

## **Gestão de rejeitos radioativos no IPEN – 25 anos de história**

*José Claudio Dellamano, Roberto Vicente, Júlio Takehiro Marumo,  
Ademar José Potiens Jr., Hissae Miyamoto, Goro Hiromoto  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN  
Laboratório de Rejeitos Radioativos - LRR  
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária – CEP 05508-000  
São Paulo – São Paulo – Brasil  
[jcdellam@ipen.br](mailto:jcdellam@ipen.br); [rvicente@ipen.br](mailto:rvicente@ipen.br); [jtmarumo@ipen.br](mailto:jtmarumo@ipen.br); [apotiens@ipen.br](mailto:apotiens@ipen.br);  
[miyamoto@ipen.br](mailto:miyamoto@ipen.br); [hiromoto@ipen.br](mailto:hiromoto@ipen.br)*

### **Resumo**

Neste trabalho, apresentam-se alguns marcos históricos da gestão dos rejeitos radioativos no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, destacando-se a evolução das unidades de tratamento, desde a implantação das primeiras instalações na década de 70 até a construção da Unidade Integrada de Tratamento e Armazenamento – UITAR. Descreve-se as unidades e os processos de tratamento e o inventário de rejeitos radioativos acumulado nas últimas décadas. Apresenta-se, também, as linhas de pesquisa e desenvolvimento conduzidas nesta área, as metas para os próximos anos e as estratégias a serem utilizadas para atingi-las.

### **1. INTRODUÇÃO**

O Laboratório de Rejeitos Radioativos – LRR do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN é um dos centros de recepção dos rejeitos institucionais do país. Atua como executor da missão constitucional da Comissão Nacional de Energia Nuclear de receber e depositar os rejeitos radioativos gerados pelas instalações radiativas e nucleares do Brasil, conforme Lei Federal 7781 de 1989. Nesse contexto, é responsável pelo recebimento, tratamento e armazenamento dos rejeitos radioativos gerados nas aplicações nucleares no Estado de São Paulo e região sul do Brasil, o que representa, aproximadamente, 80% dos rejeitos institucionais gerados no país, além dos rejeitos gerados nos diversos laboratórios do IPEN.

O LRR presta, também, um serviço essencial ao funcionamento dos laboratórios de pesquisa do IPEN e tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento de tecnologias para a gestão dos rejeitos radioativos e na formação de pessoal qualificado. Conta, atualmente com 11 profissionais, sendo seis pesquisadores, cinco técnicos e cinco bolsistas de pós graduação.

## 2. HISTÓRIA

A problemática dos rejeitos radioativos no IPEN iniciou-se quando o reator de pesquisas tipo piscina IEA-R1 começou a operar, em 1958, e a primeira partida de  $^{131}\text{I}$  foi produzida.

Na primeira década de funcionamento do instituto, os rejeitos sólidos eram recolhidos em sacos de papel kraft e polietileno com capacidade para 40 L e gerenciados dentro do esquema de ‘armazenamento – decaimento – deposição in situ’, sem qualquer tratamento, sendo a deposição feita em valas simples. Os rejeitos líquidos da produção de radioisótopos eram armazenados em frascos de vidro e depois do decaimento eram misturados com as águas servidas dos laboratórios, dentro do esquema ‘retenção – decaimento – descarte na rede de esgoto’, com ajuste de acidez/alcalinidade. A atividade baixa, os pequenos volumes gerados e a meia-vida curta dos radioisótopos presentes permitiam essa forma de gestão.

A segunda década foi caracterizada pela grande expansão e diversificação das atividades de pesquisa e na produção de radioisótopos. O IPEN passou a contar com plantas piloto de conversão e reconversão de urânio, planta para fabricação de elementos combustível para o reator de pesquisa, uma planta de produção de nitrato de tório, laboratórios de reprocessamento de combustível queimado, plantas para produção de fontes seladas e outros laboratórios de aplicações diversas de tecnologia nuclear. Essa expansão resultou em um aumento significativo na geração de rejeitos radioativos, seja em volume, seja em atividade, e resultou também na presença de radioisótopos com meia vida longa, principalmente nos rejeitos dos laboratórios de ciclo do combustível. No final da década, aquele método de gestão atingiu seu limite e precisou ser modificado.

