

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
SISTEMAS DE PROCESSOS QUÍMICOS E INFORMÁTICA**

**“IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA UNIFICADO PARA
GERENCIAMENTO DE REJEITOS”**

Autor: Eliane Magalhães Pereira da Silva

Orientador: Profa. Dra. Elizabete Jordão

Co-Orientador: Dr. Vanderley de Vasconcelos

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Química como
parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia Química

Agosto – 2006
Campinas – São Paulo – Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

Si38i	<p>Silva, Eliane Magalhães Pereira da Implementação de um sistema unificado para gerenciamento de rejeitos / Eliane Magalhães Pereira da Silva.--Campinas, SP: [s.n.], 2006.</p> <p>Orientador: Elizabete Jordão Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.</p> <p>1. Resíduos. 2. Metodologia. 3. Software. 4. Resíduos radioativos. 5. Resíduos perigosos. 6. Resíduos - Planejamento. 7. Substancias perigosas - Transportes. I. Jordão, Elizabete. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.</p>
-------	---

Título em Inglês: Implementation of a unified system to waste management

Palavras-chave em Inglês: waste management; methodology; software; radioactive waste; hazardous waste; waste management program; transportation of hazardous residues; licensing

Área de concentração: Sistemas de Processos Químicos e Informática

Titulação: Doutora em Engenharia Química

Banca examinadora: Edson Tomaz, Meuris Gurgel Carlos da Silva, Luiz Carlos Bertevello, Douglas Alves Cassiano

Data da defesa: 25/08/2006

Tese de Doutorado defendida por Eliane Magalhães Pereira da Silva e aprovada em 25 de agosto de 2006 pela banca examinadora constituída pelos doutores:

Profa. Dra. Elizabete Jordão
FEQ – UNICAMP

Prof. Dr. Edson Tomaz
FEQ – UNICAMP

Profa. Dra. Meuris Gurgel Carlos da Silva
FEQ – UNICAMP

Prof. Dr. Luiz Carlos Bertevello
FEI

Prof. Dr. Douglas Alves Cassiano -
FEI

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado, em Engenharia Química, defendida por Eliane Magalhães Pereira da Silva, em 25 de agosto de 2006.

Profa. Dra. Elizabete Jordão

Orientadora

Aos meus pais, Mary e Potyguara,
e ao Dr. Vanderley de Vasconcelos,
amigo e profissional de minha maior estima.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Elizabete Jordão pela orientação, incentivo e apoio prestado na realização deste trabalho.

Ao Dr. Vanderley de Vasconcelos pela dedicada orientação desta tese, incansável incentivo para o seu término e valiosas contribuições técnicas, incluindo análise e desenvolvimento do software SUGERE.

Ao Eng. Sérgio Carneiro dos Reis pela competente colaboração na implementação do SUGERE, automatizando a metodologia desenvolvida.

Ao Dr. Murillo Senne Júnior pelo constante apoio e incentivo em todas as etapas deste trabalho, como também pelas contribuições técnicas.

Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e à Universidade Estadual de Campinas por viabilizarem a concretização deste projeto.

Ao colega Fábio Silva pela amizade e colaboração na formatação deste texto e apoio na aplicação do software RWMRegistry.

À Agência Internacional de Energia Atômica, na pessoa da Eng. Sophia Teh Whei Miaw, pelas contribuições técnicas de grande valia e pelas bibliografias específicas ao gerenciamento de rejeitos radioativos.

À colega Maria das Graças Pinho pelo apoio administrativo dispensado em todas as etapas deste trabalho.

À colega Nívia de Almeida Lima pela presteza na revisão das referências bibliográficas.

Aos colegas do Serviço de Gerência de Rejeitos do CDTN/CNEN, por compartilharem a realização deste trabalho.

RESUMO

O processo de geração e de disposição final de resíduos em todas as suas formas tem sido responsável por problemas econômicos, ecológicos e de saúde pública, dentre os mais relevantes. Para que o gerenciamento dos resíduos perigosos seja realizado de maneira amigável ao meio ambiente, uma série de medidas técnicas e administrativas deve ser implementada, envolvendo desde a prevenção e o controle efetivo da geração do resíduo até a sua disposição final. O setor nuclear tem uma longa e bem sucedida experiência em todas as atividades administrativas e operacionais envolvidas no manuseio, tratamento, condicionamento, transporte, armazenamento e disposição final de rejeitos radioativos. Estes conhecimentos adquiridos podem ser utilizados no desenvolvimento de uma metodologia unificada para o gerenciamento de resíduos perigosos, radioativos e não radioativos, aqui tratados como “rejeitos”, em atendimento às exigências cada vez mais restritivas impostas pelo mercado, consumidores, órgãos reguladores e grupos ambientais. O principal objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar uma metodologia unificada, dirigida em particular a pequenos geradores, instituições que geram pequenas quantidades de rejeitos de diferentes composições, procurando integrar as diversas atividades envolvidas no gerenciamento. A metodologia foi desenvolvida para servir como uma ferramenta facilitadora dessas atividades, devendo ser aplicada por usuário especializado. Para simplificar e agilizar a sua aplicação, foi desenvolvido um programa de computador denominado *SUGERE - Sistema Unificado de GEstão de Resíduos*, no sistema operacional Windows® em ambiente Borland Delphi®. A indústria nuclear é utilizada como referência para o desenvolvimento do trabalho, tendo sido implementada, disponibilizada e exemplificada a aplicação de muitos procedimentos, normas e padrões desta área.

Palavras-chave: gerência de rejeitos, metodologia, rejeitos radioativos, resíduos perigosos.

ABSTRACT

The process of generation and disposal of wastes has been responsible for many economical, ecological and public health problems, although the importance of its safe management for the protection of human health and the environment has long been recognized. In order to manage the hazardous wastes in an environmentally-friendly manner, many technical and administrative procedures should be implemented, from prevention and control of waste generation to a final disposal. The nuclear area personnel have a long and successful experience in all administrative and operational activities involved in the handling, treatment, conditioning, transport, storage and disposal of radioactive waste. Thus, this knowledge can be considered in the development of a unified methodology for managing all kinds of hazardous waste. The main purpose of the present work is to develop and implement a methodology, primarily to institutions that generate small amounts of waste of different compositions, on the predisposal activities management. This methodology was developed to provide a facilitator tool that should be applied by expert users. To simplify and automatize its application, a software, named *SUGERE* - a unified system for waste management, was developed in a Windows[®] environment using a Borland Delphi[®] package. The nuclear industry was used as a reference for developing this work and many examples of this area standards and procedures are implemented.

Key words: waste management, methodology, radioactive wastes, hazardous wastes.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE SIGLAS.....	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	3
2.1 Objetivos.....	3
2.2 Justificativa	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Introdução	5
3.2 A Questão Ambiental no Contexto Mundial	6
3.2.1 Estratégias ambientais	11
3.2.2 Exemplos de legislação em diferentes países.....	14
3.2.3 As normas ISO e a questão ambiental.....	20
3.3 Aspectos Legais e Regulamentação Aplicável	24
3.4 Conceituação e Classificação de Resíduos	40
3.4.1 Conceituação e classificação de resíduos sólidos	43
3.4.2 Conceituação e classificação de rejeitos radioativos.....	48
3.5 Controle da Geração.....	55
3.5.1 Prevenção e minimização da geração de rejeitos.....	62
3.5.2 Reutilização, reciclagem e permuta	72
3.6 Gerenciamento de Rejeitos	76
3.6.1 Origem dos rejeitos radioativos	80
3.6.2 Requisitos de segurança para a gerência de rejeitos radioativos.....	93
3.6.3 Estratégia para a gerência de rejeitos radioativos	98
3.6.4 Segregação, acondicionamento inicial e identificação.....	102
3.6.5 Caracterização inicial e classificação dos rejeitos	106
3.6.6 Transferências internas e armazenamento inicial.....	113
3.6.7 Eliminação de rejeitos pelas vias convencionais	115
3.6.8 Tratamento e condicionamento de rejeitos	124
3.6.9 Gerenciamento de fontes fora de uso e de outros dispositivos.....	146
3.6.10 Manutenção de registros e sistema de notificação.....	154
3.7 Transporte de Resíduos Perigosos.....	158
3.7.1 Recomendações da ONU para o transporte de produtos perigosos.....	159
3.7.2 Transporte rodoviário internacional de produtos perigosos.....	164
3.7.3 Regulamentação do transporte de produtos perigosos no Brasil.....	167
3.7.4 Transporte de materiais radioativos.....	173
3.7.5 Licenciamento ambiental do transporte de resíduos perigosos.....	196
3.7.6 Licenciamento ambiental para o transporte de materiais radioativos.....	200
3.8 Programa de Gerenciamento de Rejeitos - PGR	202
3.8.1 Conteúdo do PGR.....	203
3.8.2 Responsabilidades dos envolvidos.....	203
4 METODOLOGIA.....	206
4.1 Abordagem Utilizada.....	206
4.2 Metodologia Desenvolvida	208

4.3	Software Implementado	223
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	229
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	247
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	251
	ANEXOS	266

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Interação entre produtores, consumidores e administração pública para o desenvolvimento sustentável.	8
Figura 3.2 - Eco-eficiência.	12
Figura 3.3 - Estrutura do Comitê Técnico Ambiental / ISO.	21
Figura 3.4 - Modelo de Sistema de Gestão Ambiental da norma NBR ISO 14001/04.	23
Figura 3.5 - Razões para adoção de medidas de gestão ambiental pelas indústrias.	24
Figura 3.6 - Estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA.	26
Figura 3.7 - Atividades de licenciamento ambiental para obras de grande porte.	29
Figura 3.8 - Fluxograma do processo de licenciamento ambiental adotado pelo IBAMA.	32
Figura 3.9 - Dispositivos legais aplicáveis a resíduos sólidos industriais em S.Paulo.	34
Figura 3.10 - Esquema da segurança nuclear de instalações nucleares.	39
Figura 3.11 - Caracterização e classificação de resíduos sólidos segundo NBR 10.004.	45
Figura 3.12 - Sistema de classificação de rejeitos segundo AIEA (1994a).	52
Figura 3.13 - Participação dos diversos setores na geração de resíduos na UE.	56
Figura 3.14 - Participação das atividades no conjunto das áreas contaminadas em S.Paulo.	57
Figura 3.15 - Modelo industrial linear clássico.	58
Figura 3.16 - Modelo industrial não linear.	59
Figura 3.17 - Ações para controle e prevenção da poluição.	62
Figura 3.18 - Fluxograma das etapas do programa de P2.	70
Figura 3.19 - Foco principal da gestão proativa e reativa de uma empresa.	76
Figura 3.20 - Fluxograma para a gestão de resíduos sólidos industriais.	77
Figura 3.21 - Fluxograma típico de gerência de rejeitos radioativos.	79
Figura 3.22 - Os rejeitos no Reino Unido.	80
Figura 3.23 - Vistas de piscinas de armazenamento de ECI.	82
Figura 3.24 - Origem dos rejeitos de média atividade da operação de centrais nucleares.	83
Figura 3.25 - Vistas internas de um dos depósitos de rejeitos de Angra 1.	84
Figura 3.26 - Etapas do ciclo do combustível nuclear no Brasil.	86
Figura 3.27 - Conceito de barreiras múltiplas aplicado a repositórios.	94
Figura 3.28 - Fluxograma básico de gerência de rejeitos radioativos de IIRR.	100
Figura 3.29 - Exemplo de estratégia para a gerência de rejeitos radioativos.	101
Figura 3.30 - Exemplo de etiqueta de identificação de rejeito radioativo.	106
Figura 3.31 - Fluxograma para classificação de resíduos sólidos segundo NBR 10.004.	110
Figura 3.32 - Fluxograma para classificação de resíduos como rejeitos radioativos.	111
Figura 3.33 - Estratégia geral para a caracterização de rejeitos radioativos.	112
Figura 3.34 - Vista do depósito de rejeitos radioativos líquidos no CDTN.	115
Figura 3.35 - Uma abordagem gradativa para a eliminação autorizada de rejeitos.	118
Figura 3.36 - Finalidade da etapa de tratamento de rejeitos.	125
Figura 3.37 - Sistema de compactação de rejeitos radioativos do CDTN.	129
Figura 3.38 - Moinho para descaracterizar frascos plásticos do CDTN.	130
Figura 3.39 - Embalagem para imobilização de rejeitos sólidos no CDTN.	131
Figura 3.40 - Sistema de precipitação química/filtração do CDTN.	134
Figura 3.41 - Etapas de preparação dos rejeitos para o armazenamento ou deposição.	136
Figura 3.42 - Atividade liberada por produtos de rejeito cimentado contendo rejeito líquido alcalino de média atividade.	141
Figura 3.43 - Sistema de cimentação do CDTN.	142
Figura 3.44 - Gerência de rejeitos radioativos na Índia.	146
Figura 3.45 - Etapas para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento de FFU.	150
Figura 3.46 - Depósito de rejeitos radioativos e de FFU do CDTN.	151

Figura 3.47 - Tipos de pára-raios recebidos pelo CDTN.	152
Figura 3.48 - Instalações para desmonte de pára-raios e fontes seladas no CDTN.....	153
Figura 3.49 - Placas para identificação de veículos que transportam produtos perigosos.	167
Figura 3.50 - Arcabouço legal para o transporte de produtos perigosos no Brasil.....	168
Figura 3.51 - Situação da legislação de transporte de produtos perigosos.....	169
Figura 3.52 - Exemplos de rótulos de risco.....	171
Figura 3.53 - Ensaios de qualificação de embalado Tipo A.....	185
Figura 3.54 - Instalação de teste de queda livre para embalados Tipo B no CDTN.	188
Figura 3.55 - Rótulos e símbolos utilizados no transporte de materiais radioativos.	193
Figura 4.1 - Abordagem geral utilizada para desenvolver a metodologia de gestão de rejeitos.	206
Figura 4.2 - Visão geral da metodologia desenvolvida (DFD 1º nível).	209
Figura 4.3 - Expansão do processo <i>Gerência Interna</i> (DFD 2º nível).	211
Figura 4.4 - Expansão do processo <i>Gerência de Prestação de Serviços</i> (DFD 2º nível).....	213
Figura 4.5 - Expansão do processo <i>Elaboração e Controle do PGR</i> (DFD 2º nível).	215
Figura 4.6 - Fluxograma da etapa de controle da geração de rejeitos.	216
Figura 4.7 - Fluxograma da etapa de caracterização visando a reciclagem.	217
Figura 4.8 - Fluxograma indicando possíveis vias de destinação de rejeitos radioativos.	218
Figura 4.9 - Fluxograma com etapas da gerência local de rejeitos radioativos.....	219
Figura 4.10 - Fluxograma com etapas da gerência local de resíduos perigosos.....	220
Figura 4.11 - Fluxograma com etapas da gerência de rejeitos em instalação centralizada.	222
Figura 4.12 - Diagrama de Estrutura Hierárquica do <i>SUGERE</i>	223
Figura 4.13 - Detalhamento da tela principal do RWMRegistry.....	225
Figura 4.14 - Tela do RWMRegistry: Acesso às opções de condicionamento.	226
Figura 4.15 - Tela do RWMRegistry: Detalhamento da situação do rejeito.	226
Figura 5.1 - Tela principal do software <i>SUGERE</i>	230
Figura 5.2 - Legenda dos diagramas utilizados no <i>SUGERE</i>	230
Figura 5.3 - Tela do <i>SUGERE</i> : Dispositivos legais e normas reguladoras.	232
Figura 5.4 - Tela do <i>SUGERE</i> : Cadastro de parâmetros de radionuclídeos.	232
Figura 5.5 - Tela do <i>SUGERE</i> : Obtenção dos limites de atividade para embalados Tipo A.	233
Figura 5.6 - Tela do <i>SUGERE</i> : Orientação para a prevenção da geração de rejeitos.....	233
Figura 5.7 - Tela do <i>SUGERE</i> : Técnicas para caracterização de elementos químicos ou radionuclídeos.....	234
Figura 5.8 - Tela do <i>SUGERE</i> : Classificação de resíduos sólidos quanto à periculosidade.	235
Figura 5.9 - Tela do <i>SUGERE</i> : Classificação de rejeitos radioativos visando a deposição.	236
Figura 5.10 - Tela do <i>SUGERE</i> : Cálculo do tempo de decaimento visando a eliminação.....	237
Figura 5.11 - Tela do <i>SUGERE</i> : Coleta, recebimento e armazenamento de rejeitos.....	237
Figura 5.12 - Tela do <i>SUGERE</i> : Gerenciamento de embalagens e tanques.	238
Figura 5.13 - Tela do <i>SUGERE</i> : Rastreamento dos rejeitos e inventário atualizado.	239
Figura 5.14 - Tela do <i>SUGERE</i> : Suporte para elaboração do PGR da instalação.....	240
Figura 5.15 - Tela <i>SUGERE</i> : Segurança física e radiológica.....	240
Figura 5.16 - Tela do <i>SUGERE</i> : Preparo para transferência.....	242
Figura 5.17 - Tela do <i>SUGERE</i> : Gerenciamento do transporte externo.....	242
Figura 5.18 - Tela do <i>SUGERE</i> : Licenciamento ambiental e radiológico para a operação de transporte.	243
Figura 5.19 - Tela do <i>SUGERE</i> : Orientações para rotulagem de rejeitos radioativos.....	243
Figura 5.20 - Tela do <i>SUGERE</i> : Pesquisa de classe de produtos perigosos para transporte.....	244
Figura 5.21 - Tela do <i>SUGERE</i> : Auxílio no preenchimento do manifesto de produtos perigosos para transporte.	244
Figura 5.22 - Tela do <i>SUGERE</i> : Tratamento, condicionamento e vias de destinação final.	245

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características das estratégias ambientais.....	13
Tabela 3.2 - Evolução da gestão ambiental nas indústrias.....	14
Tabela 3.3 - Normas da série ISO 14000.....	22
Tabela 3.4 - Exemplo de um sumário mínimo de um Relatório de Análise de Segurança.....	37
Tabela 3.5 - Exemplo de sumário mínimo do capítulo 7 do RAS, <i>Gerência e Confinamento dos Rejeitos</i>	38
Tabela 3.6 - Normas da ABNT para a classificação de resíduos sólidos.....	44
Tabela 3.7 - Listagens que compõem os anexos da NBR 10.004.....	44
Tabela 3.8 - Limites de isenção segundo CNEN-NE-6.02.....	49
Tabela 3.9 - Classificação de rejeitos segundo CNEN-NE-6.05.....	54
Tabela 3.10 - Diferenças entre tecnologias ambientais convencionais e as de P+L.....	60
Tabela 3.11 - Processo de minimização de resíduos utilizando MASP.....	66
Tabela 3.12 - Técnicas para prevenção da poluição e minimização da geração de rejeitos.....	71
Tabela 3.13 - Principais radionuclídeos encontrados nos rejeitos contendo TENORM.....	88
Tabela 3.14 - Características das fontes radioativas típicas.....	90
Tabela 3.15 - Radionuclídeos em aplicações médicas, industriais e de pesquisa.....	92
Tabela 3.16 - Princípios fundamentais da gerência de rejeitos.....	97
Tabela 3.17 - Procedimentos para identificação de características dos resíduos ^(*)	108
Tabela 3.18 - Limites para eliminação de rejeitos líquidos na rede de esgotos sanitários.....	122
Tabela 3.19 - Desativação de resíduos de laboratório.....	124
Tabela 3.20 - Tratamentos de rejeitos de fontes específicas.....	127
Tabela 3.21 - Fatores de descontaminação (FD) típicos para alguns processos.....	135
Tabela 3.22 - Aplicabilidade das opções de tratamento e condicionamento a rejeitos de baixa e média atividade contendo compostos químicos tóxicos.....	144
Tabela 3.23 - Vantagens e limitações das técnicas de tratamento e condicionamento em rejeitos contendo compostos químicos tóxicos.....	145
Tabela 3.24 - Classificação dos produtos perigosos segundo a ONU.....	161
Tabela 3.25 - Significado dos algarismos que compõem os números de risco.....	163
Tabela 3.26 - Exemplos de códigos de risco com seus significados.....	163
Tabela 3.27 - Principais itens para transporte rodoviário internacional de produtos perigosos.....	166
Tabela 3.28 - Principais normas da ABNT para transporte de produtos perigosos.....	170
Tabela 3.29 - Exemplos de organismos que regulamentam o transporte internacional.....	174
Tabela 3.30 - Formas de atendimento aos objetivos da norma CNEN-NE-5.01/88.....	177
Tabela 3.31 - Classificação dos materiais radioativos para fins de transporte.....	178
Tabela 3.32 - Tipos primários de embalados de transporte.....	179
Tabela 3.33 - Sistema Q da AIEA que considera vários modos de exposição à radiação.....	180
Tabela 3.34 - Valores básicos de limites de atividade e concentração em embalados Tipo A para alguns radionuclídeos.....	181
Tabela 3.35 - Limites de atividade para embalados exceptivos.....	182
Tabela 3.36 - Ensaio para qualificação de embalados Tipo A.....	186
Tabela 3.37 - Fator de multiplicação do IT para cargas com grandes dimensões.....	189
Tabela 3.38 - Categoria de embalados.....	190
Tabela 3.39 - Extrato da classificação das Nações Unidas contendo nomes apropriados ao transporte de materiais radioativos e respectivos números atribuídos.....	192
Tabela 3.40 - Limites de contaminação não fixada em superfícies externas de embalados.....	194
Tabela 4.1 - Principais etapas da abordagem utilizada, objetivos e ações para alcançá-los.....	207

LISTA DE SIGLAS

ABIQUIM	Associação Brasileira das Indústrias Químicas e de Produtos Derivados
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADR	Agreement for Transportation of Dangerous Goods by Road
AFNOR	Association Française de Normalization
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ANR	Rejeitos de Alto Nível de Radiação
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BAE	Baixa Atividade Específica
BNR	Rejeitos de Baixo Nível de Radiação
CADRI	Certificado de Aprovação para Destinação de Resíduos Industriais
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental / SP
CFCs	Chlorofluorocarbons
CFR	Code of Federal Regulations
CIETEC	Centro Incubador de Empresas Tecnológicas
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED)
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNUDM	Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED)
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental / MG
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte
EAR	Estudo de Avaliação de Risco ou Estudo de Análise de Risco
ECI	Elemento Combustível Irradiado
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FCEI	Formulário de Caracterização do Empreendimento Integrado
FD	Fator de Descontaminação
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente / MG
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente / RJ
FFU	Fonte selada Fora de Uso
FOBI	Formulário de Orientação Básica Integrado
GRP	Gerenciamento de Resíduos Perigosos
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
HEPA	High Efficiency Particulate Air (filtro de alta eficiência)
HMTA	Hazardous Materials Transport Act
HSWA	Hazardous and Solid Waste Amendments
IATA	International Air Transport Association
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IC	Instalação Centralizada receptora de rejeitos
ICAO	International Civil Aviation Organization / ONU
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IEF	Instituto Estadual de Florestas / MG
IINN	Instalações Nucleares
IIRR	Instalações Radiativas
IMO	International Maritime Organization
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISC	Índice de Segurança de Criticalidade

ISO	International Standardization Organization
IT	Índice de Transporte
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MASP	Metodologia de Análise e Solução de Problemas
MEP	Multiple Extraction Procedure
MNR	Rejeitos de Médio Nível de Radiação
NAERG	North American Emergency Response Guide
NAIR	National Arrangements for Incidents Involving Radioactivity
NMR	Nível Máximo de Radiação
NORM	Naturally Occurring Radioactive Materials.
OCS	Objeto Contaminado na Superfície
OEMAs	Órgãos Estaduais de Meio Ambiente
ONU	Organização das Nações Unidas
OS	Órgãos Setoriais
PBA	Projeto Básico Ambiental
PCA	Plano de Controle Ambiental
PCBs	Polychlorinated biphenyls (ascaréis)
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PGR	Programa de Gerenciamento de Rejeitos
PGRP	Programa de Gerenciamento de Resíduos Perigosos
PGRR	Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos
PGT	Plano Geral de Transporte
PL	Produção Limpa
P+L	Produção mais Limpa
PMA	Programa de Monitoração Ambiental
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente.
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, UNEP
PPR	Plano de Proteção Radiológica
PVC	Polyvinyl chloride
PWR	Pressurized Water Reactor
P2	Prevenção da Poluição
RAS	Relatório de Análise de Segurança
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RP	Resíduos Perigosos
RR	Rejeitos Radioativos
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RTPP	Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos
RWMRegistry	Radioactive Waste Management Registry
SAER	Sistema de Atendimento a Emergência Radiológica
SARA	Superfund Amendments and Reauthorization Act
S/E	Solidificação/Estabilização
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SINAER	Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente.
SRS	Sealed Radiation Sources Registry
SUGERE	Sistema Unificado de Gestão de Resíduos
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
TENORM	Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials
TR	Termo de Referência
TSCA	Toxic Substances Control Act
UICN	União Internacional para Conservação da Natureza
UPU	Universal Postal Union
USEPA	US Environmental Protection Agency

1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental de resíduos sólidos surgiu com a industrialização. No Brasil, o advento do processo industrial deu-se na década de 40 e a falta de conscientização e de planejamento para o gerenciamento de resíduos, em todas as suas etapas, tem trazido enormes problemas de saneamento ambiental que devem ser enfrentados. Para que o gerenciamento dos resíduos perigosos seja realizado de maneira amigável ao meio ambiente, uma série de medidas técnicas e administrativas deve ser implementada, desde a prevenção e o controle efetivo da geração do resíduo até a sua disposição final.

As características específicas dos resíduos oriundos das atividades nucleares e daquelas que utilizam materiais radioativos, denominados rejeitos radioativos, proporcionaram maior conscientização para as questões ambientais envolvidas. Como conseqüência, tem sido adotado um conjunto de atividades administrativas, técnicas e operacionais, quanto ao manuseio, tratamento, condicionamento, transporte, armazenamento e deposição dos rejeitos, visando a segurança ambiental, proteção da saúde humana e minimização dos volumes de rejeitos gerados e dos custos decorrentes desta geração. Os conhecimentos adquiridos pelo setor nuclear, que vem adotando a recomendação internacional de atuar proativamente nesta área, podem ser utilizados no desenvolvimento de uma metodologia unificada para o gerenciamento de resíduos perigosos, radioativos e não radioativos, aqui tratados como “rejeitos”, em atendimento às exigências cada vez mais restritivas impostas pelo mercado, consumidores, órgãos reguladores e grupos ambientais.

Uma das principais dificuldades para o gerenciamento de rejeitos advém do seu caráter multidisciplinar, demandando conhecimentos, experiências e tecnologias em áreas tão diversas quanto planejamento, qualidade, técnicas analíticas, radioproteção, física nuclear, análise de risco e química, além de inúmeros ramos da engenharia, tais como processo, segurança, transporte, ambiental, química e nuclear, apenas para citar alguns. Assim, as etapas envolvidas na elaboração e implementação de Programas de Gerenciamento de Rejeitos demandariam equipes com especialistas de várias áreas, o que

levaria a custos proibitivos, em particular para pequenos geradores, instituições que geram pequenas quantidades de rejeitos de diferentes composições.

Para auxiliar na solução destas dificuldades é proposto, neste trabalho, desenvolver e implementar uma metodologia unificada, sistematizando as diversas atividades envolvidas no gerenciamento de rejeitos de uma instalação. A metodologia desenvolvida, dirigida principalmente aos pequenos geradores, deverá servir como uma ferramenta facilitadora dessas atividades. Sua aplicação foi automatizada pelo desenvolvimento de um programa de computador denominado *SUGERE - Sistema Unificado de GEstão de REsíduos*.

O software *SUGERE* foi desenvolvido no sistema operacional Windows® em ambiente Borland Delphi®. Da forma que foi implementado, este software trata com maior grau de detalhamento, profundidade e exemplificação de procedimentos, técnicas e normalização, os rejeitos radioativos. Os recursos relativos aos demais resíduos perigosos foram implementados nas etapas em que a experiência do setor nuclear pudesse ser destacada e utilizada.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivos

O principal objetivo do presente trabalho é desenvolver e implementar uma metodologia unificada sistematizando as diversas atividades envolvidas no gerenciamento de rejeitos radioativos e demais resíduos perigosos de uma instalação, tomando como base a experiência do setor nuclear no gerenciamento de rejeitos radioativos. Para automatizar sua aplicação foi desenvolvido o software *SUGERE – Sistema Unificado de GEstão de REsíduos*, dirigido principalmente a pequenos geradores de rejeitos.

Os seus objetivos específicos são:

- identificar a legislação ambiental e os regulamentos relativos aos resíduos perigosos e aos rejeitos radioativos, bem como facilitar acesso a regulamentos disponíveis;
- disponibilizar um glossário com os termos mais empregados no gerenciamento de rejeitos, buscando a padronização;
- facilitar o trabalho dos usuários na estruturação e elaboração de Programas de Gerenciamento de Rejeitos – PGR e de outros documentos necessários ao licenciamento ambiental e radiológico;
- auxiliar no processo de licenciamento do transporte de rejeitos;
- facilitar a elaboração de procedimentos operacionais específicos, suporte técnico do PGR;
- permitir a utilização conjunta do *SUGERE* com software de controle de rejeitos, possibilitando a manutenção do inventário atualizado dos rejeitos de uma instalação e o conhecimento da situação desses rejeitos em um dado momento; e
- proporcionar uma ferramenta de treinamento quanto ao gerenciamento de rejeitos para pequenos geradores de rejeitos.

2.2 Justificativa

O planejamento das atividades envolvidas no gerenciamento de rejeitos de uma instalação, antes da sua geração, proporciona tanto uma redução na necessidade de investimento inicial das empresas como também nos seus custos operacionais. Mesmo havendo, nos últimos anos, registros de progressos quanto às técnicas de controle da poluição industrial, ainda não se chegou a métodos que propiciem um controle efetivo da geração de resíduos.

Embora severamente criticadas pelos ambientalistas, que pregoam o uso de produção limpa, a busca e o desenvolvimento de soluções tecnológicas de controle da poluição, que atendam à legislação ambiental e que sejam compatíveis com o porte, localização, condições econômicas e operacionais das empresas, se fazem primordiais para a proteção da saúde humana e do meio ambiente. Isto tem importante papel no trato com os rejeitos desde a sua origem, com vistas a garantir uma disposição final ambientalmente segura e viável.

A inexistência de uma metodologia padronizada para o gerenciamento de rejeitos e o seu caráter multidisciplinar, trazendo dificuldades principalmente aos pequenos geradores na elaboração e implementação de Programas de Gerenciamento de Rejeitos, justificam o desenvolvimento deste trabalho, fornecendo subsídios para as organizações tornarem-se mais qualificadas, dos pontos de vista produtivo e ambiental, através da disponibilização de um sistema para orientar o gerenciamento de rejeitos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados a evolução das questões ambientais no contexto mundial, a legislação e a regulamentação brasileiras aplicáveis aos resíduos perigosos, radioativos e não radioativos, aqui tratados como “rejeitos”, os conceitos e classificações para os rejeitos e os princípios fundamentais para o seu gerenciamento. São apresentados também as estratégias adotadas para o gerenciamento de rejeitos numa instalação, os principais itens que devem compor um Programa de Gerenciamento de Rejeitos - PGR, como também, as responsabilidades dos setores diretamente envolvidos, com ênfase na gerência dos rejeitos radioativos gerados em instalações radiativas e em outras instituições consideradas pequenos geradores de rejeitos.

No desenvolvimento da revisão bibliográfica sobre o gerenciamento de rejeitos, verificou-se a diversidade de termos empregados na literatura e na regulamentação aplicável, com mesmo significado, ou a mesma terminologia com diferentes significados, dificultando muitas vezes o entendimento e a comunicação entre especialistas das diversas áreas envolvidas. No Anexo 1, são apresentadas definições de alguns dos termos adotados neste trabalho, definidos principalmente com base no documento IAEA (2003b).

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) vem publicando e divulgando, ao longo das últimas décadas, um conjunto de princípios, normas, guias, práticas e recomendações para se alcançar o gerenciamento seguro de rejeitos radioativos, no qual está incorporada a ampla experiência internacional nesta área. A estratégia integrada para o gerenciamento seguro dos rejeitos radioativos requer o planejamento adequado das etapas que o compõem, de modo que elas sejam compatíveis e complementares umas às outras, que atendam aos critérios estabelecidos pelos órgãos reguladores de cada país, e que estejam inseridas em um arcabouço legal apropriado (IAEA, 1998a, 2001a).

3.2 A Questão Ambiental no Contexto Mundial

Durante muitos anos, o desenvolvimento econômico decorrente da Revolução Industrial impediu que os problemas ambientais fossem considerados. A poluição e os impactos ambientais do desenvolvimento desordenado eram visíveis, mas os benefícios proporcionados pelo progresso eram justificados como um “mal necessário”, algo com o que deveríamos nos resignar (GOLDEMBERG & BARBOSA, 2004).

Somente durante a década de 1950, a preocupação com o equilíbrio entre a vida humana e o meio ambiente assumiu dimensões internacionais e, no final da década de 1960, as questões ambientais eram uma preocupação quase que exclusivamente do mundo ocidental. Em países comunistas, a destruição implacável do meio ambiente em nome da industrialização continuava de forma incessante, enquanto, nos países em desenvolvimento, a preocupação com o meio ambiente era vista como um luxo do ocidente (PNUMA et al., 2004).

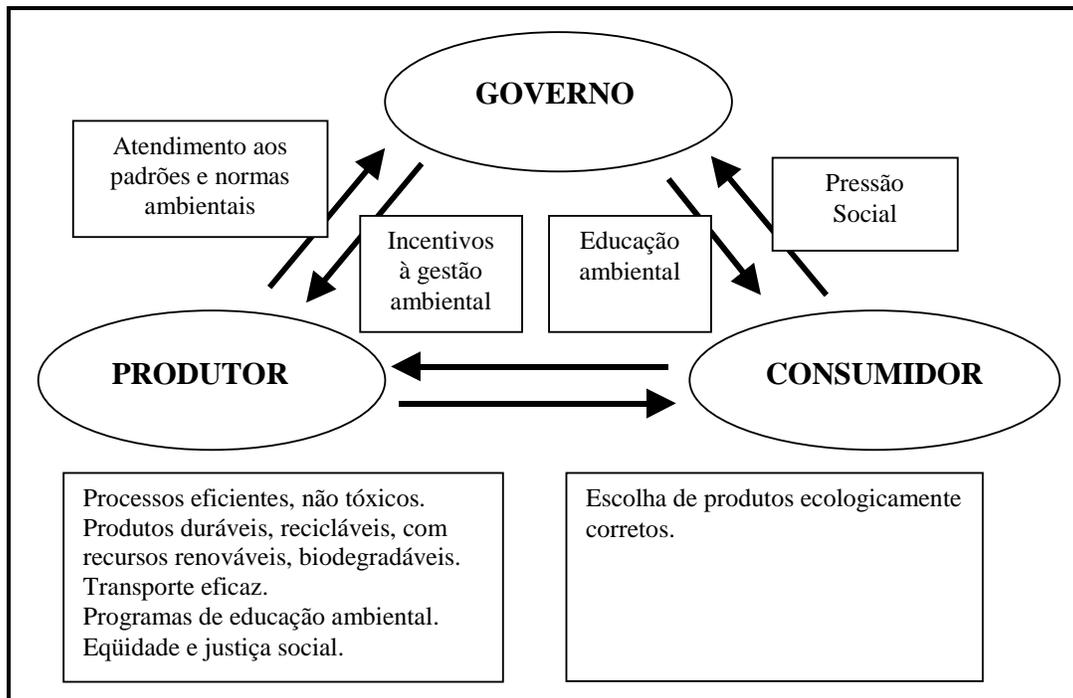
Em 1968, surgiu uma organização internacional, o Clube de Roma (CLUB OF ROME, s.d.), formada por cientistas, educadores, economistas e industriais que se reuniram para discutir, entre outros temas, a questão ambiental. Naquela ocasião, foi feito um alerta mundial sobre as tendências do desenvolvimento industrial, o qual poderia ser limitado pelo tamanho finito dos recursos da terra. Os efeitos nocivos ao meio ambiente, provocados pelas atividades industriais e pelo crescimento econômico, foram retratados pelo Clube de Roma, em associação com um grupo de pesquisas do Massachusetts Institute of Technology (MIT), através da publicação “Limites do Crescimento”, na qual foi destacado que, mantidas as tendências da época, o sistema global entraria em colapso até o ano 2000. Para mudar esta situação, o crescimento populacional e o crescimento econômico deveriam ser contidos.

Em junho de 1972 foi realizada em Estocolmo, Suécia, a “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente”, evento que transformou o meio ambiente em uma questão de relevância internacional, com participação de representantes governamentais de vários países (PNUMA et al., 2004). Nesta Conferência, foi elaborado o documento “Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente Humano”, com 26 princípios e um plano de ação, contendo 109 recomendações (UNEP, 1972). Desde então, diversos movimentos e grupos ambientalistas surgiram em todo o mundo, sendo que os governos da França, Alemanha,

Dinamarca, Noruega, Finlândia e Holanda assumiram novas posturas no sentido de estabelecer novos regulamentos e legislações ambientais. A noção de meio ambiente como fator restritivo dá lugar ao conceito de meio ambiente como fator integrante do desenvolvimento econômico. Para IGNÁCIO (1998), adeptos da linha desenvolvimentista tomam consciência de que é ineficaz aumentar os lucros e o bem-estar, desconsiderando os custos ambientais impostos à sociedade, principalmente nos países subdesenvolvidos. Torna-se fundamental o estabelecimento de uma total harmonia entre o modelo de desenvolvimento e a natureza, incorporando, no ambiente de decisões empresariais e governamentais, os conceitos de desenvolvimento sustentável, responsabilidade social, atuação responsável (“responsible care”), qualidade de vida e sobrevivência humana.

Em 1983, foi criada a “Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento” (CMMAD), também conhecida como Comissão Brundtland, para realizar audiências ao redor do mundo e produzir um relatório formal sobre a qualidade do meio ambiente no nosso planeta (PNUMA et al., 2004). No relatório final “Nosso Futuro Comum” (WCED, 1988), o termo “desenvolvimento sustentável” é definido como “desenvolvimento permanente da humanidade capaz de satisfazer as necessidades da sociedade atual, sem comprometer a capacidade de gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Nesse documento, ficou evidenciado que, caso quisessem alcançar o desenvolvimento sustentável, os governos deveriam tomar medidas efetivas para coibir e controlar atos e efeitos nocivos ao meio ambiente, como o desmatamento, a extinção de outras espécies vivas, a poluição industrial, as mudanças climáticas, a contaminação ambiental e a destruição da camada de ozônio.

Várias propostas têm contribuído para o debate a respeito da sociedade sustentável. Para GUTBERLET (apud MARINO, 2004), a responsabilidade e o comprometimento com a transformação da sociedade estão a cargo do produtor ou do consumidor, conforme representado na Figura 3.1.



Fonte: GUTBERLET apud MARINO (2004).

Figura 3.1 - Interação entre produtores, consumidores e administração pública para o desenvolvimento sustentável.

Alguns dos acordos ambientais multilaterais mais importantes da década de 1980 foram (PNUMA et al., 2004):

- Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), de 1982 (ONU, 1985);
- Protocolo de Montreal sobre Substâncias que destroem a Camada de Ozônio, de 1987 (UNEP, 2000); e
- Convenção da Basileia para o Controle de Movimentos Trans-fronteiriços de Resíduos Perigosos e sua Disposição, de 1989 (VEIGA, 2005).

A Convenção da Basileia, resultante das preocupações em relação ao envio de resíduos de países industrializados para regiões em desenvolvimento, entrou em vigor em 1992 com os seguintes objetivos (LEMOS, 2001):

- controlar e reduzir os movimentos trans-fronteiriços de resíduos perigosos;
- minimizar a geração de resíduos perigosos, em quantidade e periculosidade;

- dispor os resíduos o mais próximo possível da fonte geradora;
- proibir o envio de resíduos perigosos para países sem capacidade, técnica, administrativa e legal, para tratar os resíduos de forma ambientalmente adequada;
- auxiliar os países, em desenvolvimento e com economias em transição, na gestão dos resíduos perigosos por eles gerados; e
- trocar informações e tecnologias relacionadas ao gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos perigosos.

Em dezembro de 1999, dois objetivos adicionais foram incorporados à Convenção da Basiléia:

- promoção de metodologias de produção limpa e de tecnologias industriais mais limpas; e
- prevenção e monitoramento do tráfico ilegal de resíduos perigosos.

O relatório “Nosso Futuro Comum” foi fundamental para as discussões apresentadas na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada em junho de 1992, na cidade do Rio de Janeiro. A Conferência do Rio, também conhecida como “Cúpula da Terra”, “Rio-92” ou “ECO-92”, teve por objetivo avaliar como os conceitos ambientais foram absorvidos na política e no planejamento dos países, desde a Conferência de Estocolmo, sobretudo daqueles países com maiores níveis de agressão ao meio ambiente (IGNÁCIO, 1998). Como os problemas ambientais ainda estavam sendo enfrentados e debatidos isoladamente por alguns países, a ECO-92 foi uma grande oportunidade para superar divergências internacionais, aproximar as nações para um posicionamento comum e elaborar uma nova frente de combate aos problemas ambientais globais, através da transferência de novos conhecimentos, tecnologias limpas e benefícios potenciais às nações subdesenvolvidas. Segundo TAYRA (s.d.), a partir desta conferência, que buscou o consenso internacional para a operacionalização do conceito do desenvolvimento sustentável, o termo desenvolvimento sustentável ganhou grande popularidade e vem sendo alvo de muitos estudos e tentativas de estabelecimento de políticas de gestão que buscam contemplar os seus princípios centrais.

Entre os documentos resultantes da ECO-92 estão a Agenda 21 e a Carta da Terra (Declaração do Rio). Na Carta da Terra ficaram estabelecidos acordos internacionais, respeitando os interesses de todos e protegendo a integridade do sistema global de ecologia e desenvolvimento. A Agenda 21 constitui um plano para realizar o que ficou acordado na Carta da Terra e preparar o mundo para enfrentar os problemas ambientais do século 21 (ONU, 1992). A Agenda 21 reflete um compromisso político do governo de todos os países frente ao tema, trata do desenvolvimento sustentável e defende a incorporação dos custos ambientais nas atividades empresariais e nas práticas dos consumidores (IGNÁCIO, 1998).

Para IGNÁCIO (1998), a partir dessas intensas mobilizações para tratar das questões do meio ambiente, organizações ambientalistas, normas ambientais e programas pró-natureza vêm sendo instituídos. Mais especificamente, em alguns países, surgiram, entre outros, os seguintes programas:

- “International Development Agency”, Suécia;
- “Environmental Protection Agency Acts”, Canadá;
- “Clean Air Act”, EUA;
- “Responsible Care Program”, Canadá;
- “Pollution in Hong Kong – a time to Act”, China; e
- “British Environmental Management Standard” (BS 7750), Inglaterra.

Para reduzir os problemas ambientais, foram criadas várias instituições e normas, tais como:

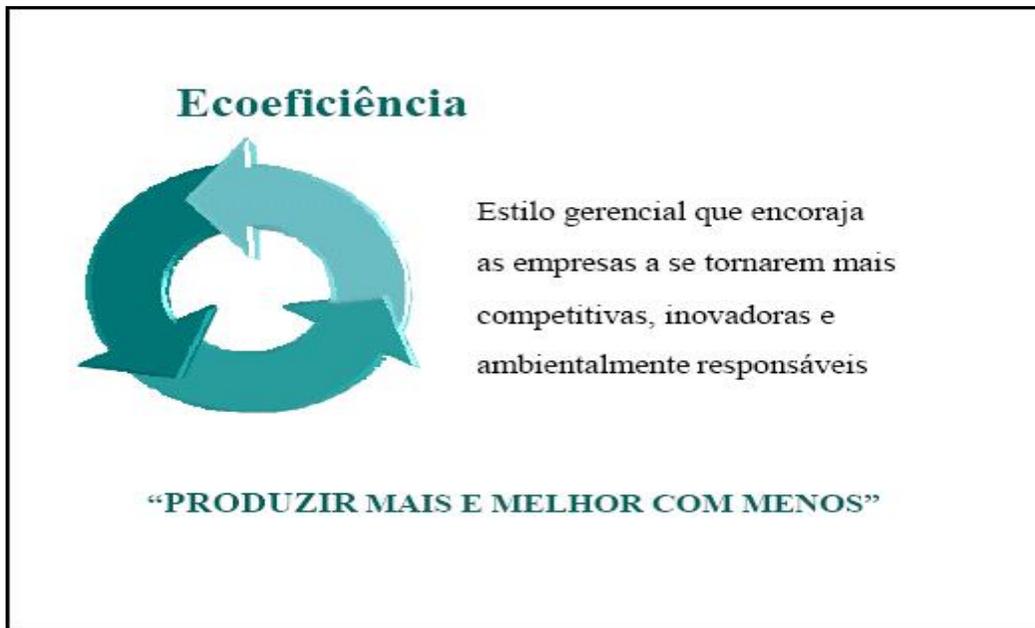
- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), (www.pnuma.org);
- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), (WCED, 1988);
- União Internacional para Conservação da Natureza (UICN), (www.uicn.org);
- Fundo Mundial para a Vida Selvagem (WWF), (www.wwf.gov.br);
- Normas Internacionais de Gestão Ambiental (Série ISO 14000), (www.iso.org).

Em setembro de 2002, as Nações Unidas realizaram a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (também conhecida como Rio+10), em Joanesburgo, na África do Sul, reunindo líderes mundiais, cidadãos engajados, agências das Nações Unidas, instituições financeiras multilaterais e outros grandes atores, para avaliar a mudança global desde a ECO-92. Segundo LESTIENNE (2002), durante esta reunião de cúpula, a complexidade da questão do futuro do nosso planeta, da nossa humanidade e das gerações futuras ficou mais evidente do que nas Conferências do Rio de Janeiro ou de Estocolmo. A responsabilidade comum de todos os países e de todos os atores não pode ser mais escondida. Ficou evidenciado que já é tempo de se distinguir melhor os múltiplos desafios, buscar e encontrar soluções concretas para cada um deles. Metodologicamente, as grandes celebrações demasiado abrangentes, como essa última cúpula de Joanesburgo, mostraram os seus limites. Para o autor, encontros menores, mais diversificados e melhor focalizados podem suscitar maior interesse e uma participação mais responsável de muitos.

3.2.1 Estratégias ambientais

De acordo com D'AVIGNON (apud BRANDALISE, 2001), os movimentos dos países europeus, para tentar reverter o processo acelerado de degradação dos recursos naturais devido aos impactos ambientais das atividades industriais, refletiram na economia mundial e, na década de 90, o setor industrial reconhecia a necessidade de normas para os seus sistemas de gestão ambiental. Temas como desenvolvimento sustentável, esgotamento dos recursos naturais, reciclagem e gestão ambiental passaram a fazer parte das preocupações dos governos, a ganhar espaço na mídia e nas universidades, obtendo cada vez mais legitimidade dentro da sociedade. Às organizações coube adotar novas práticas em relação ao meio ambiente, desenvolvendo planos e estratégias a partir do estabelecimento de sistemas de gestão ambiental, de modo a gerenciar todo o ciclo de vida de seus produtos, matérias-primas e insumos. A questão ambiental passou a ser tratada como oportunidade de negócios.

Surge, entre as empresas bem-sucedidas, a busca pela eco-eficiência, entendida por GRIPPI (apud BRANDALISE, 2001), como a capacidade de produção de bens e serviços, com preços competitivos, proporcionando satisfação e qualidade ao cliente, redução progressiva da poluição e utilização de recursos naturais a um mínimo, que seja devidamente suportado pelo planeta, conforme ilustrado na Figura 3.2.



Fonte: ALMEIDA, 2003.

Figura 3.2 - Eco-eficiência.

Segundo ANDRADE (apud FERNANDES et al., 2001), o processo evolutivo das organizações industriais, com o desenvolvimento do processo de internalização da dimensão ambiental, começa com a estratégia reativa, passa por um estágio intermediário denominado estratégia ofensiva, e termina com uma estratégia inovadora. Na Tabela 3.1 estão resumidas as principais características destas três estratégias ambientais.

Na estratégia reativa, as empresas limitam-se a um atendimento mínimo e relutante da legislação ambiental. Não fazem modificações na estrutura produtiva e nos seus produtos. A maior preocupação está voltada para a incorporação de equipamentos de controle da poluição na saída dos efluentes para o meio ambiente (tecnologias de final do processo, também conhecidas como de fim-de-tubo ou “end-of-pipe”). A dimensão ambiental é percebida como um custo a mais, representando uma ameaça à competitividade empresarial. A gestão ambiental das organizações é orientada à conformidade.

Tabela 3.1 - Características das estratégias ambientais.

Característica	Estratégia Ambiental		
	Reativa	Ofensiva	Inovadora
Legislação.	Atendimento mínimo.	Superação das exigências.	Fator de diferenciação e competitividade.
Tecnologia.	Controle da poluição na saída dos efluentes.	Prevenção da poluição e redução do consumo de recursos naturais, através de mudanças incrementais (não fundamentais).	Prevenção da poluição e redução do consumo de recursos naturais através de inovações tecnológicas.
Estrutura da produção.	Processos e produtos sem alteração.	Processos e produtos convencionais, porém ambientalmente corretos e visando menor custo de produção.	Novos processos e produtos com alto desempenho ambiental e gerenciamento do ciclo de vida dos produtos.
Objetivo.	Sobrevivência.	Aumento da competitividade, sem muito investimento.	Vantagens competitivas duradouras.
Posição organizacional da variável ambiental.	Operacional.	Negócio.	Corporativa.
Percepção da variável ambiental.	Ameaça à competitividade empresarial.	Oportunidade.	Alta ameaça e alta oportunidade.

Fonte: FERNANDES et al., 2001.

Na estratégia ofensiva, os princípios que orientam as organizações referem-se à prevenção da poluição, à redução do consumo de recursos naturais e ao cumprimento da legislação além das exigências legais. Mudanças nos processos, nos produtos ou nos serviços são implementadas para a redução dos custos e a melhoria da imagem da empresa. Nota-se uma interface entre as estratégias ambientais e de negócio, em termos do planejamento estratégico das companhias, porém ainda de forma pouco clara. O controle da poluição ainda é gerenciado pela área de produção, sendo encarado como uma oportunidade de redução dos custos de produção.

Na estratégia inovadora, o princípio básico adotado é a integração entre as estratégias ambientais e de negócios. A excelência ambiental passa a ser condição necessária para o sucesso da empresa, mas não o suficiente. Torna-se fundamental a integração da excelência ambiental com a comercial, através do desenvolvimento, produção e comercialização de produtos com mudanças substanciais de desempenho ambiental e o gerenciamento dos ciclos de vida dos produtos. A dimensão ambiental torna-se função de

toda a administração, sendo percebida simultaneamente como uma alta ameaça e uma alta oportunidade.

