- Teste de queda livre (1.2m);

3.3.1.3- Teste de compressão (com carga equivalente a 5 vezes o peso da embalagem);



3.3.1.4- Teste de penetração (queda de uma barra de 6 kg e 3.2 cm de diâmetro em posição vertical, da altura de 1m, no centro da parte menos resistente do protótipo).

Depois da realização de cada teste, deve ser demonstrado que a integridade da contenção e blindagem foi mantida.

3.3.2- Testes adicionais para embalagens Tipo A projetadas para líquidos e gases.

3.3.2.1- Queda livre (9m);

3.3.2.2- Penetração (1,7m).

3.4- Embalagens do Tipo B- B (U) e B(M)

As embalagens do tipo B são projetadas para resistir a danos causados por acidente de transporte, mantendo a integridade da contenção e blindagem a níveis especificados.

O projeto da embalagem do Tipo B(U) deve ser submetido somente à aprovação da autoridade competente do país de origem (aprovação unilateral), e protótipos devem resistir tanto aos testes especificados para embalagens do Tipo A como aos testes abaixo relacionados.

3.4.1- Testes para Embalagens do Tipo B

3.4.1.1- testes para embalagens do tipo A;

3.4.1.2- teste de queda livre (9m);

3.4.1.3- teste de queda livre (a um metro sobre um penetrador de aço com  $15 \pm 5$  cm de diâmetro);

3.4.1.4- teste térmico (o protótipo deve ser submetido a um fluxo de calor equivalente à exposição do mesmo a uma temperatura de 800°C por 30 minutos - emissividade  $\geq 0.9$ );

3.4.1.5- teste de imersão (um protótipo distinto deve ser imerso em uma coluna d'água de no mínimo 15m, durante 8 horas).

Devem ser avaliadas as condições de blindagem e contenção após cada teste realizado.

As embalagens do Tipo B(M) são aquelas que não atendem um ou mais critérios específicos de projeto da embalagem do Tipo B(U) e requerem, portanto, uma aprovação multilateral.



### 3.5- Embalagens Para Materiais Físseis

Todo material físsil deve ser embalado e transportado de maneira que a 'criticalidade' não seja atingida em circunstância alguma prevista durante o transporte. As embalagens são classificadas como Físsil-Classe I, Físsil-Classe II e Físsil - Classe III. Uma descrição detalhada dos requisitos pertinentes a estas embalagens foge ao escopo do presente trabalho.

### 4- CONTROLES PARA TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO

4.1- Uma embalagem contendo material radioativo não deve conter qualquer outro item, exceto aqueles artigos e documentos necessários ao uso do material radioativo.

4.2- Os níveis de contaminação não fixada em qualquer superfície externa de uma embalagem devem ser mantidos tão baixo quanto praticável, não devendo exceder a limites estabelecidos (Tabela XI, Ref 1).

4.3- O índice de transporte para o embalado deve estar definido. De uma maneira geral, entende-se por índice de transporte o número que expressa o nível máximo de radiação em mrem/h, a 1m da superfície externa do embalado.

4.4- Embalagens e cofres de carga devem pertencer a uma das categorias descritas abaixo:

Categoria	Nível Máximo de Radiação em qualquer ponto da superfície externa	Índice de Transporte (nº que expressa o nível máximo de radiação, em mrem/h, a 1 m da superfície externa)
Branco I	Menor ou igual a 0,5mrem/h	
Amarelo II	Maior que 0,5mrem/h e menor ou igual a 50 mrem/h	Maior que 0 mas menor ou igual a 1
Amarelo III	Maior que 50mrem/h e menor ou igual a 200mrem/h	Maior que 1 mas menor ou igual a 10
Amarelo III (carga completa)	Maior que 200mrem/h e menor ou igual a 1000mrem/h	Maior que 10



4.5- Durante o transporte, as embalagens devem permanecer em locais separados daqueles ocupados por trabalhadores, membros do público, filmes fotográficos virgens e outros produtos perigosos.

4.6- As embalagens de categoria AMARELO II e III não devem ser transportadas em compartimentos ocupados por passageiros.

4.7- Qualquer embalagem com um Índice de Transporte superior a 10 deve ser transportada sob a forma de 'CARGA COMPLETA' (i.e., USO EXCLUSIVO DO VEÍCULO).

