

# **A GERAÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS NO CDTN/CNEN**

**Clédola Cássia Oliveira de Tello\***

**Edésia Martins Barros de Sousa**

**Silvestre Paiano Sobrinho**

tellocc@cdtn.br\*; sousaem@cdtn.br; paianos@cdtn.br

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN

## **1. INTRODUÇÃO**

O caráter multidisciplinar da tecnologia nuclear, enfatizado, entre outras, nas áreas de segurança e de impacto ambiental, exige o desenvolvimento e a melhoria continuada dos processos por ela utilizados.

A recente preocupação mundial com o impacto ambiental encontra na área da tecnologia nuclear algumas soluções inovadoras para a preservação, recuperação e proteção do meio ambiente. Com base nos 50 anos de experiência na área nuclear e atento às necessidades da sociedade, o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) tem atuado como gerador e difusor de tecnologias alternativas para as questões ambientais provenientes das atividades humanas.

A indústria nuclear já nasceu dentro do conceito moderno de gerência de rejeitos. Como exemplo da geração e difusão de tecnologias alternativas no presente trabalho são sumariadas algumas atividades de pesquisa tecnológica e de busca de inovações na área de rejeitos radioativos, bem como de transferência para setores industriais geradores de resíduos perigosos.

A inovação está presente no desenvolvimento e teste das metodologias de incorporação de rejeitos em diferentes matrizes como, por exemplo, cimento e polímeros reciclados.

## **2. O CDTN E A GERÊNCIA DE REJEITOS**

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) foi criado em 1952 com o nome de Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), como parte da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), tendo sido a primeira instituição no Brasil a dedicar-se inteiramente a trabalhos relacionados à área nuclear. Em 1960 foi inaugurado o Reator de pesquisa TRIGA (Training Research Isotope General Atomic) Mark 1 para a realização de pesquisa, produção de radioisótopos e treinamento. Em 1972 o IPR foi transferido para a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), onde além das atividades de pesquisas foram agregadas atividades de desenvolvimento da tecnologia nuclear [3].

Em 1974 o IPR foi incorporado pelas Empresas Nucleares Brasileiras S/A (NUCLEBRÁS), acrescentando às tarefas já citadas o licenciamento das instalações de mineração e beneficiamento do minério de urânio de Poços de Caldas, da fabricação de elementos combustíveis de Resende, RJ, e da usina de Angra 1. Em 1978 passa a ter o nome atual de Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Desta forma o CDTN passou a ser o Centro de transferência da tecnologia nuclear dentro do acordo Brasil-Alemanha. Em 1988 o Centro retornou a Comissão Nacional de Energia Nuclear (Figura 1) [3].



Figura 1 – O CDTN e suas afiliações [3]

O CDTN por ter sido vinculado a diversas instituições durante a sua história, desenvolveu um perfil singular dentre os centros de pesquisa. Primeiramente tendo cada uma destas instituições relação estreita com um determinado país, o CDTN incorporou tendências principalmente das culturas e tecnologias dos EUA, França e Alemanha. Em segundo lugar por pertencerem as instituições gestoras a diferentes setores da energia nuclear, o CDTN agrega experiências tanto do lado do proprietário de uma instalação nuclear, quanto do lado do órgão fiscalizador de instalações nucleares e radiativas [3].

Atualmente as tarefas do CDTN abrangem vários temas dentro da área nuclear, dentre os quais ressaltam-se:

- ✓ Reatores – Projeto, desenvolvimento e avaliação de reatores e de instalações nucleares.
- ✓ Materiais – Desenvolvimento e caracterização de materiais e de combustíveis nucleares.
- ✓ Engenharia de Processos – Desenvolvimento de processos físico-químicos para o setor produtivo.
- ✓ Meio Ambiente – Desenvolvimento e aplicação de técnicas para diagnóstico, preservação e recuperação do meio ambiente.
- ✓ Rejeitos Radioativos – Desenvolvimento e aplicação de técnicas de gerência e tratamento de rejeitos, visando a obtenção de produtos adequados ao armazenamento, de forma a não comprometer o meio ambiente e as gerações futuras.
- ✓ Proteção Radiológica – Desenvolvimento e aplicação de técnicas visando a segurança e radio-proteção.
- ✓ Saúde – Apoio ao desenvolvimento e aplicação de técnicas para profilaxia, diagnóstico e tratamento da saúde.

O corpo técnico treinado do CDTN conta, além do Reator Triga, com diversas instalações e laboratórios, como por exemplo: Cromatografia e Absorção Atômica; Irradiação (Gammacell); Termo-Hidráulica; Análise de Tensões e Vibrações; Corrosão; Ensaio mecânicos e Soldagem; Física Aplicada; Metalografia; Metrologia; Ensaio Não Destrutivos; Espectroscopia de Raios-X e Radiografia Industrial; Dosimetria Individual Externa e Contador de corpo inteiro;

Tratamento e Imobilização de Rejeitos Radioativos; Materiais e Combustível Nuclear; Mecatrônica; Calibração de Dosímetros; Radiobiologia; Laboratório de Trício Ambiental.