Para FERNANDES et al. (2001), a evolução das tecnologias e procedimentos reflete as mudanças de estratégias (posturas) adotadas pelas organizações. Esta evolução progressiva das organizações exige que sejam implementados procedimentos operacionais padronizados, compatíveis com os princípios básicos de cada estratégia, os quais devem ser sistematicamente atualizados.

LEMOS & CASTRO (2003) fazem um resumo da evolução histórica da gestão ambiental nas indústrias, apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Evolução da gestão ambiental nas indústrias.

Anos 50/60	Anos 70/80	Anos 90
Desenvolvimento de padrões de qualidade ambiental e de emissão de poluentes.	Sistemas de licenciamento, com avaliação de impacto ambiental. Legislação do tipo “comando e controle”, com ênfase na fiscalização.	Códigos voluntários de conduta. Instrumentos econômicos (tipo poluidor-pagador).
Diluição nas águas e no ar (chaminés).	Controle no final do processo (tecnologias de fim de tubo).	Produção Mais Limpa e Avaliação do Ciclo de Vida de produtos.
Meio ambiente “livre” ou “quase livre” (ênfase no aumento da produção).	Atitude reativa: apenas cumprimento das normas, quando obrigatório.	Atitude proativa: além do cumprimento das normas.
Inexistência de responsabilidade ambiental corporativa.	Responsabilidade ambiental corporativa isolada.	Integração total da responsabilidade ambiental na estrutura empresarial.

Fonte: LEMOS & CASTRO, 2003.

3.2.2 Exemplos de legislação em diferentes países

A Alemanha foi pioneira na adoção de medidas para equacionar problemas relacionados com a geração de resíduos (JURAS, 2001). Adotando inicialmente uma política que previa a coleta e valorização dos resíduos gerados ou a sua simples destinação final, passou-se a adotar, prioritariamente, os princípios da prevenção e da minimização da geração. Os objetivos dessa nova política foram estabelecidos, em 1986, pela lei de *Minimização e Eliminação de Resíduos*. Com base nessa lei, vários regulamentos foram

editados, entre eles: o de *Óleos Usados* (1987), o de *Solventes* (1989) e o de *Minimização de Vasilhames e Embalagens* (1991).

Para FRANKE (2004), nos anos recentes, a administração de resíduos na Alemanha passou de um modo “throw-away”, apenas com gerenciamento do descarte dos resíduos, para um novo modelo de ciclo integrado de produto, “integrated substance cycle”, no qual a prevenção da geração de resíduos e a recuperação dos mesmos são as principais prioridades. Pela lei “Closed Substance Cycle and Waste Management Act”, que entrou em vigor em 1996 substituindo a lei de 1986, ficou estabelecida a nova abordagem de responsabilidade sobre o produto, “product responsibility”, na qual os fabricantes e comerciantes têm a obrigação de atender às metas acordadas na política de gerenciamento de resíduos. Esta lei atribui como meta principal atenuar a geração de resíduos. Se os resíduos não puderem ser evitados, devem ser, então, transportados até as instalações de tratamento para reciclagem ou geração de energia. Apenas os resíduos, que não puderem ser valorizados, têm permissão para serem definitivamente descartados, sendo que a disposição final deve ser realizada de maneira não agressiva ao meio ambiente.

De acordo com JURAS (2001), a experiência de um novo modelo de gestão de resíduos sólidos passou também a ser adotado pela maioria dos países europeus através de regras bastante rígidas. Entre as várias normas editadas pela União Européia para harmonizar o tratamento dado à questão, estão: Diretiva 75/442/CEE de 1975, relativa aos resíduos; Diretiva 75/439/CEE de 1975, sobre óleos usados; Diretiva 91/157/CEE de 1991, referente a pilhas e acumuladores; e Diretiva 94/62/CE de 1994, relacionada a embalagens e resíduos de embalagens.

Na França, a eliminação de resíduos domiciliares é da responsabilidade das autoridades locais, enquanto que a eliminação de resíduos industriais, de transporte e da construção civil é da responsabilidade do produtor dos resíduos, que deverá contratar empresas privadas licenciadas para a realização do gerenciamento.

Em 1992, a França modernizou a sua política de resíduos, que foi estabelecida em 1975, para atender aos seguintes objetivos principais (JURAS, 2001):

- prevenir ou reduzir a geração e a nocividade dos resíduos;

- organizar o transporte de resíduos e limitá-lo em distância e volume;
- valorizar os resíduos pela reutilização, reciclagem ou qualquer outra ação visando à obtenção de energia; e
- proibir, a partir de 1º de julho de 2002, o recebimento de resíduos que não sejam destinados à disposição final, pelas instalações de deposição.

Os detentores de resíduos têm três possibilidades: a) valorizá-los nas suas próprias instalações, que devem estar credenciadas para tal; b) cedê-los, por contrato, à exploração por instalações autorizadas para a valorização de resíduos; ou c) cedê-los, por contrato, a um intermediário credenciado pelos órgãos competentes, que assegurará as atividades de transporte, comercialização e intermediação. Os responsáveis pela valorização dos resíduos devem manter os resíduos segregados, de modo a não prejudicar a valorização. Devem, ainda, fornecer aos órgãos ambientais informações sobre a eliminação das embalagens vazias contaminadas, em particular, a quantidade de embalagens e a natureza da contaminação.

Nos Estados Unidos, para tratar das questões relacionadas aos resíduos perigosos, duas importantes leis foram aprovadas pelo Congresso (CHERMISINOFF & GRAFFIA, 1996). Em 1976 foi aprovada a lei de conservação e recuperação de recursos naturais, “Resource Conservation and Recovery Act” (RCRA), visando assegurar a deposição segura de materiais descartados, regulamentar o gerenciamento dos resíduos perigosos e dar suporte à conservação de energia e de recursos naturais. Um programa regulatório para o gerenciamento de resíduos perigosos, estabelecido no Subtítulo C desta lei, incluiu:

- a classificação de resíduos perigosos;
- o sistema de rastreamento (requisitos do manifesto, normas federais para geradores, transportadores e instalações de tratamento, estocagem e disposição final);
- as restrições sobre disposição de resíduos no solo;
- os procedimentos e requisitos para os processos de licenciamento; e
- as condições nas quais os governos dos estados são responsáveis por parte ou por todo o programa de gerenciamento.

Em 1980, foi aprovada a lei de responsabilidade ambiental ampla, indenização e obrigações, “Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act” (CERCLA), cujo objetivo principal foi estabelecer critérios para descarte de resíduos perigosos. A provisão de responsabilidade compartilhada, decorrente desta lei, dá direito ao governo de processar, pelos custos de remediação dos locais contaminados, qualquer parte potencialmente responsável, podendo incluir os geradores dos resíduos, os transportadores dos resíduos para os depósitos, como também seus antigos e atuais proprietários. Segundo CLÁUDIO (1987), essa lei procura também resolver a grave questão dos depósitos abandonados de resíduos perigosos nos EUA.

CHEREMISINOFF & GRAFFIA (1996) destacaram que, entre as preocupações ambientais da época, estavam a impossibilidade de se eliminar a ocorrência de incidentes, envolvendo substâncias perigosas, e a estimativa de existir pelo menos 50.000 locais contaminados naquele país, resultantes de acidentes ou do aterro ilegal de resíduos. A lei CERCLA é considerada o instrumento legal que permite ações corretivas no que se refere à poluição por resíduos perigosos, enquanto a lei RCRA constitui-se no instrumento legal preventivo deste tipo de poluição.

O Congresso dos EUA vem fazendo emendas à lei RCRA, desde a sua promulgação. A emenda de 1984, “Hazardous and Solid Waste Amendments” (HSWA), proíbe a deposição no solo de resíduos perigosos não tratados, restringindo ainda mais os requisitos para o gerenciamento desses resíduos e expandindo a regulamentação para incluir os geradores que produzem mensalmente entre 100 a 1.000 kg de resíduos. Anteriormente a esta emenda, a lei RCRA só se aplicava às instalações com geração mensal acima de 1.000 kg de resíduos. Entretanto, o desenvolvimento mais significativo veio através da emenda sobre a minimização de resíduos perigosos, também em 1984, quando ficou estabelecido que a redução ou a eliminação da geração, na origem, deveria ter prioridade sobre o gerenciamento dos resíduos após serem gerados (CHEREMISINOFF & GRAFFIA, 1996).

Em 1986, devido à impossibilidade de se identificar os responsáveis legais pela maioria dos depósitos clandestinos nos EUA, a lei CERCLA foi emendada pela lei “Superfund Amendments and Reauthorization Act” (SARA), que criou um “superfundo” destinado a financiar a recuperação das áreas contaminadas. As emendas, as quais constituem a lei SARA, foram os primeiros requisitos regulatórios dos EUA sobre o uso de

produtos químicos. Exigem, das empresas usuárias, a divulgação pública das quantidades de resíduos mantidas localmente e daquelas legalmente liberadas para o ambiente.

O órgão responsável pela regulamentação da lei RCRA, no que tange ao gerenciamento de resíduos perigosos (Subtítulo C da RCRA), é a agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, “US Environmental Protection Agency” (USEPA). Segundo BAPTISTA (2001), em decorrência desta lei, foi inevitável o estabelecimento, pela USEPA, de padrões nacionais para identificação de resíduos perigosos, listagens de resíduos perigosos, padrões para geradores e transportadores, além de parâmetros para tratamento, armazenamento e disposição final. Dependendo do tipo de resíduo e, principalmente, da opção selecionada para o gerenciamento, são descritos testes, amostragens e análises a serem periodicamente realizados para garantir a manutenção de um resíduo específico, como resíduo não perigoso. Na maioria das vezes, a USEPA estabelece níveis de avaliação de riscos através de uma modelagem computacional, denominada “Complex Multipathways”. Segundo SHIPERS (apud BAPTISTA, 2001), através dessa modelagem, diversas variáveis são correlacionadas para prever cenários que simulam condições de mau gerenciamento do resíduo e os conseqüentes impactos ao meio ambiente e à saúde humana. As seguintes informações constituem dados de entrada desse sistema:

- a composição do resíduo e as concentrações de seus constituintes;
- o gerenciamento adotado para o resíduo;
- as condições do meio físico, como tipo de solo, formação geológica, proximidade de água superficial ou subterrânea, regime das chuvas, direção preferencial e intensidade dos ventos, etc;
- as condições do meio antrópico, como proximidade de centros urbanos ou regiões habitadas, atividades agropecuárias ou industriais, etc; e
- as condições do meio biótico, como tipos de vegetação e fauna existentes no local.

Os regulamentos da USEPA estão publicados na parte 261 do código de regulamentos federais dos EUA (40CFR Part 261), têm força de lei e são revisados anualmente (CFR apud BAPTISTA, 2001). Esses regulamentos aplicam-se somente ao gerenciamento de resíduos gerados em instalações que estão em operação e à limpeza de

contaminações antigas, presentes nessas instalações. Locais inativos, onde resíduos foram abandonados, são regulamentados por outras leis.

O “40CFR Part 261” é, portanto, o regulamento americano de resíduos, que identifica e lista os resíduos perigosos. Está dividido em 4(quatro) seções:

- na sub-parte A, estão definidos os termos “resíduos sólidos” e “resíduos perigosos” que são utilizados na aplicação do regulamento;
- na sub-parte B, são apontados os critérios a serem adotados para se enquadrar um resíduo como perigoso ou não;
- na sub-parte C, os resíduos são descritos conforme suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade; e
- na sub-parte D, são encontradas as principais listagens que identificam se um resíduo sólido é perigoso ou não, além da indicação de quais são os resíduos isentos da classificação como resíduos perigosos.

Dentre outros regulamentos aplicáveis ao gerenciamento de substâncias perigosas existentes nos Estados Unidos, podem ser destacados: “Toxic Substances Control Act” (TSCA), que regulamenta o uso e a disposição de PCBs (ascaréis), dioxinas, asbestos e CFCs; e “Hazardous Materials Transport Act” (HMTA), que regulamenta o transporte de materiais perigosos (CHEREMISINOFF & GRAFFIA, 1996).

Observa-se que também nos Estados Unidos houve uma mudança importante na sua ênfase regulatória, passando do gerenciamento da poluição para o gerenciamento dos materiais perigosos de modo a prevenir a poluição. Isto foi corroborado com uma ética emergente de que o público tem o direito de saber como as empresas e instituições estão realizando seus negócios, com relação aos objetivos de proteção ambiental, através do rastreamento do inventário de certas substâncias perigosas, da estimativa das liberações anuais de substâncias tóxicas específicas e da divulgação dessas informações ao público. De acordo com REINHARDT et al. (1995), pela lei da prevenção da poluição, aprovada em 1990, o Congresso dos Estados Unidos estabeleceu que é política nacional prevenir ou reduzir a poluição na origem, sempre que possível, e que a disposição final e outras liberações para o ambiente devem ser utilizadas apenas como último recurso. As empresas que são obrigadas a emitir

relatórios sobre seus inventários de liberação de substâncias tóxicas, em atendimento às exigências da lei SARA, devem documentar os seus esforços para reduzir essas liberações.

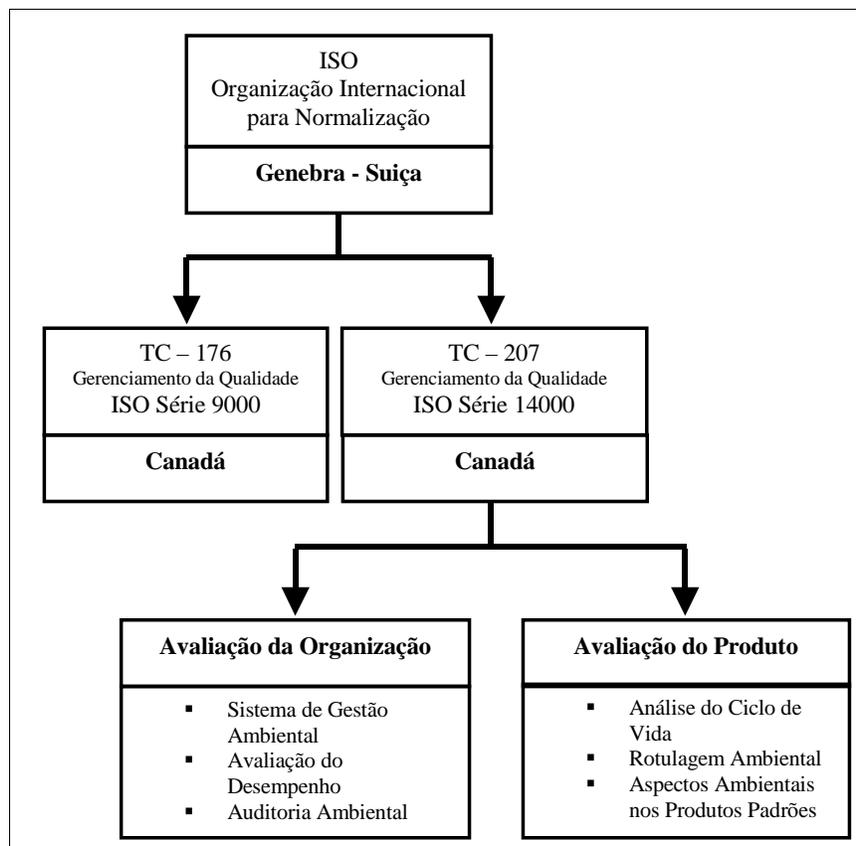
3.2.3 As normas ISO e a questão ambiental

A organização não governamental “International Standardization Organization” (ISO), com sede na Suíça, tem a missão de promover o desenvolvimento da normalização e atividades correlatas no mundo, facilitando as trocas internacionais de bens e serviços e desenvolvendo a cooperação nas esferas intelectual, científica, tecnológica e econômica. Os acordos internacionais desta organização são publicados como Normas Internacionais, as quais contêm especificações técnicas e outros critérios precisos para serem empregados, consistentemente, como regras, guias ou definições de características, garantindo que materiais, produtos, processos ou serviços estejam adequados aos seus propósitos.

Na década de 80, a ISO iniciou a elaboração do que se chamou “norma sistêmica para a qualidade”, uma série de normas genéricas denominadas série ISO 9000 que trata da avaliação dos processos produtivos como um todo, não se prendendo a um determinado produto ou setor (CICCO apud BRANDÃO SILVA, 2001).

Depois da aceitação rápida da série ISO 9000 e do aumento de padrões ambientais em todo o mundo, a ISO avaliou a necessidade de se criar padrões ambientais empresariais. Assim, em março de 1993, foi criado o Comitê Técnico 207 (TC-207) para o desenvolvimento de uma nova série, a série ISO 14000, para tratar de sistemas de gestão ambiental, avaliação de desempenho ambiental, etiquetas ambientais, análise do ciclo de vida e aspectos ambientais em padrões de produto. A estrutura organizacional da ISO, para o Comitê Técnico Ambiental, é mostrado na Figura 3.3.

Segundo REIS (apud BRANDÃO SILVA, 2001), a pressão do mercado, as leis, os regulamentos e os vários acordos internacionais foram os mecanismos que contribuíram para a criação da série ISO 14000, padronizando o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) pela unificação das diversas metodologias de gerenciamento ambiental existentes.



Fonte: CICCO, apud BRANDÃO SILVA (2001).

Figura 3.3 - Estrutura do Comitê Técnico Ambiental / ISO.

Compõe a série ISO 14000, a relação de normas apresentadas na Tabela 3.3. Todas essas normas são de adesão voluntária e são adotadas de acordo com as exigências do mercado.

No Brasil, a norma ISO 14001, traduzida pela ABNT como norma NBR ISO 14001/04, é a única norma da série 14000 utilizada para fins de certificação e tem por objetivo auxiliar empresas a melhorar o seu desempenho ambiental. Qualquer sistema de padronização só é completo se definir o seu próprio mecanismo de revisão em relação ao potencial de sua eficácia. Esta característica, presente nos capítulos referentes a controles operacionais, auditorias e análises críticas, da norma ISO 14001, precisa ser tratada com muita atenção com relação aos procedimentos operacionais para não se incorrer no risco de padronização de erros.

Tabela 3.3 - Normas da série ISO 14000.

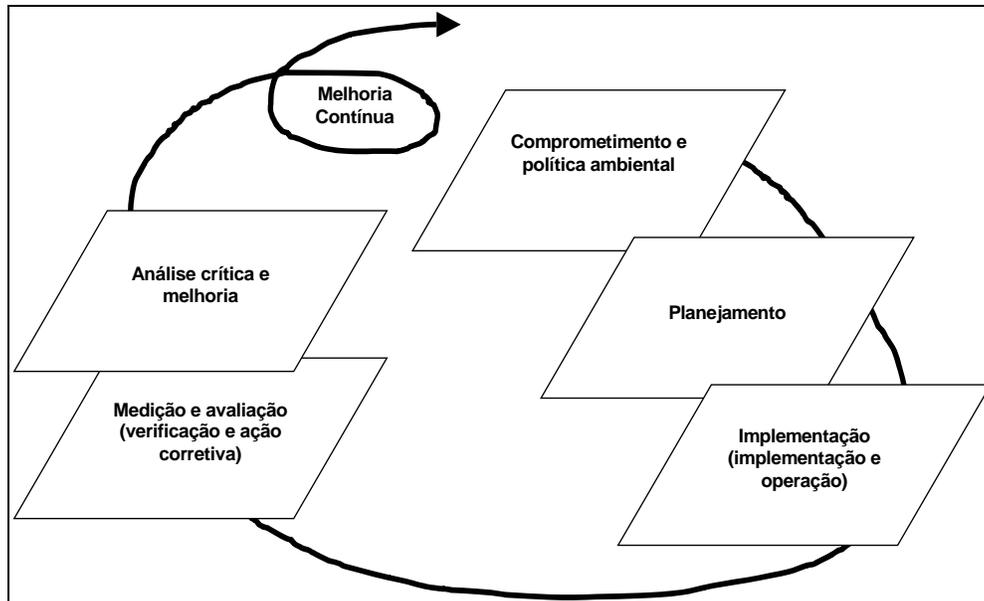
ISO	Descrição
14001	Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) – Especificação com diretrizes para uso.
14004	Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnica de apoio.
14010	Diretrizes para Auditoria Ambiental – princípio gerais.
14011	Diretrizes para Auditoria Ambiental – procedimentos de auditorias - auditoria de um SGA.
14012	Diretrizes para Auditoria Ambiental – critérios de qualificação para auditores ambientais.
14015	Diretrizes para Auditoria Ambiental – diretrizes para avaliação de locais e entidades.
14020	Rotulagem ambiental e declarações – princípios básicos.
14023	Rotulagem ambiental e declarações – Auto-declarações ambientais – termos e definições.
14024	Rotulagem ambiental e declarações – Rótulos ambientais Tipo I – princípios e procedimentos.
14025	Rotulagem ambiental e declarações – Rótulos ambientais Tipo III – princípios e procedimentos.
14031	Avaliação de performance ambiental.
TR 14032	Avaliação de performance ambiental - Estudo de caso ilustrando a ISO 14031.
14040	Análise de ciclo de vida - princípios gerais e diretrizes.
14041	Análise de ciclo de vida – análise de inventários.
14042	Análise de ciclo de vida – avaliação de impactos.
14043	Análise de ciclo de vida – interpretação de resultados.
14049	Exemplos para aplicação da ISO 14041.
14050	Vocabulário de gestão ambiental.
14061	Informações para auxiliar organizações de gestão de florestas no uso da ISO 14.001 e da ISO 14.004.
Guide 64	Guia para inclusão de aspectos ambientais nas normas de produtos.

Fonte: ALMEIDA, apud BRANDÃO SILVA (2001).

Segundo FURTADO (apud FERNANDES et al., 2001), os sistemas de gestão, em conformidade com a ISO 14001, privilegiam processos e controles associados aos enfoques de final de processo e ao atendimento da legislação. Já a melhoria contínua do desempenho ambiental é colocada de forma genérica, como um compromisso a ser explicitado nas políticas das empresas, sem maiores referências quanto ao rumo desta melhoria e ao objetivo a ser atingido. Ou seja, a implementação de sistemas de gestão ambiental, baseados nas normas ISO, é avaliada principalmente por indicadores administrativos, ao invés de índices de desempenho ambiental.

Para ALMEIDA (apud BRANDÃO SILVA, 2001), o modelo de SGA, recomendado pelas normas da série ISO 14000, prevê a adoção de ações preventivas e

corretivas à ocorrência de impactos adversos ao meio ambiente, conforme ilustrado na Figura 3.4. Trata-se de assumir posturas proativas em relação às questões ambientais.



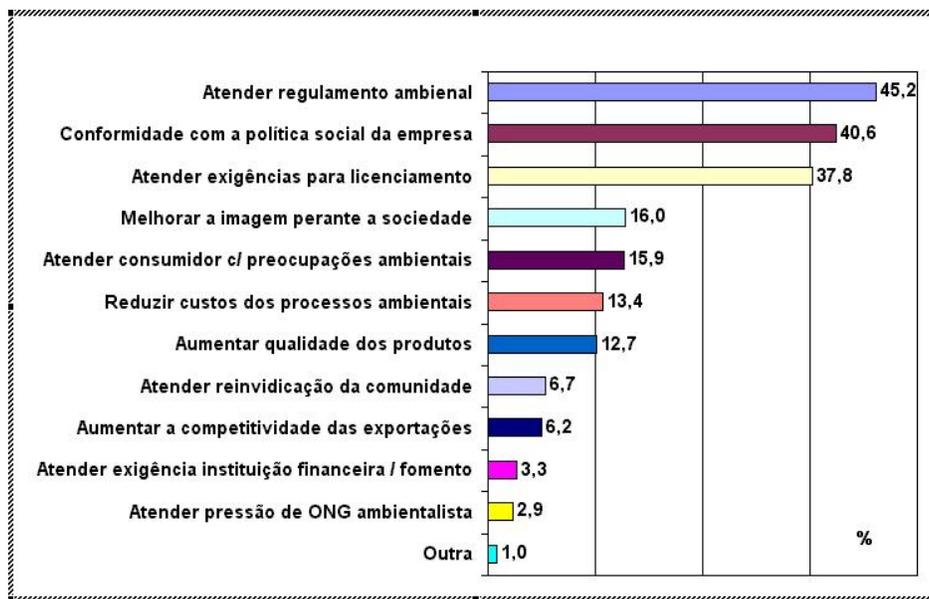
Fonte: ALMEIDA, apud BRANDÃO SILVA (2001).

Figura 3.4 - Modelo de Sistema de Gestão Ambiental da norma NBR ISO 14001/04.

As empresas certificadas pela ISO 14001 realizam, anualmente, auditorias de acompanhamento para a manutenção da certificação e, de três em três anos, auditorias de renovação da certificação. É de interesse da entidade certificada garantir a conformidade com os padrões de gestão dos sistemas ambientais, colaborando para a criação de práticas mais sólidas de proteção ambiental, com otimização dos seus processos, reduzindo os custos de desperdício, de distribuição, de consumo de energia e de materiais, ao mesmo tempo em que melhora a imagem da empresa junto aos clientes, investidores, fornecedores e entidades reguladoras.

Para a CNI (2004), a questão ambiental está cada vez mais integrada ao planejamento das empresas brasileiras. Segundo levantamento realizado em 2004, com a participação de 1.007 pequenas e médias empresas e 211 grandes empresas de todo o território nacional, cerca de 80% das empresas pesquisadas realizaram procedimentos gerenciais relacionados à gestão ambiental, sendo que as indústrias de grande porte adotaram tais medidas em

proporção maior do que as de pequeno e médio porte (87,7% e 72,2%, respectivamente). Os setores de bebidas (91,7%), farmacêutico (85,7%), química (84,7%), de produtos alimentares (84,2%), minerais não metálicos (82,5%), madeira (82,1%) e material de transporte (81%) destacaram-se como os que mais implementaram medidas gerenciais associadas à gestão ambiental, ficando o setor de vestuário e calçados com o menor índice de atuação (58,8%). Indagadas sobre as principais razões para a adoção destes procedimentos, por meio de um conjunto de doze opções, as empresas elegeram a necessidade de atender aos regulamentos ambientais, a busca de conformidade perante a política social da empresa (responsabilidade social) e as exigências requeridas para o licenciamento ambiental, como fatores mais importantes do que as motivações de redução de custos, conforme mostrado na Figura 3.5. Destaca-se que a segunda razão mais assinalada, responsabilidade social da empresa, confere maior possibilidade de continuidade da ação ambiental.



Fonte: CNI, 2004.

Figura 3.5 - Razões para adoção de medidas de gestão ambiental pelas indústrias.

3.3 Aspectos Legais e Regulamentação Aplicável

No Brasil, o licenciamento ambiental começou a vigorar a partir de 1975, inicialmente nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (IBAMA, 2002a). Foi estabelecido

nacionalmente por meio da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabeleceu a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e definiu os princípios e os objetivos que norteiam a gestão ambiental. Posteriormente, a PNMA instituiu o SISNAMA, Sistema Nacional do Meio Ambiente, e elaborou um conjunto de instrumentos, que são desenvolvidos e atualizados pelas resoluções do CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. O CONAMA, órgão com poder para estabelecer normas e regulamentos, foi também criado pela Lei Federal nº 6.938/81.

O SISNAMA é constituído pelos órgãos e entidades da União, dos estados, do Distrito Federal, dos municípios e pelas fundações instituídas pelo Poder Público para a proteção e melhoria da qualidade ambiental (CONAMA, s.d.). O SISNAMA, estruturado em sete níveis político-administrativos, é formado pelos seguintes órgãos (Figura 3.6):

- Órgão superior - composto pelo Conselho de Governo, que reúne a Casa Civil da Presidência da República e todos os ministros, tem a função de assessorar o Presidente da República na formulação da política nacional e das diretrizes nacionais para o meio ambiente e os recursos naturais.
- Órgão consultivo e deliberativo - CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Abrange todos os setores do governo federal, dos governos estaduais e da sociedade, incluindo setor produtivo e organizações não governamentais. Tem caráter normatizador dos instrumentos da política ambiental.
- Órgão central - MMA, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Encarregado de planejar, coordenar, supervisionar e controlar as ações relativas à política nacional do meio ambiente. Como órgão federal, implementa os acordos internacionais na área ambiental.
- Órgão executor: IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Entidade autárquica, dotada de personalidade jurídica de direito público e autonomia administrativa, é a encarregada da execução da política nacional para o meio ambiente e sua fiscalização. Criado em 1989, este órgão reuniu em suas competências uma gama de atribuições herdadas de diferentes agências (SUDEPE, SUDHEVEA, SEMA e IBDF).

- Órgãos setoriais (OS): órgãos da Administração Federal, direta ou indireta, voltados para a proteção ambiental ou disciplinamento de atividades que utilizam recursos ambientais (CNEN, DNPM, FUNAI e outros).
- Órgãos seccionais (OEMAs - Órgãos Estaduais de Meio Ambiente): de caráter executivo, essa instância do SISNAMA é composta por órgãos e entidades estaduais responsáveis pela execução de programas e projetos, assim como pelo controle e pela fiscalização de atividades degradadoras do meio ambiente (p.ex., CETESB/SP, FEEMA/RJ e FEAM/MG).
- Órgãos locais: trata-se da instância composta pelos órgãos ou entidades municipais responsáveis pelo controle e pela fiscalização de atividades que utilizam recursos ambientais em suas respectivas jurisdições. São responsáveis por avaliar e estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional de seus recursos, supletivamente ao estado e à União.

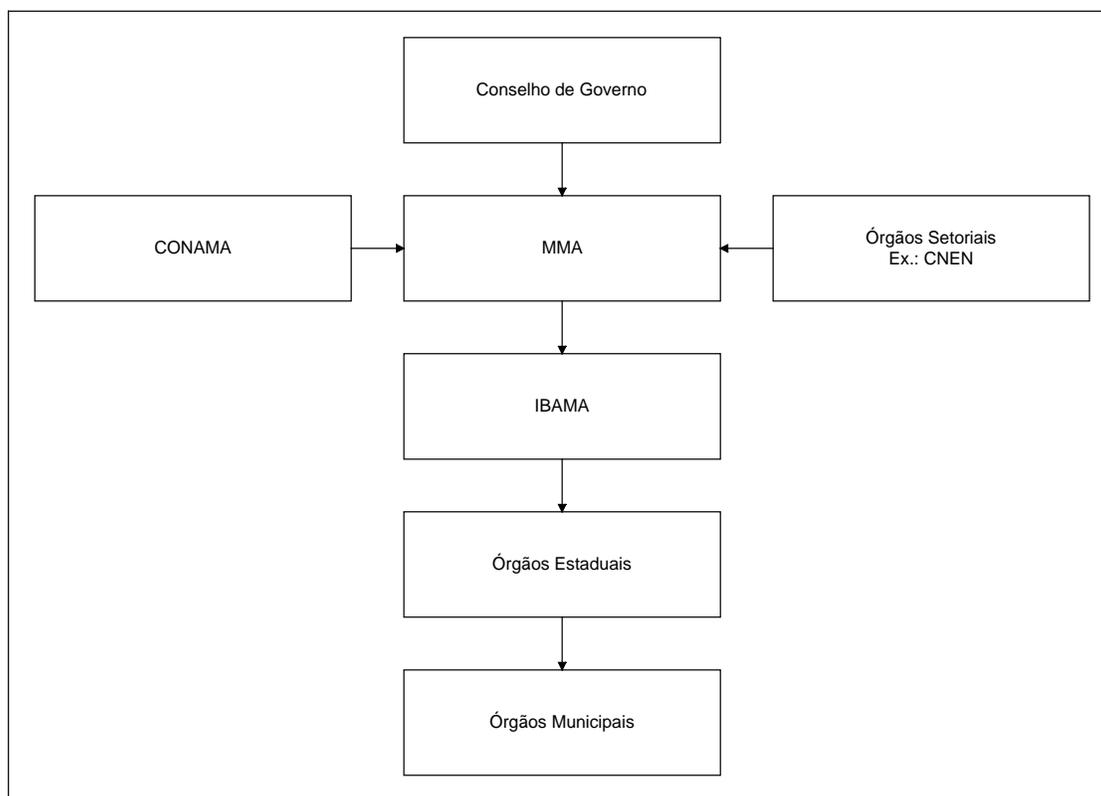


Figura 3.6 - Estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA.

A Constituição Brasileira, promulgada em 1988, trata de forma abrangente e moderna os assuntos relacionados à preservação do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável da economia, reservando à União, aos estados, ao Distrito Federal e aos municípios, a tarefa de proteger o meio ambiente e de controlar a poluição (artigo 23). Segundo IGNÁCIO (1998), ela espelhou-se nos 26 princípios da proteção ambiental, declarados em junho de 1972, quando da Conferência das Nações Unidas, em Estocolmo, Suécia, e em constituições modernas de países que estão mais avançados no combate à poluição ambiental.

Pelo artigo 225 da Constituição Brasileira é assegurado que "... todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, o qual é bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida da coletividade, sendo dever do poder público e da coletividade defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações, sejam elas brasileiras ou estrangeiras". Para o controle das atividades produtivas que possam causar a degradação do meio ambiente, o artigo expressa que o poder público deve exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, a adoção do instrumento de prevenção de degradação do meio ambiente, bem como controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que resultem em risco à vida, à qualidade de vida e ao meio ambiente.

Dentre todos os mecanismos de controle disponíveis, o mais importante é o licenciamento ambiental. De acordo com a legislação ambiental estabelecida em 1986 pela Resolução CONAMA nº 001/86, a construção, instalação, ampliação e funcionamento de quaisquer estabelecimentos e atividades, que utilizam recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependem de prévio licenciamento.

O Licenciamento Ambiental é o instrumento capaz de formalizar o papel proativo do empreendedor, garantindo aos detentores das licenças o reconhecimento público de que suas atividades serão realizadas promovendo a qualidade ambiental e a sua sustentabilidade. De acordo com IBAMA (2002a), o licenciamento ambiental não exige o empreendedor, ou o responsável pela atividade, da obtenção de outras licenças legalmente exigíveis, conforme determinado na Lei nº 6.938/81, no seu artigo 10º, com a nova redação dada pela Lei nº 7.804/89. O Licenciamento Ambiental de um empreendimento é baseado no seu EIA/RIMA, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental, respectivamente, e tem por

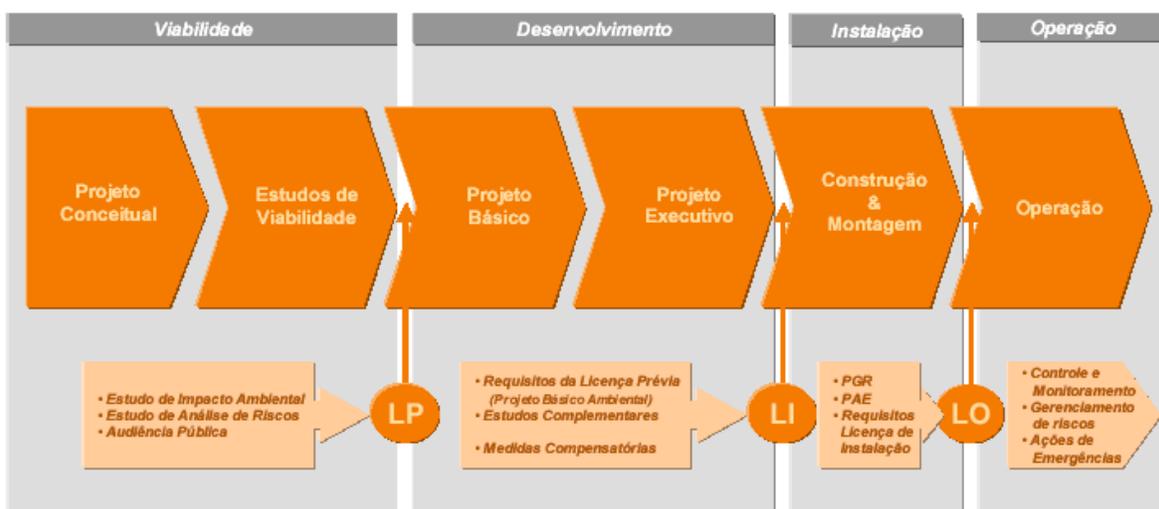
objetivos identificar os possíveis impactos ambientais, sócio-culturais e econômicos que possam resultar da instalação do empreendimento, buscar minimizar esses impactos e propor medidas mitigadoras, bem como compensatórias, na forma de benefícios para a comunidade. O principal documento legal sobre o licenciamento ambiental, no âmbito federal, é o Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990 (Capítulo IV – Licenciamento das Atividades).

As licenças ambientais estão estabelecidas no Decreto nº 99.274/90, que regulamenta a Lei nº 6.938/81, e detalhadas na Resolução CONAMA nº 237/97. O principal agente licenciador é o órgão estadual integrante do SISNAMA, exercendo o IBAMA as funções de caráter supletivo no licenciamento e na fiscalização.

A Licença Ambiental, como definida na Resolução CONAMA nº 237/97, é o “ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental, que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadores dos recursos ambientais considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou aqueles que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental”.

Segundo o IBAMA (2002a), o Sistema de Licenciamento Ambiental é o processo administrativo sistemático das consequências ambientais da atividade que se pretenda desenvolver, desde sua fase de planejamento, e das medidas adotadas para seu controle, por meio da emissão de três licenças sucessivas, Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), e pela verificação de restrições determinadas em cada uma delas. Inclui os procedimentos de acompanhamento das licenças concedidas, por meio da inspeção e verificação periódica realizada pelos órgãos ambientais. Portanto, trata-se de uma poderosa ferramenta de planejamento para o empreendedor e não um simples ato administrativo.

As licenças ambientais poderão ser expedidas isoladas ou sucessivamente, de acordo com a natureza, as características e a fase do empreendimento ou atividade. A obtenção destas licenças requer o desenvolvimento de várias atividades, cuja cronologia é apresentada no exemplo da Figura 3.7, na qual podem ser observados, esquematicamente, os fatores que condicionam cada tipo de licença ambiental.



Fonte: IBAMA, 2002b.

Nota: LP - Licença Prévia; LI - Licença de Instalação; LO - Licença de Operação; PGR - Plano de Gerenciamento de Risco; e PAE - Plano de Ação de Emergência.

Figura 3.7 - Atividades de licenciamento ambiental para obras de grande porte.

A *Licença Prévia (LP)* é concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação. Basicamente, todos os aspectos relacionados à elaboração dos estudos ambientais, à discussão pública do empreendimento, e à sua aprovação pelos órgãos ambientais competentes, concentram-se nesta primeira fase do licenciamento. Obtida a LP, a aprovação do projeto está assegurada. Ela deve ser requerida, obrigatoriamente, pelo empreendedor, ao órgão de meio ambiente, na fase preliminar do planejamento da atividade.

É nessa fase que se decide sobre a necessidade da exigência ou não do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que dependerá da complexidade do empreendimento. O EIA, realizado por técnicos habilitados, servirá de base para a elaboração do RIMA, correndo as despesas por conta do proponente do projeto. O EIA/RIMA, conjunto de instrumentos normalizados pela Resolução CONAMA nº 001/86 e, complementarmente, pela Resolução CONAMA nº 237/97, é constituído pelo diagnóstico ambiental da área, identificação e análise dos impactos e a definição das medidas mitigadoras e programas de monitoramento. Respeitada a matéria de

sigilo industrial, assim expressamente caracterizada a pedido do interessado, o RIMA, devidamente fundamentado, é acessível ao público.

A Resolução CONAMA nº 237/97 prevê também o estabelecimento de critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que implementem planos e programas voluntários de gestão ambiental, visando a melhoria contínua e o aprimoramento do desempenho ambiental (IBAMA, 2002a). Caberá ao CONAMA fixar os critérios básicos, segundo os quais serão exigidos Estudos de Impacto Ambiental para fins de licenciamento.

Dependendo do empreendimento, o órgão licenciador poderá solicitar a apresentação de Estudo de Análise de Riscos ou Estudo de Avaliação de Riscos (EAR), de forma que, além dos aspectos relacionados com a poluição, seja também contemplada, no processo de licenciamento, a prevenção dos acidentes operacionais. Os requisitos mínimos para os EARs são, normalmente, definidos pelo órgão ambiental competente, através da definição de um Termo de Referência (TR), o qual será tomado como base pela equipe que elaborará o EAR.

O prazo de validade da LP deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou à atividade, não podendo ser superior a 05 anos (Art. 14º da Resolução CONAMA nº 237/97).

A *Licença de Instalação (LI)* precede os procedimentos de efetivo início de implantação da atividade ou empreendimento. Após a concessão da LP, o empreendedor deverá detalhar os planos, programas e projetos ambientais, que foram objeto do processo de licenciamento prévio, por meio do Projeto Básico Ambiental (PBA). Após a análise e aprovação do PBA, é liberada a LI para o empreendimento. Havendo outras condicionantes da LP, a LI só será liberada após o atendimento destes requisitos.

A concessão da LI autoriza o início da instalação do empreendimento e tem seu prazo de validade estabelecido, pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 06 anos. Obtida a LI, as obras podem ser iniciadas. Para esta fase, devem ser observados os requisitos ambientais para a construção, cujo atendimento poderá ser verificado por meio de auditoria ambiental.

O PBA é determinado pela Resolução CONAMA nº 006/87 e deverá apresentar um detalhamento de todos os programas e projetos ambientais previstos, ou seja, aqueles provenientes do EIA/RIMA, bem como os considerados pertinentes pelo órgão licenciador. Constitui um dos documentos-base para a obtenção da LI. Para a realização desse estudo, o órgão ambiental deve também apresentar TR específico para o interessado.

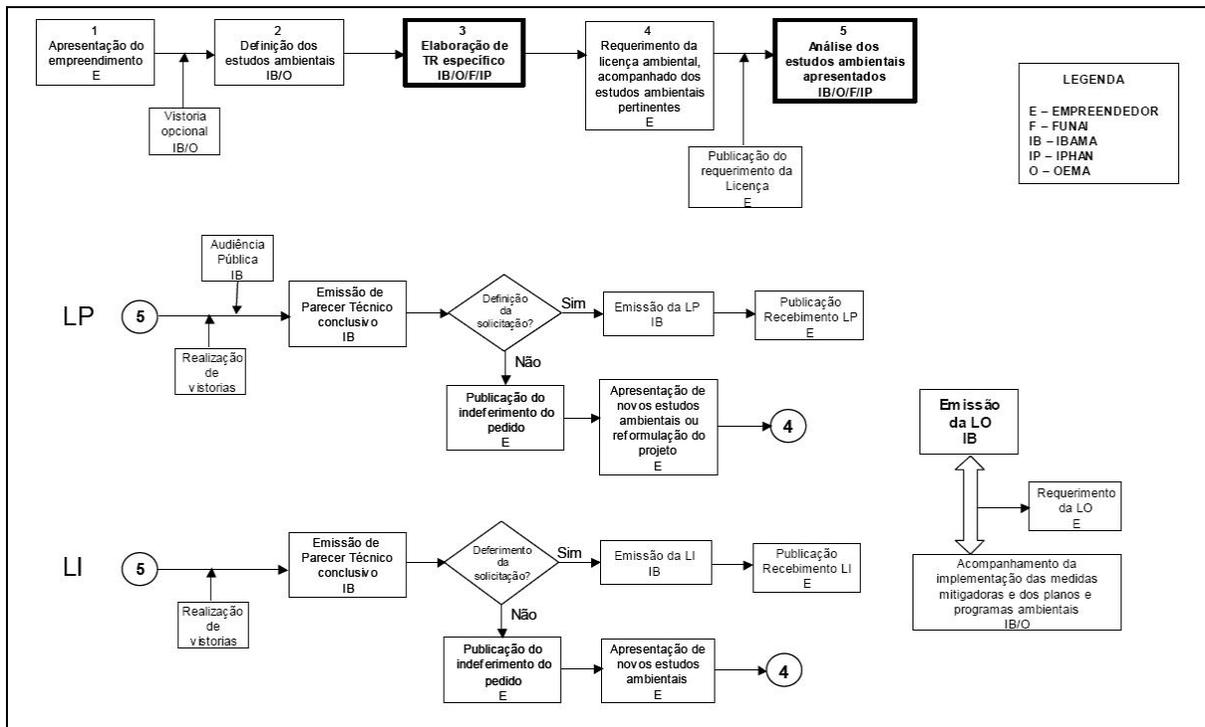
A *Licença de Operação (LO)* é expedida para autorizar o início da operação comercial da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas para a operação.

Para a obtenção da LO é necessário o detalhamento dos Planos de Gerenciamento de Riscos e de Ação de Emergência, bem como o atendimento às restrições (condicionantes) contidas na LI.

A solicitação desta licença, que deve ocorrer antes da conclusão dos testes pré-operacionais, é de caráter obrigatório e sua concessão implica no compromisso do requerente em manter o funcionamento dos equipamentos de controle ambiental e dos programas de monitoramento, atendendo às condições estabelecidas no seu deferimento. Seu prazo de validade será de, no mínimo, 04 (quatro) anos e, no máximo, de 10 (dez) anos.

O CONAMA definirá, quando necessário, licenças ambientais específicas, observadas, também neste caso, a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento, e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação (IBAMA, 2002a).

No que se refere à ampliação de atividades, o procedimento adotado deverá ser o LI. Na Figura 3.8 é apresentado o fluxograma do processo de licenciamento ambiental descrito na Resolução CONAMA nº 237/97 e adotado pelo IBAMA (2002b).



Fonte: CONAMA nº 237/97, apud IBAMA (2002b).

Figura 3.8 - Fluxograma do processo de licenciamento ambiental adotado pelo IBAMA.

A disposição de resíduos sólidos industriais constitui-se em uma questão ambiental e legal, que vem preocupando cada vez mais as empresas geradoras no sentido de fazer a disposição final dos resíduos de forma ambientalmente adequada (TORRES, 2004). Mesmo sendo uma das mais rigorosas e atualizadas do mundo, a legislação ambiental brasileira não tem um dispositivo definindo uma política nacional para os resíduos sólidos. A legislação em vigor é esparsa e trata apenas de assuntos específicos.

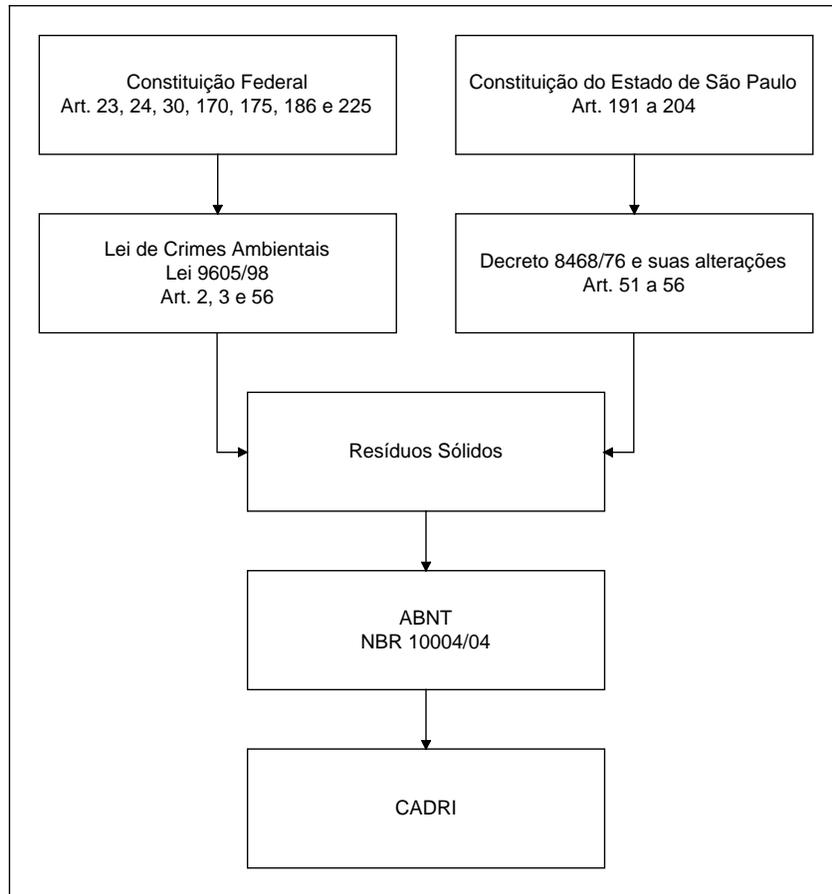
De acordo com GRIMBERG (2004), a perspectiva de constituir-se uma política nacional para estabelecer princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes e normas para o gerenciamento dos resíduos no país, é de extrema relevância, sendo mais relevante ainda o fato dessa política definir um papel para o Estado na direção de um desenvolvimento socialmente justo e ambientalmente sustentável.

O CONAMA criou um grupo de trabalho, para elaborar os subsídios para a formulação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esse trabalho de formulação da PNRS está em discussão na Câmara dos Deputados, em Brasília, apresentado

inicialmente pelo projeto de lei PL-203/1991, originário do Senado Federal, que foi apensado pelos projetos de lei PL-4.502/98, PL-4.730/98, PLS-265/99, PL-3.606/00, PL-4.329/01, PL-121/03 e PL-1.760/03. Segundo a ABRELPE (2004), a discussão de uma política nacional dos resíduos sólidos foi retomada pelo Ministério do Meio Ambiente sob coordenação do CONAMA, órgão que vem ouvindo os diversos setores interessados para que, em um futuro próximo, o Brasil tenha uma legislação específica para o setor. GRIMBERG (2004) afirma que essa Política já vem sendo intensamente debatida por inúmeros setores sociais interessados na implementação de uma legislação que não apenas regule o funcionamento da área, mas principalmente institua leis que resultem em mudanças na situação dos resíduos sólidos em nível federal, estadual e municipal. Dentre os objetivos da PNRS deverão estar: preservar a saúde pública, proteger e melhorar a qualidade do meio ambiente, assegurar a utilização adequada e racional dos recursos naturais, e disciplinar o gerenciamento dos resíduos.

Em 31 de agosto de 2005, foi re-instalada a Comissão Especial da Política de Resíduos do Congresso Nacional, para proferir parecer ao Projeto de Lei PL-203/91 e seus apensados, todos dispondo sobre a destinação de resíduos. De acordo com informações disponíveis em www.informes.org.br (acesso em 13/10/2005), essa comissão deveria concluir seus trabalhos até fevereiro de 2006. No entanto, com a apensação do PL-6136/05, que tramita em regime de urgência constitucional e que trata da instituição do Sistema de Gestão Ambientalmente Sustentável de Pneus (SGASP), o relatório do Relator, Senador Ivo José, foi antecipado para dezembro de 2005, tendo sido aprovado pela Comissão de Resíduos em 04/07/2006.