4.8- Embalagens contendo materiais radioativos não devem ser armazenadas próximo a outros produtos perigosos.

4.9- O número máximo de embalagens de categorias AMARELO II e III deve ser tal que a soma dos índices de transporte em qualquer agrupamento individual não exceda a 50, sendo que o espaço entre agrupamentos não deve ser inferior a 6 metros.

4.10- No caso de transporte rodoviário de materiais radioativos deve ainda ser observado que:

4.10.1- O nível de radiação, sob condições rotineiras de transporte, não deve exceder a 200 mrem/h em qualquer ponto da superfície externa do veículo e a 10mrem/h a 2 metros do veículo.

4.10.2- O nível de radiação nos lugares do veículo normalmente ocupados por pessoas não deve exceder a 2mrem/h a menos que estas sejam monitoradas/controladas.

#### 5- RESPONSABILIDADES DO EXPEDIDOR DE MATERIAIS RADIOATIVOS

Constitui dever do expedidor de materiais radioativos, entre outros especificados nas normas em referência, o que se segue:

5.1- Assegurar que o conteúdo de cada remessa esteja completa e precisamente identificado, classificado, embalado, marcado e rotulado, e que se encontre em condições adequadas para transporte.

5.2- Fornecer ao transportador informações sobre:

- o destinatário, endereço completo e rota a ser seguida;
- equipamentos e requisitos especiais para o manuseio e fixação da carga;
- requisitos operacionais suplementares para carregamento, transporte, armazenamento, descarregamento e manuseio do





embalado ou uma declaração que tais requisitos não são necessários;

- quaisquer prescrições especiais de armazenamento para dissipação segura de calor do embalado, especialmente quando o fluxo de calor na superfície do mesmo exceder 15 Watt por metro quadrado;
- restrições impostas ao modo e/ou meio de transporte;
- providências a serem tomadas em caso de emergência.

5.3- Entregar ao transportador, para acompanhar a remessa, os seguintes documentos:

5.3.1- Certificado de expedidor de materiais radioativos contendo, no mínimo, as seguintes informações:

- . as palavras 'material radioativo'
- . a identificação dos certificados pertinentes (forma especial, projeto de embalagem, etc.);
- . o nome do material radioativo ou nuclídeo;
- . uma descrição da forma física e química do material;
- . a atividade;
- . a categoria da embalagem (Branco I, Amarelo II, Amarelo III);
- . o índice de transporte (Categorias Amarelo II e III somente).

5.3.2- Demais documentos pertinentes (autorização para exportação de material radioativo emitida pela CNEN, autorização para transporte de material radioativo emitida pela CNEN, faturas de compra/venda, etc.).

5.3.3- No caso específico de transporte rodoviário, os seguintes documentos adicionais são necessários:

- . certificado para despacho e embarque de produtos perigosos;
- . ficha de emergência e envelope para o transporte (Normas ABTN: NBR-7503 e NBR-7504).

## 6- AUTORIZAÇÃO PARA TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS

O transporte a granel de materiais radioativos e o transporte de materiais radioativos com atividades muito superiores aos valores de  $A_1$  ou  $A_2$  especificados para cada radionuclídeo presente (Tabela VII da Ref.1) devem ser autorizados pelo Departamento de Instalações e Materiais Nucleares da CNEN.



As seguintes informações devem constar do pedido de autorização para transporte de materiais radioativos:

- a) o período de tempo para o qual a autorização é desejada;
- b) descrição do conteúdo radioativo, dos meios de transporte previstos, dos tipos de veículos a serem utilizados e das rotas prováveis ou propostas;
- c) detalhes sobre como serão colocadas em prática as precauções específicas, bem como os controles operacionais e administrativos referentes ao certificado de aprovação do projeto da embalagem (anexar, se necessário, um Plano de Proteção Radiológica para o transporte).

#### 7- AUTORIZAÇÃO PARA EXPORTAÇÃO DE MATERIAIS RADIOATIVOS

A exportação de materiais radioativos só poderá ser realizada mediante autorização do Departamento de Instalações e Materiais Nucleares da CNEN.

#### 8- MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS RADIOATIVOS NO PAÍS

Os materiais radioativos utilizados em medicina, indústria e pesquisa são, em sua grande maioria, importados e i) entregues diretamente aos usuários ou ii) fracionados e posteriormente distribuídos. Alguns radioisótopos são produzidos no Brasil em reatores de pesquisa e aceleradores de partículas.