Em 1974 um Programa de P&D em Gerência de Rejeitos foi estabelecido pela então Divisão de Rejeitos Radioativos do CDTN (DITRR). A partir de 1979 este Programa teve o suporte do Centro de Pesquisas Nucleares de Karlsruhe (Kernforschungszentrum Karlsruhe – KfK), da Alemanha, através do Instituto para a Gerência de Rejeitos Nucleares (Institut für Nukleare Entsorgungstechnik – INE).

No início o Programa beneficiou-se da assessoria de pesquisadores alemães. Em 1979 uma cooperação mais estreita foi estabelecida entre o CDTN e o KfK/INE. Esta cooperação foi concentrada principalmente nas áreas de cimentação, betuminização, evaporação, descontaminação e transporte de materiais radioativos. Além disto foram estabelecidos programas de P&D de curto e médio prazo e os conceitos de gerência de rejeitos.

Dentro deste cenário foram estudados e desenvolvidos diferentes processos de tratamento de rejeitos. A partir de trabalhos de P&D algumas instalações de tratamento de rejeitos foram implantadas e a experiência acumulada permitiu ao CDTN fornecer assistência a outras organizações em todas as etapas de gerência de rejeitos e transporte de material radioativo.

### **3. GERÊNCIA DE REJEITOS**

O acelerado processo de industrialização observado em certas regiões do Brasil, acompanhado pela expansão demográfica decorrente deste processo, tem trazido um aumento considerável na produção de todas as formas de rejeito, particularmente no que se refere aos de origem industrial. Em contrapartida, o gerenciamento responsável e, conseqüentemente, o desenvolvimento dos processos de tratamento destes rejeitos não têm acompanhado o ritmo de sua geração, causando danos ao homem e ao meio ambiente devido a seu manuseio, transporte e liberação inadequados.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão que regulamenta as questões ambientais brasileiras e, conseqüentemente, a questão dos rejeitos perigosos. A legislação brasileira dá ênfase aos rejeitos sólidos, não considerando os rejeitos líquidos e gasosos especificamente. A norma brasileira NBR 10004 [1] classifica tradicionalmente os resíduos sólidos em três classes: perigosos, não inertes e inertes

Segundo o CONAMA [2], os rejeitos perigosos são aqueles que de acordo com suas características podem apresentar risco à saúde pública ao provocar ou aumentar a mortalidade ou a incidência de doenças, bem como causar efeitos danosos ao meio ambiente, se forem manuseados, transportados e dispostos de maneira inadequada. Na classe de resíduos perigosos estão todos aqueles com algumas das seguintes características: corrosividade, reatividade, explosividade, toxicidade, inflamabilidade, patogenicidade e radioatividade.

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é o órgão federal responsável por estabelecer normas e regulamentos em radio-proteção e segurança nuclear, licenciar, fiscalizar e controlar a atividade nuclear no território nacional. Na norma CNEN-NE 6.05 [5] o rejeito radioativo é definido da seguinte maneira “Rejeito radioativo (ou simplesmente rejeito) é qualquer material resultante de atividades humanas contendo radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na norma CNEN – NE 6.02 [4] e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista.

A Gerência de Rejeitos (GR) é compreendida como o conjunto de atividades administrativas e técnicas relacionadas aos rejeitos desde sua origem até a sua disposição, sendo que seu princípio fundamental é o da não geração, ou da redução ao mínimo, tanto do volume gerado, quanto do volume a ser disposto.

As etapas principais da GR são a segregação, coleta, tratamento, acondicionamento e disposição. O controle e registro deve acompanhar todas estas etapas, de modo que se possa contabilizar, identificar e otimizar todas as operações melhorando o processo como um todo. Assim é preciso ter em mente em todas as etapas a redução de volume. Com isto são minorados os riscos no manuseio, transporte, armazenamento e deposição, bem como o impacto ambiental que possa ser causado no presente e para as futuras gerações. Em última análise isto irá diminuir também os custos globais.

Um esquema básico para a GR deve ser iniciado, sempre que possível, no sistema produtivo, analisando-se em cada etapa os materiais usados e gerados, de modo que haja uma perfeita harmonia entre todos os passos, atingindo ao final do ciclo uma redução máxima da quantidade de rejeitos, da área de disposição e guarda do rejeito tratado e um completo controle e registro destes materiais. Desta forma pode-se pensar nesta gerência, dando ênfase às seguintes etapas:

- ✓ Análise do sistema de produção
  - matéria-prima
  - processos disponíveis
  - rejeitos gerados
- ✓ Segregação do rejeito gerado
  - Quantidade
  - Embalagem
  - Armazenamento
- ✓ Coleta
  - Monitoração / inspeção
  - Quantidade
  - Embalagem
  - Transporte
- ✓ Tratamento
  - Reutilização
  - Reciclagem
  - Processos disponíveis
  - Instalações disponíveis
  - Geração de rejeitos secundários
  - Eficiência e custo do tratamento
  - Forma do rejeito tratado
- ✓ Disposição
  - Sistemas de disposição disponíveis
  - Critérios específicos
  - Volume de rejeito tratado
  - Riscos
  - Transporte
- ✓ Controle e Registro de todas as etapas.

