

GERÊNCIA DE REJEITOS DO CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA  
TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN

Sophia Teh Whei Miaw, Chefe da Supervisão de Rejeitos do CDTN  
Engenheiros:

Maria José de Oliveira Lopes  
Clédola Cássia Oliveira de Tello  
Eliane Magalhães Pereira da Silva  
Marcia Flavia Righi Guzella  
Luiz Carlos Alves Reis

Química:

Noil Amorim de Menezes Cussioli.

## 1. INTRODUÇÃO

A gerência de rejeitos radioativos tem como objetivo a maior redução de volume possível, com tratamento que conduza a um produto bastante estável e finalmente deposição, de forma a não constituir potencial de risco para o biociclo. A melhor garantia de proteção ambiental é oferecida por um sistema completo de gerência, incluindo coleta, segregação, tratamento, acondicionamento e transporte, seguido de armazenamento dos rejeitos radioativos com controle institucional, de acordo com as normas estabelecidas e levando em conta fatores econômicos e sociais.

A classificação dos rejeitos em categorias dependentes do tipo de radiação e da concentração de material radioativo existente ajuda no estabelecimento de uma linguagem comum entre os que operam sistemas de tratamento. Nas instalações do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN são gerados rejeitos de baixo nível de radiação. O risco associado a estes é limitado e quando os contaminantes radioativos são núclídeos de meia-vida curta, pode ser utilizada estocagem até decaimento adequado, diminuindo-se a atividade específica a níveis de rejeito convencional.

## 2. PROGRAMA DE GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

Nos laboratórios do CDTN onde há manuseio de materiais radioativos são gerados rejeitos líquidos e sólidos de baixo nível de radiação. Esses rejeitos devem ser gerenciados, de maneira a evitar riscos de contaminação e minimizar os custos decorrentes de sua produção. Assim, para sistematizar o seu controle, foi implantado em 1983 um Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos - PGRR/CDTN, cuja estratégia baseou-se na Resolução CNEN 6/73 e na infraestrutura existente no Centro (processos, instalações, equipamentos, laboratórios, etc). Posteriormente, esse Programa foi atualizado segundo a Norma CNEN-NE-6.05.

Com o objetivo de minimizar o volume dos rejeitos e melhor adequá-los ao tratamento, eles são segregados na origem, de acordo com as suas características físicas, químicas e radiológicas. Os rejeitos líquidos são separados em aquosos e orgânicos e os rejeitos sólidos em compactáveis e não-compactáveis. Segregam-se, ainda, os rejeitos contendo radionúclídeos de meia-vida curta que, após estocagem para decaimento, são liberados para o sistema de coleta de lixo urbano, caso sua atividade específica esteja inferior a 74 Bq/g.

Para a coleta dos rejeitos líquidos são utilizadas bombonas de polietileno (soluções aquosas) e garrações de vidro (soluções orgânicas). Para a coleta dos rejeitos

sólidos são utilizadas lixeiras com pedal, revestidas internamente com sacos plásticos, bem como tambores de polietileno, tambores metálicos, sacos de rafia, etc. Essas embalagens são devidamente identificadas com o símbolo internacional da presença de radiação e etiquetadas.

Após a coleta, dados sobre os rejeitos, como procedência, composição, volume ou peso, contaminantes químicos e radioativos e taxa de exposição, são registrados em uma guia de controle de rejeitos radioativos.

Os rejeitos são monitorados e classificados, sendo os radioativos transferidos para os locais de armazenamento intermediário e, posteriormente, tratados e acondicionados segundo os requisitos de segurança. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma das principais etapas da gerência e os processos disponíveis no CDTN para o tratamento dos rejeitos.

Os rejeitos líquidos aquosos são tratados por precipitação química. Nesta etapa os radionuclídeos presentes no rejeito são concentrados sob forma insolúvel, reduzindo suficientemente o nível de atividade do sobrenadante, de modo a permitir sua liberação, após filtração. A lama formada é separada por decantação e incorporada em cimento. Na Tabela 1 apresentam-se alguns dados referentes à cimentação de rejeitos gerados no CDTN.