O IPEN/CNEN-SP é um dos principais processadores de radioisótopos, sendo, portanto, São Paulo a origem da maioria dos despachos aéreos e terrestres realizados.

A tabela I apresenta os valores estimados de transportes realizados em 1986. Os dados foram obtidos tomando-se como base: i) as autorizações emitidas pela CNEN para aquisição e importação de radioisótopos e ii) as relações de frentes de trabalho em Gama-grafia Industrial.

Pode ser observado nesta tabela o que se segue:

- 1- Para radioisótopos utilizados em Medicina Nuclear, o número de transportes realizados corresponde ao número de fontes. Esta asserção é verdadeira também para irradiadores de grande porte, uma vez que as fontes decaídas vêm permanecendo nos equipamentos;

2) No caso de Co-60 utilizado em Radioterapia, as fontes transportadas substituem outras com atividades insuficientes para a finalidade a que se propõem;

3) Para o Ir-192 empregado em Gamagrafia Industrial, o número de transportes é muito superior ao número de fontes, devido ao grande número de ensaios radiográficos realizados em obras localizadas em diversas regiões do país.

#### 9- CASOS EXEMPLOS DE ACIDENTES OCORRIDOS EM VIRTUDE DO NÃO CUMPRIMENTO DE NORMAS DE RADIOPROTEÇÃO E TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS

##### 9.1- Caso A

Em 08 de abril de 1985, através de telex enviado pela Atomic Energy Control Board do Canadá, foi dada ciência à Comissão Nacional de Energia Nuclear que uma embalagem contendo uma fonte de Cobalto-60 de 1700 Ci de atividade, proveniente do Brasil, chegou a Montreal apresentando taxas de exposição na superfície externa bem acima dos limites máximos permissíveis para transporte de material radioativo (Fig.1).

A CNEN, através de seu Departamento de Instalações e Materiais Nucleares (DIN) iniciou de pronto as investigações no sentido de apurar:

- i) como o material radioativo foi exportado sem a devida autorização daquele Órgão;
- ii) como uma embalagem projetada e aprovada para transportes de até 15.000 Ci de Co-60 poderia ter apresentado taxas de exposição acima dos limites permissíveis;
- iii) o número de pessoas envolvidas e as possíveis consequências radiológicas.

Após exaustivos contatos mantidos com i) o Hospital 'A', que adquiriu do Canadá uma fonte de 6.000 Ci de atividade, ii) a Empresa 'B' encarregada pela substituição da fonte "exaurida" pela fonte importada e iii) a Companhia Transportadora 'C', foi constatado o que se segue:

- a) a troca de fontes no Hospital 'A' foi realizada em 23.11.85;
- b) o engenheiro responsável pela operação de troca de fontes não recolocou um cilindro de proteção (dummy drawer) no compartimento da embalagem destinado à fonte exaurida, tendo o mesmo



- permanecido no compartimento auxiliar (ver Fig. 1);
- c) não foi realizado um levantamento radiométrico após a operação de troca de fontes;
  - d) o físico responsável pela proteção radiológica do Hospital 'A' apesar de ter detectado taxas de exposição elevadas próximas à embalagem nada comunicou à CNEN, tendo sido a carga entregue à firma transportadora;
  - e) o responsável pela firma transportadora desconhecia o fato da existência de uma fonte radioativa no interior da embalagem, por ter sido informado que se tratava de uma fonte "gasta";
  - f) o transporte foi realizado num período de 24 horas sem respeitar o estabelecido em normas vigentes;
  - g) a embalagem permaneceu armazenada no depósito da firma transportadora por dois meses e meio;
  - h) em 08 de fevereiro de 1985 a embalagem foi transportada para o porto do Rio de Janeiro e embarcada para o Canadá, tendo sido classificada como 'embalagem vazia' na documentação de transporte (conhecimento de embarque);
  - i) em 05 de março de 1985 o DIN/CNEN recebeu comunicação do laboratório de monitoração individual sobre a exposição excessiva à radiação, acusada pelo filme dosimétrico pertencente ao técnico responsável pela troca de fontes, qual seja 45 rem;
  - j) o DIN/CNEN solicitou providências da Empresa 'A' no sentido de esclarecer o ocorrido e apresentar resultados de exames médicos específicos.