A partir de 1979, os rejeitos sólidos deixaram de ser enterrados em valas e começaram a ser planejadas as instalações para tratamento e armazenamento. Começaram a ser planejadas também as instalações para tratamento dos rejeitos líquidos de meia vida longa que necessitariam de tempo longo de retenção para decaimento. A instalação para tratamento e armazenamento dos rejeitos sólidos entrou em operação em 1982. Na Figura 1 vê-se essa instalação, logo após o início de operação; era constituída de um edifício para abrigar o compactador dos rejeitos sólidos e plataformas para armazenamento dos tambores.



**Figura 1. Primeira instalação para tratamento e armazenamento de rejeitos radioativos**

O compactador permitia prensar os rejeitos dentro de tambores de 200 L, com força de 10 toneladas, alcançando fator cinco de redução de volume. Estavam planejados também um incinerador e plantas para tratamento e cimentação de rejeitos líquidos.

Após alguns anos de operação verificou-se que o método de armazenamento dos tambores sobre plataformas cobertos com lona era inadequado porque favorecia a corrosão e galpões foram construídos para armazenar os rejeitos tratados. Na Figura 2 vê-se a instalação após a construção dos galpões. As plantas para tratamento de rejeitos líquidos não foram construídas, porém, optando-se por melhorar a infra-estrutura junto aos próprios geradores.



**Figura 1. Instalação para tratamento e armazenamento de rejeitos radioativos (1990)**

Um fato que teve impacto importante na gestão dos rejeitos radioativos no IPEN foi o acidente de Goiânia, em 1987.

Em primeiro lugar, quase 80 metros cúbicos de fardos de papel contaminados com  $^{137}\text{Cs}$  foram transportados para fábricas de reciclagem em quatro cidades do Estado de São Paulo, assim como 20 metros cúbicos de sucata metálica, antes que o acidente fosse detectado. Esses rejeitos junto com os rejeitos gerados na descontaminação das fábricas foram recolhidos ao IPEN, triplicando repentinamente a quantidade de rejeitos armazenados.

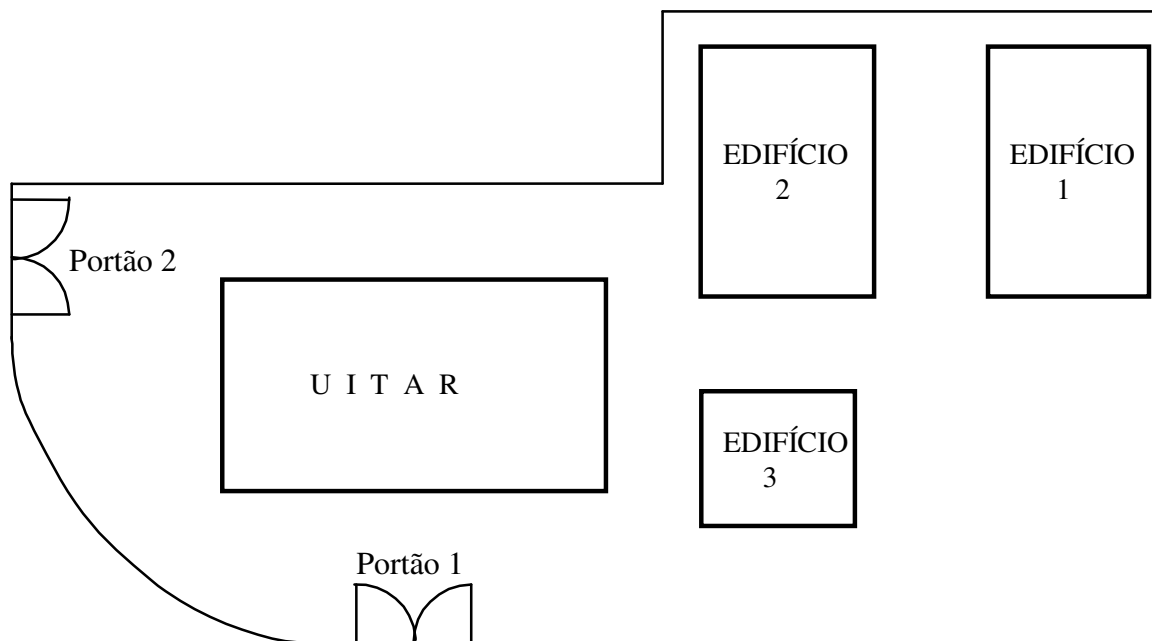
Em segundo lugar, o acidente deu início a um amplo programa de fiscalização das instalações radiativas no país, principalmente daquelas que possuíam fontes seladas, resultando em um ingresso progressivo de fontes seladas descartadas como rejeito.