Os estados têm a total liberdade de deliberar por outras leis, mais restritivas, que preencham as suas demandas regionais. No estado de São Paulo, por exemplo, há uma exigência de apresentação, pelo Poder Executivo, de um Plano Diretor de Resíduos Sólidos, conforme lei nº 11.387 de 27/05/03. Para a destinação de resíduos industriais no estado de São Paulo, é exigida a aprovação do Certificado de Aprovação para Destinação de Resíduos Industriais (CADRI), instrumento que aprova o encaminhamento de resíduos industriais a locais de reprocessamento, armazenamento, tratamento ou disposição final, licenciados ou autorizados pela CETESB. Na Figura 3.9 são mostrados os dispositivos legais aplicáveis aos resíduos industriais no estado de São Paulo.



Fonte: SAVASTANO NETO, 2003.

Figura 3.9 - Dispositivos legais aplicáveis a resíduos sólidos industriais em S.Paulo.

Tomando um outro exemplo, no estado do Paraná, pela lei nº 12.493/99 estão definidos os princípios e regras aplicáveis às etapas de geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos. Foi determinado como prioridade, reduzir a geração de resíduos sólidos através da adoção de processos mais atualizados tecnologicamente e economicamente viáveis, dando-se prioridade à reutilização ou reciclagem de resíduos sólidos, a despeito de outras formas de tratamento e disposição final. Por esta lei, naquele estado, os produtores são responsáveis pelo armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos produtos descartados (ABRELPE, 2004).

De acordo com IBAMA (2002a), durante o processo de licenciamento ambiental, o empreendedor deverá solicitar, também, aos demais órgãos competentes federais, autorizações a respeito de aspectos específicos que envolvam a viabilidade do empreendimento. Citam-se, neste caso, os seguintes órgãos: a Agência Nacional de Águas

(ANA); a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); a Agência Nacional de Petróleo (ANP); o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN); o Serviço de Patrimônio da União (SPU); o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN); a Fundação Nacional do Índio (FUNAI); e a Fundação Cultural Palmares. Ressalta ainda que não existe subordinação ou vínculo entre o sistema de licenciamento ambiental e o sistema de controle desses órgãos. O IBAMA solicitará ao empreendedor a apresentação das autorizações pertinentes, sendo que a emissão das respectivas licenças ambientais se dará contra apresentação da documentação requerida para cada etapa do licenciamento, sem prejuízo das consultas inter-institucionais realizadas.

O licenciamento das atividades nucleares é feito, portanto, pelo IBAMA em conjunto com a CNEN, que tem o seu próprio sistema de licenciamento.

As atividades envolvendo o uso de materiais radioativos são realizadas em instalações que são classificadas para fins de licenciamento em duas categorias:

- instalações nucleares (IINN) - instalações nas quais materiais nucleares são produzidos, processados, reprocessados, utilizados, manuseados ou armazenados em quantidades relevantes, a juízo da CNEN (CNEN, 2002). São exemplos de IINN, os reatores nucleares bem como as fábricas e usinas que integram o ciclo do combustível nuclear; e
- instalações radiativas (IIRR) - estabelecimentos onde se produzem, processam, manuseiam, utilizam, transportam ou se armazenam fontes de radiação, à exceção das IINN e os veículos transportadores de fontes de radiação (CNEN, 1998).

A CNEN é o órgão federal responsável pela emissão de licenças, autorizações e fiscalização, no que se refere aos aspectos radiológicos das IINN e das IIRR. Para cada uma destas categorias de instalação, a CNEN tem um processo particular de licenciamento, em conformidade com normas específicas a cada uma delas, editadas inicialmente como Resoluções da CNEN, em 1984, quais sejam:

- CNEN-NE-1.04 - Licenciamento de Instalações Nucleares (CNEN, 2002); e
- CNEN-NE-6.02 - Licenciamento de Instalações Radiativas (CNEN, 1998), complementada pela Posição Regulatória 6.02/002 (CNEN, 2005c).

O processo de licenciamento nuclear compreende várias etapas, nas quais a CNEN analisa a documentação pertinente a cada uma delas e, após sua aprovação, emite as respectivas licenças ou autorizações, quais sejam: Aprovação do Local, Licença de Construção, Autorização para Utilização de Material Nuclear, Autorização para Operação Inicial e Autorização para Operação Permanente. Todas as atividades desenvolvidas durante estas etapas são fiscalizadas pela CNEN, que mantém fiscais residentes em algumas IINN, como é o caso das usinas nucleares e algumas instalações do ciclo do combustível nuclear.

A fiscalização é uma atividade executada através de inspeções regulatórias para verificar e fazer cumprir, através de ações coercitivas, os requisitos pré-determinados ou aceitos pela CNEN. Com a fiscalização é possível, então, verificar a aplicação das normas de garantia da qualidade e a conformidade, com os requisitos, durante qualquer estágio do processo de licenciamento, dos materiais, componentes, sistemas, estruturas, atividades operacionais, processo, procedimentos e qualificação de pessoal (CNEN, 1994). De acordo com XAVIER et al. (1998), as licenças para a aprovação do local, construção, operação e desativação seguem procedimentos baseados em normas técnicas e padrões internacionais.

Para o responsável por uma instalação nuclear solicitar licença de operação, é exigida a apresentação de um Relatório de Análise de Segurança (RAS), em conformidade com normas da CNEN aplicáveis, entre outros requisitos. A aprovação do RAS, pela CNEN, é pré-requisito para a concessão da Autorização para Operação Permanente da instalação requerente.

Na Tabela 3.4 é apresentado um exemplo de sumário mínimo de um RAS, cujo grau de detalhamento consta de normas específicas da CNEN (CNEN-NE-1.09/80, NE-1.13/89 e NE-1.04/02).

Tabela 3.4 - Exemplo de um sumário mínimo de um Relatório de Análise de Segurança.

Capítulo	Assunto
Capítulo 1	Descrição geral da instalação.
Capítulo 2	Resumo da análise de segurança realizada para obtenção da licença de aprovação do local.
Capítulo 3	Características do local.
Capítulo 4	Critérios principais de projeto.
Capítulo 5	Projeto da instalação.
Capítulo 6	Sistemas do processo.
Capítulo 7	Gerência e confinamento de rejeitos.
Capítulo 8	Radioproteção.
Capítulo 9	Análise de acidentes.
Capítulo 10	Operação da instalação.
Capítulo 11	Especificações técnicas.
Capítulo 12	Garantia da qualidade.

Fonte: CNEN, 1980, 1989 e 2002.

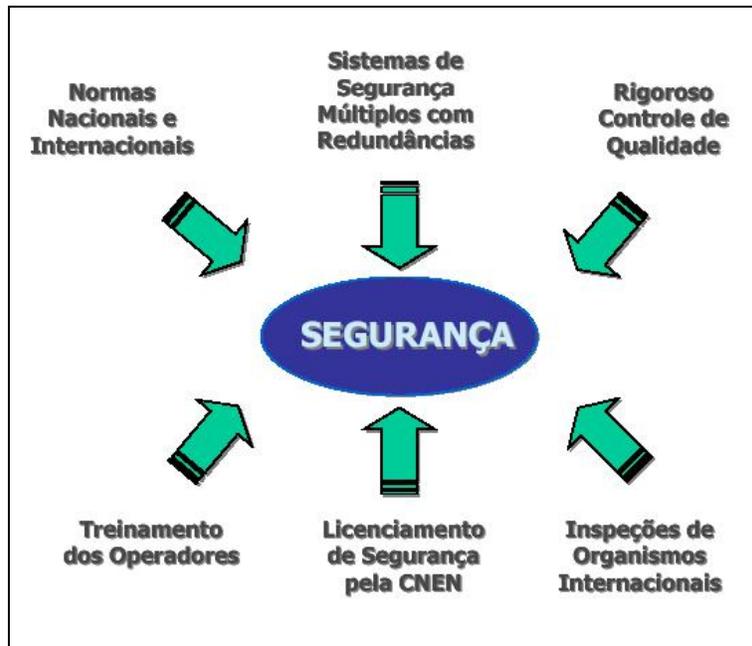
Na Tabela 3.5 é apresentado um exemplo de sumário mínimo do Capítulo 7, do RAS de uma instalação nuclear específica (CNEN, 1980), referente ao gerenciamento dos rejeitos radioativos de uma Fábrica de Elementos Combustíveis.

Tabela 3.5 - Exemplo de sumário mínimo do capítulo 7 do RAS, *Gerência e Confinamento dos Rejeitos*.

Sumário Mínimo	Conteúdo
7.1 Critérios de Gerência de Rejeitos	<ul style="list-style-type: none"> a) Fornecer as bases e critérios principais de projeto e as análises demonstrativas do confinamento seguro de todos os rejeitos radioativos durante a vida útil da fábrica. b) Incluir considerações sobre a deposição de rejeitos sólidos e equipamentos contaminados, em instalações exteriores à fábrica.
7.2 Rejeitos Radioativos	Esta seção deve identificar os rejeitos radioativos previstos, de acordo com a origem, composição química e radioquímica, método e plano de manuseio, e modo de armazenamento (temporário ou permanente).
7.2.1 Ventilação e tratamento de rejeitos gasosos	<ul style="list-style-type: none"> a) Especificar os rejeitos radioativos resultantes da limpeza dos gases por aqueles sistemas. b) Analisar os acessórios de coleta de rejeitos, tais como filtros e lavadores, indicando o destino dos rejeitos após a regeneração ou substituição desses acessórios. c) Indicar, no caso de transferência dos rejeitos para outros sistemas de tratamento de rejeitos, a maneira de efetua-la e seus possíveis efeitos radiológicos.
7.2.2 Retenção e Tratamento de rejeitos líquidos	<ul style="list-style-type: none"> a) Explicar a geração de todos rejeitos líquidos e sua introdução nos sistemas de tratamento, incluindo os rejeitos de laboratório, derramamentos líquidos e soluções de limpeza. b) Estabelecer, como parte dos objetivos de projeto relativos aos níveis de inventário previstos, os meios de estocagem provisória ou a longo prazo, e a identificação das correntes de rejeitos programadas para redução de volume ou solidificação, relacionando o método e respectivos equipamentos ao nível de radioatividade correspondente. c) Descrever os métodos e equipamentos a serem usados para redução de volume e/ou solidificação dos rejeitos líquidos identificados neste item.
7.2.3 Tratamento de rejeitos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> a) Relacionar todos os rejeitos sólidos produzidos durante a operação da instalação, bem como descrever o sistema usado para a respectiva manipulação, acondicionamento, transporte e disposição final. b) Explicar os métodos de contenção adotados para os rejeitos sólidos retidos no local durante a vida útil da instalação, incluindo análise dos aspectos de corrosão e monitoração da contenção.
7.3 Rejeitos não radioativos	Identificar as fontes de rejeitos não radioativos, incluindo os produtos de combustão, bem como todos os produtos químicos liberados pela instalação, a fim de que se possa constatar não ter havido contaminação radioativa em tais fontes, particularmente nos efluentes.

Fonte: CNEN, 1980.

De acordo com ELETRONUCLEAR (2005), na área nuclear, as medidas adotadas para impedir a ocorrência de acidentes, com liberação de radioatividade, incluem: o estabelecimento de procedimentos rigorosos de acompanhamento, verificação e controle, consolidados através de um Programa de Garantia da Qualidade, abrangendo o projeto básico, as diversas etapas de fabricação dos componentes, a construção civil e a montagem, e a realização de testes funcionais de desempenho de equipamentos e sistemas, bem como, de testes periódicos de rotina. Podem ser observados na Figura 3.10, os itens que compõem o esquema de segurança nuclear de IINN.



Fonte: ELETRONUCLEAR, 2005.

Figura 3.10 - Esquema da segurança nuclear de instalações nucleares.

Para uma instalação radiativa obter Licença de Operação com material radioativo, é exigida a apresentação de um Plano de Proteção Radiológica (PPR), que deve ser aprovado pela CNEN (CNEN, 1998). Esse Plano deverá conter, entre outros, um Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos (PGRR) no qual são descritos a metodologia e os controles administrativos e técnicos que deverão ser implementados para atender aos objetivos da gerência dos rejeitos radioativos produzidos naquela instalação (SILVA & CUSSIOL, 1999). As atividades envolvidas no gerenciamento dos rejeitos radioativos devem estar de acordo com a Norma CNEN NE-6.05, “Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas”, na qual estão estabelecidos os critérios e requisitos básicos relativos à gerência de rejeitos radioativos provenientes de IIRR (CNEN, 1985).

O transporte de resíduos perigosos e de rejeitos radioativos é regulamentado pelas normas de transporte de produtos perigosos e de materiais radioativos, respectivamente.

O destino final dos rejeitos radioativos produzidos em território nacional, incluídos a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a

indenização, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos radioativos, deve ser realizado em conformidade com a lei federal nº 10.308 de 20 de novembro de 2001 (BRASIL, 2001).

De acordo com AMORÓS (1998), é fundamental que haja uma legislação que harmonize internacionalmente todos os aspectos do gerenciamento de resíduos, de modo a se evitar o tráfego de resíduos de países com legislação ambiental muito restritiva a outros menos exigentes, ou, ainda, que empresas poluidoras migrem para países ambientalmente pouco exigentes, normalmente do terceiro mundo. É também importante se prevenir os problemas de competência, uma vez que os custos do gerenciamento de resíduos necessariamente são internalizados pelas empresas. Tudo isso deve estar em sintonia com o princípio de “quem contamina, paga”, que norteia a legislação dos países industrializados. Em função da revisão da norma CNEN-NE-3.01 em novembro de 2005, que trata dos requisitos básicos de proteção radiológica para as atividades com material radioativo no país, todas as outras normas da CNEN, entre elas as normas CNEN-NE-6.02 (CNEN, 1998) e CNEN-NE-6.05 (CNEN, 1985), deverão ser atualizadas para se adequarem às novas diretrizes.

3.4 Conceituação e Classificação de Resíduos

Resíduo é qualquer material que sobra de uma ação ou processo produtivo, considerado inútil por quem o descarta. A característica inservível de um resíduo é relativa, podendo um resíduo de determinado processo tornar-se matéria-prima para um novo processo. Muitas vezes resíduos são descartados e acumulados no meio ambiente causando não somente problemas de poluição, como também caracterizando um desperdício de matéria-prima.

De acordo com IAEA (1994a), no âmbito do gerenciamento dos rejeitos radioativos, a etapa de classificação de rejeitos pode ser útil em qualquer estágio entre a geração e o condicionamento, armazenamento, transporte e disposição final, servindo a diferentes propósitos, como:

- a nível conceitual, na idealização das estratégias de gerenciamento dos rejeitos, no planejamento e projeto das instalações envolvidas, e na tomada de decisão de se encaminhar um rejeito a uma técnica particular de condicionamento ou a uma instalação de disposição final;

- a nível operacional, na definição dos procedimentos operacionais e na organização dos trabalhos com os rejeitos; dando uma indicação geral dos riscos potenciais envolvidos e facilitando a manutenção de registros; e
- de comunicação, fornecendo palavras ou jargões, universalmente compreensíveis, que melhoram a comunicação entre especialistas de diferentes nacionalidades e entre os geradores, transportadores e receptores de rejeitos, autoridades reguladoras e o público, em geral.

Estes propósitos são também pertinentes à classificação de outros resíduos. A AIEA (IAEA, 1994a) ressalta a existência de grande dificuldade em se estabelecer um sistema único de classificação de rejeitos, capaz de satisfazer a todos estes propósitos.

Uma variedade de sistemas de classificação de resíduos está em uso em todo o mundo, os quais podem se basear nas origens dos resíduos, sua suscetibilidade a determinado tratamento, composição dos resíduos, características dos radionuclídeos presentes, atividade dos resíduos e vias de eliminação dos resíduos, entre outros fatores. Cada sistema tem sua aplicação particular, mas nenhum é perfeito para todos os usos. Conseqüentemente, pode ser necessário se trabalhar com diferentes sistemas de classificação, nas diversas etapas da gerência dos rejeitos, de modo a resolver diferentes problemas.

De acordo com a origem dos resíduos, eles podem ser classificados em:

- resíduos urbanos - provenientes de residências ou qualquer outra atividade que gere resíduos com características domiciliares, bem como os resíduos de limpeza pública;
- resíduos industriais - provenientes de atividades de pesquisa e produção de bens, bem como os provenientes das atividades de mineração e aqueles gerados em áreas de utilidades e manutenção dos estabelecimentos industriais;
- resíduos de serviços de saúde - provenientes de qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial às populações humana ou animal, centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde, bem como os medicamentos vencidos ou deteriorados;

- resíduos de atividades rurais - provenientes da atividade agro-silvo-pastoril, inclusive os resíduos dos insumos utilizados nestas atividades;
- resíduos de serviços de transporte - decorrentes da atividade de transporte e os provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários, ferroviários e portuários e postos de fronteira; e
- rejeitos radioativos – decorrentes de atividades humanas envolvendo o uso de materiais radioativos.

KAPAZ (2002), no relatório preliminar da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), objeto do Projeto de Lei de nº 203/91, classifica os resíduos sólidos em:

- resíduos comuns, à semelhança dos resíduos urbanos, são os resíduos provenientes de residências ou de qualquer outra atividade que gere resíduos com características domiciliares ou a estes equiparados, bem como os resíduos de limpeza pública urbana; e
- resíduos especiais são os resíduos sólidos que, em função das características peculiares que apresentam, considerando a sua tipologia ou quantidade, passam a merecer cuidados especiais em seu acondicionamento, transporte, manuseio e disposição final. Na categoria de resíduos especiais estão os resíduos de serviços de saúde, os resíduos sólidos industriais, os rejeitos radioativos, os resíduos da construção civil, os resíduos minerais, os resíduos tecnológicos e os resíduos de pneumáticos, entre outros.

Segundo MAZZINI (2000), são considerados resíduos sólidos industriais, os resíduos em estado sólido e semi-sólido que resultam da atividade industrial, incluindo-se os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades torne inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou nos corpos d'água, ou exijam, para isto, soluções técnicas economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível no momento.

As decisões técnicas, administrativas e econômicas tomadas em todas as fases do gerenciamento dos resíduos sólidos industriais (manuseio, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e disposição final) devem estar fundamentadas na classificação dos resíduos.

A classificação de resíduos pode ainda consistir no grupamento dos rejeitos em categorias, em função dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, visando fundamentalmente a (SILVA & CUSSIOL, 1999):

- conhecer as especificidades dos rejeitos, proporcionando a definição de medidas especiais de proteção, necessárias em todas as fases do gerenciamento;
- possibilitar a implementação da segregação dos rejeitos na origem em função dos processos ou instalações disponíveis para tratamento e das possíveis vias de eliminação e de destinação final; e
- facilitar a comunicação entre os diversos setores envolvidos na gerência dos rejeitos.

3.4.1 Conceituação e classificação de resíduos sólidos

A ABNT definiu, com base no regulamento dos EUA - 40CFR Part 261 (USEPA, 2003), o termo “resíduos sólidos” como sendo “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalares, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004).

Na Tabela 3.6, é apresentado o conjunto de normas da ABNT, revisado no ano de 2004, para a padronização nacional da classificação dos resíduos sólidos.

Tabela 3.6 - Normas da ABNT para a classificação de resíduos sólidos.

Norma da ABNT	Título
NBR 10.004/04	Resíduos Sólidos – classificação
NBR 10.005/04	Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos
NBR 10.006/04	Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos
NBR 10.007/04	Amostragem de resíduos sólidos

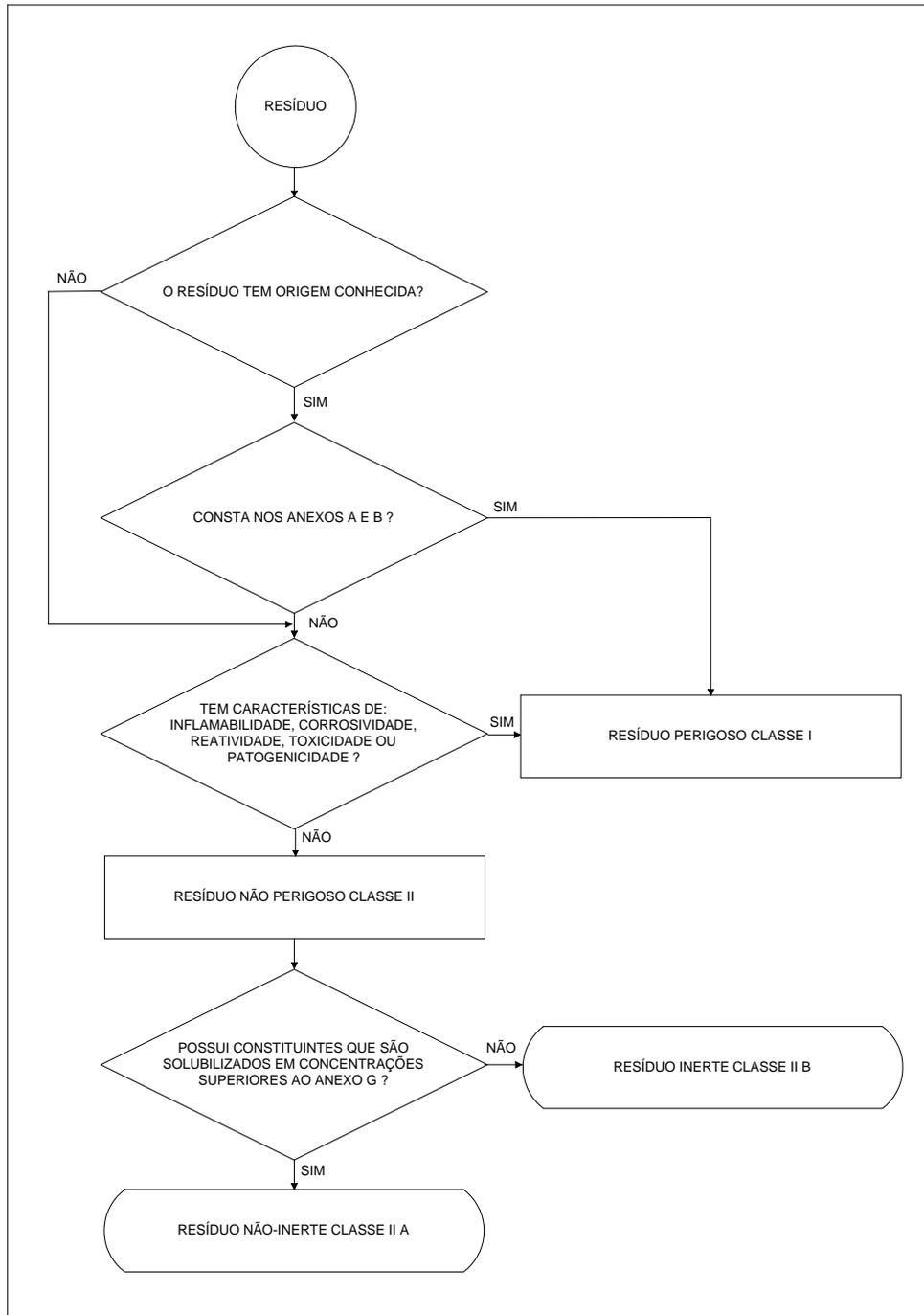
De acordo com NBR 10.004/04, em função dos riscos potenciais de contaminação ao meio ambiente e aos seres humanos, os resíduos sólidos podem ser classificados em resíduos perigosos (Classe I) e resíduos não perigosos (Classe II). Os resíduos Classe II são subdivididos em resíduos não inertes (Classe IIA) e em resíduos inertes (Classe IIB).

O processo de classificação, ilustrado na Figura 3.11, envolve a identificação do processo ou da atividade que deu origem aos resíduos, seus constituintes e características, e a comparação entre os constituintes dos resíduos e as listagens de substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Segundo BAPTISTA (2001), em função da evolução do conhecimento científico, essas listagens devem ser continuamente atualizadas. As listagens, apresentadas na Tabela 3.7, compõem os anexos da norma NBR 10.004:04.

Tabela 3.7 - Listagens que compõem os anexos da NBR 10.004.

Anexo NBR 10004	Título
<i>Anexo A</i>	Resíduos perigosos de fontes não específicas.
<i>Anexo B</i>	Resíduos perigosos de fontes específicas.
<i>Anexo C</i>	Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos.
<i>Anexo D</i>	Substâncias agudamente tóxicas.
<i>Anexo E</i>	Substâncias tóxicas.
<i>Anexo F</i>	Concentração - limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação.
<i>Anexo G</i>	Padrões para o ensaio de solubilização.
<i>Anexo H</i>	Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.

Fonte: ABNT, 2004.



Anexos A, B e C são anexos da norma NBR 10.004/04.

Figura 3.11 - Caracterização e classificação de resíduos sólidos segundo NBR 10.004.

De acordo com a ABNT (2004), são classificados como resíduos perigosos, os resíduos sólidos que, em função de sua periculosidade ou de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, ou riscos

ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, ou constem nos anexos A ou B desta norma. Nas listagens constantes dos anexos A e B, os resíduos perigosos relacionados recebem códigos de identificação e de classificação de sua periculosidade e referem-se a resíduos de fontes não específicas e de fontes específicas, respectivamente.

Os resíduos, que não se enquadram nas listagens citadas anteriormente, poderão ser ainda identificados como perigosos se contiverem alguma das substâncias incluídas na listagem do anexo C da norma. Estas substâncias são aquelas que, em estudos científicos, se revelaram tóxicas, carcinogênicas, mutagênicas ou teratogênicas ao homem ou a outros seres vivos. Entretanto, a presença de quaisquer constituintes desta lista no resíduo não implica, necessariamente, na sua classificação como perigoso. Para isto, deverá ser analisada, também, uma série de fatores que indicarão a sua periculosidade real ou potencial à saúde humana e ao meio ambiente, quando tratado, estocado, transportado ou disposto de modo inadequado. Estes fatores incluem:

- o grau de toxicidade apresentada pela substância constituinte;
- a concentração da substância no resíduo;
- o potencial de migração da substância ou de qualquer produto tóxico de sua degradação, do resíduo para o meio ambiente, sob condições de manuseio inadequado;
- a persistência da substância ou de qualquer produto tóxico gerado na sua degradação;
- o potencial e a taxa de degradação da substância ou de qualquer produto tóxico gerado na sua degradação, em substâncias tóxicas;
- o grau de bioacumulação da substância ou de qualquer produto gerado na sua degradação no meio ambiente;
- as formas de manuseio às quais o resíduo pode estar sujeito;
- as quantidades de resíduos gerados; e
- a avaliação da natureza e da intensidade dos eventuais danos ocasionados ao homem e ao meio ambiente resultantes do manuseio inadequado de resíduos que contêm as substâncias listadas.

No caso do resíduo ser proveniente de um derramamento ou se tratar de um produto ou subproduto fora de especificação ou ainda se constituir de restos de embalagens, deverão ser consultadas as listagens constantes dos anexos D e E da norma NBR 10.004 (ABNT, 2004). Caso contenha quaisquer substâncias constantes destes anexos, o resíduo é também classificado como resíduo perigoso.

Os resíduos que, submetidos ao ensaio de lixiviação, segundo a norma NBR 10.005/04, apresentarem teores de poluentes no extrato lixiviado em concentrações superiores aos valores constantes no Anexo F, da norma NBR 10.004/04, são também classificados como perigosos. Ressalta-se que o ensaio de lixiviação somente se aplica àqueles resíduos que apresentam, entre seus constituintes, um ou mais dos elementos e substâncias constantes do referido Anexo F.

Deve-se ressaltar que as listagens apresentadas devem ser encaradas apenas como orientação inicial para a caracterização do resíduo, não sendo, portanto, completas, estando sujeitas a alterações.

A periculosidade real de um determinado resíduo é dada pela comprovação de, pelo menos, uma das características que o definem, ou seja, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Nem sempre é possível determinar os compostos orgânicos contidos nos resíduos, constantes das listagens mencionadas. Neste caso, pode ser utilizado o balanço de massa no processo industrial, para se tentar determinar o composto presente no resíduo, entre outras técnicas.

Caso se conclua que um resíduo não é perigoso, deve-se promover o ensaio de solubilização, em conformidade com a norma NBR 10.006/04, visando a subclassificação como resíduos inertes ou não inertes.

São classificados como resíduos inertes (Classe IIB), quaisquer resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007/04, e submetidos ao ensaio de solubilização, conforme a norma NBR 10.006/04, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme Anexo G da NBR 10.004/04, “Padrões para o ensaio de

solubilização”. São exemplos destes materiais: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas, que não são facilmente decompostos.

Os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que não se enquadram nas classificações de resíduos perigosos (Classe I) ou de resíduos inertes (Classe IIB), são classificados como resíduos não inertes (Classe IIA). Esses resíduos podem apresentar características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004).

3.4.2 Conceituação e classificação de rejeitos radioativos

Em atividades humanas envolvendo o uso da tecnologia nuclear, também são gerados resíduos com aproveitamento ulterior não previsto. Esses resíduos, quando apresentam concentrações de atividade acima de determinados limites recebem o nome de rejeitos radioativos.

Considerando-se que, com raras exceções, todos os materiais naturais e artificiais contêm radionuclídeos, incluindo os seres vivos, a afirmação de que um resíduo que possua elementos radioativos incorporados deva ser caracterizado como rejeito radioativo é “imprópria” (BÁRCIA et al. apud SILVA, 1997). Foi, então, necessário estabelecer limites mínimos que qualifiquem um resíduo como rejeito radioativo. Esses limites, denominados Limites de Isenção e mostrados na Tabela 3.8, estão estabelecidos na norma CNEN-NE-6.02, “Licenciamento de instalações radiativas” (CNEN, 1998). A determinação desses limites está fundamentada na avaliação das conseqüências que adviriam da liberação de materiais radioativos para a biosfera e leva em conta as propriedades desses materiais, dos radioisótopos presentes, bem como as características do meio ambiente.

A CNEN (1985) define rejeito radioativo como “qualquer material resultante de atividades humanas, que contenha radioisótopos em quantidades superiores aos limites de isenção e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista”.

Tabela 3.8 - Limites de isenção segundo CNEN-NE-6.02.

Presença de	Critério de Isenção
Substâncias radioativas	Atividade específica < 0,0027 $\mu\text{Ci/g}$ (100 Bq/g)
Substâncias radioativas sólidas naturais	Atividade específica < 0,014 $\mu\text{Ci/g}$ (500 Bq/g)
Radionuclídeos de uma única classe (Anexo 2 deste trabalho).	Atividades totais, dentro de cada classe, não excedam os valores: Classe A - 0,1 μCi Classe B - 1 μCi Classe C - 10 μCi Classe D - 100 μCi
Radionuclídeos pertencentes a diferentes classes, conforme Anexo 2 deste trabalho, que não tório natural e urânio natural.	$\frac{A_A}{L_A} + \frac{A_B}{L_B} + \frac{A_C}{L_C} + \frac{A_D}{L_D} \leq 1$ <p>onde: A_A, A_B, A_C e A_D são as atividades totais das classes A, B, C e D, respectivamente.</p> <p>L_A, L_B, L_C e L_D são os limites de isenção das classes A, B, C e D, respectivamente.</p>

Fonte: CNEN, 1998.

Não existe uma classificação universal para os rejeitos radioativos, que considere simultaneamente diferentes parâmetros, tais como: origem, estado físico, composição química, tipo de radiação emitida, período de semi-desintegração, atividade específica, radiotoxicidade, etc. Cada sistema de classificação tem suas vantagens e inconvenientes, dependendo do sistema de gerenciamento adotado. As características dos rejeitos são muito variadas e influenciam diretamente nos processos de manipulação, segregação, armazenamento, caracterização e destinação final dos mesmos (SEPR, 2002).

Os níveis de radioatividade nos rejeitos variam desde valores desprezíveis a concentrações muito altas de radionuclídeos. À medida que o nível de radioatividade aumenta, há uma crescente necessidade de:

- isolar os rejeitos da biosfera, com opções de disposição variando de métodos simples, convencionais, a isolamento geológico;
- prover blindagem para a radiação; e
- considerar a geração de calor devido ao decaimento radioativo.

Os períodos de decaimento dos radionuclídeos variam de períodos muito curtos, de alguns segundos, a períodos muito longos, de milhões de anos. Os rejeitos radioativos podem conter desde pouca quantidade de radionuclídeos de meia-vida longa a significativas quantidades destes elementos. Assim, conforme apropriado, os rejeitos podem ser: a) armazenados para decaimento e então liberados do controle radiológico, b) dispostos em instalações construídas próximo à superfície, ou c) isolados da biosfera em formações rochosas profundas. Esta situação é refletida nas duas subclasses de rejeitos radioativos:

- rejeitos de baixo e médio nível de radiação de vida curta (“short lived low and intermediate level waste”); e
- rejeitos de baixo e médio nível de radiação de vida longa (“long lived low and intermediate level waste”).

Esta distinção entre os rejeitos de baixo e médio nível de radiação pode ser de substancial importância, pois os riscos radiológicos resultantes dos radionuclídeos de meia-vida curta podem ser reduzidos significativamente, num período de umas poucas centenas de anos, em decorrência do decaimento radioativo. Conseqüentemente, diferentes períodos serão requeridos para o isolamento destes rejeitos. Segundo a AIEA (IAEA, 1994a), não há razão para considerar que os radionuclídeos de meia-vida longa sejam inerentemente mais perigosos que os radionuclídeos de meia-vida curta.

Para a disposição final, em termos dos níveis de concentração de atividade, não é possível especificar de uma maneira única, universal, os limites entre rejeitos de vida curta e rejeitos de vida longa. Isto porque os níveis permissíveis dependem tanto da opção adotada para o gerenciamento dos rejeitos quanto das propriedades individuais dos radionuclídeos. Entretanto, em vários países que fazem a deposição em instalações construídas próximo à superfície, a concentração de atividade em embalados individuais é limitada a 4.000 Bq/g, para emissores alfa de meia-vida longa, assim caracterizando os rejeitos de vida longa para os quais planeja-se que sejam dispostos em formações geológicas (IAEA, 1994a). Este limite foi determinado com base em análises de segurança realizadas considerando o cenário de intrusão, no qual indivíduos do público constroem moradias ou estradas no local de deposição, após o período de controle institucional ativo.

Além de limitar a concentração de atividade nos embalados individuais, é necessário considerar a acumulação e distribuição dos radionuclídeos de vida longa no interior de um repositório construído próximo à superfície e os possíveis caminhos de exposição do indivíduo do público, a longo prazo. Portanto, as restrições, quanto à concentração de atividade para os radionuclídeos de meia-vida longa, em embalados individuais, devem ser complementadas, restringindo os níveis de atividade média ou adotando-se técnicas operacionais simples, como, por exemplo, a disposição seletiva dos embalados de atividades mais altas dentro do repositório. Um valor limite médio de 400 Bq/g para emissores alfa de vida longa, nos embalados, tem sido adotado por alguns países em instalações de deposição construídas próximo à superfície (IAEA, 1994a).

Ainda segundo a AIEA (IAEA, 1994a), ao se aplicar o sistema de classificação, deve ser dada atenção ao inventário de referência do repositório em questão, para os radionuclídeos de meia-vida longa que emitem radiação gama ou radiação beta. Por exemplo, para radionuclídeos como o I-129 e o Tc-99, as quantidades permissíveis ou as concentrações médias, no repositório, dependem fortemente das condições específicas do local. Portanto, autoridades reguladoras nacionais devem estabelecer limites para radionuclídeos emissores beta ou gama, de vida longa, com base em análises de segurança específicas para o local de deposição.

Considerando a experiência internacional e com vistas à definição da opção mais segura para a disposição final, as principais classes de rejeitos radioativos, conforme esquematizado na Figura 3.12, são:

- rejeitos isentos (“exempt waste”);
- rejeitos de baixo e médio nível de radiação (“low and intermediate level waste”); e
- rejeitos de alto nível de radiação (“high level waste”).

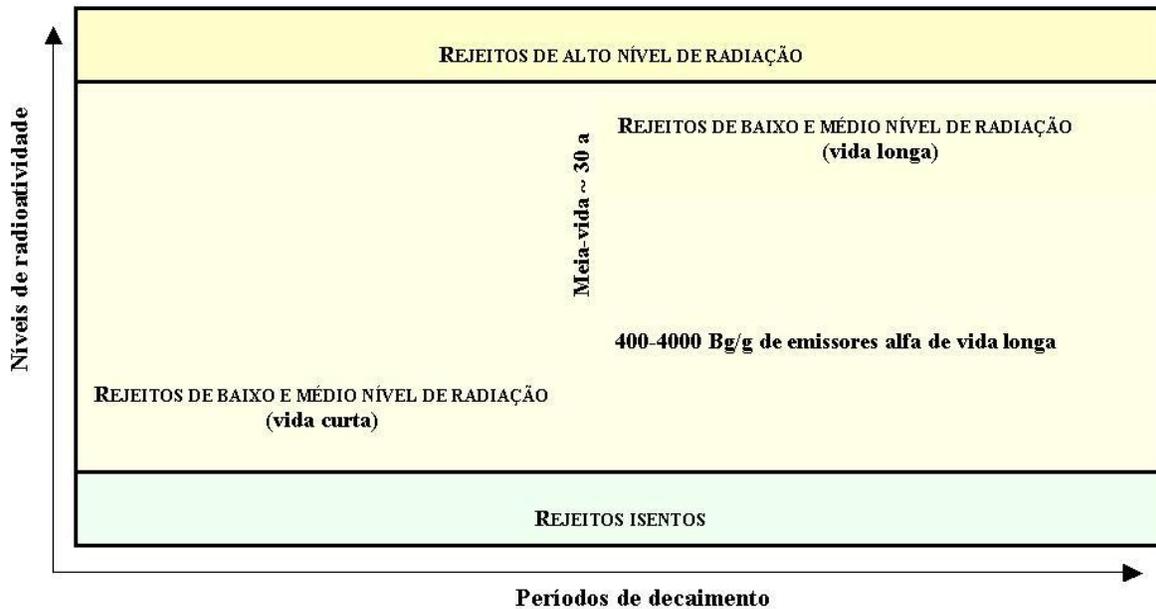


Figura 3.12 - Sistema de classificação de rejeitos segundo AIEA (1994a).

Os *rejeitos isentos* contêm material radioativo em quantidades tão pequenas que podem ser considerados “não radioativos” e são liberados do controle regulatório nuclear. Embora sejam radioativos do ponto de vista físico, estes rejeitos podem ser dispostos com segurança, adotando-se técnicas e sistemas convencionais de disposição, sem considerar especificamente as suas propriedades radioativas. Portanto não possuem restrições quanto à deposição (IAEA, 1994a). No Brasil, a CNEN é a autoridade competente para definir os limites de eliminação de rejeitos pelas vias convencionais.

Os *rejeitos de baixo e médio nível de radiação* podem ser subdivididos em: rejeitos de vida curta e rejeitos de vida longa. Os rejeitos de baixo e médio nível de radiação de vida curta contêm baixas concentrações de radionuclídeos de vida longa ($t_{1/2} > 30$ anos). Os possíveis riscos representados pelos rejeitos podem, freqüentemente, ser reduzidos significativamente pelo seu controle administrativo nas etapas de armazenamento e disposição final. Para este tipo de rejeito, a disposição em repositórios construídos próximo ou na superfície da terra tem sido praticada em muitos países, por várias décadas. Experiência tem mostrado que este sistema de disposição, sujeito à regulamentação específica, é um método prático e seguro de isolamento de rejeitos, protegendo a saúde humana e o meio ambiente (IAEA, 1994a).

A CNEN, na sua norma CNEN-NN-6.09/02 “Critérios de aceitação para deposição de rejeitos radioativos de baixo e médio nível de radiação”, define como “rejeitos de baixo e médio nível de radiação”, os rejeitos contendo, predominantemente, radionuclídeos emissores β e γ , com meia-vida da ordem de 30 anos, com quantidades de emissores α iguais ou inferiores a $3,7 \times 10^3$ Bq/g, e cujas taxas de calor não ultrapassem a 2 kW/m^3 . Estes rejeitos correspondem aos rejeitos de baixo e médio nível de radiação de vida curta, considerados pela AIEA (IAEA, 1994a).

Os rejeitos de baixo e médio nível de radiação de vida longa contêm quantidades significativas de radionuclídeos de meia-vida superior a 30 anos, necessitando de um maior grau de isolamento a partir da biosfera, o que é fornecido pela disposição em formações geológicas a várias centenas de metros de profundidade.

Para se garantir a disposição segura dos *rejeitos de alto nível de radiação*, que contêm grandes concentrações de radionuclídeos de meia-vida longa e curta, é imprescindível submetê-los a um alto grau de isolamento, usualmente via disposição em profundezas geológicas (IAEA, 1994a) e (NEWBURY & ZIEGLER, 2004).

A CNEN (1985) classifica os rejeitos radioativos em categorias, conforme especificado na Tabela 3.9 e de acordo com:

- o estado físico do rejeito (sólidos, líquidos e gasosos);
- a natureza da radiação que emite (rejeitos contendo emissores beta e/ou gama e rejeitos contendo emissores alfa);
- a concentração de atividade e a taxa de exposição na superfície dos rejeitos (rejeitos de baixo, médio ou alto nível de radiação).

Entre as características radiológicas a serem consideradas, visando à proteção da saúde humana e do meio ambiente, estão: o nível e natureza da radiação, necessário se conhecer para a determinação dos requisitos de confinamento e blindagem para a proteção radiológica dos indivíduos; e a meia-vida, necessária para o cálculo da duração do risco potencial.

Tabela 3.9 - Classificação de rejeitos segundo CNEN-NE-6.05.

Rejeitos com emissores beta/gama - rejeitos contendo emissores beta e/ou gama, e nos quais os eventuais emissores alfa tenham concentração total inferior a $3,7 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$ (10^{-2} Ci/m^3).		
Rejeitos Líquidos Categoria	Concentração (C)	
	Bq/m³	Ci/ m³
Baixo nível de radiação (LBN)	$C \leq 3,7 \times 10^{10}$	$C \leq 1$
Médio nível de radiação (LMN)	$3,7 \times 10^{10} < C \leq 3,7 \times 10^{13}$	$1 < C \leq 10^3$
Alto nível de radiação (LAN)	$C > 3,7 \times 10^{13}$	$C > 10^3$
Rejeitos Sólidos Categoria	Taxa de Exposição (X) na Superfície	
	μC/kg.h	R/h
Baixo nível de radiação (SBN)	$X \leq 50$	$X \leq 0,2$
Médio nível de radiação (SMN)	$50 < X \leq 500$	$0,2 < X \leq 2$
Alto nível de radiação (SAN)	$X > 500$	$X > 2$
Rejeitos gasosos Categoria	Concentração (C)	
	Bq/m³	Ci/ m³
Baixo nível de radiação (GBN)	$C \leq 3,7$	$C \leq 10^{-10}$
Médio nível de radiação (GMN)	$3,7 < C \leq 3,7 \times 10^4$	$10^{-10} < C \leq 10^{-6}$
Alto nível de radiação (GAN)	$C > 3,7 \times 10^4$	$C > 10^{-6}$
Rejeitos com emissores alfa - rejeitos contendo emissores alfa, em concentrações superiores a $3,7 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$ (10^{-2} Ci/m^3),		
Rejeitos Líquidos Categoria	Concentração (C)	
	Bq/m³	Ci/ m³
Alfa de baixo nível de radiação (LαBN)	$3,7 \times 10^8 < C \leq 3,7 \times 10^{10}$	$10^{-2} < C \leq 1$
Alfa de médio nível de radiação (LαMN)	$3,7 \times 10^{10} < C \leq 3,7 \times 10^{13}$	$1 < C \leq 10^3$
Alfa de alto nível de radiação (LαAN)	$C > 3,7 \times 10^{13}$	$C > 10^3$
Rejeitos Sólidos Categoria	Concentração (C)	
	Bq/m³	Ci/ m³
Alfa de baixo nível de radiação (SαBN)	$3,7 \times 10^8 < C \leq 3,7 \times 10^{11}$	$10^{-2} < C \leq 10$
Alfa de médio nível de radiação (SαMN)	$3,7 \times 10^{11} < C \leq 3,7 \times 10^{13}$	$10 < C \leq 10^3$
Alfa de alto nível de radiação (SαNA)	$C > 3,7 \times 10^{13}$	$C > 10^3$

Fonte: CNEN, 1985.

Sistemas de classificação específicos a uma instalação podem ser definidos, visando orientar a etapa de segregação, em atendimento ou aos processos de tratamento e condicionamento de rejeitos, disponíveis na própria instalação, ou aos critérios de aceitação estabelecidos pelas empresas receptoras de rejeito, que serão responsáveis pela execução das etapas finais do gerenciamento. Por exemplo, eles podem ser classificados em: concentrados de rejeitos líquidos (precipitados, resinas de troca iônica exauridas, concentrados de evaporador ou de processos que utilizam membranas); rejeitos sólidos compactáveis e não compactáveis; rejeitos sólidos combustíveis e não combustíveis; rejeitos líquidos aquosos e orgânicos; rejeitos para decaimento; dentre outros (IAEA, 1983).

Várias instalações, como os estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, são consideradas pequenos geradores de rejeitos radioativos, quando comparados a outros setores da sociedade que utilizam a tecnologia nuclear. Por apresentarem, em sua maioria, radionuclídeos de meia-vida muito curta, esses rejeitos devem ser armazenados em local adequado e com segurança até que a atividade decaia ao nível dos limites de eliminação, autorizados ou estabelecidos em norma da CNEN (1985), para que possam ser gerenciados como os outros resíduos não radioativos da instalação (SILVA & CUSSIOL, 1999). Os rejeitos radioativos destas instalações podem ser classificados, com vistas à melhor definição da estratégia a ser adotada no seu gerenciamento, conforme descrito a seguir:

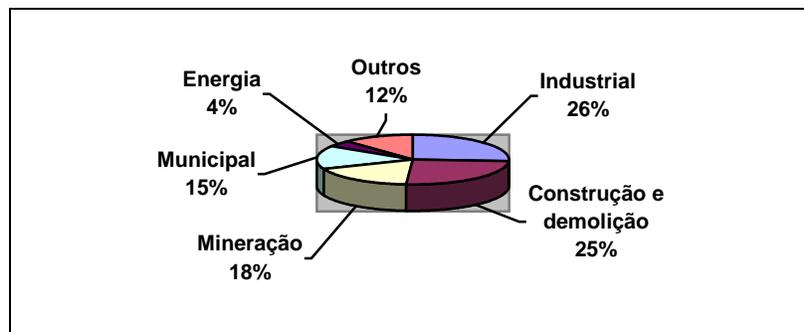
- rejeitos de meia-vida muito curta (inferior a 100 dias, por exemplo) - após decorrido o adequado período de decaimento, podem ser eliminados pelas vias convencionais (sistema de coleta de lixo urbano, esgotos sanitários ou atmosfera), caso sejam classificados como resíduos comuns; e
- rejeitos radioativos de meia-vida mais longa (superior a 100 dias, por exemplo) - devem ser entregues aos institutos da CNEN ou a empresas autorizadas, para tratamento e futura deposição.

3.5 Controle da Geração

Na sociedade moderna imersa no desenvolvimento tecnológico, os processos industriais proporcionam, muitas vezes, o aumento da geração de resíduos perigosos. Enquanto suas quantidades totais são uma medida da perda de recursos, o impacto

ambiental decorrente desta geração deve-se não apenas às quantidades geradas como também ao seu grau de periculosidade.

Segundo MUNCK-KAMPMANN (apud PONGRÁCZ, 2002), a geração de resíduos vem aumentando na União Européia (UE), somando a aproximadamente 1.300 milhões de toneladas anuais. A participação relativa das diversas atividades nesta geração é mostrada na Figura 3.13. PONGRÁCZ (2002) cita que, na tentativa de se fazer uma comparação entre os países da UE, a respeito da geração de resíduos perigosos pelo setor industrial, foi observado que os dados eram escassos e de difícil comparação.



Fonte: OECD 1997, apud PONGRÁCZ (2002).

Figura 3.13 - Participação dos diversos setores na geração de resíduos na UE.

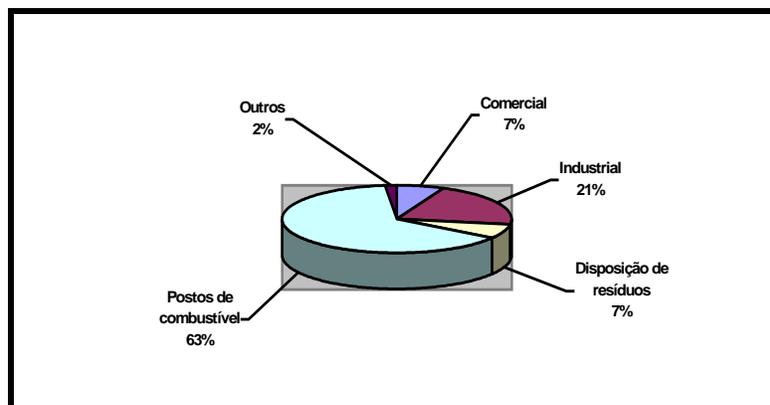
Na Alemanha são gerados anualmente, pelo setor industrial, cerca de 15,5 milhões de toneladas de resíduos perigosos (FROMANN apud ABRELPE, 2004). Para o tratamento desse material, a Alemanha dispõe de 32 unidades de incineração, com capacidade unitária para tratar 1 milhão t/ano, 100 plantas de tratamento físico-químico, com capacidade de 2,2 milhões t/ano, 3 aterros subterrâneos, onde são dispostos 200 mil t/ano e minas de sal desativadas, que recebem 800 mil t/ano de resíduo.

No Brasil, de acordo com ZIGLIO (2004), os resíduos perigosos constituem motivo de preocupação, seja devido às quantidades que vêm sendo geradas, principalmente como resultado da elevada concentração industrial em algumas regiões do país, seja pela carência de instalações e locais adequados para o tratamento e destinação final. Segundo essa autora, em razão da industrialização do Brasil ser mais recente do que nos países tradicionalmente industrializados, a

contaminação dos solos em áreas de indústrias ainda não representa um problema de magnitude; porém, começará a adquirir dimensões a partir do momento da desativação desses pólos industriais e a liberação dos locais para outros usos. No entanto, de acordo com NOVAES (2006), o Brasil está entre os cinco países com mais sítios contaminados.

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) é uma entidade de âmbito nacional, sem fins lucrativos, que congrega empresas, técnica e juridicamente habilitadas para a execução de serviços de limpeza urbana e de destinação final de resíduos sólidos em quaisquer de suas modalidades. Esta entidade tem por missão representar os interesses das empresas associadas, promovendo o desenvolvimento técnico-operacional sustentável do setor, dentro dos princípios de preservação do meio ambiente.

No relatório da ABRELPE (2004) é assinalado que o setor industrial brasileiro carece fortemente de informações abrangentes e atualizadas sobre a quantidade de resíduos industriais gerada, tratados e não tratados, bem como das capacidades instaladas dos diversos sistemas e tecnologias de tratamento disponíveis. Levantamento de outubro de 2003 indicou a existência de 727 locais com áreas contaminadas cadastradas, no estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 3.14.



Fonte: ABRELPE, 2004.

