

BR9024076

ISSN 0101-3084



**CNEN/SP**

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

GERENCIAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS PROVENIENTES  
DO USO DE MATERIAIS RADIOATIVOS NA MEDICINA,  
INDÚSTRIA E PESQUISA

Achilles A. SUAREZ e Hisae MIYAMOTO

IPEN - PUB - - 289 .

PUBLICAÇÃO IPEN 289

JANEIRO/1990

SÃO PAULO

**GERENCIAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS PROVENIENTES DO  
USO DE MATERIAIS RADIOATIVOS NA MEDICINA  
INDUSTRIA E PESQUISA**

**Achilles A. SUAREZ e Hisae MIYAMOTO**

**DEPARTAMENTO DE CICLO DO COMBUSTÍVEL**

**CNEN/SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO - BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

E50.00

INDUSTRIAL WASTES  
MEDICINE  
RADIOACTIVE WASTES  
WASTE MANAGEMENT

---

IPEN - Doc - 3469

Publicação aprovada pela CNEN em 22/12/89.

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).

**GERENCIAMENTO DE REJEITOS RADIOATIVOS PROVENIENTES DO USO DE  
MATERIAIS RADIOATIVOS NA MEDICINA, INDÚSTRIA E PESQUISA**

**Achilles A. SUAREZ e Hissae MIYAMOTO**

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**C. POSTAL 11049 - Pinheiros**

**05499 - São Paulo - Brasil**

**RESUMO**

O gerenciamento adequado de rejeitos radioativos provenientes dos usos de radionuclídeos na medicina, pesquisa, e indústria é tão importante quanto aquele referente aos rejeitos provenientes do ciclo do combustível nuclear, muito embora, a contribuição em termos volumétricos seja bem menor. A solução que permite atender aos objetivos de segurança envolve a utilização de procedimentos e técnicas administrativas adequadas e baseadas na experiência acumulada durante vários anos pelos diversos países que praticam o uso pacífico da energia nuclear.

**RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT OF NUCLEAR MATERIALS USED IN  
MEDICINE, INDUSTRY AND RESEARCH**

**Achilles A. SUAREZ and Hissae MIYAMOTO**

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
Caixa Postal 11049 - Pinheiros  
05499 - São Paulo - BRASIL**

**ABSTRACT**

Appropriate radioactive waste management applied to wastes resulting from the use of radionuclides for medical, research, or industrial purposes is so important as those from the nuclear fuel cycle, even considering their lower volumes. The strategy permitting reach the safety standards use procedures and administrative practices based in accumulated experience of various countries during many years.

## Introdução

Durante as últimas décadas observa-se uma escalada exponencial no uso de materiais radioativos em atividades médicas para fins de diagnóstico ou terapia e na indústria em técnicas de controle de qualidade, de processo ou em técnicas alternativas de produção.

Quase toda a prática humana tem como resultado, além do benefício líquido, algum tipo de resíduo ou eventualmente algum rejeito com o qual tem que se preocupar. Aqui a palavra rejeito radioativo deve ser entendida como qualquer material cuja reutilização é indesejável e que deve ser mantido fora do alcance ou do convívio humano por períodos de tempo compatíveis com a meia vida dos radionuclídeos presentes.

A utilização de produtos radioativos na medicina, indústria ou pesquisa pode causar certos tipos de preocupações ligadas as técnicas de tratamento dos rejeitos ali gerados.

As instituições devem tratá-los ou repassá-los àquelas entidades que detem o conhecimento e a infra estrutura adequados?

Se a prática de tratamento tem seus custos cada vez mais elevados isto poderia desestimular ou até mesmo inviabilizar a utilização de materiais radioativos na medicina ou indústria?

A resposta é não as duas questões.

Utilizando técnicas adequadas para minimizar a produção de rejeitos e práticas de redução de volume é possível que os geradores de rejeitos sejam capazes de minimizar a

quantidade de rejeitos que necessitem de tratamento e consequentemente diminuir os custos operacionais.