TABELA 1: Dados da Cimentação de Rejeitos do CDTN

	LAMAS	SÓLIDOS
<b>1. REJEITO</b>		
Contaminantes	Ra, Th <sub>nat</sub> , U <sub>nat</sub> , e filhos	Radionuclídeos diversos
Teor de sólidos (%)	20 - 40	
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,2 - 1,3	
pH	10 - 12	
Tipo de material		Refratário, vidraria, entulho, sucata, etc.
<b>2. MATRIZ</b>		
Constituintes	Cimento e bentonita	Cimento e bentonita
Viscosidade (Pa.s)	Idem à do produto	88 - 250
Tempo de pega (h)	Idem ao do produto	3 - 5
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Idem à do produto	1,6 - 1,8
Resistência à compressão (MPa)	Idem à do produto	11 - 22
<b>3. PRODUTO</b>		
Relação rejeito/produto (% em peso)	36 - 43	10 - 40
Viscosidade (Pa.s)	13 - 150	-
Tempo de pega (h)	3 - 9	-
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,6 - 1,8	-
Resistência à compressão (MPa)	6 - 10	-
Atividade α (Bq)	1x10 <sup>7</sup> - 11x 10 <sup>7</sup>	-
β (Bq)	1x10 <sup>7</sup> - 13x 10 <sup>7</sup>	-

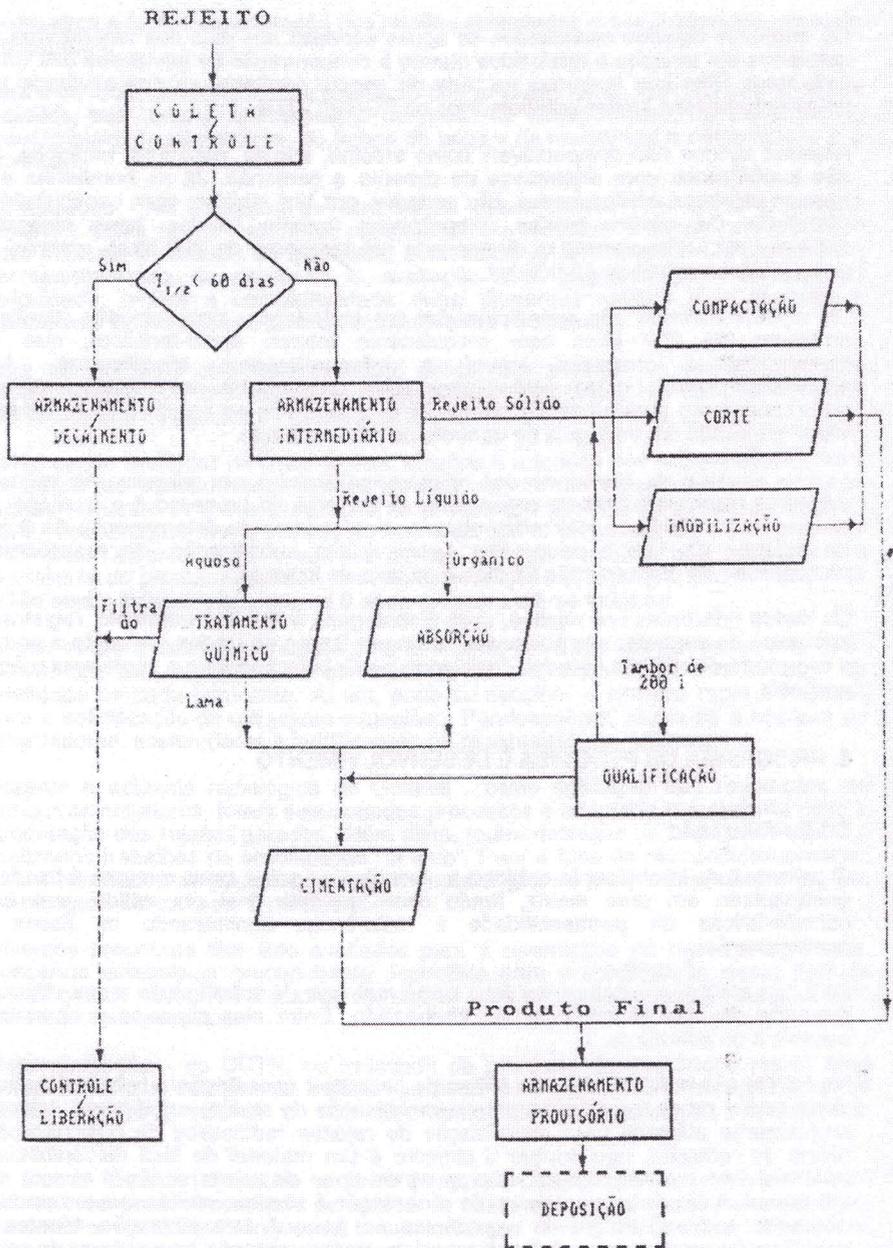


FIGURA 1: ESTRATÉGIA DE GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS NO CDTH

Os efluentes líquidos constituídos de águas servidas das pias dos laboratórios são coletados em tanques e analisados quanto à concentração de atividades alfa total e beta total. Eles são liberados na rede de esgoto sanitário, se sua atividade total estiver abaixo dos limites estabelecidos no PGRR/CDTN.