A análise do caso acima relatado revela um conjunto de falhas humanas relacionadas i) ao não cumprimento de procedimentos básicos de radioproteção, ii) a inobservância das normas relativas ao transporte e armazenamento de materiais radioativos iii) a comunicações deficientes entre órgãos governamentais (CACEX-PORTOBRÁS-CNEN e prestadores de serviço (LABORATÓRIOS DE MONITORAÇÃO)).

#### 9.2- Caso B

Em 22.10.85 a empresa A comunicou a CNEN, por telex, o desaparecimento de irradiador de gamagrafia contendo uma fonte radioativa de Ir-192 com atividade de 24Ci, quando transportado em uma kombi no trajeto São Paulo-Itupeva.



As providências imediatas tomadas foram:

- 1- rastreamento do local (Itupeva) com monitor de radiação de área tipo Geiger Muller de propriedade da empresa;
- 2- aviso à Polícia local;
- 3- rastreamento do trajeto com cintilador cedido pela CNEN;
- 4- comunicação à imprensa com esclarecimentos à opinião pública, visando recuperar com segurança a embalagem contendo a fonte.

Em 31.10.85 o Irradiador foi encontrado em Campinas-SP, no acostamento da Rodovia dos Bandeirantes, pelo motorista de uma transportadora. O motorista abriu o irradiador antes de entregá-lo às autoridades e recebeu dose elevada de radiação, ocasionando lesão nas mãos. O caso está sendo acompanhado até hoje por médicos especializados.

A análise do caso acima descrito revela os seguintes procedimentos incorretos relativos ao transporte do material radioativo:

- 1- o veículo foi deixado desacompanhado e fora de observação;
- 2- a chave do irradiador estava no aparelho, possibilitando o acesso à fonte radioativa e conseqüente sobre-exposição de curiosos.

### 9.3- Caso C

Em 26.09.85 ao retornar do trabalho noturno em uma fábrica em Santo André-SP, a equipe de gamagrafia da empresa retirou um irradiador contendo uma fonte de 90 Ci da caixa de transporte para guardá-lo no local de armazenamento, deixando a caixa atrás de um pilar de concreto no pátio interno.

Pela manhã, o vigia notou um objeto no interior da caixa, aproximou-se e o manuseiou por cerca de um minuto, sem saber que se tratava de material radioativo.

No mesmo dia, outro operador, ao fazer a monitoração do local de armazenamento, notou elevada taxa de exposição no pátio, localizou e resgatou a fonte em 20 segundos.

As conseqüências do acidente foram:

- 1- por falta de monitoração, não houve indicação do instante em que o porta-fontes caiu do irradiador. Portanto, indivíduos do público podem ter sido irradiados no percurso Santo-André-São Paulo;
- 2- a fonte permaneceu exposta durante nove horas no pátio da sede da empresa, em local de circulação de indivíduos do público, in-



clusiye no horário do almoço, onde é grande o movimento de funcionários;

- 3- a exposição do vigia foi estimada em 72 rem para olhos, tórax, gônadas e mãos, baseado na tabela 6 do NCRP-40. Este funcionário apresentou lesões nos dedos e tem recebido acompanhamento médico especializado até a presente data.

A análise do caso acima revela os seguintes procedimentos incorretos:

- 1- falta de monitoração do veículo de transporte quando da chegada à sede da empresa;
- 2- abandono da caixa de transporte no pátio da empresa, quando a mesma deveria estar guardada no local de armazenamento;
- 3- falha operacional do responsável, ao deixar o sistema excêntrico aberto;
- 4- falha mecânica, pois foi constatado o funcionamento irregular da trava de segurança do equipamento;
- 5- falta de conhecimento, pelos funcionários da empresa, dos aspectos de segurança relacionados às atividades de ensaios radiográficos.

#### 10- INCIDENTES ENVOLVENDO DESAPARECIMENTO E/OU ROUBO DE MATERIAIS RADIOATIVOS DURANTE TRANSPORTE

A tabela II sumariza ocorrências relativas a desaparecimento de fontes radioativas durante o transporte ou armazenamento, incluindo causas e conclusões sob o ponto de vista de radioproteção.

Pode ser observado nesta tabela que a maioria dos desaparecimentos de materiais radioativos ocorreu por motivos indiretos, i.e., não havia interesse no material em si.