Este esquema deve ser analisado iterativamente buscando o melhor resultado dentro dos cenários reais dos produtores, levando-se sempre em conta as legislações vigentes. Mesmo considerando que o sistema produtivo já esteja estabelecido, sempre é possível estabelecer medidas que possam ser adotadas de modo a minimizar o rejeito gerado e otimizar as demais etapas da GR.

Como exemplo apresentam-se as principais etapas da GR radioativos do CDTN (Figura 2) [7].

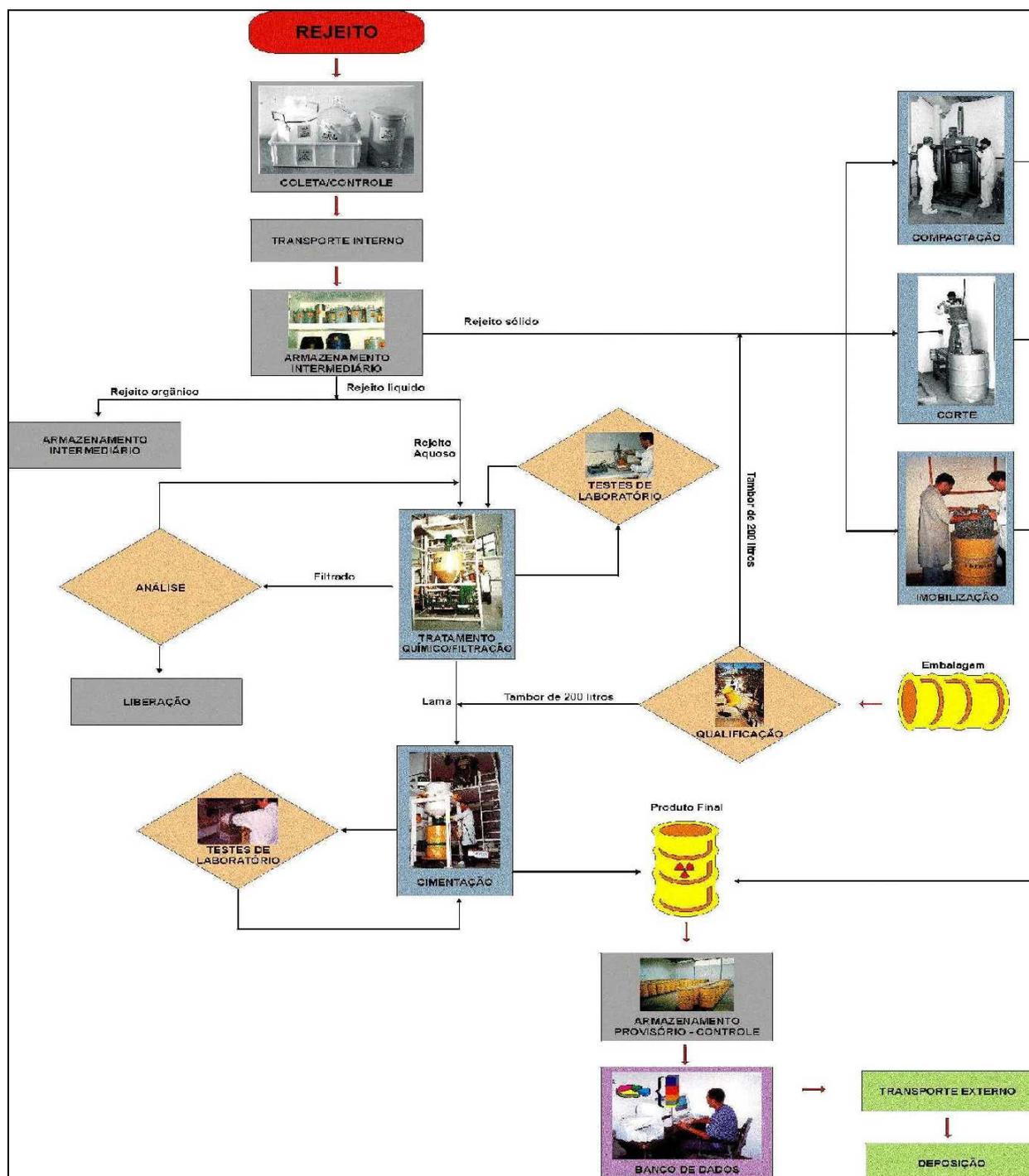


Figura 2 – Fluxograma simplificado da Gerência de Rejeitos Radioativos do CDTN [7]

Para minimizar a geração e melhor adequá-los aos processos de tratamento, os rejeitos radioativos são segregados na origem conforme suas características físicas, químicas e radiológicas. Os rejeitos líquidos são separados em aquosos e orgânicos e os rejeitos sólidos em compactáveis e não-compactáveis. São segregados, ainda, os rejeitos contendo radionuclídeos de meia-vida curta que, após o armazenamento para decaimento, são liberados do controle radiológico.