Em terceiro lugar, o acidente precipitou a decisão sobre a proibição do uso de pára-raios radioativos. Na data da proibição já havia cerca de 75.000 pára-raios instalados no país, os quais passaram a ser recolhidos a uma taxa de 1.000 a 2.000 por ano, fazendo crescer o volume de rejeitos de meia vida longa, neste caso, o  $^{241}\text{Am}$ .

Em meados da década de 90, algumas instalações do IPEN começaram a ser descomissionadas ou reformadas, o que, junto com o ingresso de um grande número de fontes seladas, pára-raios e rejeitos sólidos não compactáveis com taxas de exposição elevadas, forçou uma nova concepção para as instalações de gestão dos rejeitos radioativos. Essa idéia foi concretizada na forma de uma unidade integrada, concebida como uma ampliação das instalações antigas e em que estavam previstas instalações para tratamento de todos aqueles rejeitos radioativos. Essa nova instalação começou a ser construída em 1998 e várias de suas unidades estão ainda em fase de projeto e construção. Essa instalação é a que se detalha neste trabalho.

### 3. INFRA-ESTRUTURA

O LRR dispõe de, aproximadamente, 3.500 m<sup>2</sup> de área onde estão distribuídas suas instalações: um galpão de armazenamento intermediário de rejeitos radioativos tratados de 200 m<sup>2</sup> (edifício 1); um outro galpão de igual dimensão para armazenamento inicial de rejeitos radioativos não tratados (edifício 2); um prédio de 80 m<sup>2</sup> que também está sendo usado para armazenamento inicial de rejeitos não tratados (edifício 3); e um edifício com dois pavimentos de 15 x 35 metros para o armazenamento inicial e o tratamento dos rejeitos, Unidade Integrada de Tratamento e Armazenamento de Rejeitos Radioativos - UITARR. Na Figura 3 apresenta-se um esquema de toda a área do LRR. Nas Figuras 4 e 5 estão detalhadas as instalações existentes no pavimento superior e inferior da UITARR, respectivamente, cujas funções serão relatadas a seguir.