Estes fatos demonstram a necessidade de um controle mais rígido relativo a proteção física em paradas durante o transporte.

#### 11- CONCLUSÕES

O presente artigo teve como objetivos principais:

- i) a identificação dos aspectos de segurança relacionados ao transporte e armazenamento de materiais radioativos;
- ii) a orientação de responsáveis pela segurança de instalações



radiativas sobre aspectos relativos a radioproteção durante o transporte e armazenamento;

- iii) a quantificação de materiais radioativos transportados no país;
- iv) o relato de acidentes e incidentes ocorridos durante o transporte de materiais radioativos.

Convém ressaltar que os principais problemas existentes na área de transporte são decorrentes dos seguintes fatores:

- 1- desconhecimento das regulamentações e procedimentos básicos para o transporte seguro de materiais radioativos;
- 2- grande movimentação de materiais radioativos no país;
- 3- longas distâncias a serem percorridas, com freqüentes paradas diurnas e noturnas e armazenamento em trânsito;
- 4- roubo de veículo com carga radioativa.

#### REFERÊNCIAS

- 1- "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials", Safety Series nº 6 - Revised Edition (As Amended), IAEA, Vienna - 1979;
- 2- "Regulamento para a Execução do Serviço de Transporte Rodoviário de Cargas ou Produtos Perigosos"  
Anexo ao Decreto nº 88.821 de 06/10/83  
Ministério dos Transportes - Novembro 1984;

Tabela I - DADOS RELATIVOS A TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS NO BRASIL EM 1986

ISÓTOPOS	ATIVIDADE TO- TAL (Ci)	Nº FONTES	TRANSPORTES REALIZADOS 1986	PERCENTAGEM TRANSPORTE NO PAÍS		APLICAÇÃO
				AÉREO + TERRESTRE	TERRESTRE	
I-131	180	6000	6000	45%	55%	Medicina Nuclear
Tc-99m	2.950	2850	2850	60%	40%	Medicina Nuclear
Ir-192	23.000	250	10000	35%	65%	Gamagrafia In- dustrial
Tl-201	1,6	830	830	40%	60%	Medicina Nuclear
Ga-67	0.550	110	100	40%	60%	Medicina Nuclear
Co-60	200.000	2	2	-	100%	Esterilização
Co-60	59.000	9	17	-	100%	Radioterapia
Cs-137	32	100	100	-	-	Medidores de Ní- vel, densidade , etc. Radioterapia





Tabela II- CASOS EXEMPLOS DE MATERIAIS RADIOATIVOS  
EXTRAVIADOS DURANTE TRANSPORTE E/OU ARMAZENAMENTO

MATERIAL	VEÍCULO	PROCE- DÊNCIA	DESTINO	DATA DO DESAPA- RECI- MENTO	DATA DE RECUPE- RAÇÃO	LOCAL	CAUSA	CONCLUSÃO
Irrad. com fonte de Ir-192 c/ 45.2 Ci	Fiat	SP	Rio Branco do Sul-PR	14.12.79	18.12.79	Curitiba-PR	O funcionário deixou o veículo sem vigilância com o vidro aberto e a chave em cima do porta-luvas	Negligência do funcionário, falta de cumprimento de requisitos de transporte
Irradiador com fonte de Ir-192	Volkswagen	RJ	RJ	16.12.82	-	Av. Brasil, RJ	Assalto com emprego de armas de fogo	O material foi supostamente jogado no Rio Iguaçu, não tendo sido localizado após várias buscas
3 irradiadores sendo um sem fonte, um com uma fonte de Ir-192 de 17,5Ci e outra com 0,3Ci	-	-	-	12.07.83	17.07.83	Sede da empresa em SP	O local de armazenamento se encontrava com o cadeado aberto sem sinais de arrombamento	Falta de proteção física do local de armazenamento
1 Container c/1 fonte Am/Be 16Ci 1 Container c/1 fonte Am/Be 0.14Ci 1 com fonte Cs-137 de 1.5Ci	Caminhão Mercedes Benz	Belém	Teresina	13.09.83	-	-	O motorista sentiu-se mal, não prosseguiu viagem e não informou o ocorrido	Falta de informação do expedidor quanto a necessidade de estabelecimento de rotas, bem como transportador deveria proceder em caso d/emergência.