Os rejeitos líquidos aquosos são submetidos a tratamento químico para redução de volume. Os radionuclídeos presentes no rejeito são concentrados sob forma insolúvel. A lama

formada é separada por decantação e incorporada em cimento (Figura 3). O sobrenadante é filtrado, analisado e liberado. A fim de garantir a qualidade do produto solidificado, gerado pela incorporação das lamas de rejeito em cimento, são realizados testes preliminares em laboratório para determinar os parâmetros de processo e de qualidade do produto. Durante a cimentação, são retiradas amostras para o controle do processo, visando determinar a fluidez da mistura, o tempo necessário para a sua solidificação, a resistência do produto após 28 dias e a taxa de lixiviação (Figuras 4 e 5)



Figura 3 – Sistemas de precipitação química e cimentação de rejeitos de baixo nível de radiação



Figura 4 – Laboratório de cimentação de rejeitos

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 toneladas. Os rejeitos não-compactáveis, como entulho, sucata, madeira etc. são imobilizados em pasta de cimento. As bombonas e os frascos plásticos com suspeita de contaminação são

cortados em um moinho (capacidade de 130 kg/h), para permitir o levantamento de sua atividade específica e impedir a reutilização (Figura 6).

Os embalados de rejeitos são identificados, monitorados e transferidos para o Galpão de Armazenamento Provisório (Figura 7). Em um banco de dados encontram-se registrados todos os dados sobre os rejeitos recebidos, seu processamento, situação atual (se está tratado ou não), local de armazenamento etc. [7].



Figura 5 – Ensaio para a avaliação do processo e do produto de cimentação (Tempo de pega, resistência à compressão e resistência à tração)



Figura 6 – Sistemas de compactação e corte de rejeitos sólidos



Figura 7 – Galpão de armazenamento provisório (CDTN/CNEN)

#### 4. DESENVOLVIMENTOS REALIZADOS

Nestes quase 30 anos de existência o Grupo de Gerência de Rejeitos do CDTN/CNEN vem desenvolvendo as atividades para o gerenciamento seguro e eficiente dos rejeitos radioativo, visando sempre sua otimização. Com isto tem buscado soluções nacionais para a área nuclear brasileira, incluindo as centrais nucleares de Angra 1 e Angra 2, os institutos de pesquisas, universidades, indústrias e pequenos geradores de rejeitos. Estas soluções têm sido agora estendida a outras indústrias e à sociedade em geral.

##### 4.1 Recolhimento, Armazenamento e Acondicionamento de Fontes Radioativas [7]

O CDTN iniciou em 1995 o recebimento de fontes de radiação fora de uso, provenientes das várias regiões do país. As fontes encontram-se armazenadas no galpão de rejeitos, totalizando mais de 3.000 unidades, incluindo medidores nucleares, pára-raios e detectores de fumaça radioativos e equipamentos de teleterapia. Os radionuclídeos comumente presentes são  $^{60}\text{Co}$  (Cobalto 60),  $^{137}\text{Cs}$  (Césio 137),  $^{241}\text{Am}$  (Amerício 241) e  $^{226}\text{Ra}$ . (Rádio 226). A Figura 8 apresenta um aspecto da caixa de luvas para desmonte de pára-raios e detetores de fumaça.



Figura 8 – Caixa de luvas para desmonte dos pára-raios e detetores de fumaça

Devido ao volume crescente de fontes recebidas no CDTN e considerando que parte delas poderia, em princípio, ser reutilizada dentro do nosso país, uma célula blindada para desmonte de dispositivos com fontes seladas está sendo implantada. Nesta célula, as fontes passíveis de reutilização serão testadas quanto a vazamentos e terão sua atividade determinada. As fontes não-reutilizáveis serão retiradas das blindagens originais e colocadas em embalagens qualificadas, especialmente projetadas para fins de transporte e armazenamento.

## **4.2 Solidificação de Rejeitos Radioativos**

Os trabalhos de P&D na área de solidificação de rejeitos são baseados em três matrizes, cimento, betume e polietileno reciclado.

Os trabalhos na área de Cimentação visam um desenvolvimento maior da área, buscando opções para melhorar o processo e/ou o produto. Para maior qualidade na avaliação do produto final de cimento contendo rejeitos, novos ensaios têm sido implantados. O objetivo final destes trabalhos é garantir o não comprometimento dos seres humanos e/ou do ecossistema durante as etapas de manuseio, armazenamento, transporte e armazenamento destes produtos.

Os rejeitos radioativos líquidos da usina nuclear de Angra 1 são solidificados através da cimentação. Com o intuito de acompanhar a evolução da legislação ambiental, melhorar a qualidade do produto solidificado, bem como aumentar a razão de incorporação de rejeitos por embalagem, a ELETRONUCLEAR adquiriu a Unidade Alternativa de Solidificação de Rejeitos Radioativos (UASRR). Neste sistema o processo de mistura é feito dentro da própria embalagem utilizada para o armazenamento. Suas principais vantagens são a não geração de rejeitos secundários, o melhor aproveitamento do espaço útil da embalagem e o menor tempo de operação. Esta Unidade porém foi adquirida no exterior e por isto tinha de ser licenciada segundo as normas nacionais para operar [10].