**Figura 3. Esquema da disposição das edificações do LRR**

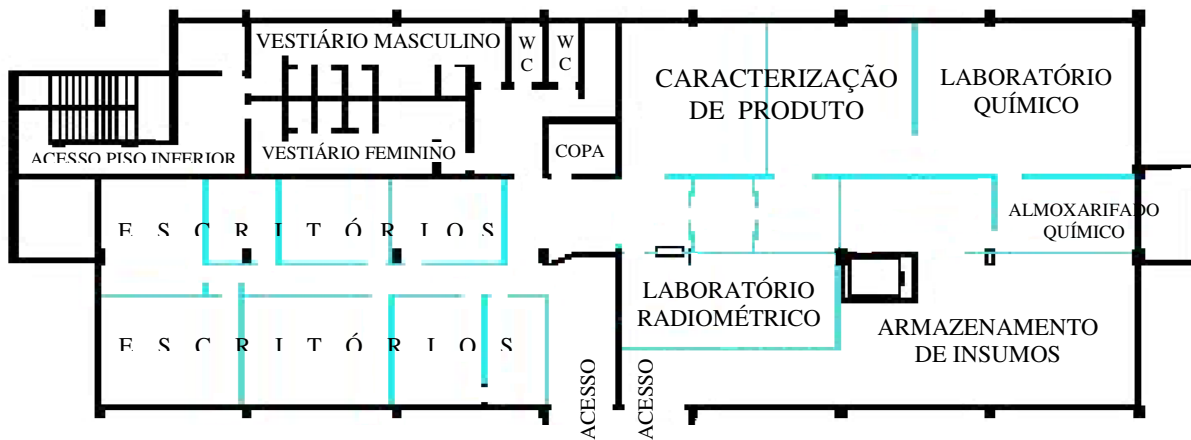


Figura 4. Instalações existentes no piso superior da UITARR

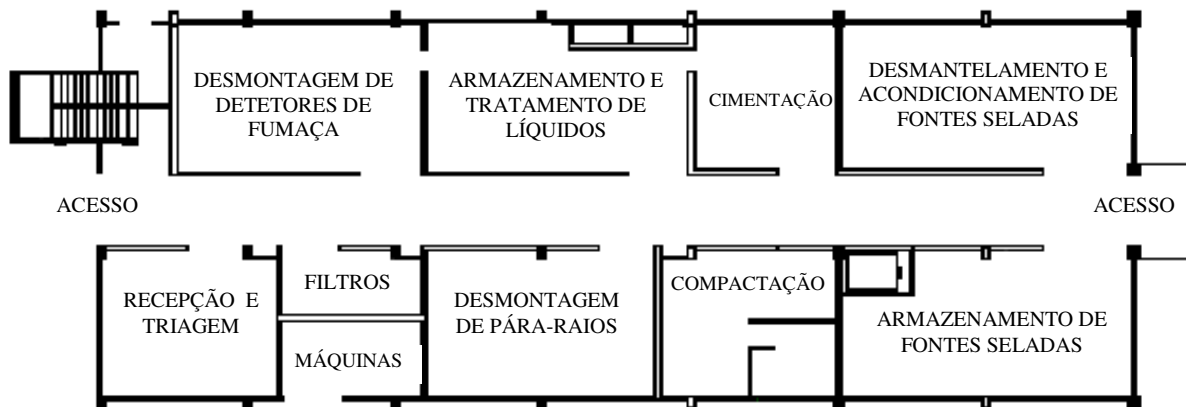


Figura 5. Instalações existentes no piso inferior da UITARR

### 3.1 Descrição das Instalações da UITARR

**Pavimento superior** – No piso superior estão localizados os laboratórios químicos para preparação de amostras, o laboratório de caracterização de produto, o laboratório radiométrico para caracterização primária de rejeitos radioativos, os escritórios os vestiários de acesso à área controlada.

O Laboratório radiométrico possui infra-estrutura para análise radioisotópica de rejeitos radioativos e conta com um espectrômetro alfa com dois detetores e fonte mista padrão para calibração; um espectrômetro gama e blindagem para medidas em diversas geometrias; um

espectrômetro gama e metodologia desenvolvida para ser utilizado na determinação da atividade de tambores de rejeito radioativo; um cintilador líquido para medição de emissores beta; e um espectrômetro portátil para medidas de campo.

O Laboratório de caracterização possui a infra-estrutura necessária para formular as composições para solidificação de rejeitos em cimento e garantir a qualidade do produto. Para isso, conta com argamassadeira, alimentador automático de cimento, politriz, panela elétrica para fundição do enxofre, prensa hidráulica, agulha de Vicat e mesa para determinação da consistência do concreto.

**Pavimento inferior** – O acesso ao piso inferior se faz exclusivamente pelos vestiários, passando pelo ponto de controle de proteção radiológica, onde está localizado o monitor de pés, mãos e roupas. Todas as unidades deste pavimento contam com um sistema de exaustão que garante uma depressão de 5mm de coluna de água. As instalações são as seguintes:

Uma sala para recepção, triagem e segregação, onde é feita a checagem da documentação, a triagem dos rejeitos recebidos e distribuição dos mesmos para as respectivas áreas de tratamento e armazenamento inicial.