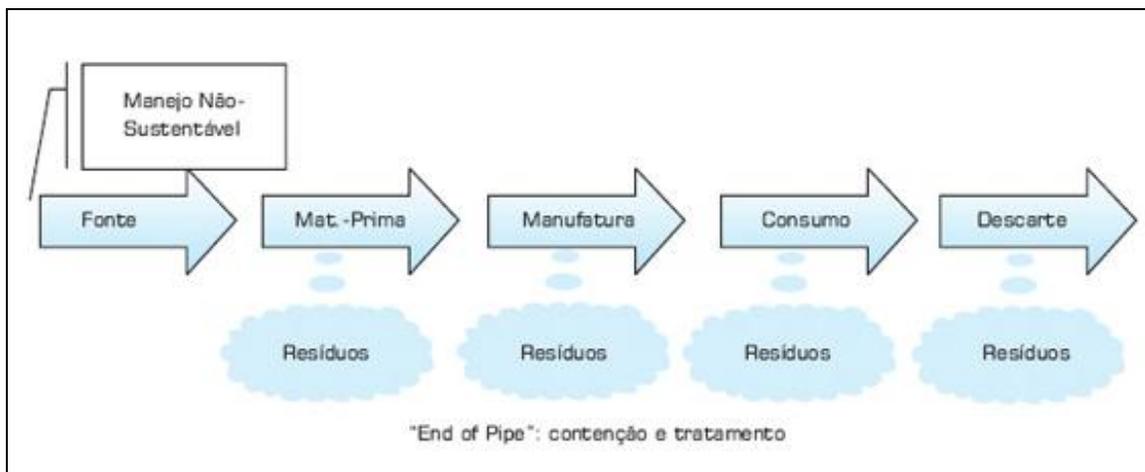
Figura 3.14 - Participação das atividades no conjunto das áreas contaminadas em S.Paulo.

NOVAES (2006) relata que das 3 milhões de toneladas de resíduos perigosos geradas pelas indústrias brasileiras, anualmente, apenas 22% delas são tratadas de forma adequada.

Segundo esse autor, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) identificou no país, 6 mil áreas contaminadas por resíduos industriais e por resíduos de mineradoras e de postos de combustíveis.

Na ECO-92, pela Agenda 21, ficou acordado que todos os países deveriam desenvolver medidas para melhorar a qualidade de vida, tanto para as gerações atuais quanto para as futuras. Organizada em 40 capítulos, este acordo engloba temas variados, sendo que o Capítulo 20 trata do manejo ambientalmente saudável dos resíduos perigosos e indica que a prevenção da geração desses resíduos e a reabilitação dos locais contaminados são os seus elementos essenciais (ONU, 1992). Deixa claro que aumentar os conhecimentos e a informação sobre os aspectos econômicos da prevenção e do manejo dos resíduos perigosos é fundamental para uma sociedade onde são crescentes os custos diretos e indiretos decorrentes da produção, manuseio e disposição final desses materiais.

Segundo a filosofia moderna, dentro da hierarquia do gerenciamento ambiental, qualquer ação que promova a redução ou eliminação de poluentes, na fonte geradora, deve sempre ser priorizada. As tecnologias adotadas influenciam diretamente a geração de resíduos e efluentes, sendo assim fundamentais no âmbito da gestão ambiental das empresas. Na Figura 3.15 é mostrado um esquema das empresas tradicionais que operam no “modelo linear clássico”, no contexto ambiental, ou seja, com contenção e tratamento, quando existentes, somente após a geração dos resíduos (TEIXEIRA DA SILVA, 2005). Neste caso são utilizadas tecnologias ambientais convencionais conhecidas como tecnologias de final de processo.



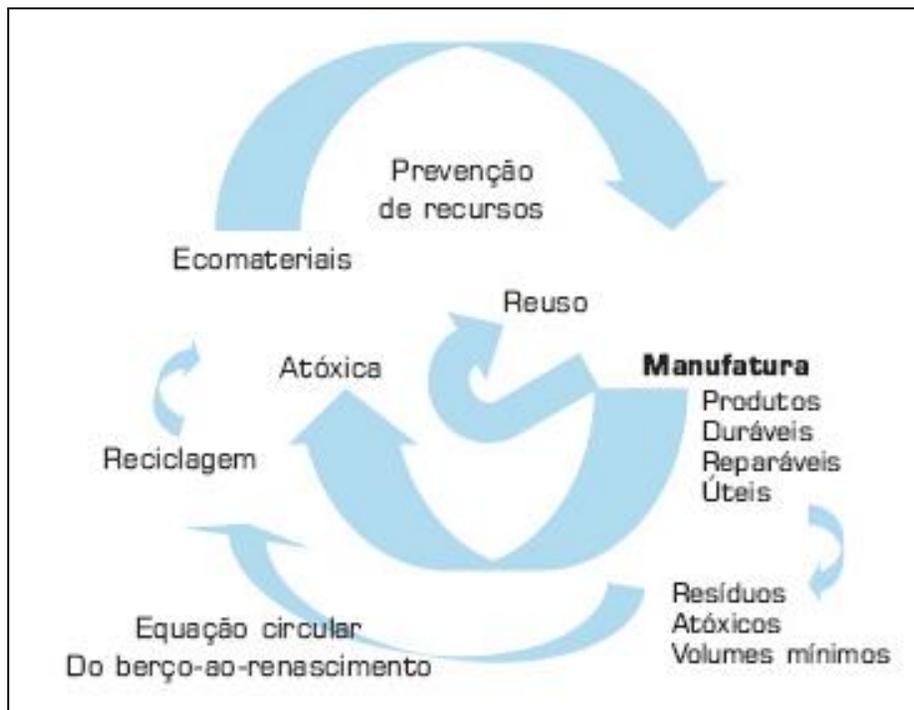
Fonte: FURTADO et al., apud TEIXEIRA DA SILVA (2005).

Figura 3.15 - Modelo industrial linear clássico.

Mais recentemente, a questão ambiental tem levado as empresas modernas a se preocuparem com a possibilidade de não geração de resíduos, incorporando o uso de alguns conceitos importantes relacionados à “produção limpa” (PL) e “produção mais limpa” (P+L) (TEIXEIRA DA SILVA, 2005).

De acordo com FURTADO (apud FERNANDES et al., 2001), em termos de melhoria do desempenho ambiental, um sistema de gestão será mais eficaz se for norteado pelos princípios e objetivos da P+L, que consistem em prevenir a geração de resíduos e todos os seus desdobramentos quanto ao processo produtivo, produto, embalagens, descarte, destinação, manejo do lixo industrial, relacionamento com os clientes e a política ambiental da empresa. Mudanças de atitude das partes envolvidas, garantia de gerenciamento ambiental responsável, criação de políticas nacionais direcionadas e avaliação de alternativas tecnológicas são algumas das ações necessárias para a adoção de práticas de P+L.

Na Figura 3.16 é apresentado um esquema de “modelo industrial não linear” no contexto da gestão ambiental, no qual se tem uma visão global do sistema e suas correlações no que se refere à prevenção e reciclagem de resíduos.



Fonte: FURTADO et al., apud TEIXEIRA DA SILVA (2005).

Figura 3.16 - Modelo industrial não linear.

De acordo com a UNEP (s.d.), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, P+L é entendida como a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva integrada aplicada a processos, produtos e serviços, com vistas a reduzir os riscos para a saúde humana e ao meio ambiente e a conseguir benefícios econômicos para as empresas. Na Tabela 3.10 estão relacionadas as diferenças básicas entre tecnologias convencionais e as de P+L, no sentido da proteção ambiental integrada à produção. P+L aplica-se aos:

- processos produtivos, através do uso eficiente com conservação de matérias-primas, água e energia, eliminação de matérias-primas tóxicas e redução da quantidade e toxicidade de todas as emissões e resíduos, na fonte;
- produtos, pela redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida dos produtos desde a extração de matérias-primas até a destinação, após uso; e
- serviços, pela incorporação de preocupações ambientais no planejamento e entrega dos serviços.

Tabela 3.10 - Diferenças entre tecnologias ambientais convencionais e as de P+L.

Tecnologias convencionais	Produção mais Limpa
Como se podem tratar os resíduos e as emissões existentes? – Ação reativa. – Geralmente proporciona custos adicionais.	De onde vêm os resíduos e as emissões? – Ação proativa. – Pode ajudar a reduzir custos.
Os resíduos e emissões limitados através de filtros e unidades de tratamento (soluções de fim-de-tubo); tecnologia de reparo; estocagem de resíduos.	Prevenção da geração de resíduos e de emissões na fonte; evita processos e materiais potencialmente tóxicos.
Proteção ambiental entra depois do desenvolvimento de produtos e processos.	Proteção ambiental entra como parte integral do design do produto e da engenharia de processo.
Problemas ambientais resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.	Tenta-se resolver os problemas ambientais em todos os níveis / em todos os campos.
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes. – Competência trazida de fora da empresa. – Aumenta consumo de material e energia.	Proteção ambiental é tarefa de todos. – Inovação desenvolvida na própria empresa. – Reduz consumo de material e energia.
Complexidade e riscos aumentados.	Riscos reduzidos e transparência aumentada.
Proteção ambiental visa atender as prescrições legais. – Paradigma de produção: do tempo em que os problemas ambientais não eram conhecidos.	Proteção ambiental é um desafio permanente. – Abordagem: busca de técnicas de produção visando o desenvolvimento sustentável.

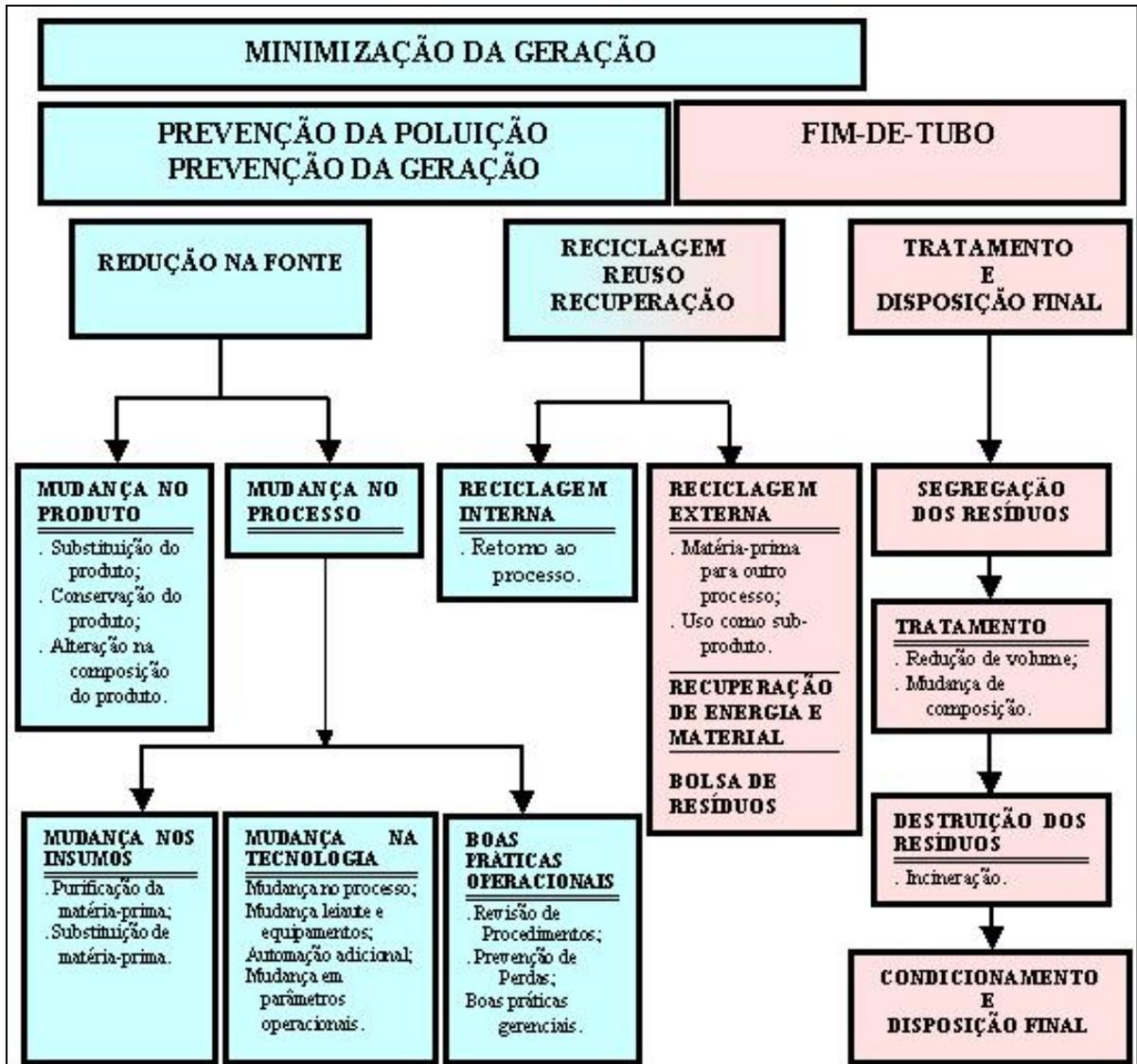
Fonte: CNTL, apud COELHO (2001).

A organização não governamental GREENPEACE (apud TEIXEIRA DA SILVA, 2005) desenvolveu, ainda na década de 80, o conceito de PL (“clean production”), que é mais rigoroso que o conceito de P+L, pois propõe, como primeiro passo, um questionamento da necessidade do próprio produto.

Segundo FURTADO (1998), o conceito de Produção Limpa baseia-se na:

- auto-sustentabilidade de fontes renováveis de matérias-primas;
- redução do consumo de água e energia;
- prevenção da geração de resíduos tóxicos e perigosos;
- reutilização e reaproveitamento de materiais reciclados de maneira atóxica e energia-eficiente (consumo energético eficiente e eficaz);
- geração de produtos de vida útil longa, seguros e atóxicos, para o homem e o ambiente, cujos restos (inclusive as embalagens), tenham reaproveitamento atóxico e energia-eficiente; e
- reciclagem (na planta industrial ou fora dela) de maneira atóxica e energia-eficiente, como substitutivo para as opções de manejo ambiental representadas por incineração e disposição final em aterros.

As tecnologias e os procedimentos em cada fase do processo de produção devem, portanto, evoluir no sentido de composição de cenários progressivamente mais adequados ambientalmente. Esta evolução está representada na Figura 3.17, cujo sentido desejável é o da direita para a esquerda e de baixo para cima (LA GREGA apud FERNANDES et al., 2001). Deve ser observado que a prioridade da produção mais limpa está no topo (à esquerda) do diagrama, pela adoção de medidas de redução na fonte. Os resíduos que não podem ser evitados devem ser, preferencialmente, reintegrados ao mesmo processo gerador (reciclagem interna) ou a processos alternativos (reciclagem externa). Ressalta-se que ações de redução na fonte são as de maior importância e requerem interferências no processo produtivo.



Fonte: Adaptado de KIPERSTOK, apud FERREIRA (2004).

Figura 3.17 - Ações para controle e prevenção da poluição.

3.5.1 Prevenção e minimização da geração de rejeitos

A questão dos resíduos é complexa e nela estão envolvidos aspectos relacionados a matérias-primas, processo de produção, distribuição, consumo e destinação de embalagens e dos restos dos produtos ao final da vida útil. Para FURTADO (2001), a prevenção da geração de resíduos perigosos e tóxicos constitui um dos pilares do modelo de gestão industrial baseado no conceito de PL.

TEIXEIRA DA SILVA (2005) afirma que o conceito de P+L questiona e propõe a eliminação ou a substituição do modelo industrial linear clássico (Figura 3.15), baseado nas tecnologias de final de processo, pelo modelo não linear circular (Figura 3.16), de maior eco-eficiência e eficácia, ao defender a prevenção da geração de resíduos e promover maior economia de água e energia. Para aplicação deste conceito é imprescindível que se tenha uma visão do sistema global de produção e que seja dispensada ao produtor a responsabilidade continuada pelo produto por ele fabricado.

USEPA utiliza os conceitos “Prevenção da Poluição (P2)” e “minimização da geração” como medidas para o controle da geração de resíduos (REINHARDT et al., 1995). P2 refere-se a qualquer prática na fábrica que reduza ou elimine a quantidade ou toxicidade de poluentes que compõem os resíduos e efluentes liberados para o ambiente, realizada antes das etapas de reciclagem, tratamento ou disposição final. Incluem as alterações nos projetos de produtos ou nos processos produtivos, as quais proporcionam uma redução na geração de resíduos pelo fabricante ou pelo usuário final. A reciclagem interna é considerada como uma prática de prevenção da poluição, significando o uso direto, reuso ou recuperação de material residual dentro do próprio processo produtivo. No entanto, ficam excluídas da definição de P2, as práticas de: reciclagem, reutilização ou recuperação, realizadas fora do processo gerador, tratamentos ou destruição dos resíduos, e disposição final. Estas ações não implicam na redução da quantidade de resíduos ou de poluentes na fonte geradora, atuando apenas de forma corretiva sobre as conseqüências e efeitos oriundos do resíduo já gerado.

A ênfase principal na adoção de P2 permanece com a redução na fonte, cujos esforços no sentido da minimização da geração de resíduos estão intimamente ligados a duas grandes condicionantes: a tecnologia do processo (P+L) e a forma como as operações são executadas. No âmbito de uma mesma tecnologia há sempre um espaço para minimizar a geração de resíduos através da otimização dos procedimentos operacionais (FERNANDES et al., 2001). A estratégia consiste no desenvolvimento de ações que promovam a redução de desperdícios, a conservação de recursos naturais, a redução ou eliminação de substâncias tóxicas (presentes em matérias-primas ou produtos auxiliares), a redução da quantidade de resíduos gerados por processos e produtos e, conseqüentemente, a redução de poluentes lançados para o ar, solo e água.

P2 é, portanto, um processo associado a P+L, envolvendo a utilização de processos, práticas, materiais, produtos ou energia de modo que evitem ou minimizem a geração de poluentes e de resíduos, no ponto de geração, e reduzam os riscos globais para a saúde humana e para o ambiente. Tem sido referida como “planejando o negócio com benefício ambiental”. De acordo com REINHARDT et al. (1995), mudar a cultura corporativa das empresas para adoção de práticas de prevenção da poluição não é apenas uma atividade positiva, mas a chave para a sua sobrevivência, com os seguintes benefícios:

- redução dos custos com matéria prima e com o gerenciamento de rejeitos;
- aumento da eficiência e produtividade do processo;
- manutenção ou aumento de competitividade;
- diminuição da exposição e obrigações legais a longo prazo;
- redução de obrigações junto aos órgãos reguladores, no presente e no futuro, como também de custos para conformidade;
- melhoria da segurança nos locais de trabalho, pela redução da exposição dos trabalhadores;
- melhoria da qualidade ambiental e garantia de segurança à comunidade; e
- manutenção ou melhoria da imagem da empresa.

Segundo avaliação de FERNANDES (2003), muitos são os obstáculos tecnológicos e econômicos a serem enfrentados para o desenvolvimento e implantação de programas de prevenção da poluição em um empreendimento. Entre eles, são citados:

- exigência de capital inicial;
- obstáculos regulatórios e interesses de produção imediata;
- falta de tempo, conhecimento ou experiência do pessoal técnico envolvido; e
- inércia institucional.

Para AMORÓS (1998), o critério mais importante para o gerenciamento de resíduos se concretiza no conceito de minimização, envolvendo as práticas, ambientalmente seguras, de redução na fonte, reuso e reciclagem com recuperação de materiais e/ou do conteúdo energético dos resíduos, visando reduzir a quantidade ou volume de resíduos a serem encaminhados para tratamento e disposição final, de maneira segura. Observe que este conceito é mais amplo, no qual estão incluídas as atividades de P2, conforme apresentado na Figura 3.17, e que a decisão pela minimização não exclui a necessidade de sistemas de tratamento, eliminação ou de disposição final.

No documento IAEA (1992b), estão itemizados exemplos importantes de ações de redução na fonte, aplicáveis à minimização da geração de rejeitos radioativos, no que tange aos projetos de instalações, equipamentos e processos, envolvendo o uso de materiais radioativos, e aos controles de processo.

Para a implantação de programas de minimização de resíduos deve-se, inicialmente, fazer um levantamento e conhecer todas as etapas do processamento industrial para, posteriormente, otimizá-lo. As ações de minimização a serem investigadas, visando à otimização dos processos, devem ser de caráter técnico e organizacional, incluindo treinamento de pessoal e melhoria das condições de operação. A sua implantação trará, portanto, diversos benefícios ambientais e gerenciais. Na Tabela 3.11 é mostrado, resumidamente, um processo de oito etapas para implementar a minimização de resíduos numa empresa, com base no método Metodologia de Análise e Solução de Problemas - MASP, (ARAÚJO, 2003).

Tabela 3.11 - Processo de minimização de resíduos utilizando MASP.

ETAPA	QUALIDADE	MEIO AMBIENTE	FERRAMENTAS	RESULTADOS
1	Definir problemas e oportunidades de melhorias.	Coletar e compilar dados.	Reuniões tipo “brainstorming”; entrevistas; pesquisas; “check-lists”; gráficos de atividades; diagramas de Pareto.	<ul style="list-style-type: none"> . Inventário de resíduos. . Opções de redução/minimização da geração de resíduos.
2	Selecionar problemas e oportunidades.	Priorizar e selecionar opções de minimização de resíduos.	Diagramas de Pareto; “check-lists”; tabelas; gráficos.	<ul style="list-style-type: none"> . Várias opções de minimização para posterior estudo. . Meta mensurável de minimização e um sistema estabelecido. . Relatório periódico.
3	Analisar causas e efeitos.	Identificar causas de geração de resíduos.	Diagramas de Pareto; fluxogramas do processo; entrevistas; fluxograma de materiais e resíduos; diagramas de causa e efeito.	<ul style="list-style-type: none"> . Lista das causas raízes da geração dos resíduos escolhidos para minimização. . Entendimento do efeito das causas de geração e como elas podem influenciar nas oportunidades de minimização.
4	Gerar ações potenciais.	Identificar propostas de minimização de resíduos.	Pesquisas de informações junto aos operadores; reuniões tipo “brainstorming”; entrevistas; documentos e informações de fornecedores e consultores.	<ul style="list-style-type: none"> . Lista de possíveis ações, soluções e/ou opções voltadas para as causas raízes de geração.
5	Avaliar e selecionar ações.	Avaliar viabilidade técnica e econômica e selecionar opções.	Entrevistas com vendedores de equipamentos, engenheiros e consultores. Medições de rentabilidade como período de retorno do investimento e valor atual.	<ul style="list-style-type: none"> . Determinar quais opções serão testadas e seus riscos; custos esperados; recursos requeridos; expectativas de minimização; barreiras e efeitos potenciais.
6	Testar efetividade das ações.	Desenvolver e demonstrar opções.	Laboratórios de universidades, institutos de pesquisas, testes piloto, outros.	<ul style="list-style-type: none"> . Confirmação ou abandono da opção escolhida e seus porquês.
7	Implementar.	Implementar procedimentos e/ou modificar processos.	Planejamento de implementação, gráficos de caminhos críticos, PERT, Gantt.	<ul style="list-style-type: none"> . Redução dos resíduos, comunicação e treinamentos, documentação dos esforços e conquistas.
8	Monitorar.	Avaliar performance.	Diagramas de Pareto; histogramas; gráficos de controle; custos; gráficos em geral.	<ul style="list-style-type: none"> . Prover os dados necessários para mostrar a performance obtida e verificar se estes resultados poderão ser mantidos.

Fonte: ARAÚJO, 2003.

REINHARDT (1995) chama a atenção para as seguintes atividades que não são qualificadas nem como prevenção da poluição nem como minimização de resíduos, embora elas sejam geralmente consideradas benéficas:

- segregação do resíduo na origem, evitando a mistura de resíduos perigosos com outros resíduos sólidos, o que contaminaria a quantidade total de resíduo gerado;
- transferência de poluente de um meio a outro, por exemplo, através da utilização de filtros de carbono para gases orgânicos, os quais serão tratados e dispostos como resíduo;
- concentração ou mistura de resíduos, com o único propósito de reduzir volume;
- outros tratamentos, como neutralização elementar dos resíduos; e
- disposição final dos resíduos, mesmo que seja realizada em instalações licenciadas.

A CETESB (2002) considera a prática de segregação na origem como uma atividade de prevenção da poluição. A minimização de resíduos é normalmente rentável para a indústria, além de benéfica para o meio ambiente. No entanto, a legislação ambiental brasileira ainda não prevê a obrigatoriedade de implantação de programas de minimização de resíduos pelas indústrias. Alguns dos benefícios econômicos seriam:

- redução dos custos de investimento e operacional para o tratamento dos resíduos na própria planta industrial. Ressalta-se que o resíduo mais barato de gerenciar é o resíduo não produzido;
- redução dos custos de transporte, tratamento, eliminação e disposição final para os resíduos enviados a empresas receptoras;
- redução dos custos, junto aos órgãos reguladores, para licenças ambientais, impostos, controles e sanções;
- diminuição dos riscos de derramamentos, acidentes e emergências;
- diminuição da responsabilidade ambiental a longo prazo e dos custos com seguros;
- redução dos custos de produção através de uma melhor gestão e eficácia; e

- ganhos financeiros provenientes da venda ou da reutilização de resíduos.

As mudanças para a prevenção da poluição envolvem o uso de produção mais limpa, que por sua vez leva ao desenvolvimento e implantação de tecnologias limpas de processo e de produto. As tecnologias limpas, como também as outras práticas de minimização de resíduos, se mostram economicamente vantajosas, por proporcionarem reduções nos custos de destinação e obtenção de receita, pela comercialização dos materiais resultantes das práticas de tratamento e segregação dos resíduos gerados. A adoção de tecnologias limpas visam:

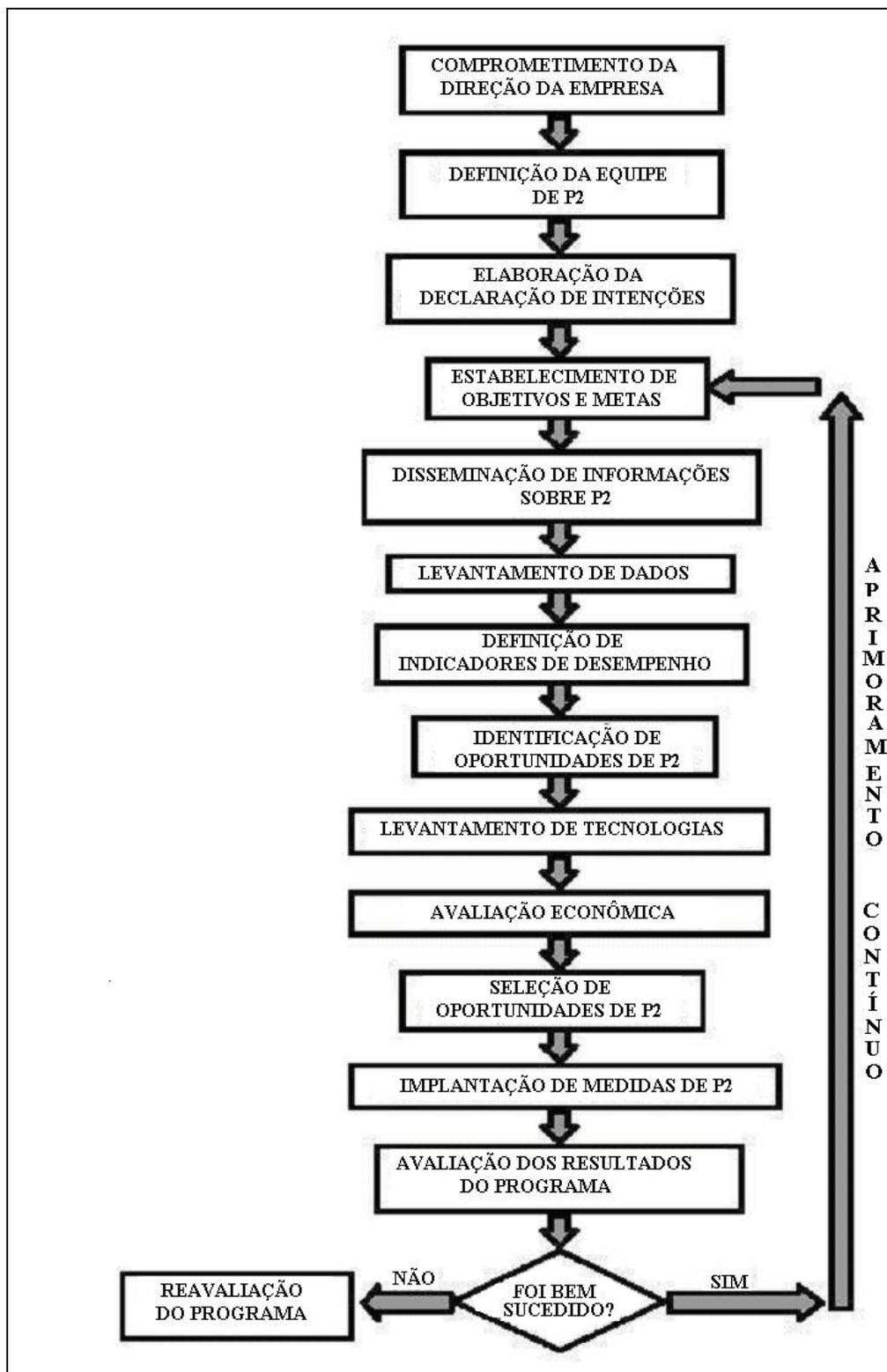
- prevenir e minimizar a geração de resíduos perigosos;
- reduzir custos com gerenciamento de efluentes e resíduos;
- reduzir o consumo de energia, principalmente quando se tratar de energia não renovável;
- melhorar a qualidade do produto;
- aumentar a produtividade;
- reduzir os riscos à saúde dos trabalhadores;
- reduzir os riscos ambientais;
- diminuir o passivo ambiental; e
- melhorar a imagem pública da empresa.

As tecnologias limpas de processo envolvem, entre outras: a redução de volume, de toxicidade e de riscos dos efluentes e resíduos gerados, pela alteração do processamento industrial e substituição de matérias-primas e reagentes por outros menos poluentes; o aumento na promoção da reciclagem, por exemplo, em sistemas de resfriamento de água; a eliminação de vazamentos e melhoria das condições de manutenção, evitando-se a perda de óleos e graxas; e a adoção de práticas operacionais mais cuidadosas.

As tecnologias limpas de produto envolvem a geração de produtos menos poluentes e cuja utilização gera menor quantidade de efluentes e de resíduos.

Os órgãos de controle ambiental estão trabalhando em conjunto com as indústrias para promover o uso de diversas opções para se prevenir a produção de poluentes, ao invés de simplesmente controlar a poluição gerada no final do processo produtivo. Neste sentido, iniciativas vêm sendo tomadas, desde 1998, dando oportunidade às micro e pequenas empresas para que possam fazer uso de vantagens ambientais competitivas, usualmente utilizadas apenas pelas grandes empresas (FURTADO, 1998) e (CETESB, 2002).

A CETESB (2002) elaborou um documento “Manual para a Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição (P2)”, no qual é apresentada uma metodologia de apoio para o planejamento e desenvolvimento de um programa de P2, adaptável às condições específicas da empresa interessada. Para a efetiva implementação de um programa de P2, é fundamental o comprometimento da direção da empresa com os princípios da P2, como também, a avaliação do desempenho desse programa, o que representa um processo de melhoria contínua. Ao final do programa, novas metas são estabelecidas, reiniciando-se o ciclo de implementação, conforme fluxograma das etapas de P2 apresentado na Figura 3.18.



Fonte: CETESB, 2002.

Figura 3.18 - Fluxograma das etapas do programa de P2.

CETESB (2002) destaca que, na aplicação das medidas de prevenção da poluição, muitas técnicas podem ser utilizadas, conforme pode ser visto na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Técnicas para prevenção da poluição e minimização da geração de rejeitos.

Técnica	Descrição básica
Alteração no leiaute.	Alteração na disposição física dos equipamentos utilizados em um processo produtivo com vistas a economizar recursos, minimizar possibilidade de acidentes ou eliminar pontos de geração de poluentes.
Controle de estoque.	Medidas na estocagem de matéria-prima perigosa, incluindo: identificação adequada dos produtos perigosos; registro de compras e perdas; controle do uso e validade dos produtos; armazenamento em instalação apropriada; disposição dos produtos no depósito, em função da incompatibilidade química entre eles, etc.
Manutenção preventiva.	Consiste no estabelecimento de um programa de manutenção periódica nas áreas produtivas e de armazenamento, com o intuito de se antecipar aos problemas, de modo a evitar incidentes que venham a ocasionar, por exemplo, uma interrupção na produção, perda de material, contaminação devida a vazamentos, etc.
Melhoria nas práticas operacionais.	Consiste na padronização dos parâmetros operacionais (temperatura, vazão, volume, tempo, etc.) e dos procedimentos para execução de uma tarefa, aliados a uma sistemática que garanta a efetividade na execução das operações industriais.
Mudança de processo / tecnologia.	É a substituição de um processo / tecnologia por outra menos poluidora, ou seja, adoção de tecnologia limpa.
Reuso.	É qualquer prática ou técnica que permita a reutilização de um resíduo, sem que este seja submetido a um tratamento prévio. Cita-se, por exemplo, o reuso da solução de arraste dos tanques de recuperação para reposição dos banhos a quente.
Reformulação ou re-planejamento dos produtos.	Refere-se à reformulação das características do produto final, visando à obtenção de um produto menos tóxico ou menos danoso ao meio ambiente durante o seu uso, descarte ou disposição final.
Reciclagem interna ao processo.	Qualquer técnica ou tecnologia que permita a reutilização de um resíduo, como matéria-prima ou insumo em um processo industrial, após o mesmo ter sido submetido a um tratamento que esteja incorporado ao processo.
Substituição de matéria-prima.	Esta técnica visa substituir uma substância tóxica utilizada como matéria-prima em um processo industrial, por outra menos tóxica e que produza os mesmos efeitos desejados no produto final, sem prejuízo da sua qualidade.
Substituição ou alteração nos equipamentos.	Consiste em substituir um equipamento por outro menos poluidor, mais eficiente, mais econômico, ou ainda, realizar alguma alteração nesse equipamento.
Segregação de resíduos.	Esta técnica visa à separação dos diferentes fluxos de resíduos gerados no processo produtivo, de modo a evitar que resíduos tóxicos contaminem aqueles não tóxicos, reduzindo o volume de resíduos tóxicos e, conseqüentemente, reduzindo os custos associados ao seu tratamento e disposição.

Fonte: CETESB, 2002.

O documento “Prevenção de Resíduos na Fonte & Economia de água e Energia – Manual de Avaliação na Fábrica”, projeto coordenado por FURTADO (1998), é outra

ferramenta para avaliação voluntária, no nível de chão de fábrica, cujos objetivos específicos são: detectar a geração de resíduos (principalmente os perigosos e tóxicos), identificar o consumo de água e energia e gerar medidas corretivas.

3.5.2 Reutilização, reciclagem e permuta

A reutilização e reciclagem de resíduos, pelo uso ou recuperação dos resíduos ou de seus constituintes com valor econômico, é também uma forma utilizada para solucionar problemas de gerenciamento de resíduos, por contribuir para a conservação dos recursos naturais, minimização da utilização dos recursos não renováveis e redução da quantidade de resíduos lançada no ambiente. Em vários países, a utilização dessas práticas é obrigatória. No Brasil, esta obrigatoriedade existe apenas para os resíduos de óleos lubrificantes.

Segundo MAZZINI (2000), as atividades de reciclagem externa, reutilização e permuta são, em geral, mais caras do que as práticas de redução na fonte. Para permitir o reaproveitamento dos resíduos, muitas vezes é necessário aplicar técnicas de valorização aos resíduos. A valorização envolve práticas de separação, recuperação ou regeneração dos materiais que compõem os resíduos, para posterior reciclagem e reutilização do material ou aproveitamento energético.

No estado de Minas Gerais, o tratamento térmico, em incineradores convencionais e em fornos de clínquer de plantas de cimento, responde por 80 % das formas de destinação de resíduos, evidenciando, em anos recentes, a opção preponderante dos geradores de resíduo por essa modalidade (SEVÁ FILHO et al., 2001). Como exemplos podem ser citadas as fábricas de cimento da Holdercim Brasil e da Camargo Corrêa, instaladas no município de Pedro Leopoldo, e a SOEICOM, instalada no município de Vespasiano - ambos na Região Metropolitana de Belo Horizonte - que estão aptas a solicitar o licenciamento para processar diferentes tipos de resíduos, em seus fornos de clínquer, com o objetivo de substituir parte dos energéticos tradicionalmente empregados e, assim, reduzir os custos de produção do cimento.

A segregação dos resíduos na origem é fundamental para a reciclagem. Para MAZZINI (2000), enquanto os custos de tratamento e disposição final permanecerem mais baixos do que os de recuperação, a reciclagem não será desenvolvida, havendo necessidade, portanto, da legislação fiscal oferecer incentivos para a sua adoção. Vários outros fatores interferem na viabilidade da reciclagem, como:

- proximidade da instalação de reciclagem;
- custos de transporte;
- volume de resíduos disponíveis para a reciclagem;
- custos de segregação, armazenamento, manuseio e transporte do resíduo;
- custos de tratamento e disposição final dos resíduos;
- disponibilidade de mercado;
- disponibilidade de tecnologias para a reciclagem; e
- licenciamento ambiental.

Para se conseguir incrementar as técnicas de reciclagem e recuperação no sistema produtivo, além de incentivo fiscal, é fundamental que sejam harmonizadas algumas questões, como: a questão da co-responsabilização de fabricantes e importadores, que colocam no mercado produtos que são transformados em resíduos perigosos após a vida útil, a qual visa assegurar um sistema de financiamento para o gerenciamento desses resíduos; e a obrigatoriedade de utilização, pelos próprios fabricantes, de um percentual de matérias-primas recicladas procedentes de seus produtos.

A seleção adequada da matéria-prima para a fabricação de um produto é fator determinante para permitir a sua posterior reciclagem ou reutilização. Com vistas à reciclagem, diversos métodos são utilizados para a valorização de resíduos, os quais têm por finalidade alcançar um dos objetivos:

- melhorar a qualidade do resíduo, por exemplo, pela retirada de certas impurezas ou pela concentração de um ou mais componentes; e
- retirar da massa de resíduos, um ou mais componentes com valor econômico.

Segundo MAZZINI (2000), os métodos de tratamento para reciclagem são muito específicos, sendo desenvolvidos e aperfeiçoados para cada resíduo em particular. Alguns exemplos são: a destilação de solventes, com separação das frações leves das mais pesadas e das impurezas; o re-refino de óleos lubrificantes; a evaporação; e a precipitação. É

importante que haja um controle da qualidade do resíduo reciclado para se evitar a propagação de outros tipos de contaminação indesejáveis, tanto sob aspectos da sua utilização industrial quanto do ponto de vista ambiental.

Como exemplos de sistemas de recuperação de materiais tóxicos, presentes em resíduos, são citadas duas experiências em desenvolvimento no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (CIETEC, 2005). O CIETEC é um importante centro incubador criado em 1998 por um convênio entre a Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do estado de São Paulo, o Serviço de Apoio a Micro e Pequena Empresa de São Paulo (Sebrae-SP), a Universidade de São Paulo (USP), o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). As incubadoras são uma forma de incentivo ao desenvolvimento de tecnologia, muito popular no exterior e que está se fortalecendo a cada dia no Brasil. Seu objetivo é incentivar empreendimentos de base tecnológica, para ampliar o índice de sobrevivência e a competitividade das empresas, objetivando o crescimento da economia, o aumento da geração de empregos qualificados e de melhores resultados na balança comercial brasileira.

De acordo com o CIETEC (2005), cerca de uma tonelada de prata é despejada por mês nos efluentes da cidade de São Paulo, por hospitais, gráficas e laboratórios de fotografia, totalizando um desperdício de mais de R\$ 600 mil. A empresa KHEMIA Equipamentos Tecnológicos de Efluentes Ltda está desenvolvendo um sistema que, por meio de reações químicas, vai recuperar 100% de toda essa prata. Segundo JONNY ROS (apud CIETEC, 2005), um protótipo desse sistema já foi testado em laboratórios e estará disponível no mercado, dentro de 2 anos, consistindo de uma forma de recuperar dinheiro e de defender o meio ambiente.

CIETEC (2005) informa também que a TRAMPPO, empresa residente no CIETEC, está desenvolvendo um equipamento para a retirada do mercúrio presente em lâmpadas fluorescentes. Essa tecnologia vai baratear o processo de reciclagem desse material e beneficiar o meio ambiente, já que se trata de um metal pesado, de características altamente tóxicas, e que influi de modo significativo em todos os seres vivos. Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Iluminação (ABILUX), no Brasil estão instaladas aproximadamente 100 milhões de lâmpadas fluorescentes, sendo que 40 milhões deixam de ser utilizadas por ano. Hoje já existem empresas que reciclam lâmpadas fluorescentes, mas apenas em grandes

quantidades. De acordo com ARAÚJO (apud CIETEC, 2005), prevê-se para final de 2006, a disponibilização pela TRAMPPO de um equipamento capaz de reciclar o mercúrio de 3.600 lâmpadas por dia, a um preço viável para o mercado. Esse autor esclarece que a solução desenvolvida possui tecnologia similar à existente na Suécia, com um diferencial de custo de 10% de um valor que gira em torno de 1 milhão de dólares quando chega ao Brasil.

O descarte inadequado de lâmpadas fluorescentes em lixões ou terrenos baldios é condenado pelas entidades ambientalistas, porque o mercúrio atinge os rios e o lençol freático, contaminando a água, plantas, peixes e o ser humano. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), uma pessoa, em toda sua vida, suporta o acúmulo de 5 mg deste elemento químico, sem apresentar distúrbios significativos de saúde.

Para incentivar a reciclagem, têm sido criados em muitos países, inclusive no Brasil, sistemas de troca de informações sobre resíduos disponíveis e resíduos desejados, através das “Bolsas de Resíduos” (COELHO, 2001). A implantação dessas Bolsas é bastante atraente para o setor produtivo. Além de dispor de cadastro dos resíduos disponíveis, contendo informações a respeito da denominação do resíduo, classificação conforme a norma NBR 10.004, quantidade disponível, entre outras, elas podem oferecer serviços de cadastro de empresas transportadoras e de laboratórios especializados em análise e classificação de resíduos. No entanto, existem alguns obstáculos para esta implantação, incluindo os custos de transporte e de licenciamento ambiental e a dificuldade de se manter a qualidade dos resíduos anunciados, uma vez que a maioria dos resíduos apresenta características físico-químicas variáveis, impedindo a manutenção de um padrão de qualidade e a sua utilização direta como matéria-prima (MAZZINI, 2000).

De acordo com o CIETEC (2005), o Brasil perde anualmente cerca de oito bilhões de reais por não reciclar o lixo urbano. São 245 mil toneladas de resíduos produzidos diariamente, com um índice de reaproveitamento de apenas 8%. Só na região metropolitana de São Paulo, são 12 mil toneladas por dia. Considerando que o índice de reciclagem no país cresce 30% ao ano, esse centro incubador está construindo o Sistema Ciclo, um serviço de informações que vai oferecer o maior banco de dados do Brasil para o mercado de resíduos e reciclagem. O sistema fará uso da logística de retorno dos materiais e do comércio eletrônico, com o objetivo de montar uma rede envolvendo todos os participantes do mercado, como indústrias, associações, cooperativas, prefeituras e empresas de coleta.

Segundo FINGER (apud CIETEC, 2005), as informações estarão disponíveis em um portal na internet, visando um mercado que movimentará anualmente cerca de R\$ 4,5 bilhões.

3.6 Gerenciamento de Rejeitos

O gerenciamento de rejeitos constitui-se em uma série de atividades técnicas e administrativas planejadas e implementadas, com base em conhecimentos técnico-científicos e em atendimento a legislação e regulamentação vigentes. Tem por objetivo minimizar a geração de rejeitos e proporcionar um encaminhamento ambientalmente seguro e eficiente dos rejeitos gerados, de modo a minimizar ou mesmo eliminar os efeitos danosos e reduzir os custos que possam advir dos rejeitos, tanto no presente como em épocas futuras.

De acordo com MEIRA (2003), apesar das evidências dos ganhos ambientais e econômicos, a indústria ainda gerencia a área ambiental de maneira reativa, ou seja, atende apenas aos condicionantes ambientais previstos e exigidos pelo licenciamento ambiental, demonstrando ainda desconhecer os ganhos que uma postura mais proativa poderia agregar. Na Figura 3.19 está ilustrada o foco de cada uma destas situações.



Figura 3.19 - Foco principal da gestão proativa e reativa de uma empresa.

Entretanto, mesmo considerando que uma empresa opte por uma gestão proativa na área ambiental, ela não poderá prescindir de uma atuação reativa no sentido de definir mecanismos seguros para lidar com os rejeitos que são inerentes aos seus processos

produtivos. Tecnologias de controle vêm sendo adotadas para adequação das emissões industriais, na forma de efluentes e resíduos, aos padrões ambientais exigidos por lei. Um fluxograma básico com as principais etapas do gerenciamento de resíduos sólidos industriais é apresentado na Figura 3.20, considerando que a indústria convencional, de uma maneira geral, utiliza serviços de empresas especializadas no tratamento e disposição final de seus resíduos sólidos.

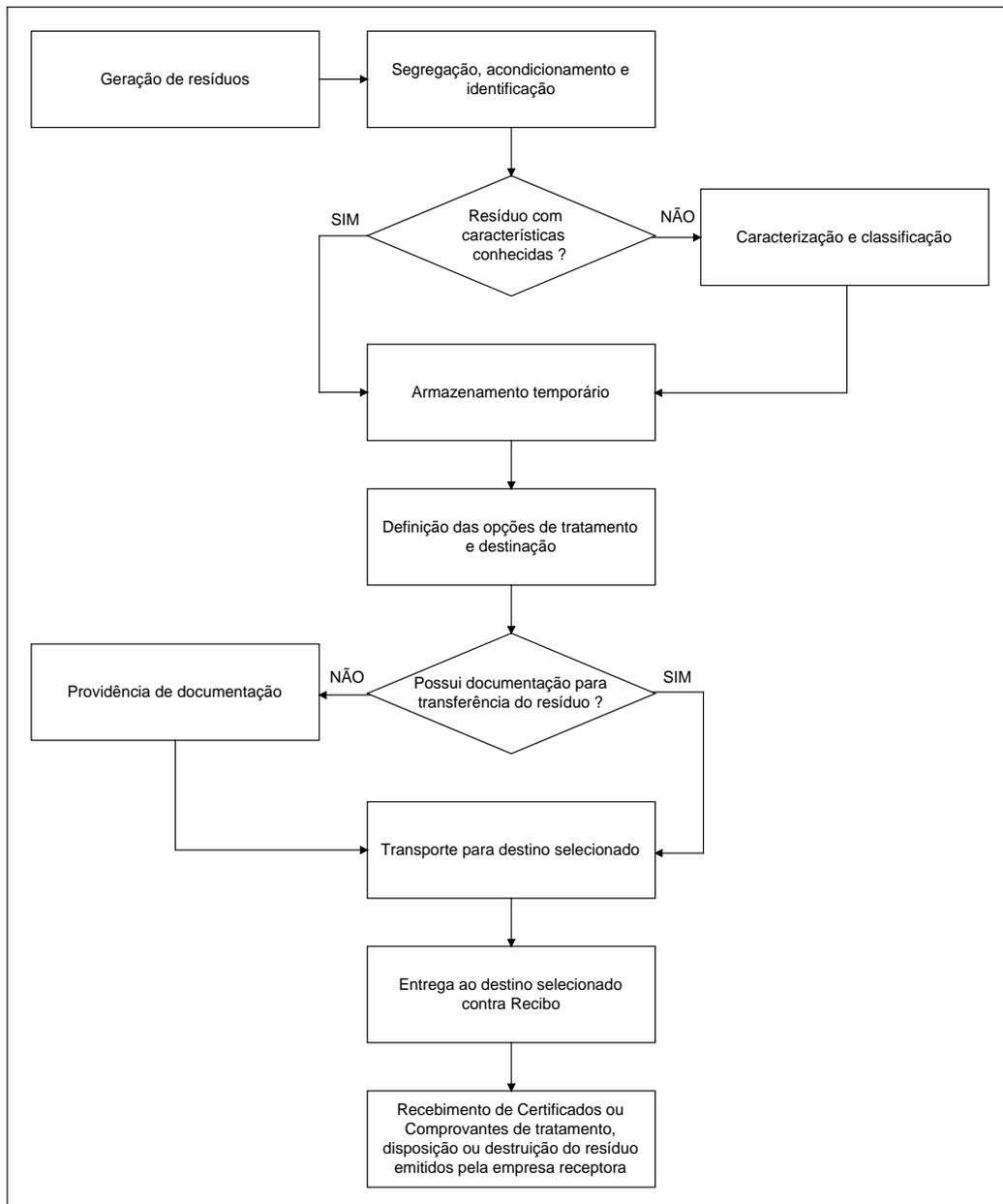


Figura 3.20 - Fluxograma para a gestão de resíduos sólidos industriais.

No setor nuclear, considerando que nas instalações nucleares (IINN) são produzidos volumes significativos de rejeitos radioativos, incluindo os de alta atividade que geram quantidades apreciáveis de calor, muitas vezes, instalações sofisticadas são requeridas para o trato com estes rejeitos. De acordo com SOUZA (1998), em cumprimento à legislação vigente, as IINN são submetidas a processos de licenciamento bastante rigorosos e fiscalização ostensiva.