Foi feita uma pesquisa em diferentes escalas, desde mililitros até a escala real, ou seja, com quantidades de rejeitos iguais àquelas a serem solidificadas na UASRR em Angra 1 (cerca de 1 m<sup>3</sup>). Foi usada uma solução com ácido bórico e outros compostos para simular o concentrado do evaporador. Uma mistura de resinas mistas, catiônica e aniônica carregadas com ácido bórico foi usada para simular o conteúdo do TARE (Tanque de Resinas Exauridas de Angra 1).

Diversos materiais, como argilas e aditivos químicos, foram testados em diferentes proporções, juntamente com variações na proporção "rejeito simulado/agente solidificante", de modo que se conseguisse um produto final com qualidade para ser transportado e armazenado, associado a uma maior incorporação de rejeito por volume final. Para a avaliação do processo foram determinados a viscosidade, o tempo de pega e a densidade da pasta e para a avaliação do produto avaliaram-se a resistência à compressão, à tração e à lixiviação.

A eficiência volumétrica obtida nestes testes foi muito grande. Nos embalados produzidos incorporou-se entre 66 e 69% de concentrado e entre 56 e 65% de resina, valores muito melhores do que os conseguidos com o sistema original, no qual se incorporava no máximo 20% de rejeito [10].

A partir da experiência adquirida na cimentação de rejeitos radioativos, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos para tratar rejeitos perigosos de origem industrial.

A grande vantagem da cimentação é que para a sua implantação em escala industrial não são necessários grandes investimentos em equipamentos ou materiais. O mais importante é definir, primeiramente, o destino do rejeito solidificado, que pode ser uma possível reutilização, por exemplo como pavimento, mourão, ou sua disposição em aterro ou armazenamento dentro de alguma embalagem. A partir desta definição, alguns estudos adicionais são necessários para adequar as características específicas a cada destinação. Em seguida, tendo-se as misturas que atendam a todos os requisitos, são feitos os cálculos dos

custos envolvidos na produção de cada uma, optando-se por aquela que seja também economicamente eficiente.

Ensaio realizados com rejeitos orgânicos provenientes da indústria de petróleo apresentaram resultados excelentes quanto à resistência à compressão e à retenção de contaminantes pelo produto (Figura 9) [9].

O betume é um outro material utilizado para a imobilização de rejeitos. No CDTN são realizados trabalhos experimentais para a incorporação de rejeitos radioativos em diferentes betumes, visando a obtenção de produtos de rejeito monolíticos, homogêneos, química e mecanicamente estáveis e resistentes a lixiviação.

Em uma instalação piloto do CDTN estão sendo avaliados vários tipos de betume, com ponto de amolecimento de cerca de 70°C, para incorporar rejeitos, que simulam concentrados de evaporador provenientes de reatores tipo PWR e resinas de troca iônica nas porcentagens de 43 a 55% em peso. Os betumes estudados possuem características semelhantes aos utilizados em outras centrais nucleares. Os produtos obtidos, após a incorporação dos rejeitos em betume, são analisados quanto ao ponto de amolecimento, ponto de fulgor, penetração, porcentagem de água, análise termodiferencial e homogeneidade (Figura 10). As taxas de lixiviação, parâmetros importantes para a análise dos produtos de rejeito, são determinadas de acordo com normas específicas.

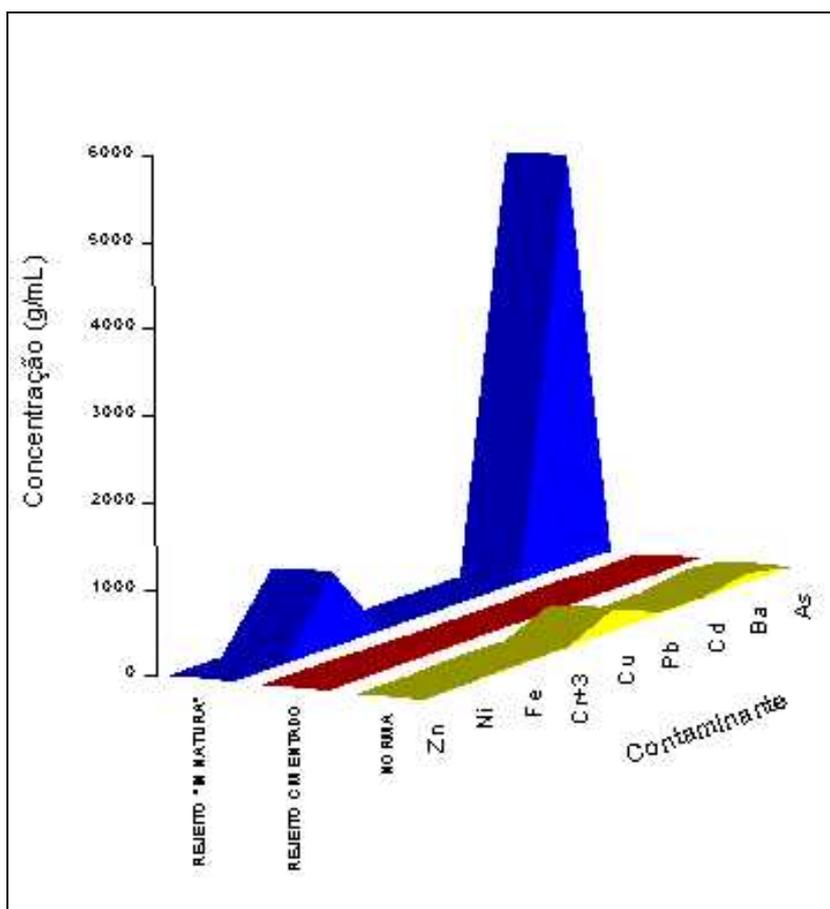


Figura 9 – Resultados de teste de lixiviação de rejeitos de perfuração de petróleo “in natura” e cimentado, comparados com os valores da norma