Uma sala para desmontagem de pára-raios, onde é feita a retirada das fontes radioativas de  $^{241}\text{Am}$  da estrutura metálica do pára-raios. Esta desmontagem é feita em uma caixa com luvas mantida sob depressão com sistema de monitoração de efluentes gasosos. As fontes radioativas são coletadas em embalagens metálicas de 3,6 litros e a sucata é coletada em tambores metálicos de 100 litros para posterior descontaminação, monitoração e descarte. Na Figura 6 apresenta-se a caixa com luvas onde essa operação é realizada.



**Figura 6. Caixa com luvas utilizada para desmontagem de pára-raios radioativos**

Uma sala para compactação, onde os rejeitos compactáveis são armazenados e prensados em tambores de 200 litros, os quais, posteriormente, são monitorados e enviados para o galpão de armazenamento intermediário. A prensa utilizada nesse tratamento tem capacidade de 10 ton.força o que resulta num fator cinco de redução de volume. Na figura 7 apresenta-se uma foto dessa unidade



**Figura 7. Vista geral da unidade de compactação**

Uma sala para armazenamento de fontes, onde as fontes seladas exauridas, recebidas de indústrias, centros de saúde e pesquisa são armazenadas para futuro desmantelamento e acondicionamento. As fontes são colocadas em paletes metálicos, tipo gaiola, e estes posicionados em porta-paletes. Na Figura 8 apresenta-se uma vista desta unidade.



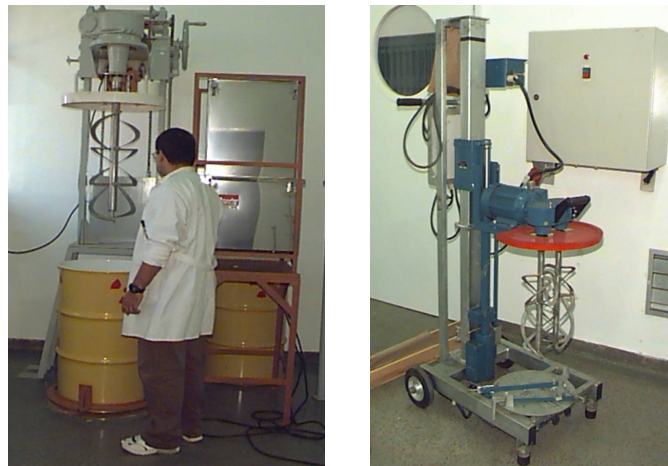
**Figura 8. Unidade de armazenamento de fontes**

Uma sala para desmantelamento e acondicionamento, onde as fontes exauridas serão retiradas de suas blindagens originais e transferidas para blindagens padrão. A cela blindada para desmantelamento e acondicionamento está em fase final de construção e terá capacidade para desmantelamento de fontes com atividades da ordem de terabecquerel, dependendo do radionuclídeo. Na Figura 9 tem-se uma vista geral da cela blindada que será utilizada nesse processo.



**Figura 9. Vista geral da cela blindada de desmantelamento de fontes**

Uma sala para cimentação, onde os rejeitos líquidos e sólidos úmidos serão imobilizados em cimento após tratamento. Há um equipamento de cimentação em embalagens de 20 litros (em funcionamento) e uma instalação para cimentação em embalagens de 200 litros (em fase de construção). Esta unidade conta também com uma capela de exaustão, onde serão manuseadas as amostras retiradas dos tambores. Na figura 10 apresenta-se as duas unidades.



**Figura 10. Unidade de cimentação de rejeitos em embalagens de 200 e 20 litros.**

Uma sala para armazenamento e tratamento de líquidos, onde os rejeitos líquidos são armazenados até que sejam caracterizados, tratados e imobilizados. Esta unidade conta com duas baias de contenção, de concreto, para armazenamento de bombonas e frascos contendo rejeito líquido.

Uma sala para desmontagem de detetores de fumaça, onde é feita a retirada das fontes radioativas da estrutura do detetor de fumaça. Detalhes do tratamento desses rejeitos são apresentados em outro trabalho neste Congresso (Dellamano e Vicente, 2006). Na figura 11 apresenta-se uma ilustração do processo.