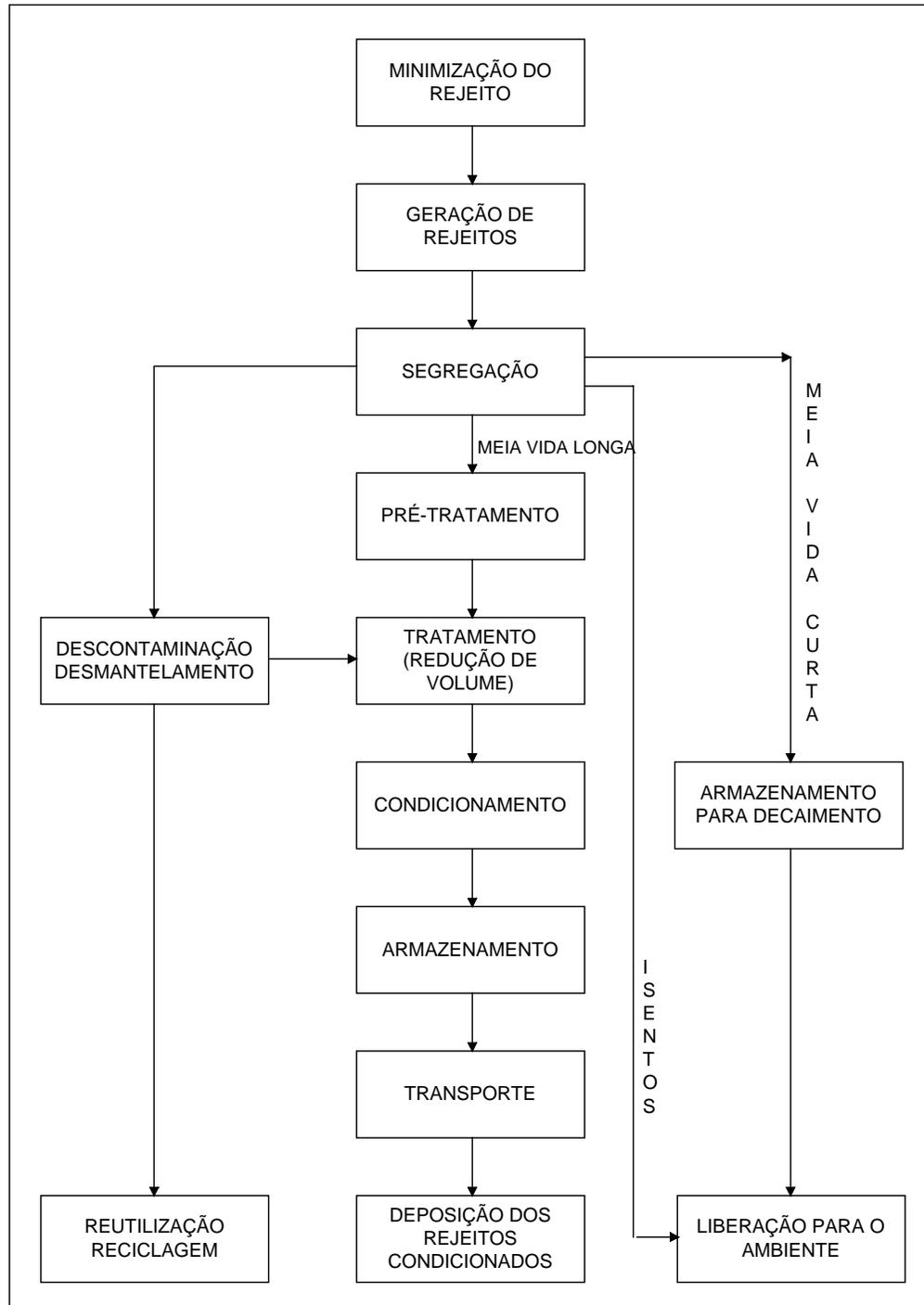
Em contrapartida, para a maioria dos empreendimentos que possuem instalações radiativas (IIRR), o ramo principal dos negócios não é a utilização de material radioativo. Neste aspecto, apesar de serem considerados pequenos geradores de rejeitos radioativos e, de uma maneira geral, seus rejeitos gerarem quantidades desprezíveis de calor, há sempre algum potencial de dificuldade, por parte das IIRR, em lidar com os rejeitos radioativos oriundos de suas atividades, sendo fundamental um controle regulatório efetivo (SOUZA, 1998).

Apesar de severamente criticadas, as tecnologias ambientais convencionais são essenciais para a proteção da saúde humana e do meio ambiente, tendo importante papel no controle dos rejeitos, desde a sua origem, com vistas a garantir uma disposição final segura. Na Figura 3.21 é apresentado um fluxograma simplificado das etapas do gerenciamento de rejeitos radioativos, sendo necessário considerar a interdependência entre estas etapas para se conseguir maior eficácia no processo global de gerenciamento dos rejeitos (IAEA, 2003a). Particularmente, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- a identificação das interfaces e a definição das responsabilidades das várias organizações envolvidas nestas interfaces; e
- o estabelecimento de critérios de aceitação, onde necessário, e a confirmação de conformidade com esses critérios de aceitação por meio de ensaios de verificação ou avaliação dos registros.

Neste item, ênfase será dada aos rejeitos radioativos de centros de pesquisa e de instalações radiativas, considerando o grande número de estabelecimentos que manuseiam materiais radioativos no Brasil. Algumas atividades da gerência dos rejeitos radioativos destes estabelecimentos podem ser delegadas a outras instalações ou empresas, para a execução dos serviços, desde que autorizadas pela CNEN.

Em qualquer caso, a responsabilidade final pelos rejeitos cabe à direção da instalação geradora. De acordo com a legislação vigente, a deposição de rejeitos radioativos no Brasil está sob a responsabilidade da CNEN (BRASIL, 2001).

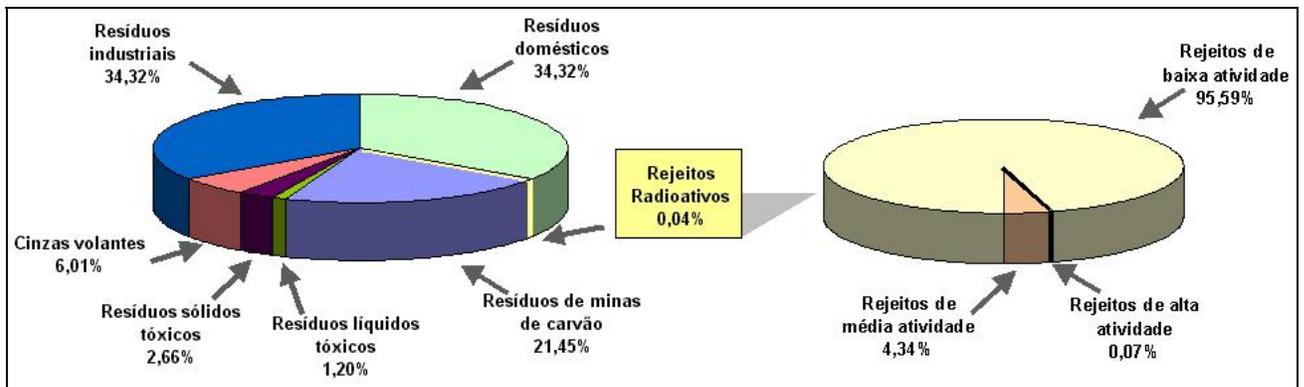


Fonte: IAEA, 1992b.

Figura 3.21 - Fluxograma típico de gerência de rejeitos radioativos.

3.6.1 Origem dos rejeitos radioativos

Toda atividade humana é, por natureza, geradora de resíduos. Os rejeitos radioativos representam uma pequena parcela desses resíduos, menos de 0,05% em volume ou peso. De acordo com SCOTTISH (apud SOUZA, 1998), no Reino Unido, em 1994, a geração anual de rejeitos radioativos era da ordem de 50.000 m³, contra 3.000.000 m³ de resíduos sólidos tóxicos de diversas origens. Neste exemplo, pode ser observado que, conforme mostrado na Figura 3.22, mais de 95% dos rejeitos radioativos são rejeitos de baixa atividade, cujo tratamento e gerenciamento são de baixo custo, pequena complexidade e nenhuma sofisticação.



Fonte: SCOTTISH, apud SOUZA (1998).

Figura 3.22 - Os rejeitos no Reino Unido.

De acordo com SOUZA (1998), na França, onde a energia nucleolétrica é responsável por mais de 75% de toda a produção de energia elétrica no país, os rejeitos radioativos também têm uma participação muito pequena no total de resíduos gerados. A geração anual de resíduos é de 3.000 kg por habitante, sendo 100 kg (3,3%) constituídos de resíduos tóxicos industriais. Cerca de 99% destes últimos são resíduos químicos tóxicos e apenas 1% deles, cerca de 1 kg anual por habitante, são rejeitos radioativos. Isto significa que o peso dos rejeitos radioativos é de apenas 0,03% do peso total anual dos resíduos gerados.

No Brasil, rejeitos radioativos são oriundos, basicamente, das seguintes atividades:

- operação de centrais nucleares para a geração de energia elétrica (rejeitos de centrais);

- produção de combustível nuclear (rejeitos do ciclo do combustível);
- pesquisas nucleares (rejeitos de centros de pesquisa);
- aplicação de radioisótopos nas áreas médica, agrícola, ensino e pesquisa, e industrial (rejeitos institucionais e industriais); e
- outras atividades, como a mineração de minérios não nucleares e a produção e exploração de petróleo e gás, nas quais há geração de rejeitos contendo radionuclídeos do decaimento de materiais radioativos de ocorrência natural (rejeitos conhecidos pelos acrônimos NORM e TENORM, do inglês “Naturally Occurring Radioactive Materials” e “Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material”, respectivamente) (JACOMINO et al., 2005) e (JESUS et al., 2005).

Rejeitos de Centrais. Na operação das usinas nucleoeletricas são gerados rejeitos de várias categorias, ou seja, rejeitos de baixa, média e alta atividade, quanto ao nível de radioatividade, e rejeitos de vida curta, média ou alta, quanto ao tempo de vida ativa. Os elementos combustíveis irradiados (ECI), caso não sejam reprocessados, constituem, a rigor, rejeitos de alta atividade. No Brasil, não há uma definição sobre o fechamento do ciclo do combustível nuclear, ou seja, reprocessar ou não o combustível utilizado nos reatores nucleares. Assim, ao serem retirados do reator, os elementos combustíveis são armazenados, em piscinas de resfriamento, no interior da própria contenção dos reatores, prática também utilizada pela maioria dos outros países que utilizam a energia nuclear. Na Figura 3.23 são mostradas piscinas de ECI, nos EUA e no Brasil.

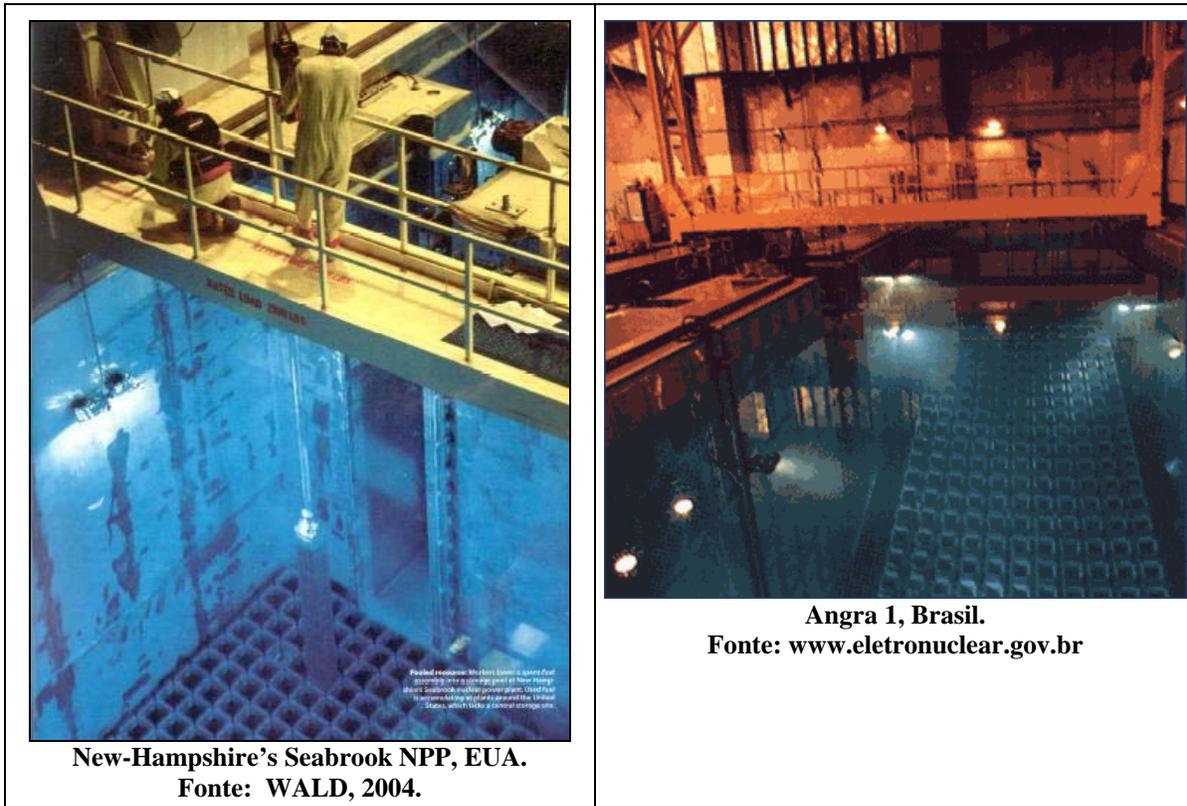


Figura 3.23 - Vistas de piscinas de armazenamento de ECI.

Os rejeitos de baixa e média atividade gerados durante a operação das centrais nucleares são constituídos de materiais e equipamentos que foram expostos à radiação ou contaminados. Segundo SOUZA (1998), a radioatividade desses rejeitos deve-se, principalmente, a radionuclídeos de vida curta, como o cobalto-60 e o céσιο-137, que decaem a níveis seguros após 200 a 300 anos de estocagem.

Os rejeitos de média atividade, compostos pelos concentrados do evaporador, utilizado para o tratamento de grandes volumes de efluentes líquidos, e pelos filtros e resinas de troca iônica dos sistemas de purificação da água do reator, conforme esquematizado na Figura 3.24, podem ser condicionados através de incorporação em matriz sólida de cimento ou betume (AWWAL et al., 1996), (GUZELLA & SILVA, 2001) e (TELLO & BARROSO, 2002).

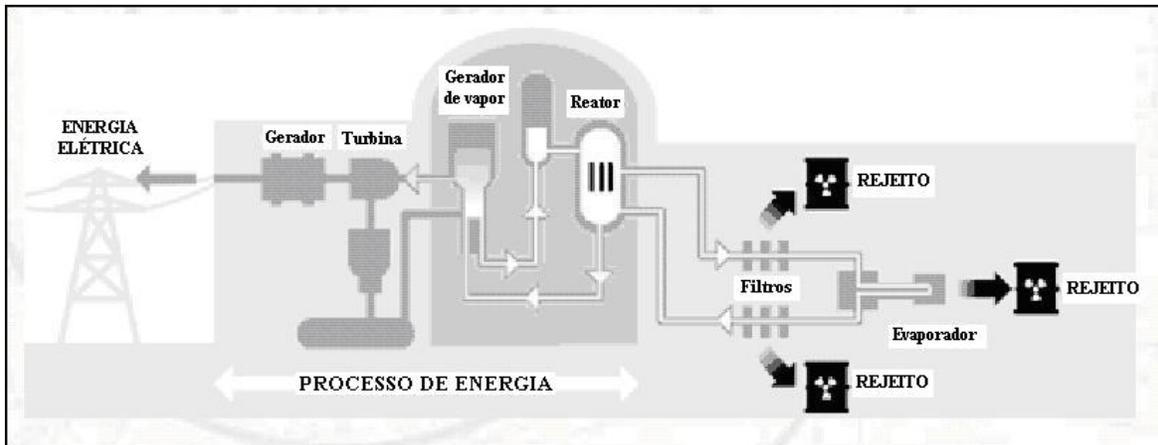


Figura 3.24 - Origem dos rejeitos de média atividade da operação de centrais nucleares.

Os rejeitos sólidos de baixa atividade são constituídos por ferramentas, peças, luvas, panos de limpeza, plásticos, vestimentas de proteção, aparas de metais e outros materiais contaminados. Os rejeitos compressíveis são, usualmente, compactados utilizando-se prensas de alta pressão ou, então, incinerados com subsequente compactação das cinzas (SOUZA, 1998). Em casos de presença de contaminação removível, as vestimentas são lavadas e reutilizadas. As peças metálicas e outros materiais não compactáveis são, geralmente, imobilizados em matriz de cimento ou betume, no interior de embalagens metálicas. Parte dos rejeitos de baixa atividade pode ser armazenada para decaimento e futuro descarte.

Os rejeitos líquidos orgânicos, incluindo óleos lubrificantes contaminados e solventes, utilizados nos processos de descontaminação, são recolhidos separadamente, podendo ser incinerados ou incorporados em matriz de cimento (SOUZA, 1998) e (TELLO, 2004).

Ainda de acordo com SOUZA (1998), no descomissionamento e desmonte dos reatores nucleares que atingiram o final de suas vidas úteis, outros tipos de rejeitos são previstos, constituídos de metais e materiais de alvenaria contaminados ou ativados, que poderão ser tratados mecanicamente ou quimicamente. A maioria deles é constituída de rejeitos de vida curta e de baixa atividade. Uma grande parte pode ser descontaminada e tratada como rejeito industrial convencional, exigindo técnicas de gerenciamento e deposição muito simples. O restante dos rejeitos de vida curta e baixa atividade é semelhante aos rejeitos operacionais e, portanto, terão tratamento e destinação final similares a esses rejeitos.

Somente uma pequena parcela dos rejeitos, provenientes de partes internas do reator, possui atividade relativamente alta. A disposição final desses materiais pode ser realizada nos mesmos repositórios construídos para rejeitos operacionais de média atividade, com barreiras de engenharia apropriadas, ou como rejeitos de alta atividade. Alguns serão imobilizados e tratados da mesma maneira como no caso da deposição direta dos combustíveis usados.

Os rejeitos gerados na operação das usinas nucleares de Angra, após tratamento e condicionamento, são encaminhados a depósitos situados no próprio sítio das usinas para o armazenamento inicial. Na Figura 3.25 são mostradas vistas internas de um dos depósitos de rejeitos de Angra 1.



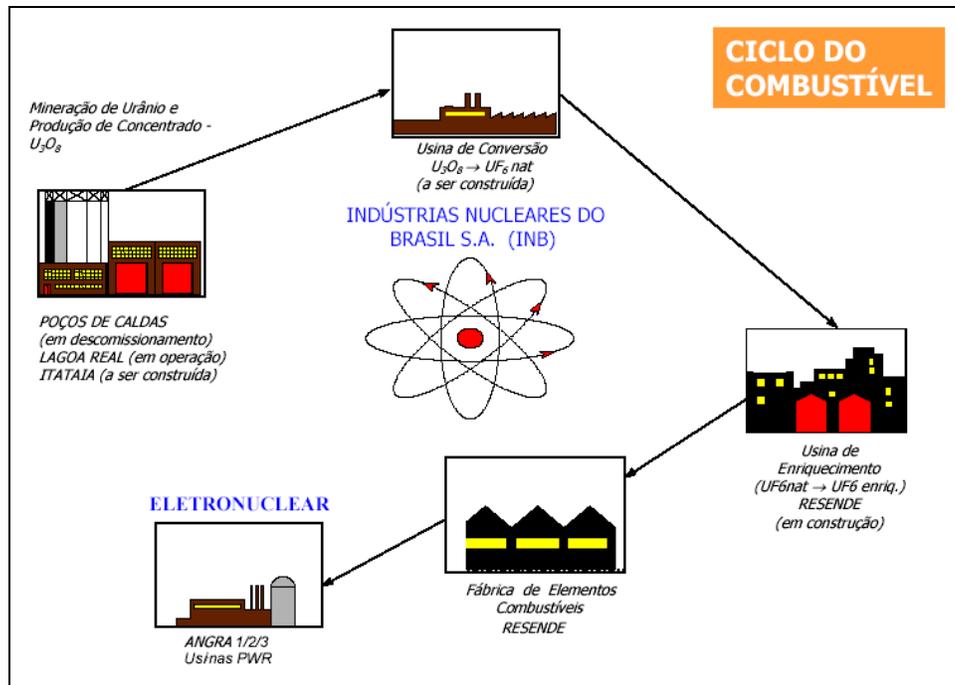
Figura 3.25 - Vistas internas de um dos depósitos de rejeitos de Angra 1.

Rejeitos do Ciclo do Combustível. Todas as fases do ciclo do combustível nuclear produzem rejeitos radioativos de menor ou maior intensidade de radiação. Os rejeitos da produção do combustível nuclear são constituídos pelos rejeitos gerados nas etapas do processo industrial que transforma o mineral urânio em elementos combustíveis para as usinas nucleares. O urânio é extraído de minérios, concentrado, purificado e processado para produzir elementos combustíveis contendo material físsil em quantidade apropriada para uso nos reatores.

Os rejeitos do ciclo do combustível apresentam uma variedade muito grande de composição e os seus volumes e atividades são muito maiores do que os apresentados pelos rejeitos gerados em outras instalações, também conhecidos como rejeitos institucionais (SOUZA, 1998). Milhares de toneladas de material com baixa radioatividade das sobras do minério fazem parte desta categoria de rejeitos. Os rejeitos ficam armazenados temporariamente ou de forma definitiva, no próprio sítio onde são gerados, seguindo normas de segurança estabelecidas pela CNEN. São também considerados rejeitos do ciclo do combustível, os poucos litros de rejeitos líquidos, de altíssima radioatividade, procedentes da etapa de reprocessamento dos ECI. O Brasil não tem nem instalações de pesquisa, nem industriais, sobre esta etapa do ciclo do combustível nuclear.

Quando as instalações do ciclo do combustível são desmontadas, ao final da sua vida útil, são também gerados rejeitos radioativos consistindo, na maior parte, de metais e materiais de alvenaria contaminados.

Na Figura 3.26, são mostradas as etapas do ciclo do combustível nuclear, implementadas no Brasil. O combustível nuclear à base de urânio enriquecido tem sido o mais empregado mundialmente em reatores nucleares de potência, refrigerados e moderados a água. No Brasil, os reatores nucleares de potência são do tipo PWR, “Pressurised Water Reactor”. O teor de U-235, no urânio enriquecido, é mais elevado do que o teor natural, tipicamente entre 3% e 4%. O urânio natural é composto, basicamente, por 99,28 % de U-238, isótopo fértil, e somente 0,72 % de U-235, isótopo físsil, utilizado para a produção de energia nuclear.



Fonte: ELETRONUCLEAR, 2005.

Figura 3.26 - Etapas do ciclo do combustível nuclear no Brasil.

Rejeitos de Centros de Pesquisa. A operação de centros de pesquisas nucleares envolve todos os tipos de materiais radioativos e a diversidade de composição e tipos de rejeitos gerados é muito grande, dependendo das atividades de pesquisa ali desenvolvidas e do porte das instalações. Os rejeitos podem ser gerados em reatores de pesquisa, células quentes de manuseio remoto, instalações piloto do ciclo do combustível nuclear, laboratórios analíticos, entre outras instalações.

O CDTN é um centro de pesquisas nucleares de médio porte que pertence à CNEN. Os rejeitos radioativos gerados nesse Centro são provenientes de atividades de pesquisa, desenvolvimento e de rotina nas áreas do ciclo do combustível e de aplicações de radioisótopos. A natureza e a composição química dos rejeitos são bastante variadas (SILVA & SILVA, 2001, 2003 e 2004). São gerados rejeitos sólidos, líquidos e lamas radioativas, os quais são segregados na origem. Os rejeitos sólidos compreendendo diversos materiais contaminados, como papéis, tecidos, luvas cirúrgicas, estopas, sucata, madeira, alvenaria, frascos, bombonas de plástico e vidraria quebrada, são segregados em rejeitos compactáveis e não compactáveis. Os rejeitos líquidos são segregados em rejeitos aquosos

e orgânicos. A segregação leva também em consideração a meia-vida dos radioisótopos presentes nos rejeitos. Além dos rejeitos gerados em suas próprias instalações, o CDTN, juntamente com outros institutos de pesquisa da CNEN, recebe fontes seladas fora de uso das diversas instalações radiativas de todo o território nacional, como também pára-raios e detectores de fumaça radioativos.

Rejeitos NORM e TENORM. Tem sido reconhecido que várias indústrias não nucleares têm o potencial de causar impactos radiológicos ambientais e ocupacionais significativos (IAEA, 2003c) e (CNEN, 2005c).

A radiação ionizante está naturalmente presente em nosso ambiente. No entanto, algumas atividades humanas, como mineração, beneficiamento de minérios, extração de petróleo, produção de gás natural e o uso doméstico de águas subterrâneas, alteram a radiação natural de um determinado local, pelo deslocamento de materiais NORM de ambientes inacessíveis para locais de fácil acesso pela população humana ou concentrando-os. De acordo com MOHANKUMAR (2004), essas atividades resultam em acúmulo, nos seus resíduos, desses materiais NORM. A comunidade científica internacional classificou este tipo de material como sendo TENORM ou material NORM tecnologicamente modificado, ou seja, materiais cuja concentração de atividade de radionuclídeos naturais, foi aumentada através de um processo tecnológico. O interesse atual por esses rejeitos deve-se às grandes quantidades acumuladas, de diversas origens, necessitando reciclagem ou disposição segura (FERNANDES et al., 2004). São exemplos de rejeitos contendo TENORM, as lamas de perfuração de poços de petróleo, equipamentos e tubos incrustados com NORM, fosfogesso resultante do processamento de fosfatos para fertilizantes e cinzas de carvão.

Os principais radionuclídeos presentes nos rejeitos TENORM e algumas de suas características são apresentados na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Principais radionuclídeos encontrados nos rejeitos contendo TENORM.

Nuclídeo	Meia-vida	Principal modo de decaimento ^a	Série de decaimento natural	Principais fontes ^b
U-238	4,5x10 ⁹ a	α	U-série do urânio (pai U-238 e filho estável Pb-206).	1, 2, 4, 5, 7.
U-235	7,0x10 ⁸ a	α	A-série do actínio (pai U-235 e filho estável Pb-207).	1, 5, 7.
U-234	2,4x10 ⁵ a	α	U-série do urânio (pai U-238 e filho estável Pb-206).	1, 2, 4, 5, 7.
Pa-231	3,3x10 ⁴ a	α	A-série do actínio (pai U-235 e filho estável Pb-207).	1, 5.
Th-232	1,4x10 ¹⁰ a	α	T-série do tório (pai Th-232 e filho estável Pb-208).	1, 5, 7.
Th-230	7,5x10 ⁴ a	α	U-série do urânio (pai U-238 e filho estável Pb-206).	1, 2, 4, 5, 7.
Th-228	1,9 a	α	T-série do tório (pai Th-232 e filho estável Pb-208).	1, 5, 6, 7.
Ac-227	2,2x10 ¹ a	α	A-série do actínio (pai U-235 e filho estável Pb-207).	1, 5.
Ra-228	5,8 a	β	T-série do tório (pai Th-232 e filho estável Pb-208).	1, 5, 6.
Ra-226	1,6x10 ³ a	α	U-série do urânio (pai U-238 e filho estável Pb-206).	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.
Ra-224	3,7 d	α	T-série do tório (pai Th-232 e filho estável Pb-208).	1, 5, 6, 7.
Rn-222	3,8 d	α	U-série do urânio (pai U-238 e filho estável Pb-206).	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.
Po-210	1,4x10 ² d	α	U-série do urânio (pai U-238 e filho estável Pb-206).	1, 2, 4, 5, 6, 7.
Pb-210	1,9x10 ¹ a	β	U-série do urânio (pai U-238 e filho estável Pb-206).	1, 2, 4, 5, 6, 7.
K-40	1,3x10 ⁹ a	β	-	1, 2, 4, 6, 7.

Fonte: USDOE/EM, 1995.

a α -decaimento alfa e β -decaimento beta negativo.

b 1 - Queima de carvão; 2 - Produção de energia geotérmica; 3 - Manufatura (medidores industriais, relógios, agulhas médicas); 4 - Mineração e processamento de metais; 5 - Tratamento de efluentes municipais; 6 - Produção de óleo e gás; 7 - Mineração de fosfatos e produção de fertilizantes.

Segundo FERNANDES et al. (2004), os rejeitos TENORM são classificados como sendo de baixo nível de radioatividade contendo radionuclídeos de meia-vida longa, pertencentes às séries naturais do U-238 e Th-232. Seu correto gerenciamento deve levar em consideração essas propriedades. Todavia, os autores assinalam que alguns destes materiais, como o fosfogesso, podem ser usados como insumos em atividades como a agricultura e a construção civil, requerendo regulamentação específica para isso.

Rejeitos Institucionais e Industriais. Esta categoria compreende os rejeitos procedentes dos usuários de radioisótopos não incluídos nas categorias anteriores. Particularmente importantes são os estabelecimentos prestadores de serviços de saúde e os centros de pesquisa universitários, como também as outras instalações, onde material radioativo é

utilizado para fins agrícola, acadêmico e industrial (IAEA, 1983). Os rejeitos oriundos destas aplicações são constituídos de uma diversidade de materiais, com diferentes características físicas, químicas, biológicas e radiológicas, requerendo diferentes abordagens para o gerenciamento, cujo objetivo principal é a redução de seus volumes e radioatividade, assim como o confinamento seguro, quando necessário (SOUZA, 1998).

Normalmente, os radioisótopos são adquiridos como fontes radioativas prontas para uso e, na maioria das vezes, a quantidade de material radioativo presente é bastante reduzida, podendo estar sob a forma de fontes seladas ou não seladas (XAVIER et al., 2003). No caso de aplicação de técnicas de irradiação externa, como, por exemplo, em radiografia industrial, teleterapia, esterilização de produtos clínicos e preservação de alimentos, nas quais são utilizadas fontes seladas de porte médio a grande, a quantidade de material radioativo presente é bem maior. Na Tabela 3.14 estão resumidas as características de fontes radioativas utilizadas em instalações radiativas.

Tabela 3.14 - Características das fontes radioativas típicas.

Tipo de Fonte Radioativa	Características
Fontes seladas	<p>Podem ser:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Constituídas por material radioativo não dispersivo, ou incorporado em matéria sólida inativa, ou contido em cápsula inativa, geralmente de aço inoxidável, hermeticamente fechada. 2. Produzidas por irradiação de metal inativo. É o caso das fontes de Co-60 ou de Ir-192. O elemento a ser irradiado, apresentando a forma de um cilindro de metal inativo, de um ou mais milímetros de diâmetro e de altura, é encerrado numa cápsula soldada e o conjunto assim formado, com pelo menos uma das dimensões não inferior a 5 mm, é colocado dentro de um reator nuclear, para que a fonte seja ativada. 3. Fabricadas por incorporação de um radionuclídeo. É, notadamente, o caso das fontes de Cs-137. O radionuclídeo é depositado em uma cápsula, sob forma de recipiente de cerâmica ou de pastilha comprimida e, então, a cápsula é soldada. Tendo em vista que o trabalho é executado à distância e, portanto, com menor precisão, as dimensões das fontes resultam geralmente maiores; contudo, tratam-se ainda de pequenos objetos, aproximadamente do tamanho de uma bala de revólver. <p>OBS: Para que alguma radiação possa emergir de fontes seladas contendo material radioativo de baixo poder de penetração, é necessário colocar, na proteção que a envolve, uma janela, isto é, uma parede fina. É preciso, também, dispersar o radionuclídeo para limitar a auto-absorção, ou seja, limitar a absorção da radiação pelo próprio meio que a emite. Este é o motivo pelo qual essas fontes costumam apresentar a forma e as dimensões de uma moeda grossa. Os invólucros (cápsulas) são de metal ou de acrílico; a janela é constituída de uma folha muito fina de matéria plástica, do tipo polietileno, por exemplo.</p>
Fontes abertas ou não seladas	<p>Podem estar nas formas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sólida. O número de produtos suscetíveis de serem ativados é considerável, podendo tratar-se tanto de plantas dissecadas e pulverizadas quanto de fragmentos metálicos, de sal marinho ou de produtos químicos mais complexos. A fonte é geralmente fornecida dentro de tubos de alumínio ou plástico, hermeticamente fechados. 2. Líquida. Fabricados a partir de pó irradiado, os radionuclídeos em solução apresentam, freqüentemente, formas químicas muito simples: cloretos, iodetos, nitratos e sulfatos. As fontes são fornecidas como líquidos, geralmente incolores, contidos em frascos com fechamento estanque. 3. Gasosa. Os radionuclídeos empregados sob forma gasosa não são numerosos. Exemplos: H-3, Kr-85 e Xe-133. Quantidades relativamente pequenas são fornecidas em ampolas de vidro seladas e, grandes quantidades, em garrafas metálicas.

Fonte: XAVIER et al., 2003.

Segundo XAVIER et al. (2003), dentre as aplicações de fontes radioativas não seladas, pode-se destacar a técnica que utiliza traçador radioativo, ou seja, uma pequena quantidade de isótopo radioativo que se junta a um sistema químico, biológico ou físico para acompanhar sua evolução. No campo industrial, a técnica de traçadores radioativos é empregada em diversas aplicações, como em medidas de vazão e eficiência de filtração de gases, determinação da velocidade de líquidos e gases, em tubulações, avaliação de tempo

de residência, localização de vazamentos, etc, nas quais é recomendado utilizar-se, sempre que factível, baixas concentrações de radionuclídeos de vida curta. Fontes não seladas são, também, muito empregadas em diagnóstico médico, para desenvolver imagens dos órgãos ou regiões internas do corpo humano, de modo a examinar seu comportamento.

Em instituições de ensino e pesquisa, os radionuclídeos são normalmente encontrados em todas suas formas possíveis, exigindo para cada caso a adoção de procedimentos de segurança compatíveis com os riscos envolvidos.

Na Tabela 3.15 estão relacionadas algumas aplicações dos radionuclídeos, em medicina, indústria e pesquisa, tanto sob a forma de fonte selada como de fonte não selada.

As fontes seladas, após período de uso em aplicações para as quais elas foram fabricadas, e os materiais residuais das atividades envolvendo o uso de fontes abertas são descartados como rejeitos radioativos. Apesar das quantidades geradas serem freqüentemente limitadas, em volume e atividade, é necessário implementar medidas para o gerenciamento seguro desses rejeitos (IAEA, 2005b). O conhecimento das características dos radionuclídeos presentes e as condições de sua utilização, além de possibilitarem um estudo aprofundado do risco que representam, é fundamental para a elaboração de instruções que orientem o seguro gerenciamento dos rejeitos.

Tabela 3.15 - Radionuclídeos em aplicações médicas, industriais e de pesquisa.

Nuclídeo	Forma de Aplicação	
	Fontes Seladas	Fontes Abertas
H-3 (12,3a)	-	Radioimunoensaio; movimentação de águas; pesquisa; artigos luminosos; válvulas eletrônicas.
C-14 (5.730a)	-	Radioimunoensaio; pesquisas biológicas.
F-18 (1,8h)	-	Diagnóstico clínico.
Na-24 (15,0h)	-	Diagnóstico clínico.
P-32 (14,3d)	Medidores de espessura.	Agricultura; pesquisa biológica; terapia clínica.
S-35 (87,4d)	-	Diagnóstico clínico; pesquisas biológicas.
Ar-41 (1,8h)	-	Testes de vazamento; movimento de gases.
Sc-46 (83,8d)	-	Movimento de sedimentos.
Co-57 (271,7d)	Fontes de aferição.	Pesquisas biológicas; radioimunoensaio.
Ga-67 (3,3d)	-	Diagnóstico clínico.
Co-60 (5,3a)	Radiografia industrial; medidores de nível, espessura e densidade; teleterapia; braquiterapia; esterilização; preservação de alimentos.	Pesquisa biológica; diagnóstico clínico.
Br-82 (35,3h)	-	Movimento de águas; testes de vazamento.
Kr-85 (10,7a)	Medidores de espessura.	Traçador gasoso.
Sr-90 (29,1a)	Medidores de espessura; aplicadores oftálmicos.	-
Tc-99m (6,0h)	-	Diagnóstico clínico; pesquisas biológicas.
Xe-133 (5,3d)	-	Diagnóstico clínico.
Cs-137 (30,0a)	Medidores de: densidade, nível e espessura; braquiterapia; aferição.	-
I-125 (60,1d)	-	Radioimunoensaio; terapia clínica; pesquisa.
I-131 (8,0d)	Braquiterapia.	Diagnóstico clínico; terapia; pesquisas.
Ir-192 (74,0d)	Radiografia industrial; braquiterapia.	-
Tl-201 (3,0d)	-	Diagnóstico clínico.
Po-210 (128,0d)	Eliminador de estática.	-
Cf-252 (2,6a)	Fontes de nêutrons	Estudos de ativação e outras pesquisas.
Ra-226 (1.600a), Pu-239 (24.100a) ou Am-241 (433,0a) +Be	Fontes de nêutrons; medidores de umidade.	Estudos de ativação e outras pesquisas.
Am-241 (433,0a)	Medidores de espessura; detectores de fumaça.	Pára-raios ainda instalados.

Fonte: XAVIER et al., 2003.

Os rejeitos procedentes de instalações radiativas, na forma de fonte aberta, são também conhecidos como rejeitos institucionais. A maioria dos rejeitos gerados são sólidos, constituídos de materiais compactáveis ou combustíveis, como plástico, papel e vestimentas de proteção, bem como de objetos e partes metálicas ou vidraria quebrada junto com equipamento danificado, componentes metálicos, filtros de ar, detritos e rejeitos diversos. Uma significativa proporção dos rejeitos gerados é constituída por líquidos de cintilação. O rejeito é caracterizado particularmente por uma composição extremamente heterogênea, compreendendo um largo espectro de materiais, contaminantes e atividades específicas. Frequentemente os rejeitos são enviados a outras instalações para tratamento e possível condicionamento, visando o armazenamento provisório e futura deposição (IAEA, 1983).

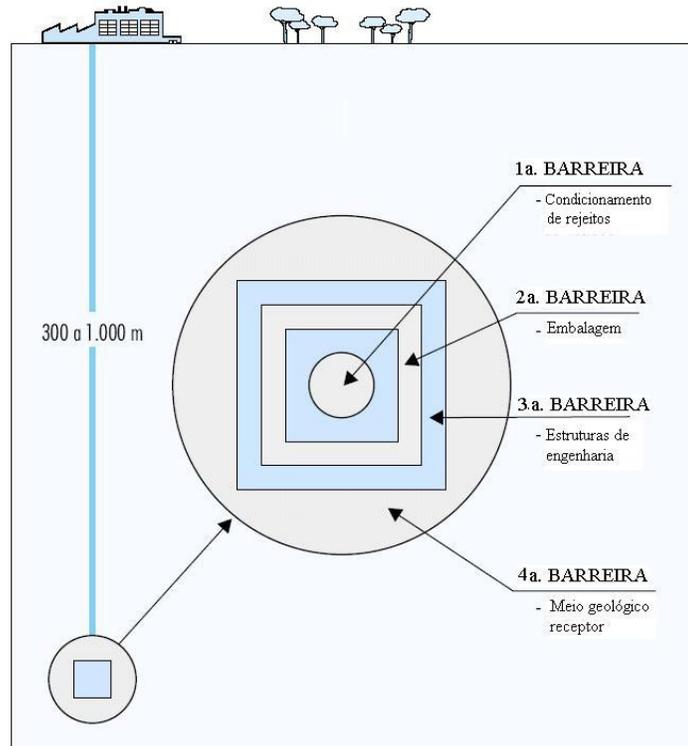
Cabe destacar que a simples irradiação de materiais por fontes radioativas não os torna radioativos. Para isso, seria necessária a irradiação dentro de reatores nucleares ou em aceleradores de partículas. De acordo com Xavier et al. (2003), quase todas as substâncias radioativas utilizadas nas instalações radiativas são produzidas artificialmente, a partir de substâncias não radioativas, em aceleradores de partículas ou, principalmente, em reatores nucleares.

3.6.2 Requisitos de segurança para a gerência de rejeitos radioativos

Há um consenso internacional a respeito dos princípios gerais para o gerenciamento dos rejeitos radioativos. A importância de se fazer um gerenciamento seguro, protegendo a saúde humana e o meio ambiente, contra os danos potenciais associados à radiação, e limitando quaisquer efeitos indevidos sobre as gerações futuras, tem sido reconhecida e existe considerável experiência neste campo (IAEA, 1995a e 1999).

A melhor garantia de proteção ambiental é alcançada através de um sistema integrado de gerência, incluindo as etapas de coleta, segregação, tratamento, condicionamento, armazenamento e transporte, seguido de deposição dos rejeitos com controle institucional, de acordo com as normas estabelecidas, e levando em conta fatores econômicos e sociais. Quando apropriado, o período de armazenamento pode ser prolongado, para aproveitar a redução de atividade pelo decaimento radioativo, que é natural, e a redução da geração de calor, facilitando assim as atividades subseqüentes de condicionamento, transporte e deposição.

Para a deposição segura, o conceito de barreiras múltiplas deve ser considerado no projeto do repositório, de forma a manter os rejeitos radioativos longe do ambiente do público, conforme esquematizado na Figura 3.27 (MADROÑERO et al., 2000).



Fonte: MADROÑERO, 2000.

Figura 3.27 - Conceito de barreiras múltiplas aplicado a repositórios.

O conceito de barreiras múltiplas consiste na disposição de uma série de barreiras, físicas e químicas, artificiais (matrizes de incorporação, paredes de concreto, argilas especiais, etc.) e naturais (formações geológicas diversas), entre os rejeitos radioativos e o ser humano, até que o processo de decaimento radioativo os torne praticamente idêntico aos materiais que ocorrem na natureza, sob o ponto de vista da radioatividade. O sistema de barreiras múltiplas de um repositório compreende: os produtos de rejeitos (rejeito imobilizado) e respectivas embalagens, que compõem os embalados de rejeitos; o material de enchimento, que circunda os embalados; as paredes do repositório; o sítio onde o repositório está instalado; e o ambiente circunvizinho. Esse sistema de barreiras é projetado

de acordo com a opção selecionada para a deposição e com os produtos de rejeito envolvidos (IAEA, 1985), (RAJ, 2006) e (MADROÑERO et al., 2000).

Considerando que os materiais sólidos têm menor mobilidade que os líquidos, a *primeira barreira ou “barreira química”* é conseguida pela imobilização do rejeito em uma matriz sólida, estável e duradoura, que seja quimicamente inerte. Como esta barreira, ou seja, o produto de rejeito, tem por função facilitar a saída do possível calor residual e imobilizar os radionuclídeos presentes nos rejeitos radioativos, suas principais características devem ser: adequada condutividade calorífica e baixa taxa de lixiviação.

A embalagem ou contêiner, onde são confinados os rejeitos imobilizados, ou seja, o produto de rejeito, para evitar seu contato com os agentes exteriores e sua possível dispersão, forma a *segunda barreira ou “barreira física”*. O projeto das embalagens e contêineres é feito de acordo com o tipo de rejeito, sendo geralmente utilizados tambores metálicos padronizados para os rejeitos de baixa e média atividade e recipientes metálicos especiais, construídos com metais de grande resistência à corrosão e fechados com solda, para os rejeitos de alta atividade. As embalagens e os contêineres, como meios de confinamento, simplificam o manuseio e o transporte dos rejeitos até a sua colocação no armazenamento. Uma vez armazenados, a função desta barreira é, no caso de infiltração através das barreiras de engenharia (paredes do repositório e material de enchimento), retardar a penetração da água até os rejeitos. Com isso, as embalagens e os contêineres devem ser construídos com materiais que possuam uma boa resistência à corrosão, além de terem uma elevada condutividade calorífica para permitir a liberação do calor residual.

A *terceira barreira ou “barreira de engenharia”* é formada pela instalação onde são colocados os rejeitos, cujo projeto inclui estruturas, blindagens e sistemas concebidos para o maior proveito do objetivo proposto para a instalação, ou seja, para o repositório, e em função da categoria dos rejeitos a armazenar. As barreiras de engenharia impedem ou limitam a penetração da água até os rejeitos, considerada a principal via de transferência dos radionuclídeos. Sua segunda função é contribuir para a retenção dos radionuclídeos, limitando o seu escape e retardando o início da lixiviação dos mesmos. Assim, as barreiras de engenharia devem apresentar, junto com as embalagens, um bom confinamento da radioatividade durante o tempo necessário.

A quarta barreira ou “barreira geológica” é constituída pela rocha hospedeira da instalação onde os rejeitos são dispostos. Esta barreira geológica deve ser altamente estável e impermeável. Seu papel é deter ou retardar o acesso dos radionuclídeos ao meio ambiente no caso de falha das barreiras anteriores. As formações geológicas favoráveis são caracterizadas por uma alta capacidade de confinamento, expressa por suas condições hidrogeológicas e geoquímicas e por uma adequada estabilidade tectônica e geomecânica.

Os princípios básicos vigentes, que governam a proteção radiológica, determinam que as doses resultantes no meio ambiente devidas à liberação de materiais decorrentes de atividades humanas devam ser limitadas àquelas que (SOUZA, 1998):

- sejam justificadas por um benefício líquido de caráter global. No caso dos rejeitos, o benefício é considerado no contexto do ciclo completo da produção de energia nucleoeleétrica e de outras aplicações das substâncias radioativas. Este princípio é conhecido como “princípio da justificação”;
- otimizem a proteção de acordo com o princípio de manter as exposições tão reduzidas quanto razoavelmente exequíveis, conhecido como princípio ALARA, “As Low As Reasonably Achievable”, sempre tomando em consideração o conjunto de fatores econômicos e sociais. Para os rejeitos, isto se aplica principalmente à escolha das opções, por exemplo, entre deposição imediata ou deposição futura, após período de armazenamento intermediário. Este é conhecido como “princípio da otimização”; e
- mantenham os riscos para os indivíduos do público e trabalhadores dentro de níveis aceitáveis, fixados pela norma CNEN-NN-3.01 (CNEN, 2005a). Este é conhecido como “princípio da limitação da dose individual”.

De modo a assegurar a obediência a estes princípios, sistemas de notificação, registro e licenciamento são utilizados segundo regulamentação e normas estabelecidas por instituições internacionais e nacionais, objetivando a segurança geral mais adequada para o presente e futuro.

Os princípios que regem o gerenciamento dos rejeitos radioativos não se limitam à proteção radiológica e à proteção do meio ambiente e dos recursos naturais. Questões éticas, sociais e econômicas são também consideradas. Os princípios apresentados na

Tabela 3.16, estabelecidos por consenso internacional (IAEA, 1995a), devem ser adotados visando ao gerenciamento seguro dos rejeitos radioativos de uma instalação. Esses princípios também se aplicam ao gerenciamento dos outros resíduos perigosos, sendo necessário induzir mudanças de comportamento tanto nas forças produtivas como nos consumidores para o seu cumprimento.

Tabela 3.16 - Princípios fundamentais da gerência de rejeitos.

Princípio	Enunciado
<i>Proteção da saúde humana</i>	Os rejeitos devem ser gerenciados de forma a assegurar um nível aceitável de proteção à saúde humana.
<i>Proteção do meio ambiente</i>	Os rejeitos devem ser gerenciados de forma a assegurar um nível aceitável de proteção ao meio ambiente.
<i>Proteção além das fronteiras nacionais</i>	Os rejeitos devem ser gerenciados de forma a assegurar que os possíveis efeitos da radiação à saúde humana e ao meio ambiente, além das fronteiras nacionais, sejam considerados.
<i>Proteção das gerações futuras</i>	Os rejeitos devem ser gerenciados de forma que os impactos previsíveis sobre a saúde das gerações futuras não sejam maiores que os níveis considerados hoje aceitáveis.
<i>Responsabilidades com as gerações futuras</i>	Os rejeitos devem ser gerenciados de forma a não acarretar ônus indevidos às gerações futuras.
<i>Estrutura nacional legal</i>	Os rejeitos devem ser gerenciados dentro de uma estrutura legal nacional apropriada, incluindo a definição clara de responsabilidades e a provisão de recursos financeiros adequados.
<i>Controle da geração de rejeitos</i>	A geração de rejeitos deve ser mantida a níveis mínimos praticáveis em termos de nocividade e de volume.
<i>Interdependência entre as etapas da gerência de rejeitos</i>	Devem ser consideradas as interdependências existentes entre todas as etapas envolvidas na gerência dos rejeitos, desde a sua geração, em conformidade com a legislação vigente.

Fonte: IAEA, 1995a.

As estratégias nacionais para o gerenciamento dos rejeitos diferem consideravelmente de país para país (IAEA, 1995b). Devem ser estabelecidas pelas autoridades competentes, com base nas atividades nucleares de cada país, como programa nuclear, aplicações nucleares em diversas áreas, infra-estrutura, capacitação, etc. De acordo com SOUZA (1998), a estratégia a ser adotada é um reflexo natural da disponibilidade de vários métodos para se atingir os mesmos objetivos e da busca pelo atendimento das recomendações internacionais, mas nunca de uma incerteza quanto à possibilidade de atingi-los. SOUZA (1998) ressalta que um determinado nível de segurança pode ser

alcançado de diferentes modos e a escolha do mais apropriado, em cada caso, depende da avaliação criteriosa das opções técnicas e econômicas disponíveis.

3.6.3 Estratégia para a gerência de rejeitos radioativos

Apesar dos rejeitos radioativos constituírem em apenas uma pequena parcela dos resíduos totais gerados pelas atividades humanas, menos de 0,05 % em volume ou peso, faz-se necessário implementar o seu gerenciamento integrado, com vistas a assegurar a proteção da saúde humana e do meio ambiente contra os possíveis danos associados à radiação ionizante desses rejeitos e reduzir os custos que possam advir de sua geração.

As características gerais dos rejeitos radioativos que determinam quais os efeitos que podem causar e como devem ser gerenciados são:

- o estado físico (gasoso, líquido e sólido);
- o período em que a radioatividade ainda vai persistir (presença de radionuclídeos de meia-vida curta, média ou longa);
- a concentração dos radionuclídeos (alta, média ou baixa atividade);
- a característica da radiação emitida pelos radionuclídeos presentes (alfa, beta ou gama); e
- a geração ou não de calor residual.

O tempo de decaimento do radionuclídeo determina por quanto tempo o rejeito que o contenha deve ser gerenciado. A concentração e o tipo dos radionuclídeos presentes e o fato de haver ou não geração de calor determinam como os rejeitos deverão ser tratados, condicionados e a quantidade de blindagem (proteção física contra a radiação) necessária, se for esse o caso. Todas essas considerações, em conjunto, determinam quais os melhores meios de deposição.