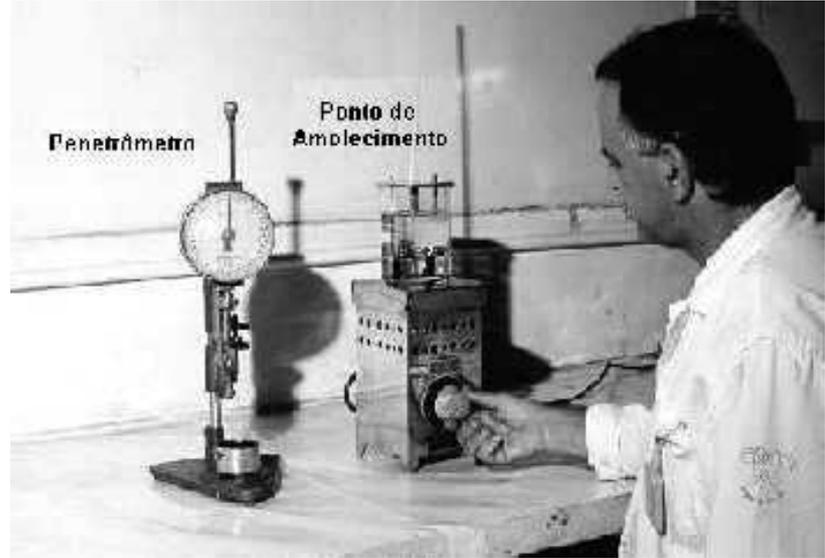


Figura 10 - Instalação piloto e ensaios de betuminização de rejeitos (CDTN/CNEN)

Todas estas propriedades são importantes para avaliar os produtos de rejeito e permitem que as operações no sistema de betuminização de rejeitos radioativos sejam realizadas com segurança e o CDTN vem prestando serviços de P&D nesta área para a Usina Nuclear de Angra 2.

Os polímeros apresentam características que permitem que eles sejam usados também como materiais para a incorporação de rejeitos. Existem vários estudos visando este objetivo. O polietileno é um polímero que está presente na vida moderna em diversas formas, como sacos plásticos, frascos em geral, brinquedos e utensílios. Uma vez utilizados, estes materiais trazem uma grande carga de poluição ambiental, porque eles, na sua grande maioria, não são biodegradáveis e são gerados em grandes volumes. Uma das opções para diminuir este impacto tem sido sua reciclagem.

No CDTN foi iniciado, em parceria com a Escola de Engenharia da UFMG, um projeto para a utilização do polietileno reciclado como material para a incorporação de rejeitos, desta forma poderiam ser atacadas duas questões ambientais, a dos plásticos e dos rejeitos perigosos [8]

O projeto foi iniciado em 2000 e foram preparados produtos de polietileno reciclado contendo ou não rejeito simulado. A caracterização dos produtos obtidos foi feita através de análises térmicas, que mostraram que a presença do rejeito simulado nos produtos provocou algumas alterações nas propriedades térmicas do polietileno reciclado. Foram feitos testes em bancada e em uma extrusora de laboratório.

Os resultados obtidos indicaram que o polietileno reciclado tem potencial para ser usado como matriz para imobilização de rejeito. Estão previstos novos experimentos para verificar quais os tipos de rejeito são mais adequados para incorporação em polietileno através de extrusão.

#### 4.3 Embalagens para Transporte de Materiais Radioativos [7]

O transporte de materiais radioativos por vias públicas é uma das etapas que mais preocupam a comunidade nuclear no Brasil e no Exterior. Isto basicamente, porque esta é uma das poucas atividades que se realizam fora das áreas especificamente designadas para atividades com materiais radioativos, as quais são sujeitas a controles físicos e radiológicos bastante restritos.

Para lidar com esta característica, as embalagens para transporte de materiais radioativos são projetadas e construídas de maneira a resistir aos diversos acidentes de trajeto

passíveis de ocorrer durante seu deslocamento. No Brasil, o transporte de produtos para radioterapia, fontes de uso industrial, rejeitos radioativos de mineração e combustível nuclear não irradiado já é uma realidade há muito tempo. Felizmente, não há relato de nenhum acidente com estas embalagens que tenha causado qualquer contaminação de pessoas ou do meio ambiente.