Os "dez mandamentos" para minimizar a geração de rejeitos na área médica e instituições de pesquisa são(1):

- 1º Utilizar tanto quanto possível, os métodos que não precisem envolver o uso de produtos radioativos;
- 2º Utilizar, sempre que possível, radionuclídeos de vida curta;
- 3º Adquirir somente a quantidade necessária de material radioativo;
- 4º Empregar técnicas de minimizar volumes nos diversos procedimentos experimentais, de maneira a produzir menos rejeitos;
- 5º Assegurar que os materiais colocados nos recipientes de coleta sejam de fato radioativos;
- 6º Evitar contaminações radioativas desnecessárias utilizando planejamento e manuseio adequados;
- 7º Implementar estratégias efetivas de segregação dos rejeitos radioativos;
- 8º Reduzir quando possível o volume dos rejeitos por incineração, compactação, destilação, evaporação etc;

- 92 Utilizar as isenções regulamentares ou liberações controladas para quantidades e tipos específicos de rejeitos radioativos se a instituição possuir licença específica; e
- 102 Armazenar para decaimento, se possível, os rejeitos e liberá-los como material não radioativo nas quantidades abaixo dos limites estipulados pelos órgãos regulamentadores oficiais.

Atualmente, pode-se produzir radionuclídeos de vida curta, usados na medicina, através de técnicas novas que permitem substituir aqueles radionuclídeos de vida maior usados em anos passados. O próprio desenvolvimento das técnicas de medida tem permitido que os níveis de atividade manipulados possam ser reduzidos.

Nas atividades industriais contudo, nem todos os dez mandamentos podem ser aplicados uma vez que as atividades manipuladas são usualmente bem mais elevadas e as meias vidas dos radionuclídeos utilizados é maior.

#### **Aplicação de radioisótopos na medicina e na indústria**

Atualmente a descoberta e o uso de novas aplicações de radionuclídeos na medicina, pesquisa ou indústria continuam expandindo-se. As Tabelas I e II mostram alguns exemplos de radionuclídeos usados na medicina, pesquisa e indústria no Brasil.

As atividades dos radioisótopos manipulados variam muito de acordo com a finalidade a que se destinam. Podem



Tabela I - Principais radionuclídeos usados na medicina, medicina clínica e pesquisa biológica

Radionuclídeos	Meia vida	Uso principal	Característica do rejeito
$^3\text{H}$	12.26 a	Diagnóstico clínico, pesquisa	Sólido, líquido, solvente orgânico
$^{14}\text{C}$	5960 a	Pesquisa clínica	Sólido, líquido, solvente orgânico
$^{24}\text{Na}$	15.0 h	Medição de intercâmbio de sódio e composição corpórea	Sólido, líquido
$^{32}\text{P}$	14.3 d	Estudos metabólicos, terapia clínica, pesquisa biológica	Sólido, líquido
$^{35}\text{S}$	87.1 d	Estudo metabólico (colágeno)	Sólido, líquido
$^{42}\text{K}$	12.4 h	Medidas de intercâmbio de potássio, composição corpórea etc.	Sólido, líquido
$^{45}\text{Ca}$	152.0 d	Cintilografia renal e cerebral	Sólido, líquido
$^{51}\text{Cr}$	27.8 d	Medidas clínicas, pesquisa biológica	Sólido, líquido
$^{82}\text{Br}$	35.9 h	Determinação de líquidos extracelulares	Sólido, líquido
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	5.9 h	Diagnóstico clínico (cintilografia hepatobiliar, renal, hepato-esplênico, cerebral, pulmonar e óssea), estudos circulatórios	Sólido, líquido
$^{125}\text{I}$	60 d	Diagnóstico e investigação clínica, pesquisa biomédica (hormônio do crescimento), diagnóstico da puberdade precoce, infertilidade etc	Sólido, líquido
$^{131}\text{I}$	8.0 d	Diagnóstico clínico (absorção de gordura, tumores cerebrais, função tireoidiana) determinação de volume de sangue e plásmas	Sólido, líquido

Tabela II - Principais radionuclídeos usados na indústria

Radionuclídeos	Meia vida	Uso principal
$^3\text{H}$	12.3 a	Ionizador de ar, tintas luminosas, válvulas cintiladoras
$^{60}\text{Co}$	5.27 a	Terapia, medidor de nível, medidor de espessura, esterelização, gamagrafia etc
$^{82}\text{Br}$	35.3 h	Bandagens de solo, hidrologia
$^{85}\text{Kr}$	10.8 a	Medidor e controlador de espessura
$^{90}\text{Sr}$	28.5 a	Terapia, medidor de espessura
$^{137}\text{Cs}$	30.1 a	Terapia, medidor de nível, medidor de espessura, gamagrafia etc
$^{147}\text{Pm}$	2.62 a	Fabricação de eletrodos para disparadores elétricos
$^{192}\text{Ir}$	74.0 d	Gamagrafia
$^{204}\text{Tl}$	3.78 a	Medidor de espessura, terapia
$^{210}\text{Po}$	138.4 d	Eliminadores de estática, ionizadores de ar etc
$^{241}\text{Am}$	432.6 a	Para raios, detetores de fumaça
$^{226}\text{Ra}$	1600 a	Medidor de nível, gamagrafia, terapia, tintas luminosas etc
$^{252}\text{Cf}$	2.64 a	Medidor de unidade

variar de alguns poucos kBq ( $\approx \mu\text{Ci}$ ) até algumas dezenas de TBq ( $\approx 1000 \text{ Ci}$ ).