1 Container com 1 fonte de Ir-192 de 0.25Ci	konbi	RS	SP	03.12.84	08.12.84	Pirituba SP	Assalto com o objetivo de roubar a carga não radioativa	O veículo continha várias cargas, e não estava sinalizado.
Irradiador c/1 fonte de Ir-192 com 18 Ci	-	-	-	09.02.85	15.02.85	Salvador	O material foi roubado do Bunker da empresa que estava com o cadeado aberto	Falta de proteção física do local de armazenamento

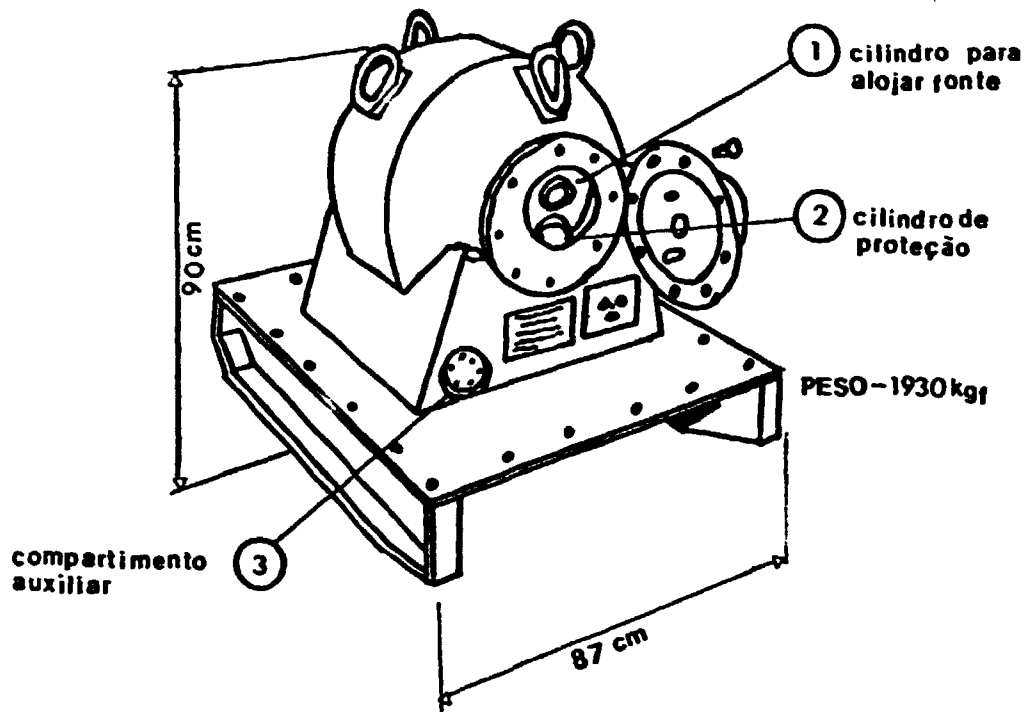


Fig.1 - Modelo de embalagem para transporte de fontes de Co-60

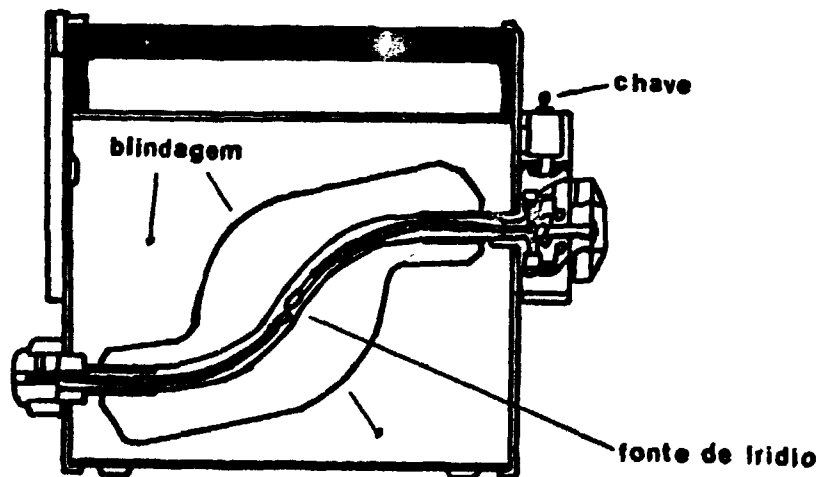


Fig. 2 - Modelo de irradiador utilizado em gamagrafia industrial