Com a entrada em funcionamento da Central nuclear de Angra 2 e com o avanço no Congresso Nacional do projeto de lei que dispõe sobre a locação, construção e operação do depósito nacional de rejeitos radioativos, espera-se, para os próximos anos, um aumento significativo do volume de materiais radioativos transportados no Brasil. O CDTN espera contribuir para a segurança destas operações, conforme mostrado a seguir.

As embalagens para materiais radioativos devem ser robustas o suficiente para resistir aos severos acidentes esperados durante seu transporte, ou seja, quedas, incêndios, impactos contra objetos pontiagudos, submersão em rios, lagos ou qualquer corpo d'água profundo. As embalagens mais frágeis (de madeira, papelão ou plástico) devem resistir também a chuvas e empilhamentos.

Esses acidentes são simulados através de ensaios mecânicos realizados em instalações apropriadas no CDTN. O ensaio de queda-livre é realizado numa instalação que consiste de um pórtico com guincho e mecanismo de liberação e uma plataforma de concreto coberta com chapa metálica. Já os ensaios de molhamento, empilhamento e penetração são realizados em instalações simples ou usando contrapesos adequados.

O CDTN começa a ampliar sua capacidade de ensaios. Para isso, foi concluída a construção de uma plataforma para ensaios de queda de até 9 m de altura e um mecanismo de liberação de protótipos para 3.000 kg. Para realização de ensaios de submersão em água, o CDTN irá dispor de um tanque de pressão especialmente confeccionado, onde se simularão as condições de pressão existentes a 20 m de profundidade.

Outra linha de pesquisa na área de embalagens é o uso de espumas de poliuretano como proteção no caso de impactos. A idéia é simples: assim como o isopor e a espuma de poliuretano de baixa densidade são usados para proteção de componentes eletrônicos, por que não fazer o mesmo para embalagens de material radioativo? O problema é que, devido ao grande peso destas embalagens, à altura de queda prescrita (até 9 m), à necessidade de minimizar as dimensões durante o transporte e às restritas exigências técnicas para obtenção de uma licença de utilização deste tipo de embalagem, o desafio para os projetistas destes "amortecedores de impacto" é grande.

Além disso, preocupados com os aspectos de proteção ao meio ambiente, optou-se por utilizar o "poliuretano ecológico", desenvolvido pelo fornecedor mineiro Poly-Urethane [6], o qual, ao contrário do poliuretano tradicional, obtido da indústria petroquímica, é sintetizado a partir do óleo da mamona, produto renovável e não poluente. Como não existem informações sobre as propriedades físicas deste material, estão sendo realizados diversos ensaios de laboratório para formação de um banco de dados sobre este material inovador, que permitirá sua utilização otimizada para o problema em tela.

#### **4.4 Contribuição do CDTN na América Latina [7]**

Toda a experiência acumulada na área de embalagens pelo CDTN, somada ao "know-how" aqui desenvolvido em proteção radiológica e soldagens especiais com qualidade nuclear, fizeram com que a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), órgão das Nações Unidas para o uso pacífico da energia nuclear, escolhesse uma equipe deste Centro para participar, na região da América Latina e Caribe, de uma operação mundial para recolhimento de fontes de radiação usadas em radioterapia.

Esta operação, deslançada no final de 1996, no Uruguai, e sob a coordenação do CDTN, visa recolher com segurança todas as fontes radioativas fora de uso em países em desenvolvimento na América Latina, Europa do Leste, África e Ásia. Estas fontes, de rádio ou

cobalto, têm sido causadoras, por manipulação indevida por parte de pessoas não autorizadas, de vários acidentes nas últimas décadas, alguns deles com conseqüências bastante graves em termos de prejuízos materiais ou pessoais. Na Figura 11 é mostrada uma embalagem desenvolvida para acondicionar fontes de rádio.

A equipe do CDTN participa neste projeto dando assistência direta para realizar as operações propriamente ditas, coordenando e executando as principais tarefas, como também planejando todas as etapas, enviando com antecedência os equipamentos e materiais necessários, redigindo os relatórios técnicos pertinentes, tendo, no início do projeto, participado ativamente da elaboração e revisão do manual técnico que serve como guia para todas as equipes envolvidas nas operações.

Outro projeto que está sendo feito para a América Latina, através de cooperação com a AIEA, é o desenvolvimento de um processo de cimentação de rejeitos orgânicos e líquidos de cintilação adequado às condições de cada país, porém fornecendo produtos qualificados para manuseio, transporte e disposição.



Figura 11 – Embalagem para Fontes Pequenas de Rádio-226

#### **4.5 Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde [7]**

Os resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS), ou lixo hospitalar, apesar de representarem uma pequena parcela do total dos resíduos sólidos produzidos em uma comunidade, são particularmente importantes tanto para a segurança ocupacional dos funcionários que o manuseiam como para a saúde pública e qualidade do meio ambiente. A falta de informações sobre as formas corretas de segregação, acondicionamento e armazenamento dos mesmos, contribuem para o aumento dos riscos de acidente de contaminação, principalmente do pessoal que faz a coleta inter- e intra-hospitalar. A ausência de segregação acarreta o aumento de volume dos resíduos infectantes gerando, conseqüentemente, um custo maior para a coleta e disposição final desses resíduos.