Os radionuclídeos utilizados na área médica e instituições de pesquisa ligados a área biomédica são utilizados basicamente em : estudos do comportamento, estrutura e cinética de substâncias biológicas e sistemas biológicos; diagnósticos clínicos em que as funções de sistemas de órgãos são medidos utilizando-se traçadores radioativos; tratamentos terapêuticos em que determinadas áreas do corpo são irradiadas com o objetivo de destruir tecidos doentes; ensaios clínicos "in vitro" etc.

Em muitos estudos da área biomédica são utilizadas moléculas marcadas tipicamente com carbono, hidrogênio, enxofre, fósforo, potássio, oxigênio, cálcio e cloro ou elementos, por exemplo o iodo, que se ligam facilmente a compostos biologicamente importantes. As atividades dos materiais radioativos envolvidos são em geral baixas. Em muitos casos os riscos químicos ou patogênicos superam os riscos radiológicos apresentados pelos rejeitos.

Nos estudos clínicos de radiodiagnóstico os radionuclídeos utilizados são tipicamente emissores gama de meia vida curta e energia não muito alta (p.ex. :  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ).

Nas aplicações terapêuticas de radionuclídeos, o material radioativo pode ser utilizado em três situações diferentes a saber: (1) o material radioativo é introduzido no corpo do paciente por ingestão ou injeção; (2) uma fonte selada de material radioativo é colocada temporariamente no corpo do paciente junto ao órgão afetado ou tumor a ser irradiado; e (3) uma parte da superfície do corpo do paciente é irradiada por exposição a uma fonte radioativa

externa. No primeiro caso os radionuclídeos utilizados possuem tipicamente meias vidas curtas (p. ex.:  $^{131}\text{I}$  ou  $^{32}\text{P}$ ) o que já não ocorre no segundo e terceiro casos.

Na indústria o uso de materiais radioativos se caracteriza pelo uso de traçadores para a monitoração de processos, rês hidricas, movimentos de água subterranea, estudo de desgaste e corrosão de peças etc; como fontes seladas em ensaios de gamagrafia para controle de qualidade de soldas, medidores de nível, medidores de espessura; esterilização de produtos diversos (por exemplo material cirúrgico) etc.

Alguns exemplos de tipos mais comuns de rejeitos que podem conter material radioativo são:

#### Rejeitos sólidos:

Cateteres, filtros de diversos tipos, tubulações de vidro e de plástico, pipetas, bequers, frascos, tubos de ensaio, tubos de amostragem, seringas, peças metálicas, amostras sólidas de solo, piso, alvenaria, instrumentos e ferramentas contaminadas, materiais de proteção pessoal, luvas, papel, papelão, materiais de embalagem, borracha, isopor etc.

#### Rejeitos líquidos orgânicos:

Óleos; solventes por exemplo álcoois, aldeídos ou cetonas; soluções cintiladoras contendo tolueno, benzeno, xileno; soluções de descontaminação etc.

Rejeitos líquidos aquosos:

Soluções de lavagens de vidraria, detergentes, soluções salinas, básicas ou ácidas, soluções tampão, etc.

Rejeitos biológicos:

Carcacas de animais, excreta, fluidos orgânicos, alimentos contaminados etc.

Compostos halogenados:

Certos compostos contendo um ou mais halogêneos (fluor, cloro, bromo ou iodo), por exemplo tetracloreto de carbono, PVC, clorofórmio e determinados plásticos. Estes materiais podem apresentar algum problema quanto ao tratamento, especialmente se a técnica a ser utilizada for a incineração.

Fontes radioativas:

Fontes para gamagrafia, terapia, calibração, medidores de nível, espessura ou umidade, para ionização etc. As fontes radioativas seladas que são utilizadas em diversos equipamentos na indústria, pesquisa e medicina podem mais cedo ou tarde tornar-se rejeitos. Muitas das fontes seladas representam um problema radiológico mesmo quando o equipamento não mais atende a sua finalidade. Os usuários de algumas fontes seladas usadas no Brasil são solicitados, por contrato com o fornecedor, a retornar a fonte a origem quando a mesma deixa de preencher a sua finalidade ou quando o usuário deixa de fazer uso da mesma. Isto ocorre, por exemplo, com as fontes de  $^{60}\text{Co}$  e  $^{192}\text{Ir}$  comercializadas pelo IPEN.