**Figura 11. Desmontagem de detetores de fumaça**

### **3.2 Descrição dos Galpões de Armazenamento de Rejeitos do LRR**

O galpão de armazenamento intermediário de rejeitos radioativos tratados de 200 m<sup>2</sup> (edifício 1) está com sua capacidade esgotada, como pode-se verificar na Figura 12, por esse motivo o edifício 2 está sendo utilizado tanto para armazenamento inicial de rejeitos radioativos não tratados como para armazenamento intermediário de rejeitos radioativos tratados. Na figura 13 apresenta-se o interior do edifício 2.



**Figura 12. Galpão de armazenamento intermediário (edifício 1)**



**Figura 13. Imagem do interior do edifício 2**

### 3.3 Inventário Radioisotópico presente no LRR

Os rejeitos radioativos recebidos e tratados pelo LRR vêm dos Centros de pesquisa do IPEN e das aplicações nucleares na indústria, medicina e pesquisa. Na Tabela I são apresentadas as quantidades de rejeitos radioativos, de acordo com suas classes, e os principais radionuclídeos presentes nesses rejeitos e refletem o volume recebido até dezembro de 2005.

**Tabela I – Inventário de materiais radioativos do LRR (dez/05)**

Classe do rejeito	Quantidade total	Principais radioisótopos	Atividade total (Bq)
Sólido compactável	790 (tb 200 L)	$^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{239}\text{Pu}$	$6,4 \times 10^{11}$
Sólido não compactável	402 (tb 200 L) 52 (cx metl)	$^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{239}\text{Pu}$	$2,4 \times 10^{11}$
Sólido úmido	60 (tb 200 L)	$^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{238}\text{U}$ ,	ND (*)
Líquido	810 L	$^{239}\text{Pu}$ , $^3\text{H}$ , $^{137}\text{Cs}$	$< 1, \text{E}+10$
Fonte selada	9.232 (pça)	$^{60}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{226}\text{Ra}$	$1,5 \times 10^{14}$
Pára-raios	15.237 (pça)	$^{241}\text{Am}$ , $^{226}\text{Ra}$	$1,5 \times 10^{12}$
Detetor de fumaça	20.145 (pça)	$^{241}\text{Am}$	$6,0 \times 10^8$

(\*) em processo de análise (inserido no projeto de pesquisa de caracterização)

#### 4. PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Além das tarefas rotineiras de recebimento e tratamento de rejeitos, o LRR mantém um programa de pesquisa e desenvolvimento visando aperfeiçoar as técnicas, modernizar a infra-estrutura e desenvolver novas tecnologias para a gestão dos rejeitos radioativos.

As principais linhas de pesquisa conduzidas pelo LRR são:

**Caracterização de rejeitos radioativos** – Os principais projetos envolvidos nesta linha de pesquisa são: caracterização de resinas de troca-iônica e carvão ativo provenientes do sistema de tratamento de água do reator de pesquisa IEAR-1 e proposição de “receitas” para a imobilização deste material em cimento aditivado; otimização da etapa de armazenamento intermediário de rejeitos por meio de nova segregação e triagem considerando os novos valores de limites isenção e dispensa; e caracterização radioisotópica de tambores contendo rejeitos radioativos sólidos compactáveis utilizando redes neurais artificiais.

**Tratamento e deposição de fontes seladas** – As três principais áreas envolvidas nessa linha de pesquisa são o projeto da cela blindada para o desmantelamento das fontes, o projeto da embalagem de deposição e o desenvolvimento do conceito de um repositório profundo, exclusivo para a deposição de fontes seladas. Estão incluídas as fontes seladas utilizadas na indústria, medicina e pesquisa, as fontes de  $^{241}\text{Am}$  ou  $^{226}\text{Ra}$  retiradas dos pára-raios radioativos e as fontes de  $^{241}\text{Am}$  retiradas dos detectores de fumaça.

**Riscos ambientais** - Estão em andamento projetos para determinação de valores orientadores para remediação de solos contaminados com radionuclídeos, estudos de percepção e comunicação de riscos relativas à aplicações nucleares, desenvolvimento de software para tomada de decisão baseada em análise multi-critério e avaliação do risco de contaminação causada pela deposição de pára-raios radioativos em aterros a céu aberto.