A constatação de que a filosofia e parte dos processos desenvolvidos pelo CDTN para o caso dos rejeitos radioativos aplicam-se aos RSS tem permitido uma efetiva contribuição para que se possa reduzir a lacuna ainda existente no âmbito do gerenciamento destes rejeitos, através de parcerias com o poder público municipal (PBH), estadual (FEAM, SEMAD, FUNED), instituições federais (UFMG) e iniciativa privada (hospitais, centros de saúde,

maternidades e instituições de classe). O CDTN tem contribuído, sobretudo, na formação de recursos humanos e na prestação de serviços (consultoria, assessoria técnica).

No âmbito da formação de recursos humanos, pode-se citar sua participação no Curso do Fundo de Amparo ao Trabalhador – FAT, no Curso Pré-Congresso no III Congresso Pan-Americano/II Congresso Brasileiro/I Congresso Mineiro de Controle de Infecções e Epidemiologia Hospitalar. Além destes foi ministrada uma aula visando a capacitação da Unidade de Gerência de Qualidade e Biossegurança nos Laboratórios do Instituto Octávio Magalhães da Fundação Ezequiel Dias–FUNED, bem como palestras nos eventos: Seminário sobre Diretrizes Ambientais para Atendimento de Denúncias de Saneamento, semana de prevenção de acidentes da Maternidade de Pedro Leopoldo, entre outros.

Os principais projetos realizados, em parceria com outras instituições, foram a participação na elaboração do “Manual Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde” (COPAGRESS/PBH); o atendimento à solicitação da Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM/MG, para traçar diretrizes a serem encaminhadas aos municípios para o descarte de resíduos de serviços de saúde. Houve, ainda, a implantação da gerência de resíduos de serviços de saúde em um hospital da rede estadual mineira.

O CDTN participa ainda como membro do Fórum Estadual Lixo & Cidadania, com coordenação da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Governo do Estado de Minas Gerais–SEMAD/MG e tem representação na Comissão Permanente de Apoio ao Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde–COPAGRESS, vinculada à Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.

## 5. CONCLUSÃO

A deposição de rejeitos tóxicos “in natura” compromete seriamente o meio ambiente, quando a concentração dos contaminantes é alta, pois o transporte destes para os aquíferos e para a cadeia alimentar estabelece um problema enorme de contaminação. Em vista disto, uma opção eficiente para tratar este rejeito faz-se necessária.

No CDTN são feitas atividades de P&D em todas as etapas da Gerência de Rejeitos Radioativos. Os resultados destes trabalhos têm sido aplicados não somente para a indústria e usuários de materiais nucleares, como também para as indústrias e instalações que geram rejeitos perigosos não radioativos, incluindo os rejeitos dos serviços de saúde.

A constante busca de melhoria em seu sistema de GR tem colocado o CDTN como órgão de referência para a solução de diversos problemas causados pelos rejeitos perigosos, inclusive internacionalmente.

## 6. CRÉDITOS

Este documento contém informações gerais sobre os trabalhos na área de Gerência de Rejeitos Radioativos do CDTN desenvolvidos ao longo de vários anos por: Adair G. do Carmo, Antônio J. Temóteo, Antônio J. Pinto, Clédola C. O. de Tello, Eliane M. P. da Silva, Fábio Silva, Francisco D. Cândido, Francisco L. de Lemos, Luiz C. A. Reis, Marcia F. R. Guzella, Maria Judite A. Haucz, Murillo Senne Júnior, Nilton C. Gomes, Noil A. M. Cussiol, Paulo O. Santos, Rogério P. Mourão e Tânia V. da Silva.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1987
- [2] BRASIL. CONAMA. Resolução nº 06, de 15 de junho de 1988. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2 jan. 1989. Seção I, p.92-94.
- [3] CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. **Relatório de gestão – 1999**. Belo Horizonte, 1999.

- [4] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **CNEN-NE-6.02**: licenciamento de instalações radiativas. Rio de Janeiro, 1984.
- [5] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **CNEN-NE-6.05**: gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas. Rio de Janeiro, 1985
- [6] POLY-URETHANE. <http://www.poly-urethane.com.br>. 2001.
- [7] SERVIÇO DE TECNOLOGIA DE REJEITOS (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear). **Gerência de rejeitos radioativos do CDTN**. Belo Horizonte: CDTN, 2001.
- [8] SOUSA, Edésia M. B. e TELLO, Clédola C. O. **Estudo de polímeros para Incorporação de rejeitos: Relatório de progresso de 2001**. Belo Horizonte: CDTN, 2002. (NI-CT3-006/02)
- [9] TELLO, Clédola C.O. Cimentação: uma opção para o tratamento de rejeitos tóxicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4, 1996, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ABCP, 1996, v.4, p.549-564.
- [10] TELLO, Clédola C.O. e BARROSO, Antônio C. O. Design and process improvements on the waste treatment of angra i and angra ii power plants in brazil In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR ENGINEERING,10, 2002, Arlington, EUA. **Proceedings...** Nova York: ASME, 2002. 1 CD. (ICONE10-22303).