É extremamente importante o uso de materiais radioativos em diagnósticos, tratamento e pesquisa médica pois em muitos casos não existem métodos alternativos. O mesmo acontece nas aplicações industriais onde eventuais alternativas podem significar riscos maiores associados a um custo também maior.

### Classificação dos rejeitos radioativos

A classificação oficial dos rejeitos radioativos no Brasil esta baseada nas recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica-AIEA e é apresentada na norma experimental da Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN sobre rejeitos radioativos(2). Essa classificação envolve os requisitos de saúde e segurança e resultados práticos obtidos em outros países.

Em uma primeira aproximação os rejeitos são classificados de acordo com seu estado físico: sólidos, líquidos ou gasosos, natureza da radiação emitida, concentração de radionuclídeos e taxa de exposição. Há uma distinção, também, quanto ao conteúdo de emissores alfa.

A classificação permite a seleção da técnica de tratamento mais apropriada. Outras classificações mais detalhadas baseiam-se nas propriedades individuais dos radionuclídeos bem como nas propriedades físicas e químicas dos rejeitos.

A Tabela III mostra a classificação usada no Brasil para rejeitos sólidos, líquidos e gasosos de acordo com o conteúdo radioativo ou a taxa de exposição.

Tabela III - Classificação dos rejeitos radioativos no Brasil

Categoria	Emissor beta/gama	Emissor alfa
	<b>I. Rejeitos sólidos</b>	Taxa superficial de exposição (X) ( $\mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{h}$ )
Nível baixo	$X \leq 50$	$0.01 < c \leq 10$
Nível médio	$50 < X \leq 500$	$10 < c \leq 1000$
Nível alto	$X > 500$	$c > 1000$
<b>II. Rejeitos líquidos</b>	Concentração (c) ( $\text{Ci}/\text{m}^3$ )	Concentração (c) ( $\text{Ci}/\text{m}^3$ )
Nível baixo	$c \leq 1$	$0.01 < c \leq 1$
Nível médio	$1 < c \leq 1000$	$1 < c \leq 1000$
Nível alto	$c > 1000$	$c > 1000$
<b>III. Rejeitos gasosos</b>	Concentração (c) ( $\text{Ci}/\text{m}^3$ )	
Nível baixo	$c \leq 10^{-10}$	
Nível médio	$10^{-10} < c \leq 10^{-6}$	
Nível alto	$c > 10^{-6}$	

Uma quantidade limitada de materiais contaminados, sólidos ou líquidos, pode ser eliminada ao meio ambiente sem que isso venha a causar algum dano aos seres vivos. Essas quantidades são determinadas em função de cada radionuclídeo, suas atividades e radiação emitida, além da liberação ser função também do local de descarga. Radionuclídeos de meia vida curta são, em geral, armazenados até que ocorra um decaimento razoável. Quando isto não é possível, a eliminação dos materiais, agora considerados rejeitos, deve ser feita através de entidades especializadas nessa tarefa. Contudo registros dessas práticas devem ser guardados de forma a demonstrar que os regulamentos foram adequadamente observados.

O limite superior para a atividade específica de materiais radioativos sólidos, autorizados para serem eliminados no sistema de coleta municipal, é de 74 Bq/g (2 nCi/g), enquanto que, para os líquidos e gases que podem ser eliminados na rede de esgoto ou na atmosfera, existe uma tabela específica para cada radionuclídeo(2), cujos valores foram estabelecidos de maneira a não causar nenhum mal aos seres vivos. Contudo, a descarga dos líquidos bem como dos sólidos deve ser feita com o consentimento, responsabilidade e controle do supervisor de proteção radiológica local.

#### **Sistema de coleta e armazenagem de rejeitos antes do tratamento**

A diversidade de tipos, formas e conteúdo de materiais considerados rejeitos radioativos exige que os mesmos sejam segregados na origem de forma a permitir que possam ser aplicadas, a cada caso, técnicas adequadas de tratamento.



Além disso uma série de cuidados e procedimentos devem ser executados antes mesmo que os rejeitos sejam encaminhados para o tratamento. Os procedimentos dizem respeito basicamente a : segregação, escolha dos recipientes para coleta, sinalização, identificação, registros, amostragem e análise, comunicação etc.

Quanto aos rejeitos sólidos é usual categorizá-los em compressíveis (ou compactáveis) ou não compressíveis e combustíveis ou não combustíveis.