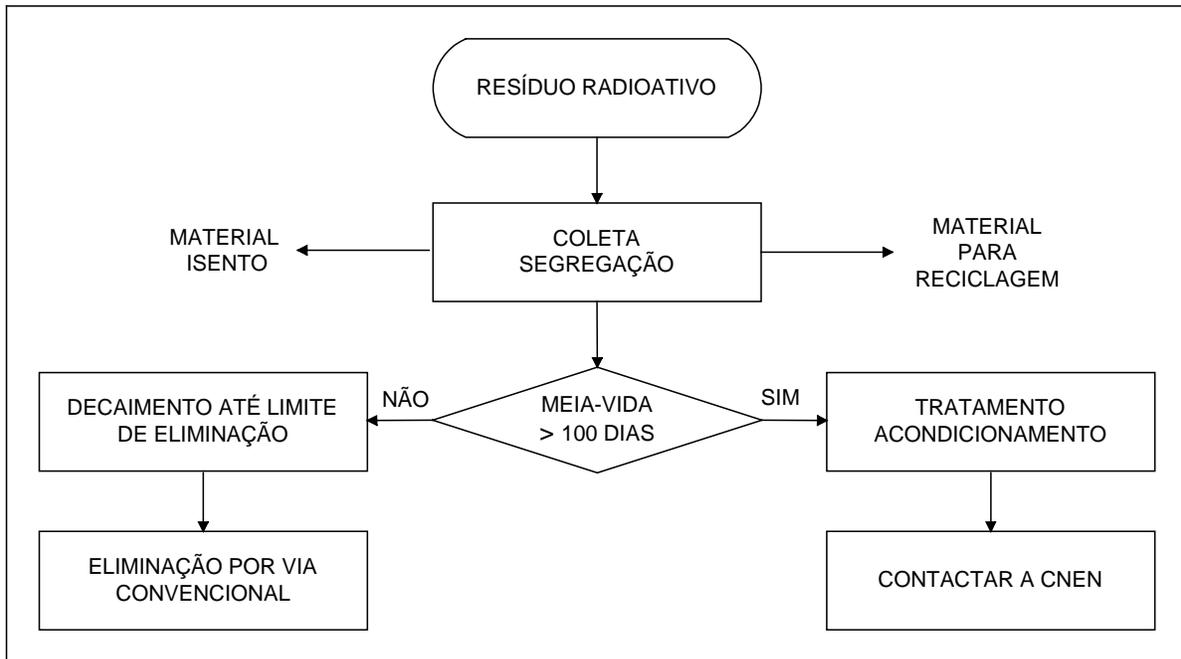
Uma grande parte dos rejeitos radioativos gerados no ciclo do combustível apresenta natureza semelhante e níveis de radioatividade não muito superiores aos encontrados na natureza. Uma pequena parcela é altamente radioativa, gerando quantidade apreciável de calor, o que exige tratamento e gerenciamento mais rigorosos. Considerando essas particularidades, a estratégia adotada para os rejeitos do ciclo do combustível é garantir a realização das etapas anteriores à deposição, com segurança, pela gerência local. Os rejeitos

são tratados, condicionados, armazenados em instalações exclusivas para este fim e mantidos, sob controle, até que se defina o local para o seguro confinamento desses materiais.

Em certas circunstâncias, algumas etapas da gerência de rejeitos procedentes de IIRR, consideradas pequenos geradores de rejeitos radioativos, são realizadas em instalações centralizadas (IAEA, 1994b). No Brasil, os institutos da CNEN recebem fontes fora de uso, na forma selada, descartadas pelos diversos setores usuários de radioisótopos. No entanto, no mínimo, as etapas de segregação na origem, caracterização básica e de armazenamento inicial devem ser realizadas na própria instalação geradora do rejeito (SILVA & CUSSIOL, 1999) e (SILVA & MIAW, 2001). Esta situação, aplicável ao gerenciamento de rejeitos radioativos de estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, está ilustrada na Figura 3.28, na qual estão indicadas as possíveis rotas para os rejeitos radioativos, quais sejam:

- armazenamento dos rejeitos radioativos de meia-vida muito curta (por exemplo, meia-vida inferior a 100 dias), para decaimento e eliminação pelas vias convencionais (sistema de coleta de lixo urbano, esgotos sanitários ou atmosfera), caso sejam classificados como resíduos comuns; e
- entrega dos rejeitos radioativos de meia-vida mais longa (por exemplo, meia-vida superior a 100 dias) aos institutos da CNEN ou a empresas autorizadas, para tratamento e futura deposição.

Os rejeitos de meia-vida muito curta (<100 dias) devem ser armazenados em local adequado e com segurança até que a atividade decaia ao nível dos limites de eliminação, autorizados ou estabelecidos na norma CNEN-NE-6.05, para que possam ser gerenciados como os outros resíduos não radioativos da instalação. Os rejeitos que não podem ser eliminados pelas vias convencionais devem ser acondicionados em embalagens que estejam de acordo com os requisitos de integridade para transporte e armazenamento por período longo. As formas de tratamento e de destinação final, quaisquer que sejam elas, devem estar explicitadas no Plano de Proteção Radiológica (PPR) da instalação, para efeito de licenciamento, salvo as instalações isentas.

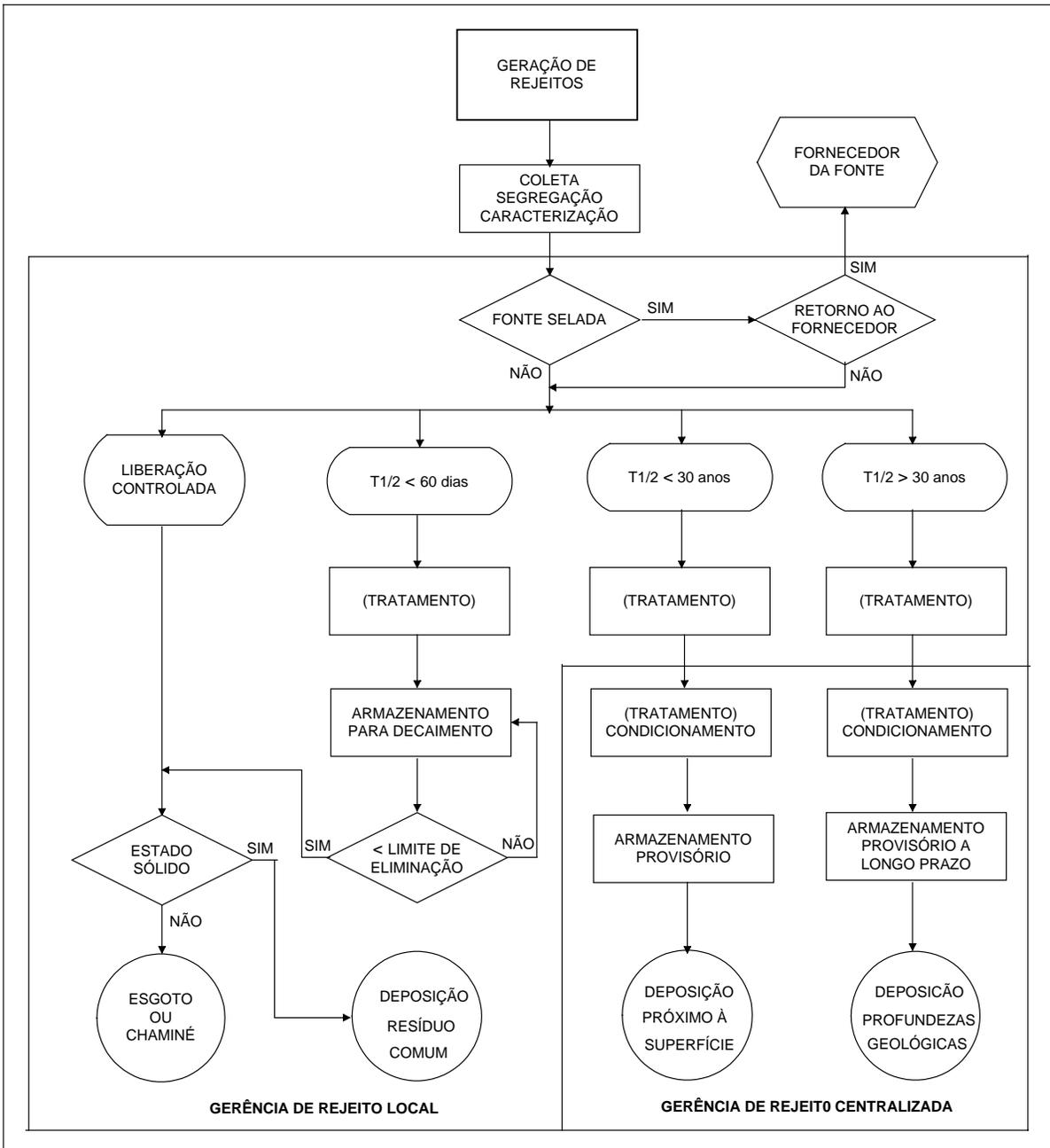


Fonte: XAVIER et al., 1998.

Figura 3.28 - Fluxograma básico de gerência de rejeitos radioativos de IIRR.

É necessário que os responsáveis pelos rejeitos, nas respectivas IIRR geradoras, mantenham um contato prévio com os Institutos da CNEN, sempre que houver possibilidade de geração de rejeitos radioativos passíveis de serem transferidos a essa instituição. No caso de geração de rejeitos na forma de fontes abertas, o contato deverá ser anterior à geração do rejeito, o que garantirá o cumprimento de critérios de aceitação no que tange, principalmente, aos requisitos de segregação, acondicionamento, caracterização, entre outros.

Um outro exemplo de estratégia de gerência de rejeitos radioativos, sugerido pela AIEA (IAEA, 1998a), aplicável a rejeitos de centros de pesquisas nucleares, é mostrado esquematicamente na Figura 3.29.



Fonte: Adaptado de IAEA, 1998a.

Figura 3.29 - Exemplo de estratégia para a gestão de resíduos radioativos.

Estratégias para resíduos de alto nível de radiação dependem da decisão do país em se reprocessar ou armazenar o elemento combustível irradiado (ECI). De acordo com SOUZA (1998), após um período pré-estabelecido, os elementos combustíveis irradiados são removidos do reator e armazenados temporariamente seguindo uma das opções:

- reprocessamento após determinado tempo de resfriamento. O rejeito líquido gerado, de alto nível de radiação, contendo a maioria dos produtos de fissão e uma pequena quantidade de actínídeos, após permanecer armazenado por alguns anos em tanques de refrigeração, é concentrado e imobilizado em uma matriz estável (por exemplo, vidro boro-silicato), para posterior deposição em formação geológica profunda; e
- armazenamento, a longo prazo, ou deposição direta do ECI, após período de estocagem para que a sua radioatividade e calor diminuam de maneira a simplificar o manuseio posterior. O armazenamento pode ser por via úmida (em piscinas dentro ou fora do sítio do reator) ou por via seca (cascos ou silos). A primeira alternativa é uma tecnologia comprovada e a segunda está em desenvolvimento de forma bastante promissora. A principal diferença entre as duas técnicas é que a última tem caráter modular e a instalação poderá ser expandida, se necessário.

Independente da opção adotada, há um consenso, no meio científico, de que a deposição em formação geológica profunda, utilizando barreiras naturais e de engenharia, é o método mais eficiente para isolar este tipo de rejeito (HIRUSAWA et al., 2004).

3.6.4 Segregação, acondicionamento inicial e identificação

A etapa de segregação consiste na separação dos rejeitos, de acordo com suas características físicas, químicas, biológicas e radiológicas, de modo a minimizar o volume de rejeitos e otimizar o gerenciamento. A segregação realizada na origem e no momento da geração, juntamente com a adoção de procedimentos adequados para a classificação dos rejeitos, constitui-se em um aspecto extremamente importante do gerenciamento (IAEA, 1992b).

O objetivo geral da segregação de rejeitos é minimizar o volume, o custo, a complexidade e os riscos associados às etapas subsequentes do seu gerenciamento (IAEA, 2005b). Entre os seus objetivos específicos estão:

- minimizar a geração de rejeitos a serem tratados, por impedir que os resíduos perigosos ou os rejeitos radioativos venham a contaminar os outros resíduos;
- reduzir custos de armazenamento, tratamento e disposição final;
- evitar exposições desnecessárias do trabalhador;

- evitar a mistura de resíduos incompatíveis;
- aumentar o potencial de reciclagem e reaproveitamento, pois melhora a qualidade dos rejeitos;
- facilitar a caracterização dos rejeitos, pois rejeitos de origem e composição desconhecidas necessitam de caracterização mais detalhada e, conseqüentemente, mais complexa e onerosa;
- selecionar a técnica mais viável de tratamento e destinação final; e
- facilitar o manuseio, o tratamento e a disposição final.

Para se implementar um programa de segregação, é importante que se conheça, qualitativamente e com antecipação, os diversos fluxos de rejeito de cada processo produtivo, como também, o mercado quanto às possibilidades de reaproveitamento e reciclagem dos rejeitos, aos processos de tratamento disponíveis e às possíveis vias de eliminação e disposição final.

Os rejeitos devem ser segregados, na origem, em diferentes correntes de rejeito, de acordo com a estratégia de gerenciamento estabelecida. A segregação pode ser baseada nas seguintes características (IAEA, 1998a):

- radioativos e não radioativos;
- conveniência de se adotar o armazenamento para decaimento (por exemplo, presença de radionuclídeos de meia-vida inferior a 100 dias);
- tipo de radionuclídeo e concentração de atividade;
- forma física e química: rejeitos líquidos (aquosos e orgânicos) e rejeitos sólidos (combustível / não combustível ou compactável / não compactável);
- fontes seladas fora de uso; e
- rejeitos mistos contendo outros materiais perigosos, como materiais tóxicos, patogênicos, etc.

Caso sejam utilizados serviços de instalações centralizadas de gerência de rejeitos, a segregação deve ser realizada em conformidade com os requisitos da instalação receptora dos rejeitos (IAEA, 1994b).

Outro fator a ser considerado na segregação dos rejeitos é a compatibilidade química entre eles. Uma vez segregados, os rejeitos precisam ser adequadamente acondicionados de acordo com as suas características, bem como com as técnicas a serem adotadas para tratamento, armazenamento e disposição final, e o modal de transporte disponível.

A etapa de acondicionamento consiste na preparação do rejeito para o manuseio, transporte, armazenamento e deposição seguros, por meio de sua colocação em embalagens adequadas. Entre os seus objetivos específicos estão (SILVA & CUSSIOL, 1999):

- controlar os riscos para a saúde, minimizando a possibilidade de contaminação e de exposição dos trabalhadores, durante o manuseio dos rejeitos;
- manter a segregação por tipo de rejeito, para atender aos processos de tratamento e de deposição exigidos ou garantir a qualidade do rejeito com vistas à reciclagem ou reaproveitamento;
- facilitar e garantir segurança durante as etapas de transporte, armazenamento e deposição; e
- viabilizar a identificação e a rotulagem dos rejeitos.

As características físicas, químicas e de periculosidade do rejeito são determinantes na escolha do material da embalagem. Incompatibilidade química entre embalagem e conteúdo pode provocar (CARVALHOSA, 2002):

- vazamentos, devidos a deformações e fragilização da estrutura da embalagem, em consequência da reatividade entre os seus componentes;
- risco de incêndio, devido à volatilização de compostos inflamáveis; ou
- contaminação, no caso de substâncias tóxicas ou patogênicas.

É recomendado na etapa de acondicionamento, que sejam observadas as exigências de compatibilidade química entre os próprios rejeitos, assim como entre os rejeitos e os materiais das embalagens. Em anexo, são apresentadas listagens contendo: produtos quimicamente incompatíveis (Anexo 3); produtos que devem ser acondicionados separadamente (Anexo 4); e algumas substâncias que reagem com embalagens de PEAD - Polietileno de Alta Densidade (Anexo 5), conforme ANVISA (2004).

Para o acondicionamento de rejeitos radioativos são utilizadas, entre outras embalagens, sacos plásticos, bombonas de polietileno, bombonas de aço inox, bombonas de vidro, tambores metálicos e tambores de polietileno. Usualmente, as fontes seladas encontram-se acondicionadas em suas embalagens originais ou em embalagens utilizadas para o seu transporte até o local de armazenamento.

A etapa de identificação consiste no conjunto de medidas que permite o reconhecimento dos rejeitos contidos nos embalados, fornecendo informações essenciais ao seu correto gerenciamento. A adoção de sistemas bem estruturados de identificação dos embalados e de manutenção dos registros, através da utilização de um código de identificação único por embalado e da implementação de ferramentas manuais ou computacionais para controle dos dados dos rejeitos, respectivamente, permite o controle administrativo dos rejeitos, proporcionando tomadas de decisão mais acertadas com relação às etapas subsequentes do gerenciamento, bem como o rastreamento dos rejeitos desde a sua origem até a disposição final.

As embalagens a serem utilizadas no acondicionamento de rejeitos radioativos devem estar devidamente sinalizadas com o símbolo internacional de presença de radiação ionizante, rotuladas como REJEITO RADIOATIVO e com indicação da categoria de rejeito para as quais foram preparadas (SILVA & CUSSIOL, 1999). Além disso, é comum utilizar-se de uma etiqueta de identificação do resíduo, fixada em dispositivo preso à embalagem, contendo o símbolo internacional de presença de radiação, código único de identificação do embalado (nº de identificação) e outras informações relevantes, conforme exemplo apresentado na Figura 3.30.

<p><u>CUIDADO!</u></p>  <p><u>REJEITO</u> <u>RADIOATIVO</u></p>	<p>Nº de identificação:</p> <p>Setor gerador:</p> <p>Quantidade: Peso (kg) :</p> <p style="padding-left: 100px;">Volume (l) : pH</p> <p>Conteúdo/Composição Química:</p> <p>.....</p> <p>Principais radionuclídeos:</p> <p>.....</p> <p>Atividade(Bq): <input type="checkbox"/> Medida <input type="checkbox"/> Estimada</p> <p>oc.....β, γ.....</p> <p>Taxa de exposição: (mRh^{-1})</p> <p>ao contato..... a 1m:</p> <p>Data de monitoração: ____/____/____</p> <p>Resp. monitoração/SP:</p> <p>Data de recebimento: ____/____/____</p> <p>Resp. pelo recebimento/CT3:</p> <p>Observações</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
(frente)	(verso)

Figura 3.30 - Exemplo de etiqueta de identificação de rejeito radioativo.

Vários documentos da AIEA apresentam recomendações aplicáveis, principalmente, a pequenos centros de pesquisa e a usuários de radioisótopos, quanto ao tipo de embalagem a ser utilizada para o acondicionamento seguro de rejeitos radioativos, as quais são específicas a diferentes tipos de rejeitos (IAEA, 1992a; 1992c; 1992d; 1994c). Instruções para as etapas de segregação, acondicionamento inicial e identificação, aplicáveis principalmente a rejeitos oriundos de estabelecimentos de saúde, são encontradas nas publicações (SILVA & CUSSIOL, 1999) e (SILVA & MIAW, 2001).

3.6.5 Caracterização inicial e classificação dos rejeitos

Conhecer as características dos rejeitos é fator fundamental para se avaliar opções de tratamento, reciclagem, recuperação de energia e disposição final. A etapa de caracterização inicial consiste na determinação qualitativa e quantitativa das propriedades

físicas, químicas, biológicas e radiológicas dos rejeitos gerados e na sua quantificação (volume e peso) e tem por objetivos:

- identificar os rejeitos em cada setor da instalação;
- levantar as quantidades geradas;
- adotar a quantidade gerada de rejeito como parâmetro para o dimensionamento das embalagens para o acondicionamento e do local para o armazenamento;
- definir o destino dos rejeitos;
- definir os requisitos de segurança para as etapas de subseqüentes da gerência; e
- definir os processos e metodologias a serem adotados no tratamento dos rejeitos.

Os parâmetros mais relevantes a serem considerados nesta etapa são:

- tipo, quantidade e origem dos rejeitos (identificação da instalação e operação geradora; forma física, volume e massa de rejeito gerado; data; responsável);
- características radiológicas (radionuclídeos, meia-vida, atividade, taxa de exposição, tempo necessário para o decaimento);
- características físicas e químicas (sólidos compactáveis / não compactáveis, solução líquida orgânica / aquosa, composição química, objetos perfurocortantes, combustibilidade, reatividade, inflamabilidade); e
- características biológicas (putrescibilidade, patogenicidade).

A caracterização de um rejeito é muitas vezes bastante difícil, principalmente, pelas limitações técnicas dos laboratórios. Daí a importância de se conhecer a origem dos rejeitos e os processos pelos quais eles foram gerados, possibilitando inferir a composição do rejeito sem gastos adicionais com análises específicas. Na Tabela 3.17, são mostrados procedimentos simples que auxiliam na identificação de algumas características de resíduos químicos inorgânicos (caracterização qualitativa), os quais estão detalhados em CDTN (2004).

Tabela 3.17 - Procedimentos para identificação de características dos resíduos (*).

Teste	Procedimento
Reatividade com água	Adicione 1 (uma) gota de água e observe se há formação de chama, geração de gás ou qualquer outra reação violenta.
Presença de cianetos	Adicione 1 (uma) gota de cloroamina-T e 1 (uma) gota de ácido barbitúrico / piridina em 3 (três) gotas de resíduo. A cor vermelha indica teste positivo.
Presença de sulfetos	Na amostra acidulada com HCl, o papel embebido em acetato de chumbo fica enegrecido quando na presença de sulfetos.
pH	Use papel indicador ou peagâmetro.
Resíduo oxidante	A oxidação de um sal de Mn(II), da cor rosa claro para uma coloração escura, indica resíduo oxidante.
Resíduo redutor	Observa-se a possível descoloração de um papel umedecido em azul de metileno ou 2,6-dicloroindofenol.
Inflamabilidade	Enfie um palito de cerâmica no resíduo. Deixe escorrer o excesso e coloque-o na chama.
Presença de halogênios	Coloque um fio de cobre limpo e previamente aquecido ao rubro no resíduo. Leve à chama e observe a coloração: o verde indica a presença de halogênios.
Solubilidade em água	Após o ensaio de reatividade, a solubilidade pode ser facilmente avaliada.

Fonte: CDTN, 2002a.

(* Resíduos de laboratório.

Para a classificação dos resíduos sólidos industriais, um dos pontos básicos é o levantamento industrial visando à identificação das operações geradoras e a avaliação das quantidades geradas e de sua composição aproximada. A questão mais complexa é reconhecer os contaminantes presentes, o que exige um bom conhecimento das características das matérias-primas e dos produtos finais, envolvidos em cada operação geradora. As seguintes atividades devem ser realizadas:

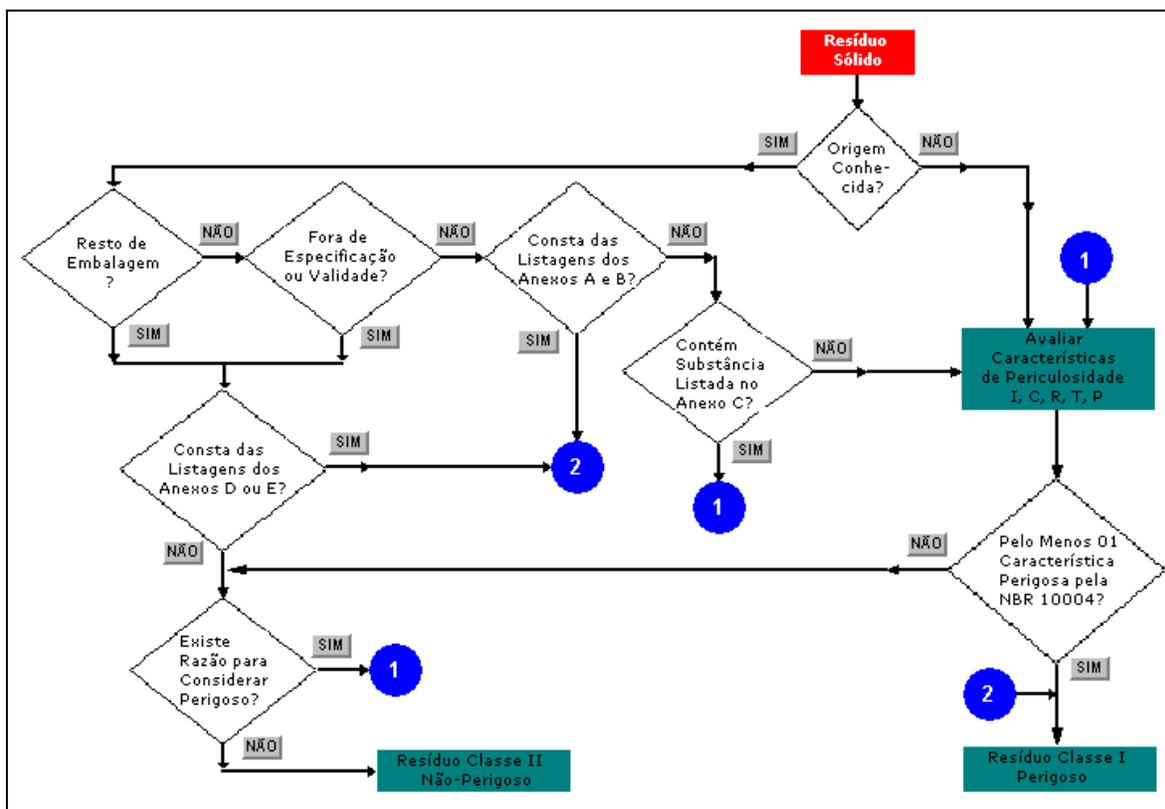
- elaboração de um fluxograma do processamento industrial ressaltando as operações geradoras dos resíduos;
- descrição dos resíduos gerados no fluxograma;
- estimativa da quantidade de resíduo, em peso, com base nas informações obtidas junto ao pessoal de operação; e
- estimativa da composição do resíduo, considerando as matérias-primas e os produtos existentes na operação, bem como as características intrínsecas do processo unitário. Nesta fase, devem ser consideradas, prioritariamente, as

substâncias que conferem periculosidade a um resíduo, conforme relacionadas na listagem apresentada no Anexo C, da norma NBR 10.004. Deve ser observado que a característica intrínseca do processo de geração de resíduos é a que o define. Por exemplo, em uma filtração, a característica intrínseca é a presença de uma massa de insolúveis; em uma destilação, um fundo de coluna; etc.

Caso seja necessária a realização de análises químicas específicas para a caracterização, a amostragem do resíduo será a etapa crítica do processo de classificação. A CETESB faz as seguintes recomendações práticas para esta etapa, que deverá ser realizada em conformidade com a norma NBR 10.007/04:

- não se deve caracterizar um resíduo com menos de 04 (quatro) amostras;
- deve-se evitar, ao máximo, a amostragem em montes ao ar livre, pois nestes o resíduo já sofreu lixiviação;
- por motivos semelhantes, o resíduo deve ser amostrado no mais curto espaço de tempo, após sua geração;
- caso seja necessário amostrar montes, não se deve coletar amostras da superfície (escavar aproximadamente 15 cm); e
- deve-se sempre procurar obter amostras compostas, representativas do resíduo a ser caracterizado.

Na Figura 3.31 é mostrada uma sistemática para a classificação de resíduos sólidos, quanto a periculosidade, em atendimento à norma NBR 10.004. As listagens citadas no fluxograma apresentado compõem os anexos dessa norma.



Fonte: Adaptado de CETESB, 2003.

As listagens dos Anexos A, B, C, D, E e F são anexos da norma NBR 10.004.

Figura 3.31 - Fluxograma para classificação de resíduos sólidos segundo NBR 10.004.

Os resíduos procedentes de instalações onde há manuseio de fontes radioativas abertas podem apresentar níveis de atividade acima dos limites de isenção estabelecidos pela CNEN (1998), sendo então denominados rejeitos radioativos (CNEN, 1985).

Usualmente, a classificação dos resíduos, como rejeito radioativo ou não radioativo, é feita baseando-se na avaliação de resultados de contagens alfa total e beta total, realizadas em amostras representativas dos resíduos, em seus volumes e, quando necessário, em análises de radionuclídeos específicos (SILVA & SILVA, 2001).

Para os resíduos sólidos compactáveis, esta classificação pode ser realizada através de monitorações da radiação gama na superfície dos embalados, que é complementada, quando necessário, pela triagem dos resíduos através de monitorações da radiação alfa e

beta. É usual considerar como rejeitos radioativos, o conteúdo dos embalados com taxa de exposição três vezes acima da radiação de fundo; sendo triados, através da monitoração da radiação alfa e beta, aqueles embalados com taxa de exposição abaixo de três vezes a radiação de fundo (CDTN, 1993) e (SILVA & CUSSIOL, 1999).

Na Figura 3.32 é apresentado um fluxograma para a classificação de resíduos de IRR como rejeitos radioativos ou não radioativos, em atendimento às normas da CNEN.

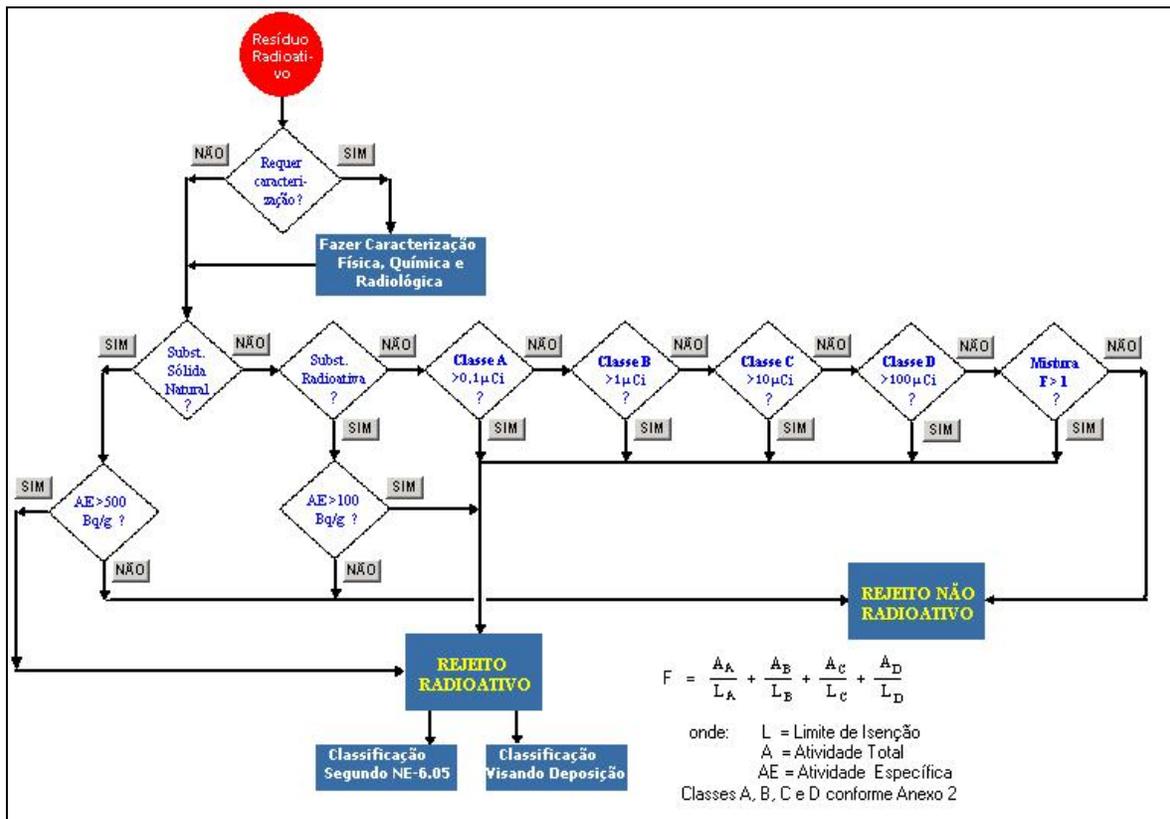
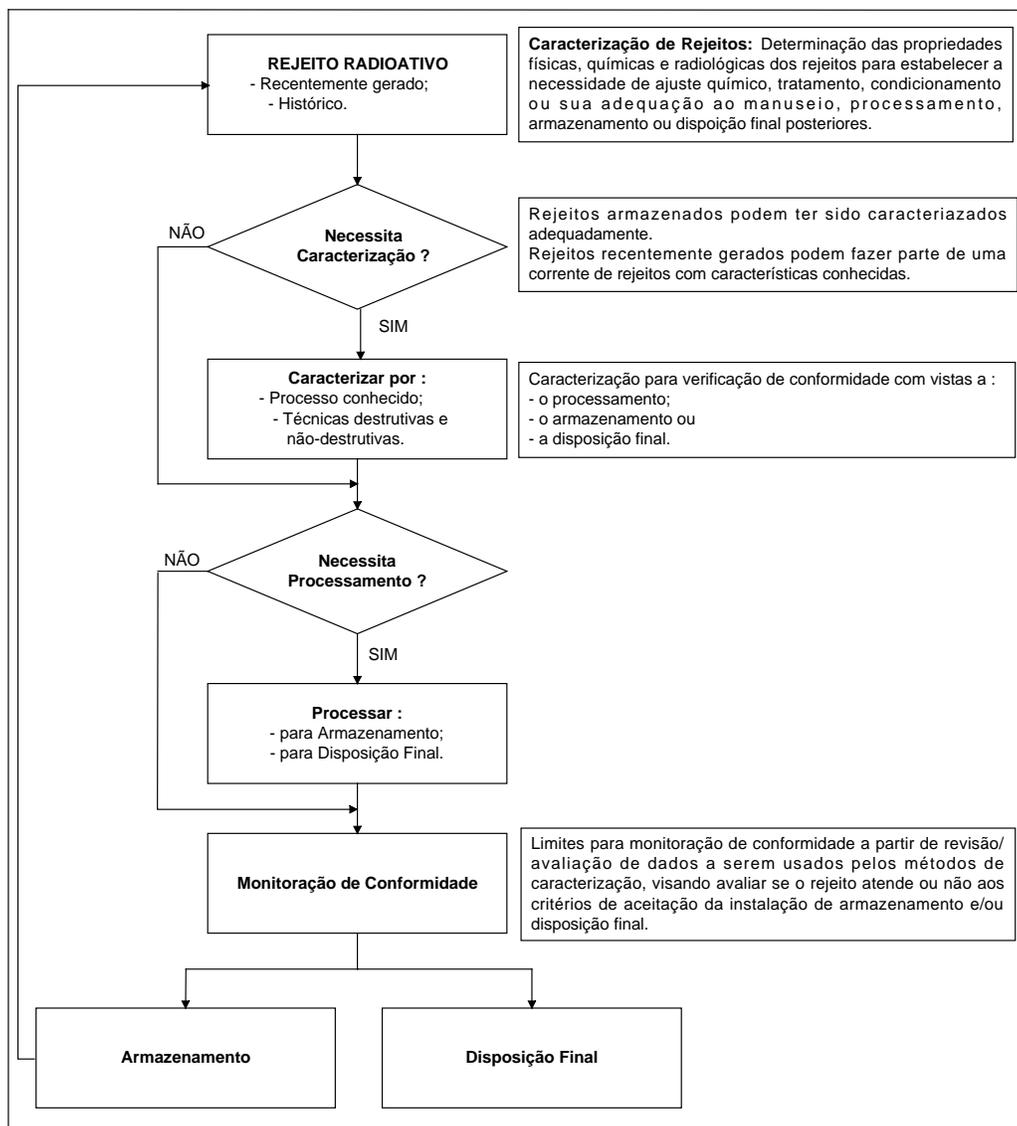


Figura 3.32 - Fluxograma para classificação de resíduos como rejeitos radioativos.

Os rejeitos radioativos com níveis de radiação inferiores aos limites de eliminação, estabelecidos pela CNEN (1985), ou inferiores a limites autorizados específicos a uma determinada instalação, podem ser eliminados diretamente pelas vias convencionais.

De acordo com a IAEA (2005a), no passado, a caracterização de rejeitos radioativos era um processo do tipo “front-end-driven”: as organizações detentoras dos rejeitos determinavam a extensão para a qual os rejeitos deveriam ser caracterizados. No entanto, a partir das lições aprendidas ao longo dos anos em que essa abordagem foi adotada, o processo de caracterização passou a ser do tipo “back-end-driven”, i.e., um processo no qual as organizações receptoras dos rejeitos, operadores de instalações de armazenamento, tratamento e deposição, determinam qual deve ser a extensão da caracterização dos rejeitos a ser providenciada pelos seus detentores. Na Figura 3.33, é apresentada uma visão geral de uma estratégia para a caracterização de rejeitos radioativos.



Fonte: IAEA, 2005a.

Figura 3.33 - Estratégia geral para a caracterização de rejeitos radioativos.

Duas abordagens podem ser adotadas para a caracterização dos rejeitos: caracterizar todo o rejeito de uma determinada corrente ou caracterizar apenas uma amostra representativa daquela corrente de rejeito (IAEA, 2005a). O primeiro caso é utilizado, tipicamente, quando existe um método não destrutivo eficaz para a caracterização dos rejeitos. Por exemplo, a varredura gama, por nêutrons ou por raios X de todas os embalados de uma determinada corrente de rejeitos. Um outro exemplo seria a aplicação de métodos destrutivos de caracterização, mais onerosos, aplicáveis a rejeitos gerados em quantidades relativamente pequenas.

Na segunda abordagem, considerações de custo e de segurança orientam a caracterização dos rejeitos através de uma amostra representativa, como é o caso típico aplicado aos rejeitos que são gerados rotineiramente na operação de uma usina nuclear. Neste caso, o desafio técnico principal é demonstrar que a amostra caracterizada é representativa de todo o rejeito em questão. Rejeitos heterogêneos, como materiais contaminados, luvas, etc, são mais difíceis de amostrar. Algumas técnicas não destrutivas, como a varredura gama segmentada, são freqüentemente usadas para superar problemas relacionados à heterogeneidade dos rejeitos.

3.6.6 Transferências internas e armazenamento inicial

A etapa de transferência interna consiste no recolhimento dos rejeitos nos pontos de geração e a sua transferência até o local de armazenamento inicial. O recolhimento tem como objetivos principais (SILVA & CUSSIOL, 1999):

- evitar acúmulo de material radioativo nos locais de trabalho;
- prevenir acidentes/incidentes; e
- minimizar a exposição de trabalhadores.

Para o recolhimento são utilizados sistemas apropriados de contenção, blindados, sinalizados e fechados para evitar a dispersão do material radioativo em casos de incidentes (SEPR, 1996). Os resíduos são normalmente transferidos dos locais de geração ao armazenamento inicial, utilizando-se as mesmas embalagens nas quais eles foram inicialmente acondicionados e, quando necessário, dispostas dentro de contenções ou blindagens, como caixas de PVC, de acrílico ou de plástico contendo chumbo.

Os embalados contendo rejeitos condicionados, a serem transferidos para o local de armazenamento, são previamente identificados e monitorados. Para a transferência, devem ser observadas as seguintes condições:

- os rejeitos devem estar devidamente segregados, identificados e sinalizados;
- os rejeitos líquidos devem ter suas atividades estimadas ou determinadas, em Bq/mL ou cpm/mL;
- os riscos adicionais (químico ou biológico) dos resíduos devem ser notificados; e
- os registros devem ser mantidos sobre os resíduos transferidos.

Todos os dados referentes a cada embalado (rejeito + embalagem) devem ser registrados em um formulário próprio, utilizado pelos setores geradores para notificar a presença de rejeitos em suas instalações (SILVA, 2003).

A etapa de armazenamento inicial consiste na colocação do rejeito radioativo, devidamente acondicionado e identificado, em área específica do estabelecimento para decair, aguardar remoção para os institutos da CNEN ou empresa autorizada, ou ser submetido a tratamento e condicionamento pela gerência local (SILVA & CUSSIOL, 1999).

O armazenamento inicial tem como objetivos principais (SILVA & CUSSIOL, 1999) e (SILVA & MIAW, 2001):

- manter, sob controle, os rejeitos radioativos de meia-vida curta até que os radionuclídeos presentes decaiam a níveis que permitam a liberação como rejeitos não radioativos ou uma liberação controlada para o meio ambiente;
- permitir a eliminação dos rejeitos radioativos contendo elementos radioativos de meia-vida curta, pelas vias convencionais, após o seu decaimento;
- proteger operadores e o público em geral de qualquer risco radiológico associado aos rejeitos radioativos; e
- manter a integridade dos recipientes contendo rejeitos radioativos até a sua eliminação, remoção para os institutos da CNEN ou transporte para o repositório, se for o caso.

O armazenamento para decaimento de rejeitos de baixo nível de radiação, contendo elementos de meia-vida muito curta, requer uma política de segregação na origem, acompanhamento das características das correntes de rejeito e cuidadosas monitorações de controle (SILVA & CUSSIOL, 1999). A aceitação pelas autoridades competentes desses rejeitos como rejeitos não radioativos, após decaimento, depende da capacidade da instalação de detectar quantidades com significação estatística de radioatividade residual comparadas às radiações de fundo (“background”) e, particularmente, emissores beta puro ou emissores beta de baixa energia.

O armazenamento de rejeitos líquidos, por tempo indeterminado, requer sistema de contenção de possíveis vazamentos devidos a rupturas de embalagens fragilizadas pela ação dos rejeitos e do tempo, evitando assim acidentes e danos ambientais. Na Figura 3.34 é mostrado o local de armazenamento de rejeitos radioativos líquidos do CDTN/CNEN, na qual é visualizado o sistema de identificação das bancadas onde são dispostos os rejeitos. Este depósito possui um tanque de contenção cego, ou seja, sem comunicação com o ambiente, em caso de eventuais vazamentos.



Fonte: CDTN/CNEN, 2002b.

Figura 3.34 - Vista do depósito de rejeitos radioativos líquidos no CDTN.

3.6.7 Eliminação de rejeitos pelas vias convencionais

Os resíduos dos processos industriais passíveis de eliminação pelas vias convencionais são também conhecidos como efluentes. O descarte desses efluentes,

radioativos ou convencionais (não radioativos) obedece a controles específicos, sendo avaliados os seus constituintes em função dos limites estabelecidos pela legislação em vigor. No caso dos efluentes radioativos de IINN, são adotadas metas anuais de descarte, com o objetivo de estimular a minimização da geração de efluentes e, conseqüentemente, o seu descarte (ELETRONUCLEAR, 2005).

A etapa de eliminação dos rejeitos radioativos, ou seja, o descarte de efluentes radioativos no meio ambiente, consiste na liberação planejada e controlada de rejeitos radioativos para o ambiente (atmosfera, esgotos sanitários e sistema de coleta de lixo urbano) e baseia-se, principalmente, na toxicidade e meia-vida dos radionuclídeos e na concentração de atividade dos rejeitos (SILVA & CUSSIOL, 1999). Tais liberações devem atender às restrições impostas pelos órgãos reguladores, radiológico e ambiental, e têm como objetivos principais:

- gerenciar, de forma convencional, volumes apreciáveis de rejeito com um conteúdo de atividade muito baixo. A viabilidade e conveniência de gerenciar esses materiais de forma convencional são reconhecidas e aceitas pelos organismos internacionais; e
- controlar a eliminação dos rejeitos radioativos que estejam em conformidade com a legislação vigente e inserida no Plano de Proteção Radiológica da instalação, aprovado pela CNEN.

De acordo com ELETRONUCLEAR (2005), o descarte de efluentes radioativos das usinas nucleares é contabilizado mensalmente e comparado com a projeção da meta anual. Este controle é efetuado separadamente por cada usina.

Considerando que as radiações ionizantes podem trazer riscos para a saúde humana, é de consenso internacional que o uso de materiais radioativos deve ser regulamentado e controlado, através de sistemas de notificação e autorização conforme exemplificado na publicação IAEA (1996). Entretanto, de acordo com IAEA (1998b), alguns tipos de fontes de radiação apresentam riscos radiológicos suficientemente baixos, tornando inadequada a dedicação de recursos para o seu controle, podendo ser, então, isentas do controle regulatório ou liberadas deste controle. O termo *isenção* aplica-se às fontes de radiação que nunca estiveram sob o regime de controle regulatório, enquanto o termo *eliminação*, entendido como uma isenção *a posteriori* ou *dispensa*, é relevante para materiais residuais procedentes de

práticas com material radioativo que estiveram submetidas a este controle, os quais podem ser gerenciados fora do controle regulatório, como resíduos convencionais, sempre que o risco radiológico associado a esta gestão seja insignificante à saúde humana. Segundo SEPR (2002):

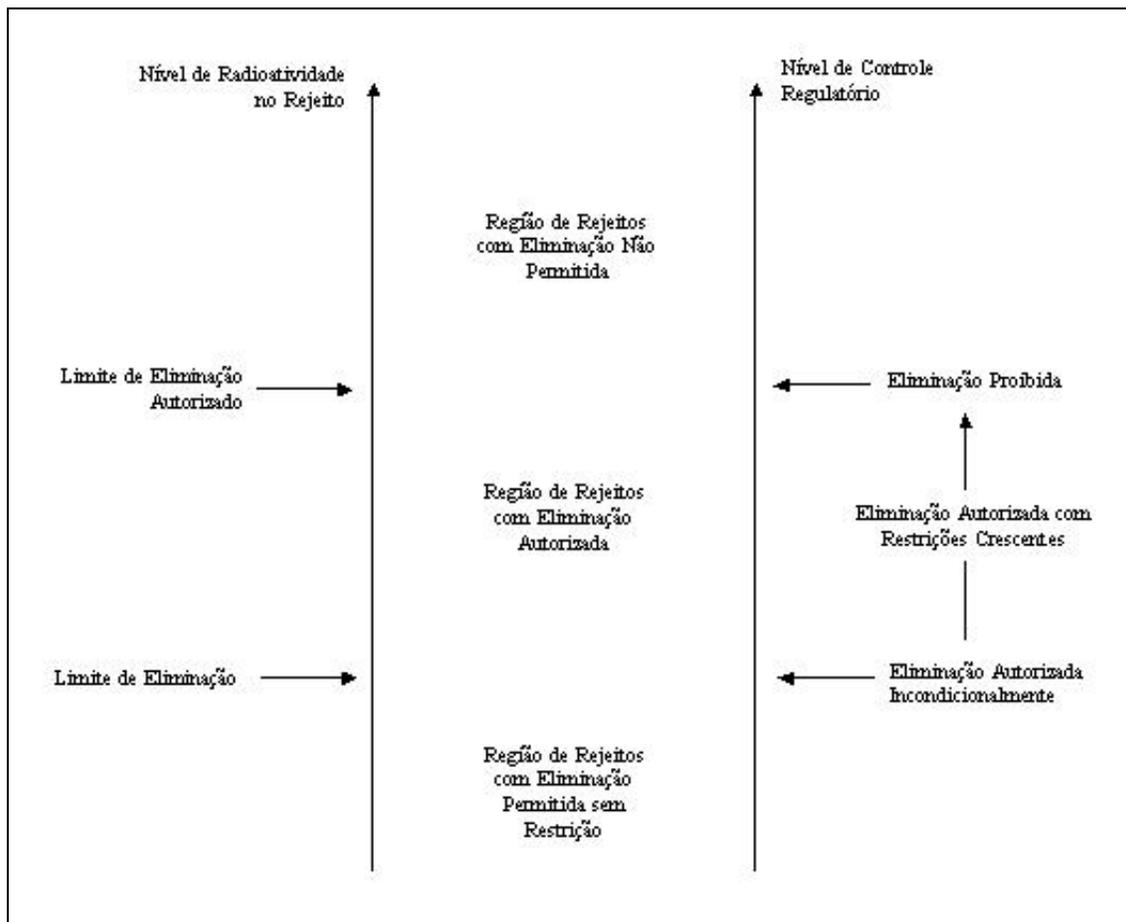
- *isenção* consiste em se eximir, o usuário, do cumprimento de certos requisitos administrativos, quando as doses derivadas são triviais, não justificando o seu controle. Na Tabela 3.8 são indicados os limites de isenção, definidos na norma CNEN-NE-6.02, na forma de valores de atividade e de atividade específica, para os radionuclídeos, abaixo dos quais sua aquisição e uso não necessitam de autorização; e
- *eliminação* (dispensa ou *isenção a posteriori* de rejeitos) consiste na isenção da gestão posterior de certos materiais residuais oriundos de uma “prática”. No Brasil, para utilizar a eliminação é necessária uma autorização expressa por parte da CNEN, que exigirá do usuário a aplicação de mecanismos que permitam controlar que a eliminação dos materiais esteja sendo realizada em conformidade com os critérios e valores definidos. Os usuários poderão requerer, junto à CNEN, autorização para eliminação de rejeito acima dos limites da norma CNEN-NE-6.05, ou seja, poderão requerer limites autorizados para os seus rejeitos.

De acordo com IAEA (1998b), a divulgação de uma série de limites de eliminação genéricos (concentrações de atividade), definidos conservativamente, pode ser de considerável serventia, tanto aos usuários de pequenas quantidades de radionuclídeos em laboratórios e hospitais, como aos órgãos reguladores. A AIEA ressalta, no entanto, que apesar da diluição no ambiente ser uma prática reconhecida como um fator importante para a redução das doses aos membros do público, não é adequado utilizar-se desta prática, deliberadamente, para materiais com alta atividade específica, visando alcançar os critérios de eliminação estipulados pelas autoridades competentes. Problemas desta natureza são evitados pelos órgãos competentes de cada país, limitando a atividade total permissível nos rejeitos de todos os tipos eliminados por uma instalação, num determinado período.

No Brasil, os critérios gerais e os requisitos básicos para a eliminação de rejeitos líquidos, sólidos ou gasosos por uma instalação radiativa estão estabelecidos na norma CNEN-NE-6.05. Nesta norma, estão também definidos os limites de eliminação, valores expressos em termos de concentração de atividade e de atividade total, abaixo dos quais

uma determinada corrente de rejeito pode ser liberada pelas vias convencionais, sob os aspectos de segurança radiológica. No caso de se adotar estes limites é importante que sejam mantidos registros de todas as liberações realizadas pela instalação.

COOPER et al. (2000) mostram pelo gráfico apresentado na Figura 3.35 que o termo *eliminação* pode ser definido como a liberação de rejeitos com níveis de atividade suficientemente baixos de modo que nenhuma forma de envolvimento regulatório pós-eliminação é requerida para a verificação da adequada proteção do público. Este envolvimento regulatório poderia ser uma obrigatoriedade de monitoração ambiental ou, no caso de material sólido, a especificação da destinação do material eliminado ou de sua possível reutilização.



Fonte: COOPER et al., 2000.

Figura 3.35 - Uma abordagem gradativa para a eliminação autorizada de rejeitos.

Pelo gráfico, observa-se que o limite de eliminação tem sido usado, em termos legais, como equivalente ao limite inferior para a definição de rejeitos radioativos, pois *rejeitos com eliminação permitida sem restrições* são comumente classificados como *rejeitos isentos*. Assim, se os níveis de atividade de determinados rejeitos radioativos forem iguais ou inferiores aos limites de eliminação, eles não seriam considerados radioativos para fins regulatórios. Cooper et al. (2000) salientam que estas considerações não são válidas para rejeitos NORM, devido às grandes quantidades geradas, e que limites de eliminação autorizados devem ser praticados levando em conta a restrição de dose aos membros do público mais expostos (valor máximo de 300 $\mu\text{Sv}/\text{ano}$, segundo as últimas recomendações da ICRP).

Eliminação de rejeitos radioativos sólidos no sistema de coleta de lixo urbano. A CNEN estabeleceu o valor de 74 Bq/g (2 nCi/g), como limite para liberação de rejeitos sólidos no sistema de coleta de lixo urbano, qualquer que seja o radionuclídeo presente (CNEN, 1985). Este valor é também adotado para isentar materiais radioativos do cumprimento dos requisitos estabelecidos na Norma de Transporte, CNEN-NE-5.01 (CNEN, 1988a). No entanto, com relação ao descarte de rejeitos NORM ou TENORM, cumpre salientar que mesmo quando suas concentrações de atividade forem suficientemente baixas, não é permitida a eliminação desses materiais em aterros sanitários.