Rejeitos sólidos não-compactáveis como entulho, sucata, madeiras, cadinhos, etc. são imobilizados com argamassa de cimento e bentonita. Já as bombonas e os frascos plásticos contaminados são cortados por um moinho, com capacidade de 130 kg/h. Os rejeitos sólidos compactáveis (papéis, tecidos, luvas cirúrgicas, estopas, etc.) são prensados diretamente em tambores de 200 litros, através de uma prensa vertical de 16.000 kgf.

Os rejeitos tratados são acondicionados em embalagens padronizadas (tambores metálicos de 200 litros com revestimento interno epoxi-fenólico), que são submetidas a inspeção visual e adequadamente identificadas. Após acondicionamento, estas embalagens são monitoradas e enviadas para o armazenamento provisório. Todos os dados referentes ao rejeito e à embalagem são registrados em uma guia de controle de rejeito tratado.

Para o controle da qualidade dos rejeitos imobilizados em cimento são retiradas amostras representativas da argamassa. O controle do processo e a avaliação do produto cimentado são realizados através dos ensaios de determinação da fluidez da mistura, do tempo necessário para a sua solidificação, da resistência à compressão do produto após 28 dias e da taxa de lixiviação.

Os dados referentes aos rejeitos, suas embalagens e tipo de tratamento, registrados nas guias de controle, são processados em um Banco de Dados, de modo a permitir o inventário de rejeitos gerados, facilitando o estabelecimento e a implementação da gerência.

### 3. PROGRAMA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Imobilização

O processo de imobilização engloba as tecnologias pelas quais o rejeito é fixado ou encapsulado em uma matriz, tendo como produto final um sólido com boas características de permeabilidade e resistência, minimizando os riscos de contaminação.

Diversos materiais mostram-se úteis como matrizes de solidificação e sua utilização depende do tipo de rejeito a ser imobilizado. Entre eles citam-se o cimento, o betume e os polímeros.

No CDTN são conduzidas duas linhas de pesquisa: cimentação e betuminização. A cimentação, processo adotado para a imobilização de rejeitos em Angra I, tem sido amplamente utilizada para imobilização de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação. Isto porque o cimento é um material de fácil disponibilidade, relativamente barato, compatível com vários tipos de rejeito e não é tóxico, nem inflamável. Além disto, o processo de cimentação é simples, realizado a temperatura ambiente e já existe grande experiência na área. A betuminização, técnica de imobilização prevista para Angra II, consiste na incorporação homogênea do rejeito sólido ou líquido em betume, matriz termoplástica isenta de água, de baixo custo e que não necessita reagente para mudança de estado.

Os resultados obtidos nessas pesquisas serão utilizados como subsídio na escolha do processo mais adequado a um determinado tipo de rejeito. Além disso, poderão servir de apoio aos órgãos de licenciamento e normalização, no estabelecimento de

parâmetros e limites de aceitação dos rejeitos cimentados e betuminizados, visando a deposição.

Para o controle dos processos e avaliação dos produtos foram implantados diversos métodos, tais como a determinação do ponto de amolecimento, do tamanho de grãos/cristais, da viscosidade, do tempo de pega e da resistência à compressão e à lixiviação.

**Cimentação** - os trabalhos de cimentação desenvolvidos têm como principais objetivos: testar novos materiais, equipamentos e métodos visando um processo mais eficiente e produtos de qualidade; estabelecer procedimentos e ensaios para acompanhamento do processo e avaliação das propriedades do produto solidificado; avaliar a compatibilidade entre diferentes rejeitos e o cimento e estabelecer os parâmetros para a cimentação em escala real.

Para atingir estes objetivos, o CDTN possui um sistema de cimentação com capacidade de 200 litros de rejeito cimentado por batelada e um laboratório, onde são realizados os ensaios de rotina e os trabalhos de P&D.