Na segregação dos rejeitos deve-se buscar separar aqueles materiais inativos dos ativos de forma a minimizar a quantidade de material a ser tratado. Em geral a quantidade de material efetivamente contaminada e que necessita ser tratada é bem pequena. Para que a segregação possa ser realizada de forma mais eficiente é necessário dispor de equipamentos de detecção mais eficientes e sofisticados.

A segregação deve ser feita também de forma que aqueles radionuclídeos de vida longa não sejam colocados junto com aqueles de vida curta. Entenda-se aqui por radionuclídeos de vida longa aqueles que inviabilizam a armazenagem provisória, que pode ser usada como tratamento, quando se permite que os radionuclídeos decaiam até níveis suficientes para a liberação ao meio ambiente.

De qualquer forma o tipo de segregação a ser adotado irá depender das características dos rejeitos, isto é, volumes gerados e atividades dos radionuclídeos a serem manipuladas.

Materiais biológicos, por exemplo, carcaças contaminadas de animais devem ser, sempre que possível, guardadas em congeladores até que um volume razoável seja

coletado e os radionuclídeos presentes decaíam a valores pouco significativos. Outra forma de se retardar a decomposição biológica é armazenar as carcaças de animais em meios alcalinos, por exemplo, usando cal até o tratamento ou deposição final.

Várias técnicas podem ser empregadas para a redução de volume dos rejeitos antes mesmo de serem tratados. Essas técnicas, chamadas também de descontaminação ou pré-tratamento, visam separar os materiais ativos dos inativos.

Uma das técnicas frequentemente empregada para a descontaminação de objetos em vidro ou metais é aquela que faz uso de freon gasoso. Peças plásticas são mais difíceis de descontaminar por causa de sua permeabilidade. Soluções específicas e detergentes são também utilizadas na descontaminação de vidraria de laboratório, ferramentas, vestimentas protetoras etc. Além dessas, técnicas que fazem uso de ultrassom, ataque químico, processos vibratórios, jatos abrasivos etc podem ser utilizadas na redução de volume dos rejeitos a serem tratados.

Cada instituição deve avaliar caso a caso a conveniência ou não de utilizar técnicas de pré-tratamento visando reduzir os volumes de rejeitos, levando em conta para isso os custos operacionais de pessoal, equipamentos, reagentes químicos etc.

Os rejeitos radioativos devem ser armazenados somente em áreas restritas, ou seja, áreas sujeitas a regras especiais de controle e supervisão e nas quais as condições de exposição podem ocasionar equivalentes de dose superiores a 1/10 dos limites ocupacionais para trabalhadores. Rejeitos líquidos devem ser acondicionados em recipientes

impermeáveis, por exemplo, recipientes de polietileno ou vidro. Sempre que seja possível, deve-se utilizar um recipiente de contenção externa para evitar eventuais vazamentos.

Quando os rejeitos forem inflamáveis deve-se reduzir ao mínimo possível os volumes mantidos em laboratórios. Os recipientes para acondicionamento desses rejeitos devem ser metálicos e, nas proximidades, além de avisos indicando a sua localização devem ser mantidos extintores de incêndio.

Durante a armazenagem provisória não deve haver a possibilidade de ocorrerem reações químicas que possam causar explosões ou a liberação de gases tóxicos ou radioativos. Para tanto pode-se tomar certas precauções antes da armazenagem:

- a) os líquidos devem ser neutralizados (pH 6 a 8) antes da armazenagem;
- b) aqueles recipientes que contiverem materiais voláteis devem ser lacrados de maneira a prevenir a liberação de particulados radioativos; e
- c) deve-se passivar aqueles materiais altamente reativos (tais como sódio ou potássio) antes de armazená-los.

Quando forem armazenados materiais evaporáveis convém melhorar o sistema de ventilação do local.

## Transporte

A remoção de rejeitos radioativos dos locais onde são gerados, para as áreas de armazenagem provisória ou tratamento, deve ser feita utilizando-se recipientes adequados para transporte que podem ser plásticos, metálicos ou até mesmo de vidro desde que seja providenciada uma embalagem envoltória de proteção contra eventual rompimento. As superfícies dos recipientes devem ser monitoradas antes do transporte por pessoas responsáveis pela proteção radiológica a fim de determinar a taxa de exposição apresentada pelos recipientes de transporte bem como verificar se os recipientes não estão com a superfície externa contaminada. Caso isso ocorra, técnicas adequadas de descontaminação devem ser usadas.

As embalagens devem ser, sempre, identificadas com etiquetas onde devem estar indicadas as taxas de exposição na superfície, o seu conteúdo e os radionuclídeos presentes.