De acordo com XAVIER et al. (2003), os limites de isenção, para a eliminação de rejeito sólido e para as operações de transporte, vêm sendo objeto de revisão internacional à medida que os modelos matemáticos para cálculo de dose se tornam mais sofisticados. A tendência mundial é que os valores desses limites sejam reduzidos, o que deverá implicar, no futuro, em revisão das normas brasileiras.

Eliminação de rejeitos radioativos líquidos na rede de esgotos sanitários. Devido à legislação nuclear vigente, toda instalação nuclear deverá implementar um Programa de Monitoração Ambiental (PMA) para atender aos seguintes objetivos: manter um registro contínuo dos efeitos da instalação sobre os níveis de radioatividade ambiental e avaliar a dose real ou potencial de radiação para os indivíduos do público (CNEN, 1988b). Dentre os procedimentos usuais na execução de um PMA destacam-se: coleta de amostras, análises radiométricas, bem como acompanhamento e avaliação dos resultados analíticos, através de processamento estatístico que determinam a qualidade e consistência dos dados.

Nas medidas rotineiras de vigilância e controle de efluentes das instalações nucleares é muito freqüente medir os índices de radioatividade alfa total e beta total já que seus valores permitem inferir, conservativamente, a concentração dos radionuclídeos mais tóxicos (SENNE Jr et al., 2000). Sejam, por exemplo, as atividades alfa total e beta total, respectivamente, devidas exclusivamente ao Pu-239 e Sr-90, no caso das Centrais Nucleares, ou aos radionuclídeos Ra-226/Th-230 e Ra-228/Pb-210, no caso das instalações de beneficiamento de minérios de urânio. A CNEN fixa limites de concentração dos radionuclídeos permissíveis para eliminação no meio ambiente e determinações específicas devem ser executadas apenas em amostras que ultrapassem esses limites. Existem várias técnicas radiométricas e radioquímicas para essas determinações.

A eliminação de rejeitos líquidos radioativos pelas vias convencionais está, portanto, sujeita ao atendimento de requisitos estabelecidos pela CNEN (1985), que estabelece como limite para eliminação de rejeitos líquidos em rede de esgotos sanitários, o maior dos seguintes valores (CDTN, 2002c):

- a) atividade cuja concentração média no volume diário de esgoto liberado pela instalação seja igual ao valor apresentado na Tabela 6, Coluna 1, da norma CNEN-NE-6.05;
- b) atividade diária liberada igual a dez vezes o valor apresentado na Tabela 6, Coluna 3, da norma CNEN-NE-6.05;
- c) atividade cuja concentração média no volume mensal seja inferior ao valor apresentado na Tabela 6, Coluna 1, da norma CNEN-NE-6.05;
- d) atividade anual liberada de $3,7 \times 10^{10}$ Bq, excluídos o H-3 e C-14;
- e) com relação ao H-3 e C-14, a atividade anual liberada de 5 Ci ($18,5 \times 10^{10}$ Bq) e 1 Ci ($3,7 \times 10^{10}$ Bq), respectivamente.

De acordo com CNEN (1985), em qualquer caso onde haja uma mistura de mais de um radionuclídeo na água, os valores limites, para fins de eliminação de rejeitos líquidos, devem ser determinados do seguinte modo:

- *Liberção de radionuclídeos conhecidos* - Se a identidade e a concentração de cada radionuclídeo na mistura forem conhecidas, os valores limites devem ser deduzidos

do seguinte modo: determinar, para cada radionuclídeo na mistura, a razão entre a quantidade presente na mistura e o limite estabelecido na Tabela 6, da norma CNEN-NE-6.05, para o mesmo radionuclídeo. A soma de tais razões, para todos os radionuclídeos na mistura, não deve ser superior a 1, ou seja, uma unidade.

Exemplo: Se radionuclídeos A, B e C estão presentes em concentrações C_A , C_B e C_C e as respectivas concentrações máximas permissíveis são CMP_A , CMP_B e CMP_C , então as concentrações devem ser limitadas de modo a satisfazer a seguinte expressão:

$$\frac{C_A}{CMP_A} + \frac{C_B}{CMP_B} + \frac{C_C}{CMP_C} \leq 1$$

- *Liberção de radionuclídeos desconhecidos* - Quando não são conhecidos os radionuclídeos presentes nos rejeitos líquidos, deve-se utilizar os limites daqueles mais restritivos. Os radionuclídeos mais restritivos em termos de eliminação, de acordo com a norma CNEN-NE-6.05, são: Ra-226 e Ra-228, cujos limites estão na Tabela 6 desta norma.

De acordo com a norma CNEN-NE-3.05/96 “Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear”, a excreta de pacientes internados com doses terapêuticas poderá ser lançada diretamente na rede de esgotos sanitários, desde que obedecidos os princípios básicos de radioproteção (CNEN, 2005a).

No caso da instalação não estar conectada à rede de esgotos sanitários, o sistema proposto para eliminação de rejeitos radioativos líquidos deverá ser submetido à CNEN, para análise e aprovação.

Na Tabela 3.18 são mostrados, para alguns dos radionuclídeos mais empregados em pesquisa, os valores das Colunas 1 e 3 da Norma CNEN-NE-6.05.

Tabela 3.18 - Limites para eliminação de rejeitos líquidos na rede de esgotos sanitários.

Radionuclídeo	Coluna 1^(*) (Bq/m³)	Coluna 3^(*) μCi (10⁴ Bq)
Br-82	3,0 x 10 ⁸	10 (40)
Ca-45	1,1 x 10 ⁷	10 (40)
C-14	7,4 x 10 ⁸	100 (400)
Co-58	1,5 x 10 ⁸	10 (40)
Cr-51	1,8 x 10 ⁹	1000 (4000)
S-35	7,4 x 10 ⁷	100 (400)
H-3	3,7 x 10 ⁹	1000 (4000)
I-125	1,5 x 10 ⁶	1 (4)
I-131	2,2 x 10 ⁶	1 (4)
Mo-99	1,8 x 10 ⁸	100 (400)
P-32	1,8 x 10 ⁷	10 (40)
Na-22	3,7 x 10 ⁷	-
Tc-99m	7,4 x 10 ⁹	100 (400)

^(*) Norma CNEN NE-6.05 (CNEN, 1985).

Para que uma determinada corrente de rejeito possa ser descartada pelas vias convencionais é necessário que a sua atividade não supere os limites de eliminação estabelecidos em normas. Para os rejeitos contendo emissores de meia-vida muito curta, os limites de eliminação podem ser alcançados após períodos de armazenamento relativamente curtos. Nestes casos, deve-se realizar um estudo simples de decaimento para cada um dos radioisótopos de forma que, partindo da atividade inicial e do período de semi-desintegração (meia-vida), seja obtido o tempo necessário para não superar os limites de eliminação (XAVIER et al., 1998).

Três metodologias, detalhadas na publicação XAVIER et al. (1998), podem ser utilizadas para se verificar se a concentração da atividade ou a atividade específica do rejeito está em conformidade com os respectivos níveis de referência estabelecidos pela CNEN (1985):

- por meio de hipóteses conservativas, ou seja, supondo a atividade remanescente (adsorvida) em frascos, seringas, vidros e outros recipientes, igual a 2% da atividade inicial contida nos mesmos;
- por meio da taxa de exposição na superfície de determinados volumes conhecidos, função da densidade do rejeito e da atividade existente; e
- por meio da medida da contaminação de superfície.

Eliminação de rejeitos líquidos não radioativos. A eliminação de rejeitos líquidos não radioativos, ou seja, o descarte de efluentes convencionais, direta ou indiretamente, nos corpos de águas superficiais é permitido apenas aos rejeitos que atendam aos critérios e padrões estabelecidos pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e de saneamento competentes. Para o descarte, análises físico-químicas são realizadas nos efluentes dos diversos sistemas industriais, antes do seu lançamento para o meio ambiente. As condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água superficiais estão estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005.

Na Tabela 3.19 são apresentados métodos de desativação de quantidades reduzidas de alguns resíduos de laboratório, atividade muitas vezes necessária para permitir o descarte ou o recolhimento dos resíduos de forma segura.

Tabela 3.19 - Desativação de resíduos de laboratório.

Resíduo	Método de Desativação ^(*)
Soluções aquosas de ácidos orgânicos	Neutralizar cuidadosamente com bicarbonato de sódio ou hidróxido de sódio. OBS: ácidos carboxílicos não são controlados.
Soluções de ácidos inorgânicos	Diluir com água, em processo normal, ou, em alguns casos, sob agitação e em capela. Em seguida, neutralizar com solução de hidróxido de sódio.
Soluções de bases inorgânicas	Diluir, em processo normal, e neutralizar com solução ácida adequada.
Soluções de cianetos	Tratar com solução de hipoclorito de sódio e manter em repouso, por 24 horas, em local seguro. Em seguida, diluir com excesso de água.
Soluções de cianetos de potássio	<p>a) método com peróxido de hidrogênio (H₂O₂): Adicionar H₂O₂ a 30 % à solução de cianeto, na relação de 5:1; deixar a reação ocorrer por 1 noite; descartar o resíduo na pia;</p> <p>b) método com sulfato ferroso (FeSO₄): Recomenda-se a desativação do cianeto com sulfato ferroso. Este método é sensível se executado em meio alcalino (pH 10). Utilizar solução de NaOH para alcalinizar o pH; adicionar 1 g de sulfato ferroso para cada 0,2 g de cianeto utilizado, para converter o íon CN⁻ em ferrocianeto [Fe(CN)₆]⁻⁴; acidular com HCl (até completa neutralização); uma solução clara e um precipitado azul, denominado “azul da Prússia”, serão formados; o resíduo líquido pode ser descartado no esgoto comum; o sólido formado pode ser guardado para futura utilização como corante.</p> $6\text{CN}^- + \text{Fe}^{+2} \rightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{-4}$ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{-4} + \text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
Soluções de fluoretos inorgânicos	Tratar com carbonato de sódio. Em seguida, diluir com água em abundância.

Fonte: Adaptado de CDTN, 2002a.

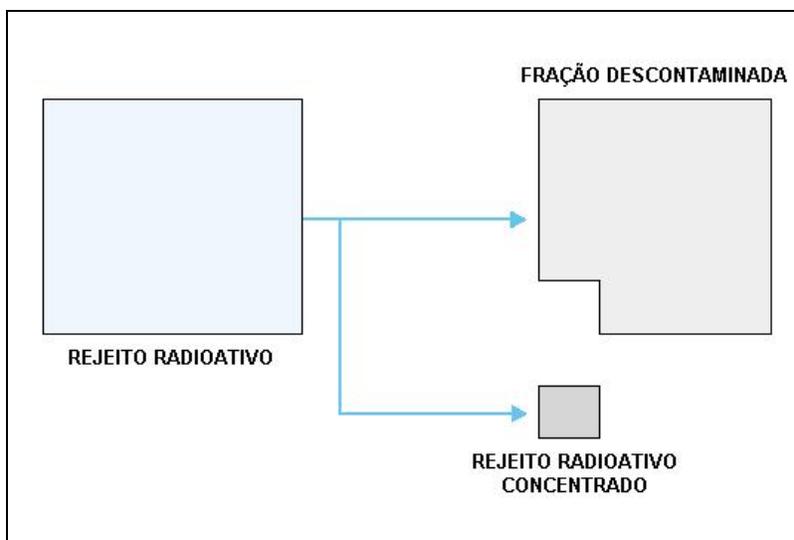
(*) A desativação deve ser feita, sempre que possível, em escala reduzida.

3.6.8 Tratamento e condicionamento de rejeitos

Um dos problemas relacionados a rejeitos de baixa e média atividade é devido, principalmente, aos seus volumes. O custo global de gerência desses rejeitos é altamente sensível aos custos de cada componente envolvido no seu processamento, armazenamento e deposição. É, portanto, fundamental que a produção de rejeitos seja minimizada e que ações sejam implementadas para reduzir o volume dos rejeitos gerados (SILVA, 1997).

Tratamento de rejeitos. A etapa de tratamento de rejeitos compreende as operações que modificam as características originais dos rejeitos, visando aumentar a segurança e minimizar os custos das etapas subsequentes de sua gerência, bem como adequá-los ao condicionamento (IAEA, 2005a). Trata-se, portanto, de reduzir o volume do rejeito a

armazenar e concentrar a atividade do rejeito original neste volume reduzido, conforme esquematizado na Figura 3.36. Esta redução permite otimizar a capacidade de armazenamento das instalações (MADROÑERO et al., 2000). A fração descontaminada contém praticamente quase todo o volume do rejeito original e possui uma atividade baixa o suficiente para permitir a sua eliminação ou a sua reutilização.



Fonte: MADROÑERO et al., 2000.

Figura 3.36 - Finalidade da etapa de tratamento de rejeitos.

No tratamento de rejeitos de baixa e média atividade, processos físicos e químicos são utilizados, separadamente ou em conjunto, atuando de várias formas (IAEA, 2003a):

- reduzindo o volume dos rejeitos, pela incineração dos rejeitos combustíveis, compactação de rejeitos sólidos, fragmentação de volumosos dispositivos contaminados ou desmontagem de equipamentos;
- removendo os radionuclídeos da massa dos rejeitos, por evaporação ou troca iônica dos rejeitos líquidos ou pela filtração dos rejeitos gasosos, com a conseqüente redução de volume;

- modificando a forma ou a composição dos rejeitos, por processos químicos tais como precipitação, floculação e digestão ácida, como também oxidação térmica e química; e
- alterando as propriedades dos rejeitos.

Uma ferramenta fundamental, também nesta fase do gerenciamento, é a caracterização cuidadosa dos rejeitos, oferecendo condições ao operador para definir, com segurança, as opções de tratamento e condicionamento que sejam mais adequadas aos rejeitos e às características das instalações de armazenamento e de deposição disponíveis (IAEA, 2002a).

Na Tabela 3.20 é mostrada uma variedade de métodos utilizados para tratar rejeitos, como uma etapa preparatória para a imobilização (IAEA, 1983).

Tabela 3.20 - Tratamentos de rejeitos de fontes específicas.

Categoria de rejeito	Tratamento antes da Imobilização																								
	Remoção de água					Destruição térmica & química					Ajuste químico					Tratamento mecânico					Descontaminação				
Origem ^(a)	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Concentrados de Rejeitos Líquidos:																									
Lamas	X	X	X	X					X		X	X		X											
Resinas de T.I.*	X	X		X		X	X		X		X	X		X							X	X			
Concentrados	X	X	X	X					X		X	X		X											
Rejeitos Sólidos:																									
Combustível:																									
Sem alfa						X	X	X	X	X						X	X	X	X	X					
Contendo alfa						X	X	X									X	X	X						
Não combustível:																									
Sem alfa																X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Contendo alfa																	X	X	X						
Rejeitos Especiais:																									
Líquido orgânico		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X											
Resíduo metálico de desmonte																	X		X			X		X	
Materiais irradiados																	X		X			X		X	
Rejeitos de descomissionamento	X	X	X	X												X	X	X	X		X	X	X	X	
Rejeitos contendo H-3 e C-14	X	X		X					X		X	X		X							X				

Fonte: IAEA, 1983.

* T.I. = Troca Iônica.

(a) Origem dos rejeitos: **A** = Usinas nucleares; **B** = Reprocessamento; **C** = Enriquecimento e fabricação do combustível; **D** = Centros de pesquisas nucleares; **E** = Institucional e industrial.

A *incineração* é um processo de oxidação térmica, a altas temperaturas, que destrói e reduz o volume de materiais ou substâncias dos rejeitos. Os incineradores para tratamento de rejeitos radioativos operam, normalmente, com temperaturas entre 1.100 e 1.200 °C e possuem câmara dupla de queima, eletrofiltros e sistemas de controle das emissões gasosas. Normalmente, a incineração de rejeitos sólidos combustíveis de baixa e média atividade alcança os mais altos fatores de redução de volume e de peso (MADROÑERO et al., 2000).

Após a combustão, os radionuclídeos presentes nos rejeitos ficam distribuídos entre as cinzas, os filtros do sistema de limpeza dos gases e os efluentes liberados pelas chaminés. Esta distribuição é dependente dos parâmetros de projeto e operação do incinerador e da natureza dos radionuclídeos presentes nos rejeitos. Sistemas de lavagem dos gases de combustão são imprescindíveis para se garantir que não haja liberação de materiais perigosos radioativos e não radioativos para o meio ambiente. Incineração também é utilizada para a destruição de rejeitos líquidos orgânicos, como óleos e líquidos de cintilação, de baixa e média atividade (XAVIER & HEILBRON FILHO, 2005).

De acordo com MADROÑERO et al. (2000), a liberação de radionuclídeos para o ambiente é, em grande parte, determinada pelas condições operacionais do incinerador, em particular pelo controle da temperatura e pelos tipos e quantidades de rejeitos incinerados e seus conteúdos de radionuclídeos. Para incineradores que processam quantidades significativas de rejeitos radioativos, deve ser realizado um controle das descargas das chaminés para assegurar que as concentrações e quantidades liberadas de material radioativo estejam dentro de limites especificados pelos órgãos reguladores e consistentes com os parâmetros modelados na avaliação de segurança da instalação. As liberações dos outros materiais, que apresentam riscos não radiológicos, como os produtos ácidos e as bifenilas policloradas gerados na incineração, devem ser também mantidas abaixo de limites autorizados para a instalação. Além disso, providências devem ser tomadas para o condicionamento dos rejeitos secundários gerados, pois os radionuclídeos são acumulados nas cinzas da combustão e nos resíduos do sistema de lavagem dos gases. As vantagens da incineração estão na redução de volume e na desoxidação do resíduo, bem como na possibilidade de recuperação da energia gerada. Entre as desvantagens estão: requer sistema, de custo bastante elevado, para o tratamento dos gases de combustão; requer medidas que garantam a deposição segura das cinzas residuais; e apresenta baixa aceitação pública. No Brasil, não há incineradores licenciados para tratamento de rejeitos radioativos.

A *compactação* é uma técnica amplamente utilizada no Brasil para o tratamento de rejeitos sólidos de baixa e média atividade, mediante uso de prensa hidráulica. Na aplicação de técnicas de compactação, alguns fatores devem ser considerados, como: a possibilidade de liberação de radionuclídeos voláteis, de outros contaminantes na forma de aerossóis e de contaminantes líquidos durante a compactação; a reatividade química do rejeito, durante e

após a compactação; e o risco de fogo e de explosões, devido a materiais pirofóricos, explosivos ou componentes pressurizados. Dai a importância da realização cuidadosa da etapa de segregação dos rejeitos na sua origem.

No CDTN, os rejeitos sólidos, como papéis, tecidos, luvas cirúrgicas, estopas, etc., são prensados diretamente em tambores de 200 litros, através de uma prensa vertical de 16t, (SILVA & SILVA, 2001) e (SANTOS, 2002). Na Figura 3.37 é mostrado o sistema de compactação de rejeitos sólidos de baixa atividade do CDTN.



Figura 3.37 - Sistema de compactação de rejeitos radioativos do CDTN.

Fragmentação, desmontagem e outras técnicas de redução de tamanho, necessárias para adequar rejeitos volumosos às operações de condicionamento, podem ser realizadas utilizando-se maçarico, vários tipos de serras, tesoura hidráulica e dispositivos de corte por arco elétrico. Na escolha do equipamento e do procedimento operacional a ser adotado, devem ser considerados os meios necessários para evitar a disseminação de contaminação por particulados.

No CDTN, bombonas e frascos plásticos com suspeita de contaminação são cortados em um moinho, com capacidade de 130 kg/h, mostrado na Figura 3.38, para permitir o levantamento de sua atividade específica e impedir a reutilização (SILVA & SILVA, 2001).



Figura 3.38 - Moinho para descaracterizar frascos plásticos do CDTN.

Condicionamento direto, sem tratamento anterior, é uma opção comumente utilizada para rejeitos sólidos, não combustíveis e não compressíveis, para os quais armazenamento para decaimento ou descontaminação não sejam opções válidas. Trata-se da imobilização dos rejeitos (peças metálicas e outros sólidos contaminados) em pasta de cimento. Algumas das características recomendadas para os produtos de rejeito, visando à deposição, em particular a homogeneidade e o baixo teor de vazios, não se aplicam a produtos gerados na imobilização de rejeitos sólidos.

No CDTN, os rejeitos não compactáveis, como entulho, sucata, madeira e peças metálicas contaminadas, são imobilizados em pasta de cimento (SILVA & SILVA, 2001). Na Figura 3.39 é mostrada uma embalagem contendo uma cesta metálica, onde são dispostos os rejeitos sólidos não compactáveis a serem imobilizados no CDTN/CNEN.



Figura 3.39 - Embalagem para imobilização de rejeitos sólidos no CDTN.

A *fundição* de peças metálicas de baixa e média atividade é uma técnica utilizada para possibilitar a reutilização autorizada, nas próprias IINN, ou a remoção do controle regulatório desses materiais. Com a fundição, há uma homogeneização do material radioativo e a sua acumulação na escória.

Os rejeitos líquidos de baixa e média atividade são submetidos a uma série de procedimentos para separar os radionuclídeos da solução que os contém e concentrá-los. Os processos comumente utilizados para o tratamento de rejeitos aquosos são a precipitação química, a filtração, a centrifugação, e, mais frequentemente, a evaporação e a troca iônica. Em cada caso, devem ser cuidadosamente consideradas as limitações do processo, por exemplo, quanto a corrosão, mudança de escala, formação de espumas e risco de fogo e de explosões na presença de matéria orgânica, especialmente com relação às implicações de segurança nas atividades operacionais e de manutenção. Caso o rejeito contenha material físsil, o potencial de criticalidade nuclear deve ser avaliado e eliminado, tanto quanto praticável.

A *evaporação* é um processo bem estabelecido, amplamente utilizado na indústria nuclear. Apresenta altos fatores de descontaminação e de redução de volume e, usualmente,

tem sido utilizado no tratamento de rejeitos de alto, médio e baixo nível de radiação. Com relação ao custo, é um processo relativamente caro e, portanto, mais atrativo para tratar pequenos volumes de efluentes altamente radioativos do que grandes volumes de rejeitos de baixa atividade. O processo envolve basicamente a destilação do solvente presente no rejeito, deixando um pequeno volume de resíduo contendo os radionuclídeos e os sais inativos. Na prática, a evaporação produz bons fatores de descontaminação - FD (relação entre a atividade total da alimentação, rejeito original, e a atividade total do efluente) para todos os radionuclídeos não voláteis. Este fator pode ser de até 10^4 , em evaporador de único estágio, resultando em grandes reduções de volume, desde que o conteúdo de sais inativos do rejeito original seja relativamente baixo. O condensado resultante da evaporação é uma solução com baixa contaminação, podendo requerer tratamento prévio para a sua eliminação ou reciclagem interna, por exemplo, pelo processo de troca iônica.

O processo de tratamento por troca iônica tem sido usado amplamente para a remoção de radionuclídeos solúveis de rejeitos líquidos. O processo envolve a troca de espécies iônicas entre o líquido e a matriz sólida contendo grupos polares ionizáveis. Quando as resinas ficam exauridas, totalmente carregadas com íons radioativos, elas são removidas e tratadas como um rejeito radioativo. A vantagem de se utilizar o processo de troca iônica deve-se ao pequeno volume gerado de resina contaminada, que pode ser manuseado com facilidade. Na descarga desse volume de resinas, providências devem ser tomadas para evitar a formação de pontos quentes (nível alto de radiação) na linha de esgotamento, devidos a entupimentos, o que acarretará a necessidade de manutenção especial. Além disso, medidas de segurança são também necessárias no armazenamento prolongado dessas resinas, aguardando condicionamento, pelo potencial de ocorrência de reações químicas ou radiolíticas, podendo gerar gases combustíveis, provocar degradação física ou reações exotérmicas.

Os efluentes líquidos de qualquer natureza, em especial aqueles gerados no tratamento de rejeitos líquidos de baixa e média atividade, devem obedecer a critérios de eliminação, estabelecidos pelos órgãos competentes, devendo ser prontamente solúveis e de fácil dispersão em água (CNEN, 1985). Para atender a este critério, antes da eliminação, o processo de *filtração* é comumente aplicado aos efluentes contendo material em suspensão, excluindo desses efluentes o material imiscível. Ainda em atendimento aos critérios de eliminação, antes

da liberação, os efluentes ácidos e alcalinos devem ser neutralizados (processo de *neutralização*), ou ser submetidos a tratamento específico (*precipitação química*, por exemplo), caso contenham algum produto tóxico ou outros produtos químicos que possam afetar adversamente o meio ambiente ou o tratamento do esgoto que receberá esse efluente.

De acordo com IAEA (2001a), métodos de *precipitação química* são particularmente adequados ao tratamento de grandes volumes de efluentes líquidos que contêm relativamente baixas concentrações de radionuclídeos. Os métodos são bastante versáteis e podem ser usados para tratar uma ampla variedade de correntes de rejeito, incluindo aqueles contendo grandes quantidades de particulados e altas concentrações de sais inativos. Usualmente os processos utilizam reagentes químicos prontamente solúveis e são, portanto, relativamente baratos quando comparados aos custos de processos alternativos, por exemplo, a evaporação, que apresenta custos de 20 a 50 vezes maiores. O objetivo de um processo de precipitação química é utilizar-se de um material sólido insolúvel, finamente dividido, para remover radionuclídeos de um rejeito líquido. O material insolúvel ou floco é, geralmente, mas não necessariamente, formado *in situ* no rejeito como um resultado de uma reação química.

Para países com programas nucleares modestos, o documento IAEA (2001a) indica o processo de precipitação química como a opção mais viável para tratamento de rejeitos radioativos, pelas seguintes razões:

- relativamente baixo custo;
- habilidade de manusear grande variedade de radionuclídeos, bem como sais não radioativos, em solução, e matéria sólida em suspensão;
- procedimentos de tratamento são baseados em instalações e equipamentos convencionais, com processos já demonstrados;
- relativamente fácil alterar os precipitantes químicos utilizados, de modo a acomodar modificações na composição da alimentação de rejeitos líquidos; e
- processo permite a remoção da atividade a partir de solutos inativos os quais constituem o maior volume de determinados rejeitos.

Um processo típico de precipitação química envolve quatro estágios: a adição de reagentes e/ou ajuste do pH para formar o precipitado; a floculação; a sedimentação; e a separação sólido-líquido. Agitação vigorosa é aplicada durante o primeiro estágio do processo para assegurar mistura rápida dos reagentes adicionados e dispersar o precipitado no rejeito. A floculação é usualmente alcançada agitando-se lentamente a mistura. As partículas do precipitado aglomeram-se para produzir partículas maiores que sedimentarão ou poderão ser removidas por um processo de separação como por filtração.

No CDTN/CNEN, os rejeitos líquidos aquosos são submetidos, inicialmente, a tratamento químico para redução de volume (SILVA & SILVA, 2001, 2003 e 2004). Os radionuclídeos presentes no rejeito são concentrados sob forma insolúvel, por precipitação química, 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. O sobrenadante é filtrado, analisado e liberado (FONSECA et al., 2002). Na Figura 3.40 é mostrado o sistema de tratamento químico de rejeitos líquidos aquosos de baixo nível de radiação do CDTN/CNEN, que opera em bateladas de 200 litros.



Figura 3.40 - Sistema de precipitação química/filtração do CDTN.

Na Tabela 3.21 é apresentada a faixa de valores típicos dos fatores de descontaminação (FDs) para alguns processos de tratamento de rejeitos líquidos.

Tabela 3.21 - Fatores de descontaminação (FD) típicos para alguns processos.

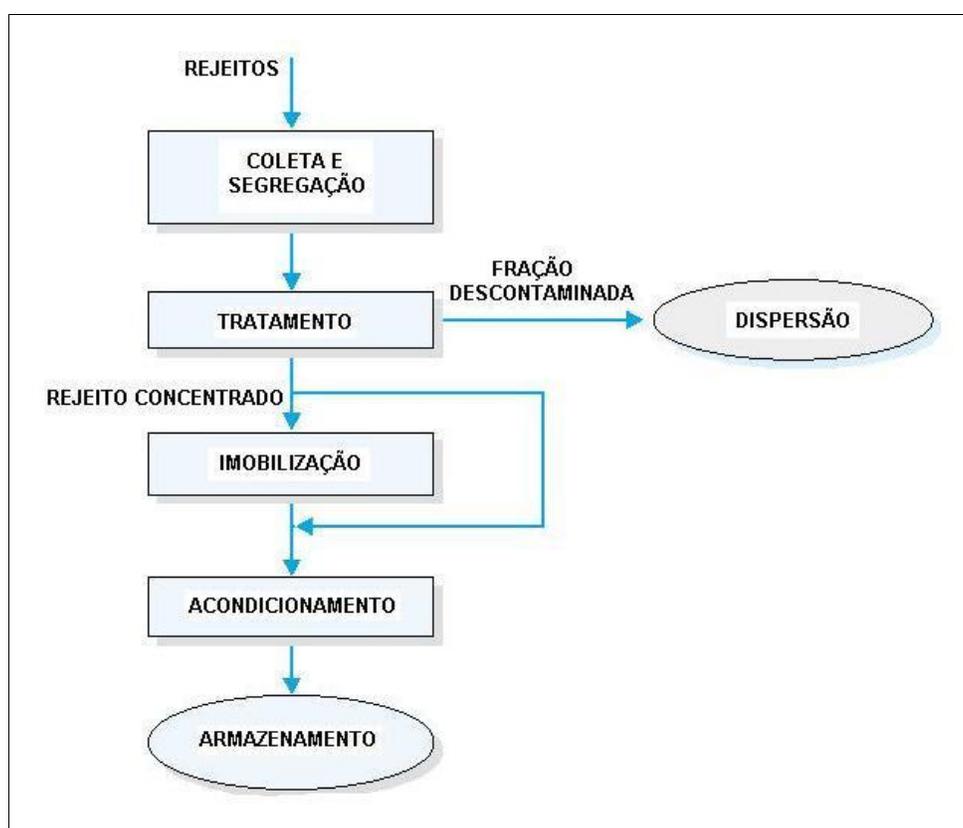
Processo de tratamento	FD = $\frac{\textit{Atividade Total do Re jeito Original}}{\textit{Atividade Total do Efluente}}$
Evaporação	$10^4 - 10^6$
Troca iônica	Até 10^4
Precipitação química	10 – 100, mas pode ser $> 10^3$.

Fonte: IAEA, 1999.

Particulados e aerossóis radioativos podem ser removidos dos efluentes gasosos por *filtração*, utilizando-se filtros de alta eficiência, conhecidos como filtro HEPA, “High Efficiency Particulate Air”. Para a remoção de iodo e de gases nobres, são utilizados *filtração ou leitos de sorção*, carregados de carvão ativado. Os lavadores de gases são utilizados para a remoção de produtos químicos gasosos, particulados e aerossóis dos efluentes gasosos. Muitas vezes, sistemas redundantes são necessários, como o uso de dois filtros seqüenciais, para se garantir a segurança no caso de falha de um deles. Outros componentes do sistema de efluentes gasosos incluem aqueles que asseguram operação adequada dos filtros, como os pré-filtros ou filtros robustos para partículas mais grossas, os sistemas de controle de temperatura e umidade, bem como os equipamentos de monitoração, como os dispositivos que assinalam diferenciais de pressão.

Após o uso, os filtros saturados e os leitos de sorção são considerados rejeitos sólidos. As propriedades físicas e químicas do elemento filtrante utilizado devem ser, portanto, compatíveis com os processos de tratamento e condicionamento disponíveis para os rejeitos sólidos de baixa e média atividade, aos quais eles serão submetidos. As operações de substituição do material filtrante e o seu tratamento devem ser cuidadosamente realizadas, pois nestas operações há risco de dispersão descontrolada das substâncias radioativas retidas.

Condicionamento de rejeitos. Condicionamento consiste em um conjunto de operações que transformam o rejeito em uma forma apropriada para manuseio, liberação, transporte, armazenamento ou deposição, obedecendo a critérios pré-estabelecidos aprovados pelo órgão regulador. Seu objetivo é evitar a dispersão dos radionuclídeos, melhorando a segurança da gestão da fração concentrada proveniente do tratamento dos rejeitos. De acordo com IAEA (2002a), essas operações incluem: a conversão dos rejeitos líquidos ou sólidos dispersáveis, em produtos sólidos de baixa lixiviabilidade (imobilização dos rejeitos); a colocação dos rejeitos em embalagens qualificadas (acondicionamento); e, quando necessário, a provisão de sobre-embalagens, com fins de contenção ou blindagem adicionais. A seqüência de ações para a preparação de rejeitos para o armazenamento ou deposição é apresentada na Figura 3.41.



Fonte: adaptado de MADROÑERO et al., 2000.

Figura 3.41 - Etapas de preparação dos rejeitos para o armazenamento ou deposição.

Os requisitos de segurança a longo prazo dos repositórios de rejeitos radioativos vêm suscitando estudos mais detalhados quanto à garantia e ao controle da qualidade, principalmente na etapa de condicionamento dos rejeitos (SILVA et al., 2002).

Considerando que os embalados resultantes das operações de condicionamento devem satisfazer critérios de aceitação pré-estabelecidos, as organizações detentoras de rejeitos devem realizar consultas prévias aos órgãos reguladores e às organizações, as quais operam ou planejam operar serviços de transporte e instalações de armazenamento e de deposição de rejeitos, para a definição das operações de tratamento e condicionamento.

De acordo com MIAW et al. (apud SILVA, 1997), a imobilização envolve as tecnologias de solidificação e estabilização, também conhecidas como operações de fixação, inertização ou de encapsulamento, pelas quais o rejeito é fixado ou encapsulado em uma matriz, tendo como produto final um sólido com baixa permeabilidade e alta resistência química e mecânica, minimizando os riscos de contaminação.

Para MEANS et al. (1995), solidificação (S) é o processo de transformação do rejeito líquido, pastoso ou sólido em uma forma monolítica. Estabilização (E) é o processo de conversão do rejeito para uma forma química mais estável, menos tóxica e de menor mobilidade. Nos sistemas de S/E ocorre, não apenas a solidificação dos rejeitos por meios químicos, mas também insolubilização, imobilização, encapsulamento, destruição, absorção ou outro tipo de interação com determinados componentes do rejeito. Atualmente, com raras exceções, todos os processos de S/E disponíveis comercialmente são conceitualmente simples e utilizam equipamentos mecânicos padronizados em suas operações. Os sistemas de S/E, através da adição de aglomerantes e de processos físicos, visam:

- melhorar as características físicas do rejeito;
- facilitar o seu manuseio;
- diminuir a área superficial através da qual possa haver a transferência ou perda de poluentes;
- limitar a solubilidade de qualquer constituinte no rejeito; e
- alterar a forma química de poluentes para formas não tóxicas.

Os processos de S/E aplicam-se a uma ampla variedade de rejeitos, tanto perigosos, quanto não perigosos, sejam eles nucleares, não nucleares, inorgânicos, orgânicos, líquidos ou sólidos. Um adequado conhecimento da natureza das diversas correntes de rejeito é vital para o entendimento das tecnologias de S/E (MEANS et al., 1995), (SILVA, 1996 e 1997). Para a definição do processo de condicionamento é necessário considerar a presença de agentes quelantes, líquidos orgânicos ou óleo, e teor de sais nos rejeitos líquidos. Ressalta-se que certos metais presentes nos rejeitos, como o alumínio, o magnésio e o zircônio, podem reagir produzindo hidrogênio, por exemplo, pela reação com a água alcalina de uma pasta de cimento ou com água difundida a partir de uma matriz de concreto.

Tecnologias de imobilização, desenvolvidas pela comunidade nuclear, são também aplicáveis a resíduos perigosos, podendo ser utilizadas para a recuperação de áreas degradadas. Os rejeitos são misturados com agentes capazes de imobilizar física e quimicamente os contaminantes que têm propriedade de se precipitarem, quando dispostos no solo. Fisicamente emprega-se o método de micro-encapsulamento das partículas com resinas orgânicas e são utilizados solventes para a fixação química na reação do poluente com a matriz sólida. Este método é empregado no tratamento de alguns metais, particularmente quando estes estão misturados com materiais orgânicos.

Rejeitos líquidos de baixa e média atividade, normalmente, são convertidos em um produto de rejeito sólido, utilizando-se uma matriz adequada. Solidificação pode também ser obtida sem o uso de uma matriz de solidificação, por exemplo, por secagem. Os produtos de rejeito devem ser, então, devidamente acondicionados em embalagens adequadas. Sempre que possível, o processo de S/E de rejeitos líquidos de baixa e média atividade deverá produzir um produto de rejeito com as seguintes características e propriedades (IAEA, 1983):

- compatibilidade física e química entre os rejeitos, os materiais da matriz e a embalagem;
- homogeneidade;
- baixo teor de vazios;
- permeabilidade e lixiviabilidade baixas;

- estabilidade química, térmica, estrutural, mecânica e à radiação por período pré-estabelecido; e
- resistência a substâncias químicas e a microorganismos.

A tecnologia de S/E inclui várias classes de sistemas de imobilização e aplicações. Exemplos de classes incluem matrizes inorgânicas e matrizes orgânicas, processos a baixa temperatura (por exemplo, pozolânicos) ou processos a altas temperaturas (p. ex. vitrificação), aplicações “in situ” ou “off situ”, como também S/E como a única tecnologia de tratamento ou como um componente de uma série de tratamentos.

Processos de S/E utilizam formulações quimicamente reativas que, junto com água e outros componentes de lamas e de outros rejeitos aquosos, formam sólidos estáveis. Estável, neste caso, significa que os sólidos são fisicamente estáveis sob condições ambientais reais, conhecidas ou esperadas no local de deposição. Tais condições incluem: quantidade e qualidade das precipitações; taxa de permeabilidade no solo; variações de temperatura; exposição aos raios ultravioletas; efeitos de organismos biológicos em situações aeróbica e anaeróbica; quantidade e qualidade da água subterrânea infiltrante, se houver. Além disso, o produto não reverterá ao seu estado líquido ou semi-sólido original, nem ao estado sólido instável. As composições resultantes destes processos podem ou não ser perigosas, conforme definido pelos testes característicos do rejeito. O grau de periculosidade dos rejeitos e de seus produtos é, usualmente, definido pelos ensaios de lixiviação.

De acordo com OLIVEIRA (2002), vários testes de lixiviação são usados para prever o grau de eficiência em fixar os constituintes perigosos no produto de rejeito. Eles simulam diferentes cenários de disposição. OLIVEIRA (2002) realizou estudo comparativo de testes de lixiviação, utilizando-se rejeito simulado contendo compostos de metais pesados, como cobre, cromo, cádmio, zinco e chumbo, solidificados/estabilizados com cimento. Os testes, realizados em escala de laboratório, basearam-se em quatro normas, incluindo a norma brasileira NBR 10.005 e outras oriundas dos EUA (TCLP e MEP) e da União Européia (Essai de Lixiviation - X31-210), ((ABNT, 1987), (USEPA, 1992b e 1986) e (AFNOR, 1998), apud OLIVEIRA, 2002, respectivamente). A quantidade de chumbo lixiviada utilizando a norma francesa indicou uma maior possibilidade de liberação deste metal em um cenário de disposição em aterro industrial. Para os outros metais estudados,

cobre, cádmio, cromo e zinco, o teste MEP da USEPA, que simula cenário no qual o resíduo pode estar exposto à chuva ácida, mostrou ser mais agressivo, mais restritivo do que as outras normas, NBR 10.005, TCLP e X31-210, que simulam disposição em aterros sanitário e industrial. Como o comportamento apresentado pelos metais pesados dependeu das diferentes condições de lixiviação inerentes a cada norma, ou seja, aos cenários de disposição específicos, OLIVEIRA (2002) concluiu como sendo fundamental a adequada seleção do teste de lixiviação a ser utilizado para se avaliar a qualidade de um resíduo perigoso solidificado/estabilizado com cimento, em conformidade com o cenário de disposição selecionado, de modo a evitar riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Muitos materiais e combinações de materiais são considerados como matrizes para a incorporação de rejeitos radioativos com o objetivo de manter o material ativo em uma forma estável física e quimicamente. A escolha da matriz vai depender de diversos fatores, como tipo e forma do rejeito, atividade e radionuclídeos presentes, requisitos do repositório, além de fatores econômicos, de engenharia e de segurança.

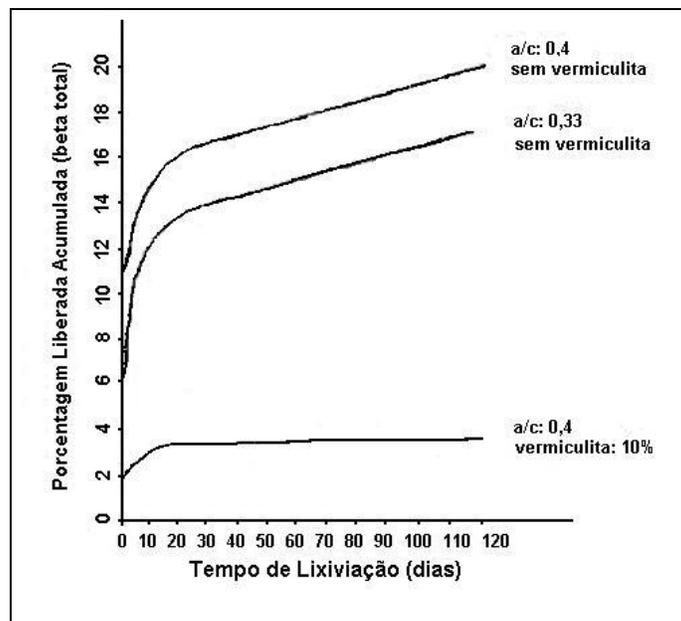
O cimento é um material largamente utilizado devido, principalmente, à extensiva experiência nas operações em engenharia civil, por ser um material facilmente acessível e de baixo custo e pela relativa simplicidade do processo, que é realizado à temperatura ambiente. Outras vantagens são a compatibilidade do cimento com a água, a alta densidade (efeito de blindagem radiológica) e a resistência mecânica dos produtos cimentados.

A cimentação tem sido muito utilizada para a imobilização de rejeitos de baixo e médio nível de radiação. Seu princípio básico consiste em fixar numa matriz de cimento os contaminantes presentes nos rejeitos. Para TELLO (apud SILVA, 1997), embora a cimentação seja relativamente simples e barata, quando comparada a outras técnicas de solidificação, as características do produto de rejeito dependem muito da composição do rejeito e do cimento usado. Diferentes tipos de cimento são utilizados para diferentes tipos de rejeito e a compatibilidade entre eles deve ser sempre cuidadosamente avaliada.

Os rejeitos a serem cimentados devem ser bem caracterizados quanto à presença de cátions e ânions, proporcionando um entendimento prévio dos possíveis efeitos de envenenamento das reações de hidratação do cimento, ou seja, efeitos de retardo ou aceleração do tempo de pega. Assim, uma boa caracterização permitirá definir com maior

segurança a formulação do tratamento, incluindo a utilização de aditivos capazes de neutralizar tais efeitos (SILVA, 1997).

De acordo com IAEA (1999), as pesquisas na área de cimentação buscam definir formulações específicas para cada fluxo de rejeito, otimizando-as de modo a produzir produtos de rejeito de qualidade aceitável e consistente. Uma proposição para melhorar a capacidade de retenção das matrizes de cimento com relação aos radionuclídeos solúveis é a incorporação de materiais que, devido às suas propriedades de sorção, podem retardar a liberação desses radionuclídeos (TELLO, 2001) e ((OLIVEIRA, 1980), (MERZ et al., 1986), (REGOURD, 1986), (HOYLE et al., 1986 e 1989) e (TELLO, 1989), apud SILVA, 1997). Como exemplo, cita-se a vermiculita, um mineral argiloso, que apresenta uma boa capacidade de retenção irreversível para o céσιο. De acordo com WATTAL et al. (apud SILVA, 1997), há uma considerável diminuição na liberação de atividade por produtos de rejeito cimentado, quando este mineral é incorporado como aditivo, durante os ensaios de lixiviação realizados por um período de 120 dias, conforme mostrado na Figura 3.42.



Fonte: WATTAL et al., apud SILVA (1997).

a/c: relação água/cimento.

Figura 3.42 - Atividade liberada por produtos de rejeito cimentado contendo rejeito líquido alcalino de média atividade.

Os vários processos de cimentação são classificados conforme a mistura seja feita diretamente dentro da embalagem ou não. Além disto, as instalações de cimentação podem ser móveis, ou seja, podem ser transportadas para os locais onde os rejeitos são gerados.

No processo de cimentação dentro da embalagem (em geral, tambores de 200 litros), os rejeitos, o cimento e os aditivos necessários são misturados dentro da própria embalagem, com a ajuda de pás e agitadores. No processo de cimentação fora da embalagem, o rejeito, o cimento e os aditivos são misturados em um recipiente e a mistura é transferida para as embalagens. Após cada utilização, é feita a limpeza da instalação e os rejeitos gerados nesta operação são estocados para tratamento e imobilização. Este processo pode ser contínuo ou em batelada (IAEA apud SILVA, 1997) e suas principais vantagens são maior capacidade de produção e possibilidade de preparar produtos de diferentes tamanhos para diferentes embalagens. A principal desvantagem está relacionada aos problemas de manutenção. Na Figura 3.43 é mostrado o sistema de cimentação de rejeitos do CDTN/CNEN, processo em bateladas de 200 litros, com cimentação fora do tambor.



Figura 3.43 - Sistema de cimentação do CDTN.

Os sistemas móveis são concebidos para otimizar os custos de manutenção, operação e de treinamento de pessoal envolvidos na operação das usinas de cimentação. Normalmente, os rejeitos gerados nas instalações podem ser cimentados em poucas semanas, portanto, os sistemas ficam ociosos, grande parte do tempo. A prática de se transportar rejeitos líquidos não tratados até as usinas de cimentação é desaconselhada, devido aos riscos desta operação, sendo mais seguro levar a instalação até a origem dos rejeitos. Uma instalação do tipo móvel prevê trabalhos com e sem blindagem e possui filtros de alta eficiência (HEPA) para a limpeza dos gases.

É importante que os produtos de rejeitos e suas embalagens sejam compatíveis. Dependendo das características dos rejeitos e da metodologia de manuseio, transporte e armazenamento, a embalagem pode também requerer blindagem para a radiação. Na seleção de materiais para a embalagem e seu revestimento externo, deve-se considerar a facilidade de descontaminação. Caso a embalagem não tenha sido projetada com o fim de atender aos critérios de aceitação relevantes para o transporte, armazenamento ou deposição, uma embalagem adicional ou uma sobre-embalagem pode ser utilizada para se alcançar conformidade com os critérios de aceitação. Ressalta-se que, tanto os embalados de rejeitos quanto as sobre-embalagens, devem atender às especificações dos critérios de aceitação pré-estabelecidos para a instalação de deposição.

Na ausência de um repositório disponível para a deposição segura dos embalados de rejeitos condicionados, é fundamental que a embalagem mantenha-se íntegra, durante o período de armazenamento anterior à deposição, e que seja capaz de permitir:

- recuperação no final de período de armazenamento;
- colocação em uma sobre-embalagem, se necessário;
- transporte para a instalação de disposição final e manuseio seguro no repositório; e
- desempenho adequado, conforme requerido, no ambiente do repositório.

De acordo com IAEA (2002a), os produtos, resultantes da opção selecionada para o tratamento e condicionamento dos rejeitos, precisam ser caracterizados para a comprovação de que satisfazem aos requisitos de segurança, estabelecidos pelos órgãos competentes, e aos critérios de aceitação das instalações de armazenamento ou de disposição final.

No CDTN/CNEN têm sido realizados trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na área de cimentação de rejeitos radioativos relacionados, principalmente, à qualificação dos produtos de rejeito cimentado, através do acompanhamento de suas macro-propriedades como resistência à compressão, lixiviação, calor de hidratação, entre outras. Têm sido também realizados trabalhos visando à utilização de aditivos nacionais para melhorar a retenção de radionuclídeos pela pasta de cimento, buscando a obtenção de produtos finais mais resistentes e duráveis ((ASTOLFI, s.d.), (TELLO & ASTOLFI, 1981), (TELLO, 1989 e 1995), (MIAW et al., 1993), apud SILVA, 1997) e (TELLO, 2001).

De acordo com IAEA (2002a), todas as opções técnicas de processamento de rejeitos de baixa e média atividade podem ser aplicadas aos rejeitos contendo outros compostos tóxicos, conforme Tabela 3.22. Um resumo das vantagens e limitações dessas opções é mostrado na Tabela 3.23.

Tabela 3.22 - Aplicabilidade das opções de tratamento e condicionamento a rejeitos de baixa e média atividade contendo compostos químicos tóxicos.

Tratamento / Condicionamento	Rejeito líquido aquoso	Rejeito líquido orgânico	Lamas inorgânicas	Lamas orgânicas	Escombros orgânicos	Escombros inorgânicos	Rejeitos especiais^(*)
Triagem	-	-	-	-	X	X	X
Redução de tamanho	-	-	-	-	X	X	-
Separação	X	X	X	X	X	X	X ^(a)
Incineração e tratamento térmico	-	X	-	X	X	-	X ^(a)
Vitrificação	-	-	X	X	X	X	X ^(a)
Destruição não térmica	-	X	X	X	X	-	X ^(a)
Tratamento Biológico	X	X	X	X	X	-	X ^(a)
Solidificação e imobilização	X	X	X	X	X	X	X ^(a)

Fonte: IAEA, 2002a.

(*) Misturas e rejeitos inerentemente perigosos.

(a) A seleção da opção de tratamento e condicionamento dependerá das características do rejeito particular.

Tabela 3.23 - Vantagens e limitações das técnicas de tratamento e condicionamento em rejeitos contendo compostos químicos tóxicos.

Tratamento / Condicionamento	Vantagens	Limitações
Triagem	<ul style="list-style-type: none"> • Simplifica o tratamento e a deposição dos rejeitos. • Minimiza o volume de rejeitos contendo constituintes quimicamente tóxicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposição de trabalhadores aos materiais perigosos na triagem manual. • Requer espaço e embalagens adicionais. • Requer treinamento para os operadores.
Redução de tamanho	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilita redução de volume de rejeitos, minimizando gastos com transporte, armazenamento e disposição final. • Tecnologia comercial, bem desenvolvida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencialmente, há geração de rejeitos secundários na forma de pós. • Aumenta riscos aos trabalhadores, pelo uso de ferramentas de corte.
Separação	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta possibilidade de reclassificação dos rejeitos. • Tecnologia comercial, bem desenvolvida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Separações químicas têm eficiência inferior a 100 %. • Reclassificação de rejeitos não é um processo simples e de fácil aceitação.
Incineração e tratamento térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica é quase completamente destruída. • Cinzas residuais são passíveis de imobilização / estabilização. • Altos fatores de redução de volume para rejeitos combustíveis. • Tecnologia comercial, bem desenvolvida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer controle dos efluentes gasosos, com geração de rejeitos secundários. • Baixa aceitação pública.
Vitrificação	<ul style="list-style-type: none"> • Produto final de pequeno volume e baixa taxa de lixiviação. • Alta redução de volume para rejeitos combustíveis. • Matéria orgânica quase completamente destruída. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer controle dos efluentes gasosos, com geração de rejeitos secundários. • Requer controle da alimentação de rejeitos.
Destruição não térmica	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa liberação de gases tóxicos, como dioxinas, furanos e mercúrio. • Alta redução de volume para rejeitos combustíveis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa capacidade de oxidação quando comparada às tecnologias térmicas. • Requer triagem anterior dos rejeitos. • Requer uso de grandes volumes de produtos corrosivos. • Requer tanques de reação resistentes à corrosão, de construção onerosa.
Tratamento Biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Geração de dioxinas e furanos é improvável. • Baixo custo. • Boa aceitação pública. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicável a compostos específicos. • Baixa capacidade de produção. • Requer triagem anterior dos rejeitos.
Solidificação e imobilização	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia comercial, bem desenvolvida. • Tecnologias a baixas temperaturas excluindo emissões de metal volátil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de volume para a deposição. • Requer assegurar compatibilidade com materiais orgânicos e altos teores de sais.