Estão sendo avaliadas diversas argilas, visando a retenção dos radionuclídeos sem prejudicar as características físicas do produto. Foram feitas misturas com 28 argilas, variando-se a sua proporção no produto de cimento e rejeito simulado. A partir dos ensaios de qualificação, a bentonita e a vermiculita mostraram-se eficientes. Observou-se que adições de até 15% de bentonita não prejudicam a resistência do produto, havendo uma ótima retenção de césio [1]. Muitas amostras estão sendo lixiviadas há mais de 8 anos e encontram-se integras.

Iniciou-se um trabalho para catalogar e avaliar os cimentos fabricados no eixo MG-RJ-GO-SP, com o objetivo de conhecer as suas características e o controle de qualidade de cada fabricante. Assim, pode-se escolher o cimento mais adequado para a solidificação de um rejeito específico. Paralelamente, avalia-se a eficácia de retardadores, aceleradores e fluidificantes na cimentação dos rejeitos.

Durante o acidente radiológico de Goiânia, como aplicação dos resultados de pesquisas anteriores, foram selecionados processos e adaptado um sistema para a cimentação dos rejeitos gerados. Além disto, foram definidos os seus parâmetros e realizados trabalhos de solidificação "in loco". Para a fase de reacondicionamento, foram otimizados os parâmetros para a imobilização da fonte e dos tambores, em embalagens de concreto e metálicas.

Diversos processos têm sido avaliados para a cimentação de rejeitos orgânicos, buscando estabelecer procedimento específico para a solidificação deste tipo de rejeito gerado no CDTN. O uso da vermiculita e da bentonita associado ao processo forneceu bons produtos.

**Betuminização** - no CDTN, os trabalhos de pesquisa desenvolvidos nesta área compreendem a seleção de betume nacional e os ensaios de incorporação de rejeito simulado, visando o estabelecimento do processo e a avaliação do produto [2].

O Centro possui laboratório e uma instalação-piloto, esta consistindo de um extrusor-evaporador com dois parafusos de mistura e quatro zonas aquecidas por banhos termostáticos, tanque de betume, tanque de rejeito, bombas dosadoras, domos com sistema de resfriamento e painel de controle.

O rejeito e o betume são alimentados simultaneamente em proporções estabelecidas e por meio de parafusos são misturados, incorporados e transportados. São retiradas amostras para controle de processo e corpos-de-prova para avaliação do produto.

Os experimentos estão sendo realizados com rejeito simulado de centrais e com resina de troca iônica, de acordo com planejamento para estudo das variáveis do processo. Resultados preliminares têm indicado o processo de betuminização como adequado para incorporação desses rejeitos. Para os rejeitos de centrais contendo borato, a taxa média de lixiviação obtida é de  $5 \times 10^{-11}$  m/s, sendo a quantidade de água no produto menor que 1%.

A distribuição do tamanho de grãos/cristais no rejeito-produto mostra concentração predominante de 28 micra, resultado comparável ao de outras instalações de betuminização.

As análises termodiferenciais da matriz e do rejeito permitem a operação segura do sistema e a quantidade de sais incorporados é da ordem de 40%.

### 3.2 Embalagem de Transporte de Materiais Radioativos

Encontra-se em andamento, desde 1991, um programa com duração de cinco anos, para avaliar a durabilidade de embalagens industriais durante o período de armazenamento provisório (antes da deposição). Corpos-de-prova foram retirados dos tambores de 200 litros, qualificados para transporte de rejeitos de baixo nível de radiação, e colocados em contato com o rejeito simulado cimentado. Em 1992 foi retirada a quinta parte das amostras, que foram submetidas aos ensaios de aderência, medida de espessura da tinta, impacto, abrasão e resistência a dióxido de enxofre, névoa salina e umidade. Os resultados parciais mostraram que não houve alterações significativas, com relação a espécimes retirados no início do programa.

Visando ampliar os conhecimentos na área de qualificação de embalagens para transporte de materiais radioativos de média e alta atividade, está em desenvolvimento no CDTN um programa utilizando códigos computacionais de elementos finitos para análise termo-estrutural e códigos de cálculo de blindagem. Este programa tem como objetivo atender a uma necessidade prevista de armazenamento de combustível irradiado. A nível geral, o somatório da experiência adquirida poderá ser também aplicado no apoio às indústrias convencionais, na avaliação de embalagens para transporte de materiais perigosos.

### 3.3 Repositório

O impacto ambiental causado pela deposição dos rejeitos depende de uma série de fatores, como a qualidade do rejeito tratado, de suas embalagens, das barreiras de engenharia e do sítio selecionado.