O transporte de material radioativo para fora da instituição deve obedecer a Norma de Transporte de Materiais Radioativos da CNEN(3) em vigor. Para transportes internos, as instalações, aquelas normas de transporte não precisam ser aplicadas, embora nos casos onde elas podem ser seguidas, sem um custo indevido ou maiores inconvenientes, recomenda-se usá-las.

## Tratamento dos rejeitos

O conceito de tratamento de rejeitos radioativos aqui deve ser entendido como toda atividade realizada com o objetivo de tornar o rejeito tanto quanto possível inerte física, química e mecanicamente. Isto pode ser feito de diversas maneiras e irá depender de fatores associados ao tipo de rejeito, sua forma química e física bem como do material radioativo contaminante, sua atividade etc.

A maior parte dos rejeitos produzidos pelos usuários de materiais radioativos contem quantidades insignificantes de radionuclídeos de meia vida curta. Assim, o procedimento mais empregado em tais casos é a armazenagem temporária permitindo que o decaimento natural possa levar esses rejeitos a níveis de isenção e que os mesmos possam ser liberados sem maiores problemas na rede de coleta municipal ou na rede de esgoto. Qualquer que seja o caso, a liberação só poderá ser feita por autorização de pessoa credenciada pela CNEN e após a aprovação dos procedimentos de liberação(2).

Existem diversas técnicas para o tratamento de rejeitos radioativos. A técnica a ser utilizada irá depender fundamentalmente dos volumes e natureza dos rejeitos; da disponibilidade das técnicas recomendadas; do estudo econômico da técnica a ser empregada etc. Quando o tipo, a atividade e o volume de rejeitos dificultarem o processo de tratamento, na instituição de origem, deve-se transferí-los para entidades especializadas.

Na industria (excluindo-se a área do ciclo do combustível nuclear), medicina e pesquisa não existe

urgência na redução de volume e tratamento dos rejeitos radioativos porque os volumes produzidos são, em geral, muito pequenos e não justificam investimentos para a instalação de uma unidade de redução de volume.

Os dois métodos, mais comuns, usados para a redução de volume de rejeitos sólidos são a compactação e a incineração. Contudo, os custos de investimento e operacionais não recomendam a incineração como técnica de redução de volume. Para o bom funcionamento destas técnicas é necessário sempre a utilização de um sistema de segregação bem implantado. Para os rejeitos líquidos as técnicas de evaporação, destilação, precipitação, floculação etc podem ser empregadas com grande eficiência dependendo da natureza química do rejeito.

Em São Paulo, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) possui um departamento(4,5), criado em 1983, dedicado exclusivamente ao tratamento dos rejeitos radioativos originados nas atividades de pesquisa do próprio instituto bem como provenientes de outras entidades externas. Além das atividades de tratamento são realizadas diversas pesquisas objetivando buscar novas soluções para o tratamento, acondicionamento, imobilização e caracterização dos rejeitos imobilizados.

### **Armazenagem dos rejeitos radioativos**

A armazenagem dos rejeitos radioativos pode ser de dois tipos: provisória e temporária. A armazenagem provisória é aquela que antecede a transferência dos rejeitos coletados, tratados ou não, para um local mais adequado que possui toda

a infraestrutura de engenharia e de proteção radiológica, chamado local de armazenagem temporária. Desta instalação os rejeitos, então tratados, são transportados diretamente para o repositório final.

Repositório final é o local onde os rejeitos serão depositados de forma definitiva e de onde não é mais possível ou não se tem mais a intenção de se recuperar o material ali colocado.

A área destinada a armazenagem temporária deve ser dimensionada e projetada de forma tal, a assegurar, que as doses nas pessoas que circulem fora da mesma estejam abaixo dos limites autorizados.

Deve-se também assegurar que nas áreas de armazenagem para rejeitos radioativos, nenhum outro tipo de material seja guardado.

No IPEN a armazenagem temporária dos rejeitos radioativos é feita, de forma segura, em dois galpões especialmente construídos para esse fim e situam-se numa área cercada dentro da área de propriedade do IPEN. Possuem respectivamente 162 e 200 m<sup>2</sup> de área, com piso que foi projetado para poder suportar cargas até cinco tambores empilhados, contendo rejeitos compactados. Para aqueles embalados de concreto e que apresentam uma densidade maior existe uma área com cerca de 85 m<sup>2</sup>, cujo piso suporta cargas bem maiores.

Nas Figuras 1 e 2 é mostrada a quantidade de tambores acumulados nos últimos anos de operação das instalações de tratamento de rejeitos radioativos do IPEN.

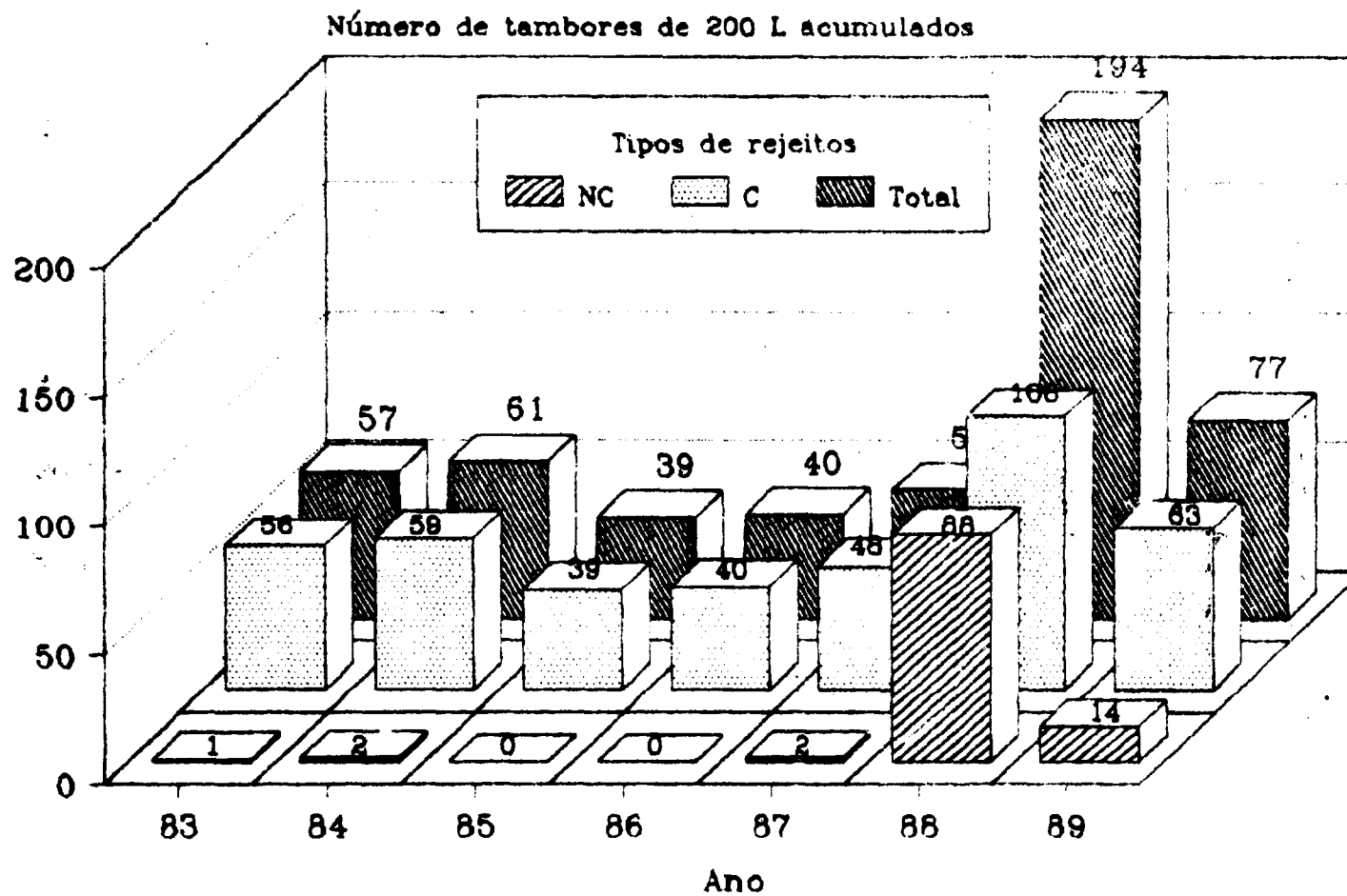


Figura 1 - Embalados produzidos ao longo dos anos no IPEN



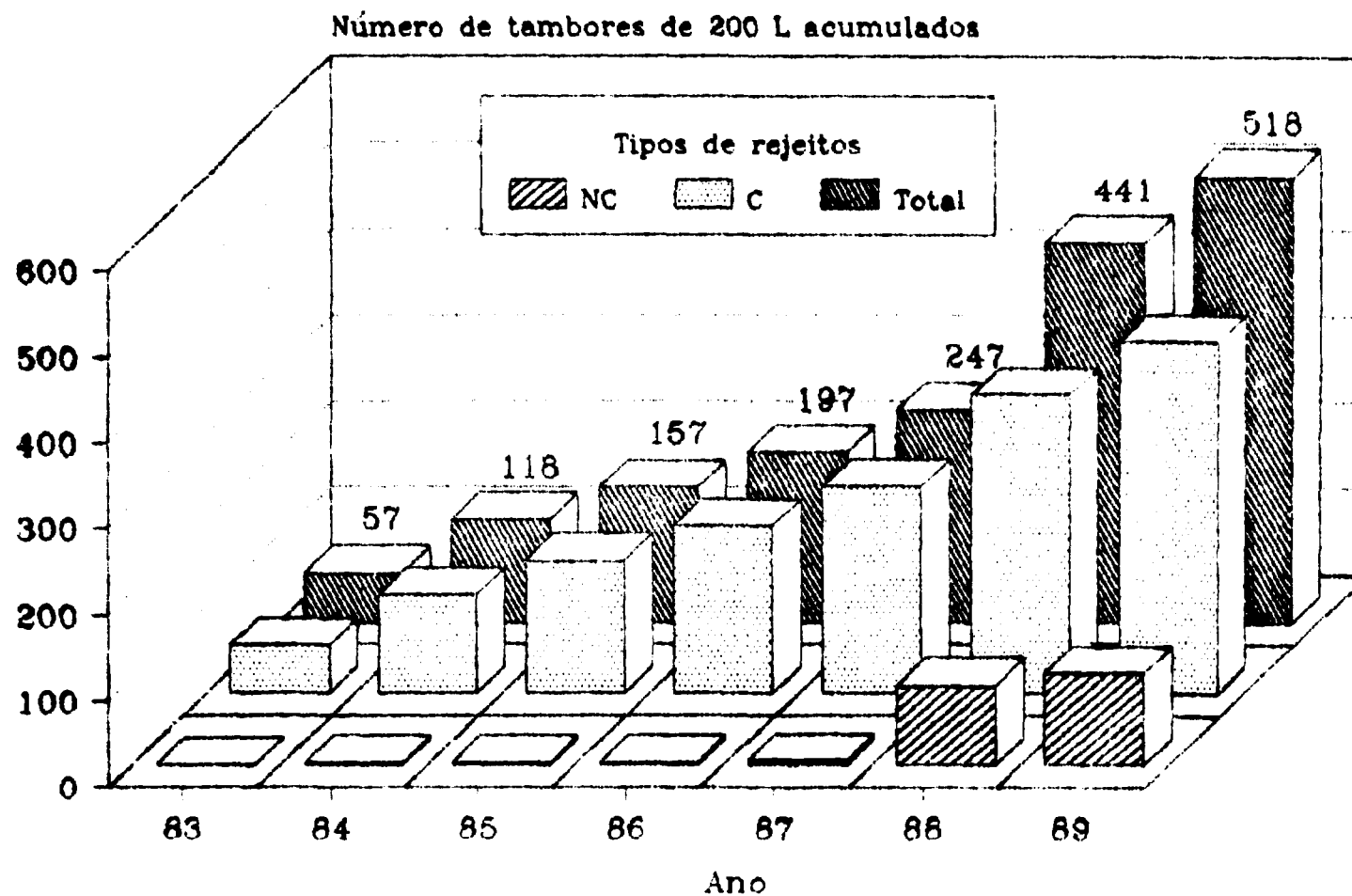


Figura 2 - Embalados acumulados ao longo dos anos no IPEN

## Agradecimentos

Os autores agradecem a inestimável colaboração prestada pela Dra. Barbara M. Ryski durante a elaboração deste trabalho.

## Referências

1. LOW-LEVEL radioactive waste management handbook series: low-level radioactive waste management in medical and biochemical research institutions. " Irvine, USA, California University, 1987. 248p. " (DOE LLW-13Th).
2. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Gerência de rejeitos radioativos em instalações nucleares. novembro, 1985 (CNEN-NE-6.05)
3. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Transporte de materiais radioativos, julho, 1988. (CNEN-NE-5.01)
4. SUAREZ, A.A. Tratamento de rejeitos radioativos no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN. São Paulo, 1989 (PUB. IPEN 238).
5. SUAREZ, A. A. and ROZENTAL, J. J. Treatment and Conditioning of Institutional Waste in Brazil, In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Management of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes 1988: proceedings of a symposium on ... held in Stockholm, 16-20 May, 1988, v.1: Treatment and conditioning of mixed hazardous wastes and institutional wastes. Vienna, 1989. p. 445-457.