A avaliação do impacto ambiental tem como objetivos fornecer premissas para o projeto do repositório e definir parâmetros de aceitação dos produtos de rejeito que serão estocados, de modo a assegurar que não haja contaminação do meio ambiente e que os níveis de exposição estejam dentro dos limites das normas de proteção radiológica. Essa avaliação é feita através de modelos matemáticos, cujos principais parâmetros são os dados de transporte dos radionuclídeos nos meios que compõem o sistema de deposição (rejeito tratado, material de recheio, barreiras de engenharia, sítio de estocagem).

No CDTN estão sendo realizados em laboratório diversos ensaios, simulando alguns meios encontrados em um repositório. Têm sido avaliados os produtos cimentados contendo diferentes tipos de rejeito, misturas de argilas simulando o material de recheio, alguns traços de concreto simulando as barreiras de engenharia e o solo do sítio. Pretende-se com estes ensaios avaliar o transporte de

radionuclídeos por águas de chuva e subterrâneas, nos diversos meios e a durabilidade e resistência do sistema.

Através dos primeiros resultados, observa-se que os produtos contendo diversos rejeitos têm apresentado boa qualidade, principalmente quanto à homogeneidade, resistência à compressão e lixiviação. As argilas testadas apresentaram boa retenção de radionuclídeos, como é mostrado na Tabela 2. Através de ensaios estáticos, verificou-se que a velocidade de transporte da água em concreto é muito baixa e, finalmente, para os solos testados observou-se que houve retenção da maior parte do céσιο, devido principalmente, a seu teor de material argiloso [3].

TABELA 2: Quantidade de Césio Absorvido pela Bentonita em Água Destilada

BENTONITA	QUANTIDADE DE CÉSIO ADICIONADO	QUANTIDADE DE CÉSIO ABSORVIDO	
	(g)	(g)	(%)
G	$1,4 \times 10^{-2}$	$1,36 \times 10^{-2}$	97,4
	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,37 \times 10^{-3}$	98,2
	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,38 \times 10^{-4}$	98,5
	$1,4 \times 10^{-5}$	$1,39 \times 10^{-5}$	99,2
	$1,4 \times 10^{-6}$	$1,40 \times 10^{-6}$	99,7
B	$1,4 \times 10^{-2}$	$1,36 \times 10^{-2}$	96,8
	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,38 \times 10^{-3}$	98,6
	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,39 \times 10^{-4}$	99,0
	$1,4 \times 10^{-5}$	$1,39 \times 10^{-5}$	99,2
	$1,4 \times 10^{-6}$	$1,40 \times 10^{-6}$	99,9

#### 4. PROGRAMA DE GERÊNCIA DE RESÍDUOS QUÍMICOS / TÓXICOS

A metodologia desenvolvida para gerência de rejeitos radioativos aplica-se à administração de resíduos industriais. Esta envolve questões específicas, abrangendo as etapas de classificação, manuseio, armazenamento, transporte e destinação final dos resíduos. Outros aspectos que têm sido abordados referem-se ao reaproveitamento e reciclagem, à substituição de matérias-primas por outras menos poluentes e ao melhor encadeamento de etapas em processos industriais. O desenvolvimento e adoção de tecnologias limpas, que busquem a eliminação ou a minimização da geração de resíduos em determinado processamento industrial é a grande meta a ser alcançada.

A reciclagem de materiais para fabricação de novos produtos tem sido enfatizada principalmente sob o aspecto ecológico, por diminuir a exploração de recursos naturais e o consumo de energia, contribuindo para melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Está em fase de implantação no CDTN um programa de coleta seletiva de lixo, visando reciclagem e o melhor reaproveitamento de materiais. Além disso, iniciou-se um trabalho de qualificação e quantificação dos resíduos químicos/tóxicos gerados em suas instalações. Este tem como objetivo classificar os resíduos gerados, segundo as normas nacionais e implantar, a curto prazo, um Programa de Gerência de Resíduos Químicos/CDTN, estabelecendo estratégia para coleta e tratamento,

ou destinação segura e adequada. Esta metodologia otimizada poderá ser repassada às indústrias, de modo que os resíduos por elas gerados minimizem o impacto ambiental.

No CDTN foram realizados ensaios para cimentar lamas oleosas contendo concentrações elevadas de metais pesados (cobre, ferro, cádmio, níquel, etc). Obtiveram-se excelentes resultados, com retenção destes contaminantes superior a 99%, sob a ação de lixiviante ácido. A quantidade liberada está abaixo da recomendada por normas ambientais. Tais resultados indicam que os produtos obtidos, mesmo que expostos, por exemplo a chuvas ácidas e sem embalagem, não liberarão contaminantes em proporções que possam comprometer o ecossistema.

## 5. APOIO EM TECNOLOGIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

A equipe da Supervisão de Rejeitos tem dado apoio às unidades do ciclo do combustível e aos usuários de radioisótopos, no que se refere à gerência de rejeitos, baseado na experiência acumulada em pesquisa e desenvolvimento. Foram realizados trabalhos como a caracterização de efluentes líquidos de usina de beneficiamento de monazita, definição de metodologia de tratamento de efluentes líquidos de usina de enriquecimento, participação em programa de gerência de rejeitos de fábrica de elementos combustíveis, testes de lixiviação de rejeitos de central nuclear e avaliação de embalagens para transporte de elementos combustíveis não-irradiados [4]. Também foram executados testes para qualificação de embalagens de transporte de materiais radioativos, em atendimento a indústrias, centros de pesquisa e universidades [5].

A experiência adquirida pela equipe de rejeitos fez com que ela participasse do atendimento à situação de emergência, em decorrência do acidente radiológico de Goiânia, ocorrido em 1987. A equipe atuou no planejamento geral, no estabelecimento da estratégia de gerência dos rejeitos gerados, na definição dos procedimentos específicos de coleta, na identificação de infra-estrutura necessária e disponível a curto prazo no país, na instalação e operação de sistemas de tratamento, na descontaminação das áreas e na definição e operação do Depósito Provisório de Abadia [6]. Decorridos cinco anos do acidente, a equipe continua participando na adoção de algumas medidas, visando a adequação dos rejeitos armazenados para a deposição. Com este objetivo, foi estabelecida uma estratégia de gerência de rejeitos para a etapa de reacondicionamento de tambores, que inclui a classificação dos rejeitos, a definição de embalagens a serem utilizadas, o controle e a garantia de qualidade a ser obtida no processo, visando atender aos requisitos de normas específicas.

Neste contexto, tem-se dado também apoio às situações de incidente, ocorridas com fontes abertas, no que se refere à definição da estratégia de gerência e procedimentos de coleta dos rejeitos, visando o posterior tratamento.

## 6. CONCLUSÕES

Nas etapas de gerência de rejeitos radioativos, a necessidade de melhoramento das técnicas utilizadas e de adequação dos sistemas a situações específicas trouxeram um acúmulo de experiência que pode ser usado tanto para o atendimento à comunidade (hospitais, indústrias, universidades, outros centros de pesquisa), como pôde ser útil na emergência que se caracterizou com o acidente radiológico ocorrido em Goiânia.

A indústria convencional pode beneficiar-se especialmente dos conhecimentos adquiridos com rejeitos radioativos, na avaliação de embalagens para transporte de materiais perigosos e na administração de resíduos industriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TELLO, Clédola C.O. Avaliação de bentonitas nacionais como aditivo na cimentação de rejeitos radioativos; Tese de mestrado. 1989, Belo Horizonte: UFMG/CDTN (CDTN-620)
- [2] GUZELLA, Marcia F.R. & MIAW, Sophia T.W. Sistema de betuminização de rejeitos radioativos no CDTN. CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 22-27 abril 1990, Rio de Janeiro: ABEN. Anais, vol.4, p. 121-9
- [3] TELLO, Clédola C.O. Experimentos de migração de césio em diversos meios. CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 05- 09 julho 1992, Rio de Janeiro: ABEN. Anais, vol.2, p. 505-9
- [4] MIAW, Sophia T. W. & KRAUSE, H. Status report on the waste management cooperation programme jointly undertaken by KfK / INE - NUCLEBRAS / CDTN; Relatório externo. 1988, Karlsruhe: KfK/CDTN (NUCLEBRAS/CDTN-594)
- [5] SANTOS, Paulo O. Type A packages tests at CDTN. REGIONAL TRAINING COURSE ON THE MANAGEMENT OF SPENT RADIATION SOURCES, 03-21 agosto 1992, Belo Horizonte: CNEN / IAEA. Lectures
- [6] MIAW, Sophia T. W. e colaboradores. Waste management in the Goiânia accident - The contribution of the Waste Treatment Division of the Nuclear Technology Development Centre. Simpósio da Agência Internacional de Energia Atômica, 06-10 novembro 1989, Viena: IAEA. Anais, IAEA- SM-316/26, p. 49-56