Fonte: IAEA, 2002a.

Todos os sistemas para o tratamento e condicionamento de rejeitos devem ser objeto de licenciamento ambiental e são sujeitos à fiscalização e ao controle, pelos órgãos competentes.

A título de ilustração, na Figura 3.44 é mostrada uma representação das etapas adotadas na Índia para o gerenciamento de rejeitos radioativos (RAJ, 2006).



Fonte: RAJ, 2006.

OBS: BNR, MNR e ANR referem-se a rejeitos de baixo, médio e alto nível de radiação, respectivamente.

Figura 3.44 - Gerência de rejeitos radioativos na Índia.

3.6.9 Gerenciamento de fontes fora de uso e de outros dispositivos

Fontes radioativas seladas são usadas extensivamente na agricultura, indústria, medicina e em vários campos da pesquisa. De acordo com IAEA (apud REIS, 2000), a maioria dessas aplicações requer que as fontes seladas apresentem uma atividade concentrada no menor volume possível, usualmente poucos centímetros cúbicos. Normalmente o material radioativo está sob uma forma insolúvel, por exemplo, na forma

metálica, caso de fontes de Co-60 e de Ir-192, ou cerâmica para fontes de Cs-137 e de Am-241. Fontes seladas constituídas por emissores alfa, beta e gama de baixa energia exigem uma janela fina, através da qual estas partículas ou fótons possam passar com baixa atenuação. O encapsulamento é feito, em geral, com aço inoxidável, sendo usados também a platina, o titânio, o tungstênio e outros metais. A confecção e testes de estanqueidade das fontes seguem normas internacionais.

Nos últimos anos, aplicações que utilizam fontes radioativas, em especial as que empregam medidores nucleares, têm crescido no Brasil devido, principalmente, aos seguintes fatores (REIS, 2000):

- custo competitivo em relação às alternativas convencionais;
- instalação no país de fábricas e empresas multinacionais, as quais fazem uso de técnicas nucleares;
- facilidade de registro e controle de variáveis, como nível de tanques, espessura de chapas, densidade de solos, etc, por técnicas nucleares;
- ausência de contato entre o material, cujo nível ou densidade se quer medir, e o conjunto fonte/detector, evitando-se problemas de corrosão e abrasão; e
- alta sensibilidade dos detectores utilizados, possibilitando o emprego de fontes com atividades cada vez menores.

Esse aumento de utilização de fontes de radiação seladas traz como consequência o aumento do volume de fontes descartadas, pois, após a retirada de serviço, as fontes são consideradas pelos usuários como rejeito. Normalmente esta retirada ocorre quando a atividade da fonte decaiu para valores abaixo do exigido para a aplicação original, o equipamento ou a técnica utilizada tornou-se obsoleta ou o equipamento foi danificado pelo uso intensivo (REIS, 2000) e (IAEA, 2000).

No Brasil, existem aproximadamente 2.300 instalações radiativas, das quais cerca de 600 operam aproximadamente 3.300 medidores nucleares. Como a vida útil média recomendada pelos fabricantes das fontes é de cerca de 15 anos (variável conforme a meia-

vida do radionuclídeo), pode-se assumir que, em um futuro próximo, uma grande quantidade de medidores fora de uso será descartada como rejeito (REIS, 2000).

A produção e a comercialização de pára-raios radioativos no Brasil foram iniciadas em 1970. A CNEN, através da Resolução CNEN-04 de 19 de abril de 1989, suspendeu a concessão de autorização para o uso de materiais radioativos em pára-raios. Isto porque ficou comprovado que a eficiência dos pára-raios radioativos não era o suficientemente superior à dos pára-raios convencionais, não se justificando o uso de fontes radioativas. Os materiais radioativos destes pára-raios, Am-241 (em maior número) e Ra-226, elementos de radiotoxicidade muito alta, podem ser eventualmente liberados para o meio ambiente em virtude da deterioração progressiva dos elementos constituintes dos pára-raios, sujeitos à ação dos fenômenos naturais (chuva, calor, vento, etc). Assim, estes dispositivos vêm sendo substituídos, pouco a pouco, por modelos que utilizam material convencional. Para um adequado tratamento e deposição dos mesmos, a CNEN tem orientado os seus institutos a recebê-los (SANTOS, 2001).

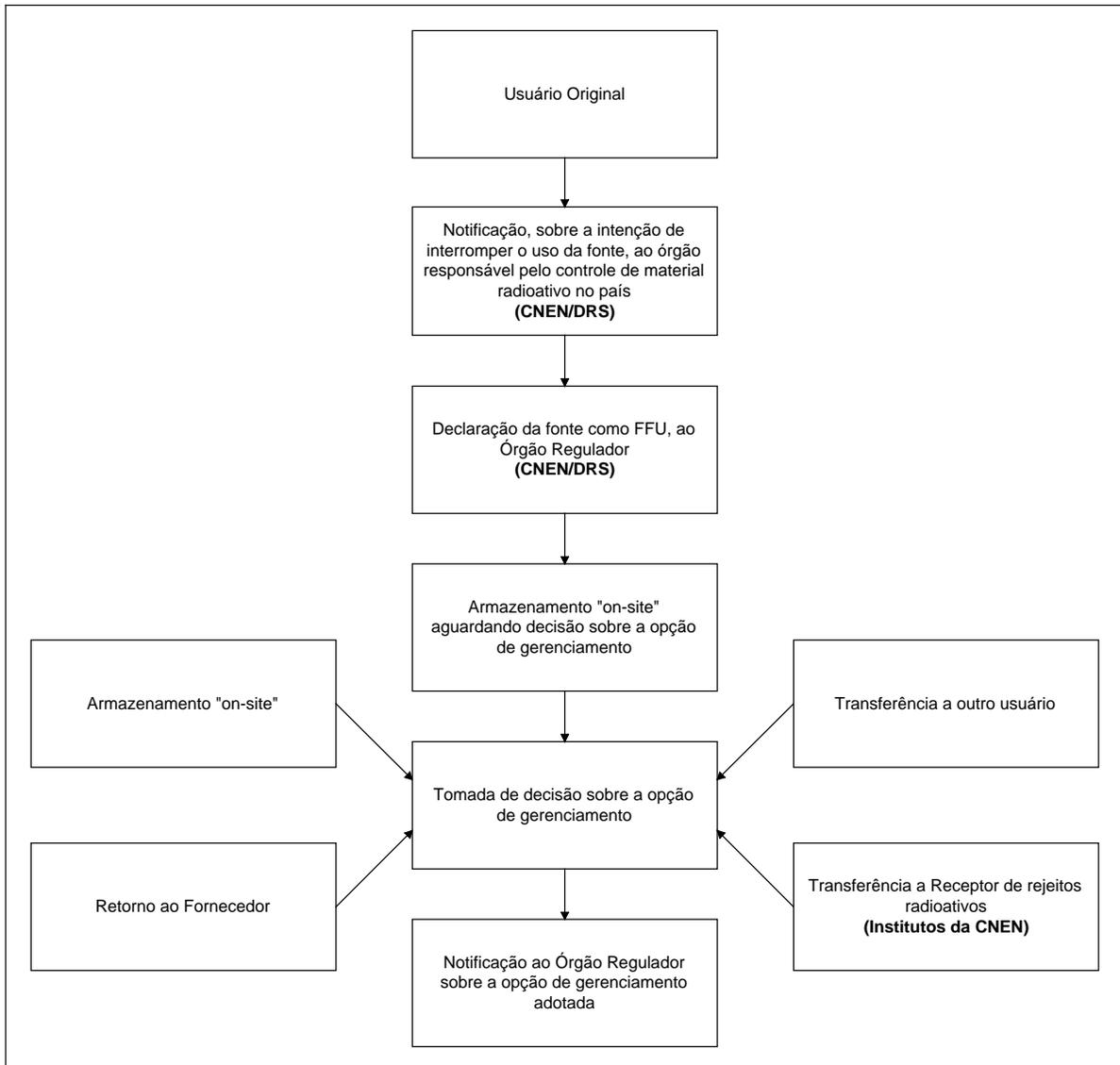
As fontes utilizadas nestes dispositivos são obtidas através de corte de fitas metálicas em cujo cerne foi laminado um briquete de óxido de amerício (AmO_2). De acordo com HEILBRON FILHO & XAVIER (1992), as fitas possuem, tipicamente, uma largura de parte ativa de 12,5 mm, comprimento total de 20 mm e atividade linear de 240 $\mu\text{Ci}/\text{cm}$. A atividade presente em cada pára-raios não é constante e depende da zona de proteção pretendida. A maior quantidade de Am-241 utilizada pelos fabricantes em um único pára-raios foi de 5,75 mCi (1,67 mg), correspondendo a um raio de ação de 250 metros. A maioria destes dispositivos, no entanto, possui atividade unitária de até 2,25 mCi.

Gerenciamento de Fontes Fora de Uso (FFU). De acordo com IAEA (1999), para a gerência segura das FFU, as seguintes atividades devem ser realizadas:

- identificação;
- coleta e transporte;
- retorno ao fabricante/distribuidor, transferência a outro usuário, caso seja autorizada pela CNEN, ou entrega a uma instalação centralizada receptora de rejeitos radioativos;

- condicionamento;
- armazenamento;
- registros e manutenção de inventário atualizado; e
- disposição final.

No fluxograma da Figura 3.45 são apresentadas as etapas para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento de FFU, conforme o documento IAEA (2000). A prática preferível é retornar a fonte ao fabricante/distribuidor ou enviá-la a outra organização para novo uso. É recomendável que novos contratos, para aquisição de fontes seladas pelos usuários, contenham uma cláusula de retorno das fontes aos respectivos fabricantes/distribuidores, após o período de uso. No caso de fontes antigas, restrições econômicas dificultam o retorno dessas fontes aos fabricantes/distribuidores, pois os custos de transporte são muitas vezes consideráveis e proibitivos.



Fonte: Adaptado de IAEA, 2000.

FFU - Fontes de radiação Fora de Uso.

Figura 3.45 - Etapas para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento de FFU.

As fontes emissoras de radiação ionizante devem ser mantidas em local seguro, de modo a evitar que sejam roubadas ou danificadas e, ainda, de modo a prevenir seu uso não autorizado, minimizando, assim, a probabilidade de ocorrência de acidentes, como o ocorrido em Goiânia no final da década de 1980 (XAVIER et al, 2003). De acordo com IAEA (2001b), com relação aos requisitos de segurança para fontes de radiação, deve-se assegurar que:

- o controle sobre a fonte não seja abandonado sem que sejam atendidos todos requisitos de segurança especificados pela CNEN;

- a fonte não seja transferida sem autorização da CNEN; e
- inventários periódicos sejam realizados, em intervalos apropriados, de modo a confirmar que as fontes estejam em seus locais previamente designados e em segurança.

Para as FFU, que não puderam retornar aos fabricantes, aos distribuidores ou a outros usuários, a IAEA (1999) faz as seguintes recomendações:

- as de meia-vida curta devem ser transferidas ao local de armazenamento para decaimento, onde devem ser mantidas até que sejam alcançados os limites de eliminação estabelecidos pela CNEN; e
- as de meia-vida longa devem ser acondicionadas de modo a permitir o seu transporte seguro a uma instalação autorizada para o armazenamento à espera de eventual deposição.

No Brasil, as FFU têm sido encaminhadas aos institutos da CNEN, que têm a atribuição legal de recebê-las e mantê-las sob controle. Na Figura 3.46 é mostrado o depósito de rejeitos radioativos e de FFU do CDTN, uma das instalações da CNEN para armazenamento de FFU.



Figura 3.46 - Depósito de rejeitos radioativos e de FFU do CDTN.

Gerenciamento de pára-raios e de detectores de fumaça radioativos. Os pára-raios radioativos existentes no Brasil constituem-se, basicamente, de uma haste central de fixação, onde são acoplados “pratos” contendo duas ou mais fitas radioativas. Na Figura 3.47 são mostrados os tipos de pára-raios recebidos pelo CDTN/CNEN.

De acordo com SANTOS (2001), como o volume de material radioativo é pequeno em relação ao volume dos pára-raios e o número de pára-raios instalados no Brasil é da ordem de 80.000 (oitenta mil), torna-se necessário o seu desmonte e a segregação da parte radioativa.



Figura 3.47 - Tipos de pára-raios recebidos pelo CDTN.

As diretrizes para o gerenciamento das fontes fora de uso, pára-raios e detectores de fumaça recebidos no CDTN são (SILVA & SILVA, 2003):

- acondicionamento adequado das fontes de Ra-226 e de outras fontes de braquiterapia, visando o armazenamento seguro;
- desmonte, com remoção das fontes radioativas, de pára-raios e detectores de fumaça, visando minimizar o volume de rejeito a ser condicionado. Na Figura 3.48a é apresentada uma vista do laboratório de desmonte de pára-raios e detectores de fumaça;
- desmonte de medidores nucleares, possibilitando avaliar as fontes passíveis de reutilização e minimizar a área necessária para o armazenamento das fontes não reutilizáveis. Na Figura 3.48b é mostrada a célula blindada utilizada para desmonte desses dispositivos no CDTN/CNEN; e
- armazenamento seguro, em suas embalagens de transporte, das outras fontes fora de uso recebidas de instituições externas, por exemplo, as fontes de teleterapia.



Figura 3.48 - Instalações para desmonte de pára-raios e fontes seladas no CDTN.

No desenvolvimento de atividades com radiação ionizante, mesmo adotando-se todas as medidas de segurança radiológica requeridas, não se pode deixar de considerar a

possibilidade de ocorrência de incidentes/acidentes envolvendo a perda de controle de fontes de radiação. Em 1996, tomando-se como base o sistema inglês de atendimento a incidentes envolvendo materiais radioativos (NAIR – “National Arrangements for Incidents Involving Radioactivity”), a CNEN preparou o SINAER – Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos (CNEN, 2000), sistema através do qual a CNEN pode usufruir da experiência acumulada por especialistas da área nuclear em todo o país, para a pronta identificação de eventos radiológicos e acionamento de seu Plano de Emergência.

A partir do acidente radiológico ocorrido em Goiânia, ficou evidente que, no atendimento às situações de emergência, os problemas relacionados aos rejeitos radioativos podem ser minimizados com uma atuação rápida e eficaz de uma equipe previamente preparada, capaz de utilizar os recursos disponíveis no país de forma otimizada (TELLO et al., 1997).

3.6.10 Manutenção de registros e sistema de notificação

A informação é a base do desenvolvimento sustentável e é fundamental para o êxito de planejamentos e tomada de decisões. Decisões tomadas sem informações e dados confiáveis não passam de conjecturas e provavelmente estarão erradas (PNUMA, 2004). Uma vez definida a estratégia de gerenciamento dos rejeitos, um sistema de registro de todas as informações sobre os rejeitos da instalação, deve ser implantado. Em todas as etapas do gerenciamento, documentação completa deve ser gerada e retida, contendo informações sobre as características e origem dos rejeitos, liberações realizadas, transferências, etc. O sistema de registros deve ser capaz de assegurar o rastreamento dos rejeitos transferidos ou eliminados localmente e deve garantir a manutenção do inventário de rejeitos atualizado.

De acordo com CNEN (1985), nas instalações onde são manuseados materiais radioativos devem ser mantidos registros atualizados de todos os rejeitos, descrevendo:

- identificação do rejeito e localização do recipiente que o contém;
- procedência e destino;
- transferências internas e externas;
- eliminações realizadas, particularizando as atividades diárias liberadas; e

- outras informações pertinentes à segurança.

As informações sobre a aquisição e utilização de radionuclídeos e a geração de rejeitos, bem como os dados referentes aos rejeitos armazenados e a sua destinação, incluindo eliminações, devem ser registrados em formulários próprios (CNEN, 1985). Qualquer modificação ou correção feita nos dados constantes desses registros deve ser claramente justificada e documentada. Os registros e os documentos relativos às correções devem ser mantidos na instalação. Periodicamente, de acordo com as determinações contidas na Autorização para Operação, deve ser enviado à CNEN o controle de variações de inventário de todo material radioativo, inclusive dos rejeitos radioativos.

De acordo com SOUZA (1998), os sistemas de notificação, registro e licenciamento são estabelecidos para assegurar a obediência aos princípios básicos de radioproteção, segundo regulamentação e normas estabelecidas por instituições internacionais e nacionais, objetivando a segurança geral mais adequada para o presente e o futuro.

Manutenção de registros. O responsável por uma instalação nuclear ou radiativa deve estabelecer um procedimento para a manutenção de documentação e de registros de acordo com o programa de garantia da qualidade da instalação. O escopo e o detalhamento dos registros dependerão do perigo e/ou da complexidade da operação proposta e devem ser submetidos ao órgão regulador para aprovação.

Os registros terão períodos de validade variáveis. Os requisitos são de registros sobre a instalação de gerenciamento de rejeitos, os próprios rejeitos, e conformidade com os critérios de aceitação para a disposição dos rejeitos, os quais devem ser mantidos por período definido pelo órgão regulador. Estes registros incluem:

- dados requeridos pelo inventário nacional de rejeitos;
- dados sobre a caracterização dos rejeitos;
- registros dos processos de controle para tratamento e condicionamento dos rejeitos;
- documentos sobre a obtenção de embalagens/contêineres necessários para dar confinamento adequado por um período pré-determinado, por exemplo, em um repositório;

- especificações para os embalados de rejeito e registros auditados das embalagens e embalados individuais;
- tendências no desempenho operacional;
- não conformidades com as especificações para os embalados de rejeito e ações tomadas para retificá-las;
- registros de monitorações;
- resultados das avaliações de segurança;
- procedimentos operacionais escritos; e
- qualquer dado adicional solicitado pelo órgão regulador.

De acordo com o documento IAEA (2005b), os registros sobre a caracterização dos rejeitos devem incluir as seguintes informações:

- origem;
- formas física e química;
- quantidade, em volume e/ou massa;
- características radiológicas (concentração de atividade, atividade total, radionuclídeos presentes e suas proporções relativas);
- classificação conforme o sistema nacional de classificação de rejeitos;
- risco químico, patogênico ou qualquer outro risco relativo aos rejeitos e as concentrações de materiais perigosos; e
- qualquer manuseio especial necessário para prevenção da criticalidade, a necessidade de remoção de calor gerado pelo decaimento radioativo ou campos de radiação significativamente elevados.

A AIEA desenvolveu o software “Radioactive Waste Management Registry” (RWMRegistry), uma ferramenta gerencial através da qual se pode obter uma visão ampla e

imediate das diversas etapas envolvidas no gerenciamento de rejeitos radioativos de uma instalação, como também manter registros sobre todos os rejeitos, facilitando o seu rastreamento (IAEA, 2002b). É uma expansão do software “Sealed Radiation Sources Registry” (IAEA-SRS), desenvolvido para o controle do inventário de fontes seladas. No final do ano de 2002, a AIEA disponibilizou o RWMRegistry para uso pelos seus países membros. No Brasil, esse software poderá ser utilizado pelos institutos da CNEN que não têm um sistema informatizado de controle do inventário de rejeitos, como também por quaisquer instalações que geram, recebem, processam e armazenam rejeitos radioativos (SILVA & SILVA, 2003). Cada instituição interessada deverá fazer uma solicitação formal à Seção de Tecnologia de Rejeitos da AIEA (Waste Technology Section).

Sistema de notificação. O operador da instalação deve submeter periodicamente relatórios de conformidade com as condições da autorização obtida junto ao órgão regulador, de acordo com a frequência solicitada. Relatórios rotineiros devem fornecer informações sobre as operações de gerência de rejeitos conduzidas durante o período relatado e a situação dos rejeito, no momento do relatório. Em geral, o relatório deve incluir uma descrição resumida de:

- rejeitos recebidos, de origem externa, ou gerados na própria instalação, incluindo rejeitos secundários do processamento dos rejeitos e rejeitos procedentes da manutenção ou descomissionamento de estruturas, sistemas ou componentes na instalação;
- processamento dos rejeitos, bem como detalhes dos processos usados;
- qualquer rejeito liberado por transferência;
- descargas de efluentes;
- material removido do controle regulatório;
- inventário e alterações líquidas, ao longo dos anos, no inventário de rejeitos recebidos, processados, armazenados e transferidos numa instalação;
- estimativa dos impactos da instalação em termos da exposição à radiação de trabalhadores e do público; e

- não conformidades com os critérios de aceitação de rejeitos ou outros requisitos.

O operador de uma instalação deverá relatar prontamente ao órgão regulador qualquer incidente, acidente ou descoberta de qualquer informação que coloque em questão qualquer aspecto de segurança da instalação ou a base utilizada para a sua autorização. Devem ser notificadas ao órgão regulador não conformidades com os critérios de aceitação de rejeitos e as ações tomadas ou propostas para corrigir a situação.

Com relação ao controle dos resíduos não radioativos, de acordo com relato da ABRELPE (2004), os poucos novos dados disponíveis para o segmento dos resíduos industriais permitiram concluir que a quantidade total tratada no país, em 2004, foi significativamente maior do que no ano anterior. Porém, continua sendo absolutamente necessário que um inventário completo retratando a geração, tratamento e destinação final desses resíduos permita comprovar tais fatos e, principalmente, garanta à população brasileira que a gestão desses resíduos está ocorrendo de forma conveniente. Nesse sentido, vem ganhando corpo a idéia de que um sistema obrigatório de auto-declaração anual e extensivo a todos os geradores seja a solução ideal. Seu baixo custo aliado à velocidade de implementação, dada a possibilidade de utilização da Internet como veículo declaratório similarmente às declarações de imposto de renda, justificam a expectativa.

3.7 Transporte de Resíduos Perigosos

Em função de políticas governamentais que remontam à década de 50, a matriz de transporte brasileira se caracteriza pela forte participação do modal rodoviário no transporte de sua produção (REAL, 2000). Assim sendo, é natural que, no Brasil, a movimentação de resíduos perigosos seja fundamentalmente também feita por meio do transporte rodoviário. O transporte de resíduos perigosos está diretamente relacionado ao transporte de produtos perigosos, conforme estabelece a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, através da Resolução nº 420 (BRASIL, 2004a).

De acordo com REAL (2000), o transporte de produtos pode ser feito de forma contínua ou descontínua. A transferência contínua é realizada através de dutos, principalmente quando as instalações de origem e destino estão próximas uma da outra.

Para efetuar transferências descontínuas é comum a utilização do transporte de cargas fracionadas ou então, a granel.

Carga fracionada é aquela em que os produtos são transportados em pequenas quantidades, ou seja, em embalagens de peso ou de volume limitados, os quais são padronizados para facilitar o manuseio e o uso. Desta forma, as embalagens podem ser movimentadas manualmente ou sobre paletes. Normalmente, utilizam-se embalagens pré-fabricadas, por exemplo, sacaria, tambores, latões e bombonas, as quais são selecionadas em função das características físicas do material a ser transportado, bem como da resistência requerida para que as operações de transporte, de manuseio e de armazenamento possam ser realizadas de forma segura.

Cargas a granel são aquelas sólidas ou líquidas transportadas em grandes volumes e que utilizam tanques, vasos de pressão ou caçambas, para conter o material durante o transporte. Nas operações de carga e descarga são necessários equipamentos para transferência do material, como bombas, compressores, elevadores ou esteiras transportadoras. Caminhões-tanque são utilizados com frequência pela indústria química, petroquímica e de refino de petróleo, para o transporte rodoviário de líquidos e gases a granel.

De acordo com SEVÁ FILHO et al. (2001), os veículos mais utilizados no Brasil para o transporte de resíduos perigosos são os caminhões com carroceria aberta – tipo carga seca, os caminhões basculantes, os caminhões com caçambas e os caminhões-tanque. Os resíduos são, normalmente, transportados acondicionados em tambores, “big-bags”, contêineres, bombonas, ou na própria carroceria, e a carga, em geral, é revestida com uma lona.

Segundo REAL (2000), o *modus operandi* aceito internacionalmente para harmonizar o transporte de produtos perigosos considera que, através de uma metodologia proposta pela ONU, é possível reconhecer, durante o transporte em qualquer parte do mundo, o conteúdo de uma embalagem, os cuidados exigidos na sua movimentação e os perigos inerentes ao produto nela contido.

3.7.1 Recomendações da ONU para o transporte de produtos perigosos

Desde 1976, a Organização das Nações Unidas - ONU (apud REAL, 2000) é responsável pela publicação do livro “Recomendações para o Transporte de Produtos Perigosos”, também

conhecido como “Orange Book”, o Livro Laranja. A cada dois anos o Livro Laranja é revisado e atualizado, para atender às exigências dos modernos sistemas de transporte e, acima de tudo, garantir a segurança das pessoas, das propriedades e do meio ambiente.

O principal objetivo do Livro Laranja é regulamentar o transporte de produtos perigosos, estabelecendo um mínimo de segurança para o comércio mundial. Suas recomendações são aplicáveis ao transporte por qualquer meio sendo que, para o aéreo, podem existir exigências mais restritivas (REAL, 2000). Além disso, ele serve de base para que os governos elaborem as suas regulamentações, facilitando a uniformização dos procedimentos nacionais e internacionais para as operações de transporte.

Entre outros aspectos, as recomendações da ONU (apud REAL, 2000) estabelecem:

- princípios e critérios para classificação de produtos perigosos;
- definição de classes de perigo;
- relação dos produtos perigosos mais comercializados no mundo;
- exigências e especificações gerais quanto às embalagens;
- procedimentos de teste, marcação e rotulagem dos embalados; e
- documentos obrigatórios para as operações de transporte de produtos perigosos.

Para fins de transporte, a ONU considera perigosos aqueles produtos que, em função de suas características químicas ou físicas, quando expostos ao meio ambiente, podem causar danos imediatos à vida humana, aos bens materiais ou aos ecossistemas. Eles são basicamente produtos químicos, puros ou misturas, incluindo-se os radioativos, os explosivos, agentes etiológicos e os resíduos perigosos, que exigem cuidados especiais no manuseio e no transporte. Para serem comercializados, os produtos devem ser acondicionados adequadamente, para garantir a segurança das operações que integram seu transporte, e precisam ter seus perigos identificados, a fim de evitar danos àqueles que os manuseiam, em caso de derrame ou vazamentos.

De acordo com REAL (2000), as recomendações da ONU são aplicáveis ao transporte internacional de cargas fracionadas e não para a movimentação de produtos químicos a granel, que deverá estar sujeita a regulamentações nacionais específicas.

Classificação de Produtos Perigosos. A ONU (apud REAL, 2000) estabelece os critérios para a classificação dos produtos perigosos e os classifica em 9 classes básicas, conforme apresentadas na Tabela 3.24, que podem ser ou não subdivididas, de acordo com o risco ou o mais sério dos riscos que os produtos podem apresentar.

No caso de uma substância, mistura ou solução apresentar mais de um perigo deve-se adotar a classificação mais rigorosa. Ressalta-se que a ordem numérica das classes não implica em graduação de risco.

Tabela 3.24 - Classificação dos produtos perigosos segundo a ONU.

Classe	Sub-classe
1 - Explosivos	1.1 - Substâncias e artefatos com risco de explosão em massa. 1.2 - Substâncias e artefatos com risco de projeção. 1.3 - Substâncias e artefatos com risco predominante de fogo. 1.4 - Substâncias e artefatos que não apresentam risco significativo. 1.5 - Substâncias pouco sensíveis.
2 - Gases	2.1 - Gases inflamáveis. 2.2 - Gases não inflamáveis, não tóxicos. 2.3 - Gases tóxicos.
3 - Líquidos inflamáveis	-
4 - Sólidos inflamáveis	4.1 - Sólidos inflamáveis. 4.2 - Substâncias sujeitas à combustão espontânea. 4.3 - Substâncias que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis.
5 - Substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos	5.1 - Substâncias Oxidantes; 5.2 - Peróxidos Orgânicos.
6 - Substâncias tóxicas e substâncias infectantes	6.1 - Substâncias Tóxicas; 6.2 - Substâncias Infectantes.
7 - Materiais radioativos	-
8 - Corrosivos	-
9 - Substâncias perigosas diversas	-

Fonte: ONU, apud REAL (2000).

O transporte de resíduos perigosos deve atender às exigências prescritas para cada classe ou subclasse de produtos perigosos, considerando seus riscos. De acordo com a ONU (apud REAL, 2000), os resíduos que não se enquadram nos critérios estabelecidos, mas que apresentam algum tipo de risco abrangido pela Convenção da Basileia sobre o Controle da Movimentação Transfronteiriça de Resíduos Perigosos e sua Disposição, devem ser transportados como pertencentes à Classe 9.

Não consta da Relação de Produtos Perigosos, parte integrante do Livro Laranja da ONU (apud REAL, 2000): os produtos químicos que não são considerados perigosos; aqueles que são tão perigosos que não podem ser transportados, exceto com autorização especial; e os produtos que não são considerados perigosos durante as operações normais de um processo de transporte de cargas fracionadas.

A ONU (apud REAL, 2000) classifica as embalagens utilizadas para o acondicionamento de substâncias perigosas em três grupos:

- Grupo de Embalagem I para substâncias que apresentam alto risco;
- Grupo de Embalagem II para substâncias que apresentam risco médio;
- Grupo de Embalagem III para substâncias que apresentam baixo risco.

Além disso, recomendações específicas são fornecidas para as embalagens de transporte, em função da natureza especial de alguns produtos e dos variados graus de risco que apresentam, devidos à maneira como eles são acondicionados.

Número de Risco. Os números que indicam o tipo e a intensidade do risco, para as substâncias e artigos das classes de 2 a 9, são formados por dois ou três algarismos. A importância do risco é registrada da esquerda para a direita. Os algarismos que compõem os códigos de risco são apresentados na Tabela 3.25.

Tabela 3.25 - Significado dos algarismos que compõem os números de risco.

Algarismo do N^o de Risco	Significado
2	Emissão de gás devido à pressão ou a reação química.
3	Inflamabilidade de líquidos (vapores) e gases, ou líquido sujeito a auto-aquecimento.
4	Inflamabilidade de sólidos, ou sólidos sujeitos a auto-aquecimento.
5	Efeito oxidante (favorece incêndio).
6	Toxicidade.
7	Radioatividade.
8	Corrosividade.
9	Risco de violenta reação espontânea.

Fonte: REAL, 2000.

A letra "X", antes dos algarismos, significa que a substância reage perigosamente com água. A repetição de um número indica, em geral, aumento da intensidade daquele risco específico. Quando o risco associado a uma substância puder ser adequadamente indicado por um único número, este será seguido por zero (0). Exemplos de códigos de risco são apresentados na Tabela 3.26.

Tabela 3.26 - Exemplos de códigos de risco com seus significados.

Código	Significado
33	Líquido muito inflamável.
60	Substância tóxica ou nociva.
72	Gás radioativo.
83	Substância corrosiva, inflamável.

Fonte: REAL, 2000.

Identificação dos produtos perigosos no transporte. De acordo com os procedimentos recomendados pela ONU (apud REAL, 2000), toda embalagem contendo produtos perigosos deve ser identificada e rotulada para advertir a terceiros que o seu conteúdo constitui-se de materiais que, se manuseados de forma inadequada, acarretam perigo.

Para que o trânsito dos produtos perigosos seja feito com segurança, entre diversos países, foi estabelecida uma sistemática uniformizando os procedimentos internacionais nesse comércio. Através da Relação de Produtos Perigosos, a ONU (apud REAL, 2000) introduziu uma codificação numérica, em algarismos arábicos, a fim de:

- universalizar a identificação dos produtos;
- facilitar o seu reconhecimento; e
- comunicar o perigo do conteúdo das embalagens para povos com diferentes idiomas.

Além de marcar a embalagem com o número da ONU, o produtor ou o expedidor deve rotulá-la com elementos indicativos que devem informar as classes de risco principal e subsidiário do conteúdo. São 25 rótulos relativos ao risco principal e 10 rótulos que indicam os riscos subsidiários. Risco subsidiário é um risco adicional e secundário que o produto apresenta. Essas provisões de rotulagem são as básicas e referem-se essencialmente aos rótulos de risco, cuja finalidade é:

- facilitar o reconhecimento dos produtos à distância, pela aparência geral dos símbolos (forma e cor);
- permitir a identificação rápida dos perigos que apresentam; e
- prover uma indicação inicial aos cuidados que devem ser observados no manuseio ou estiva.

3.7.2 Transporte rodoviário internacional de produtos perigosos

O transporte internacional de produtos perigosos, pelo modal rodoviário, é regulado pelo ADR - “Agreement for Transportation of Dangerous Goods by Road”, acordo assinado pela maioria dos países da Europa estabelecendo as normas para circulação de produtos perigosos entre suas fronteiras e através de seus territórios, embora não tenha a força de lei (REAL, 2000).

O sistema de classificação dos produtos perigosos, adotado pelo ADR, é similar ao recomendado pela ONU. Seu escopo é, em princípio, regional e aplicável aos países membros da Comunidade Européia. Porém, devido à natureza internacional do transporte, suas normas têm se difundido mundialmente.

A regulamentação do ADR estabelece procedimentos e técnicas visando à redução da probabilidade de vazamentos por falha mecânica da contenção ou decorrentes de acidentes mecânicos ou elétricos com o veículo, e é dirigida principalmente para:

- especificação dos testes que devem ser utilizados para enquadrar as substâncias na classificação de produtos perigosos;
- seleção de embalagens adequadas aos produtos, objetivando acondicionamento e manuseio seguros durante o transporte;
- identificação dos veículos e das embalagens que transportam produtos perigosos, com indicação de seus perigos através de rótulos fixados nas embalagens e de painéis de segurança fixados nos veículos;
- capacitação de veículos, tanques, embalagens e condutores, bem como a padronização dos modelos de certificados que devem ser adotados; e
- procedimentos que devem ser adotados pelos motoristas dos veículos para minimizar danos decorrentes de pequenos incidentes que possam ocorrer durante o trajeto.

De acordo com REAL (2000), o acordo é complexo, sendo omissivo quanto às ações a serem tomadas em caso de emergências devidas a vazamentos ou acidentes de grande porte. Os principais itens cobertos pelas normas estabelecidas pelo ADR para o transporte rodoviário internacional de produtos perigosos são listados na Tabela 3.27.

Tabela 3.27 - Principais itens para transporte rodoviário internacional de produtos perigosos.

Item	Descrição
Documentação (porte obrigatório)	Descrição do(s) produto(s), incluindo nome, nº ONU e classificação de risco; Certificado de qualificação de contêineres, emitido pelo expedidor; Instruções ao condutor sobre os perigos dos produtos, as medidas que devem ser adotadas para sua proteção pessoal e as ações para casos de acidente; Certificado de qualificação do veículo; Certificado de treinamento do condutor.
Embalagens (especificações)	Todas as embalagens utilizadas no transporte de cargas fracionadas de produtos perigosos devem ser previamente aprovadas, conforme ensaios estabelecidos no ADR.
Marcação	Todas as embalagens utilizadas no transporte de cargas fracionadas de produtos perigosos devem ser marcadas com códigos que permitam identificar suas características construtivas.
Rotulagem	Todas as embalagens contendo produtos perigosos devem ser identificadas com os rótulos indicativos de risco, padronizados. Dimensão dos rótulos: 100 mm por 100 mm, para embalagens pequenas, e 250 mm por 250 mm, para as maiores.
Transporte a granel e tanques	Nem todos os produtos perigosos podem ser transportados a granel. Os tanques, neste tipo de transporte, devem ser certificados para tal.
Certificação dos tanques	Independente da aprovação dos veículos, os tanques utilizados para transporte a granel devem ser certificados por uma instituição autorizada. Deve ser inspecionado, verificado e testado antes de entrar em serviço e, a partir de então, deve ser inspecionado e testado regularmente para obter o Certificado de Capacitação.
Identificação de veículos	Os veículos devem portar painéis de segurança e rótulo de risco, afixados na carroceria, conforme mostrado na Figura 3.49. Os painéis de segurança (Base: 400 mm e Altura: 300 mm), pintados com tinta reflexiva laranja, os quais devem se manter legíveis no mínimo por 15 minutos, quando envolvidos pelo fogo, devem indicar o nº da ONU do produto transportado e seu nº de risco.
Equipamentos elétricos	Caminhões-tanque e os veículos especiais para transporte de explosivos devem ter seus dispositivos elétricos adequados ao serviço que efetuam.
Outras características veiculares	São estabelecidas outras exigências específicas quanto aos dispositivos que devem ser instalados em veículos que efetuam determinado tipo de transporte, como: dispositivos de exaustão em veículos que transportam gases ou líquidos inflamáveis em tanques; limitadores de velocidade para veículos mais pesados (tara líquida superior a 12 toneladas).
Extintores de incêndio	Todos os veículos devem trafegar com, no mínimo, dois extintores de incêndio, os quais devem ser adequados ao combate a incêndios no veículo e na carga.
Equipamentos acessórios	Visando à segurança em caso de vazamentos, os veículos devem trafegar portando kits de: proteção pessoal (luvas, máscaras, sapatos, roupas protetoras); proteção do público (cones e triângulos para isolamento de trechos rodoviários); proteção do meio ambiente (vassouras, pás, absorventes adequados e contêiner para recolher pequenos derrames); caixa de ferramentas; etc.
Supervisão	Os veículos devem ser supervisionados continuamente. Em caso de parada, devem ser estacionados em locais seguros.
Parada de veículos	Durante o período em que permanecem estacionados, os veículos deverão estar com o seu freio de mão acionado.
Cargas mistas	Cargas mistas referem-se aos carregamentos em que produtos de diferentes classes são embarcados no mesmo veículo. Produtos incompatíveis não podem ser transportados em compartimentos adjacentes, em caminhões-tanque.
Manuseio	São estabelecidas normas específicas para cada classe de produto, a respeito do seu acondicionamento e manuseio dos embalados.

Fonte: ADR apud REAL, 2000.

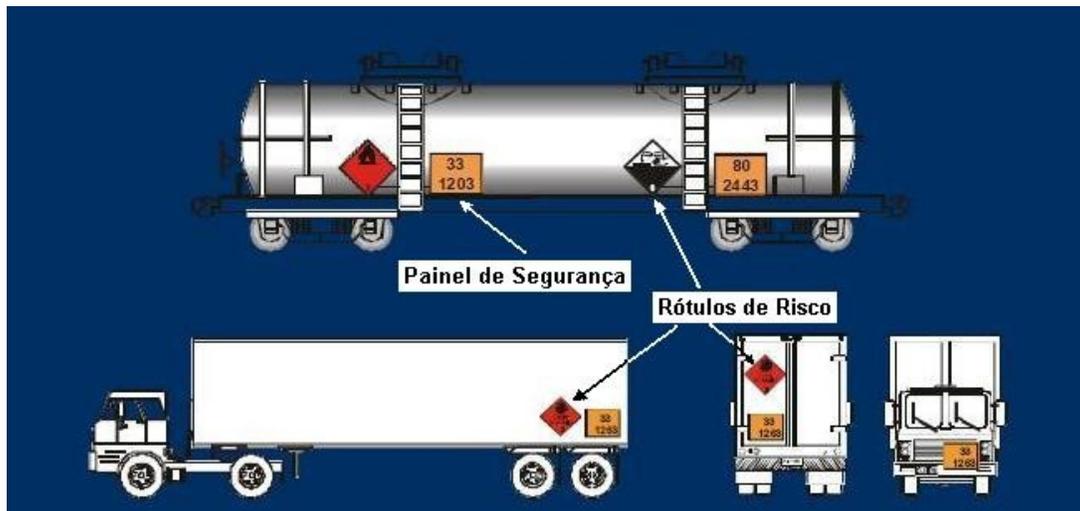


Figura 3.49 - Placas para identificação de veículos que transportam produtos perigosos.

3.7.3 Regulamentação do transporte de produtos perigosos no Brasil

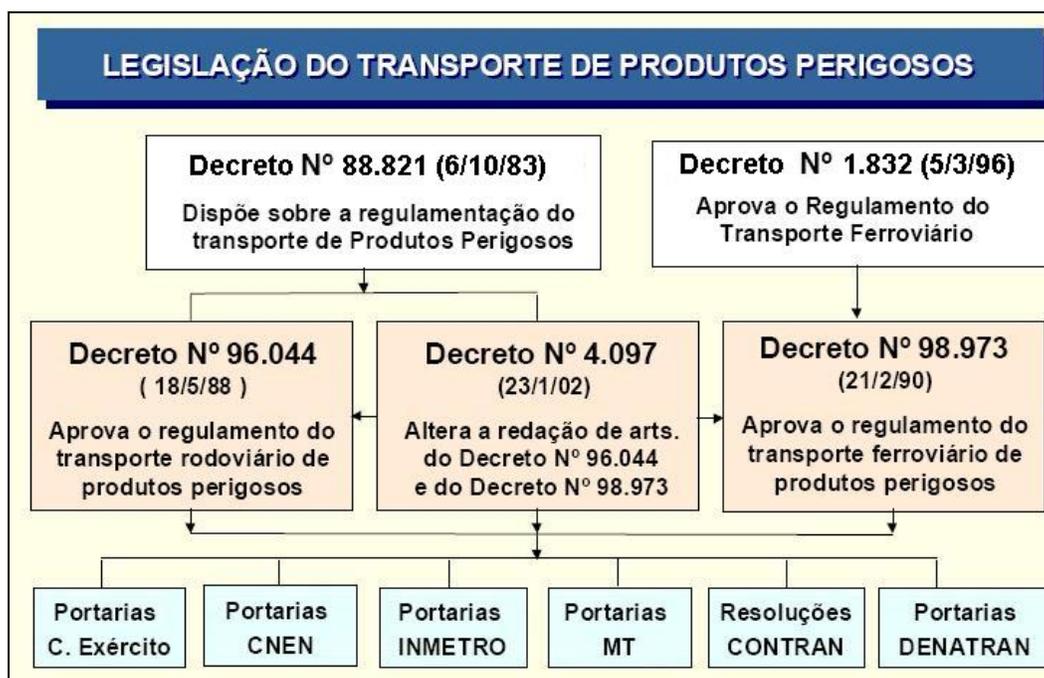
A legislação internacional que trata do transporte de produtos perigosos tem como principais objetivos: preservar o meio ambiente; proteger a saúde pública; e estabelecer condições seguras de transporte, manuseio e armazenamento de produtos perigosos. A regulamentação brasileira para o transporte de produtos perigosos segue as regulamentações internacionais, estabelecidas pela ONU e pelo ADR, com algumas diferenças. Até 1983, não existia no Brasil uma legislação apropriada para as operações de transporte de produtos perigosos.

De acordo com BREIA (2002), em 1983, devido a um acidente, ocorrido no Rio de Janeiro, envolvendo o produto químico pentaclorofenato de sódio, foram promulgados: o Decreto Federal nº 88.821/83, aprovando o regulamento para execução do serviço de transporte rodoviário de cargas ou produtos perigosos; e o Decreto-lei nº 2.063/83, que dispõe sobre multas a serem aplicadas por infrações. Em 1988, o Decreto nº 88.821/83 foi substituído pelo Decreto nº 96.044 (BRASIL, 1988), que aprovou o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos - RTPP, ainda hoje em vigor.

Em 2001, o setor federal de transportes sofreu uma reestruturação pela lei nº 10.233/01, tendo sido criadas as seguintes agências reguladoras e fiscalizadoras: ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres; e ANTAQ - Agência Nacional de Transportes

Aquaviários (DAVID, 2004). Entre as atribuições de cada uma destas Agências está “estabelecer padrões e normas técnicas complementares relativos às operações de transporte de cargas especiais e perigosas”, em suas respectivas áreas de atuação.

De acordo com DNIT (2005), o Decreto nº 96.044/88 foi alterado, em parte, pelo Decreto nº 4.097/02 e complementado por diversas Portarias do Ministério dos Transportes - MT, destacando-se: a de nº 291 de 31 de maio de 1988, que definiu a rotulagem de riscos no transporte de produtos perigosos, seguindo-se com instruções complementares ao regulamento RTPP; e a de nº 349 de 10 de maio de 2002, que trata da fiscalização do transporte rodoviário de produtos perigosos. No fluxograma da Figura 3.50 é apresentado um resumo do arcabouço legal para o transporte de produtos perigosos no Brasil.

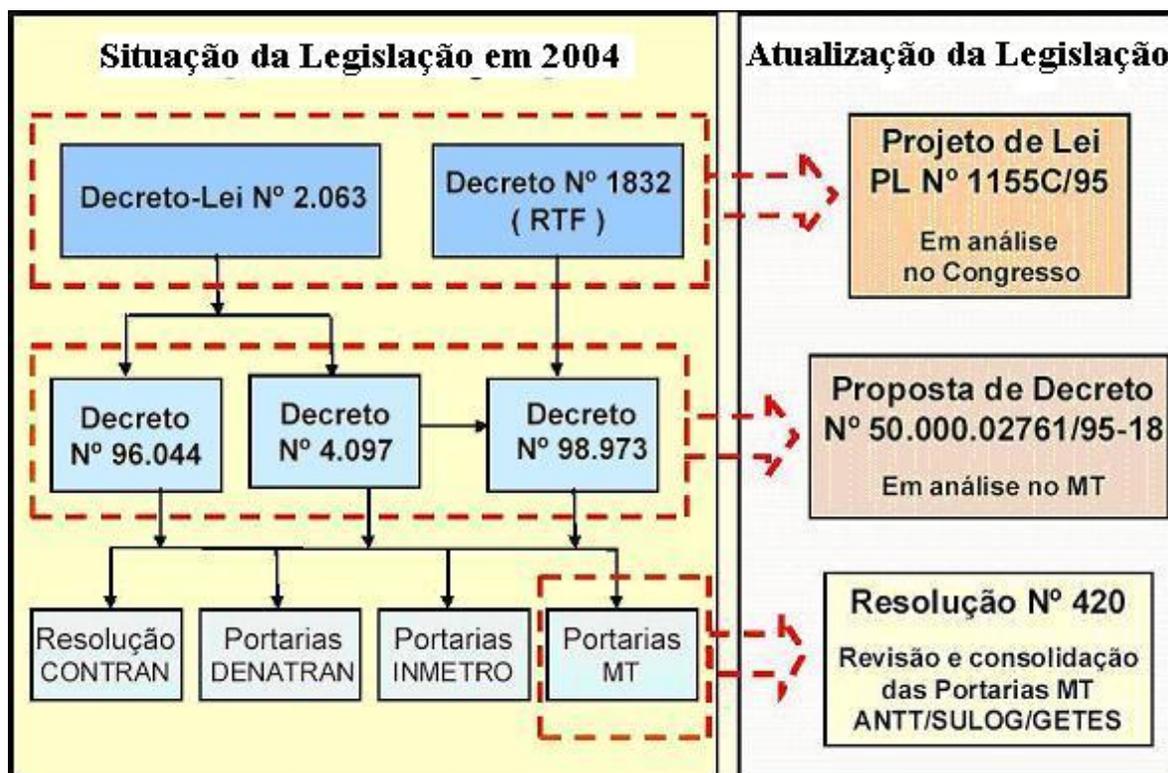


Fonte: Adaptado de DAVID (2004).

Figura 3.50 - Arcabouço legal para o transporte de produtos perigosos no Brasil.

A Agência Nacional de Transportes Terrestres publicou, em 2004, a Resolução ANTT nº 420 (BRASIL, 2004a), revogando as Portarias: 261/89; 204/97; 409/97; 101/98; 409/98; 490/98; 342/00; 170/01; 254/01. Em agosto desse mesmo ano, esta resolução foi atualizada pela Resolução ANTT nº 701 (BRASIL, 2004b).

De acordo com DNIT (2005), tramita no Congresso o Projeto de Lei nº 1155C/95, visando a atualização da legislação e, no âmbito do Ministério dos Transportes, está em andamento uma proposta de decreto para reformulação dos Decretos nºs 96.044/88, 4.097/02 e 98.973/90, conforme representação mostrada na Figura 3.51.



Fonte: DAVID, 2004.

Figura 3.51 - Situação da legislação de transporte de produtos perigosos.

Com o advento do Mercosul fez-se necessária uma legislação para o transporte rodoviário e ferroviário de produtos perigosos, que fosse viável a todos os seus países membros (BREIA, 2002). As normas destinadas a expedidores e operadores de cargas dessas modalidades de transporte foram baseadas em acordos e normas internacionais consagradas, incluindo o Acordo Parcial para Facilitação do Transporte de Produtos Perigosos no Mercosul (Brasil, Argentina e Paraguai), referendado no Brasil pelo Decreto nº 1.797 de 25 de janeiro de 1996. Posteriormente, através do Decreto nº 2.866/1998 ficou estabelecido o Regime de Sanções e Penalidades para o Mercosul.

No Brasil, além das Portarias e Decretos que tratam do assunto, as atividades relacionadas aos produtos perigosos seguem também normas e regulamentos técnicos definidos pelo INMETRO e pela ABNT. Na Tabela 3.28 são mostradas as principais normas da ABNT aplicáveis às operações de transporte rodoviário de produtos perigosos. Ao INMETRO, ou entidade por ele credenciada, compete atestar a adequação dos veículos e equipamentos utilizados no transporte de produtos perigosos, nos termos de seus regulamentos internos, conforme o Decreto Federal 96.044 (BRASIL, 1988).

Tabela 3.28 - Principais normas da ABNT para transporte de produtos perigosos.

Norma	Título e Objetivo
NBR-7.500/05	<i>Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.</i> Estabelece simbologia convencional e seu dimensionamento p/ produtos perigosos, a ser aplicada nas unidades de transporte e nas embalagens, para indicar riscos e cuidados a serem tomados nas operações de transporte terrestre conforme a carga contida.
NBR-7.501/05	<i>Transporte terrestre de produtos perigosos – Terminologia.</i> Define os termos envolvidos no transporte de produtos perigosos.
NBR-7.503/05	<i>Ficha de emergência e envelope para o transporte terrestre de produtos perigosos – características, dimensões e preenchimento.</i> Especifica os requisitos e as dimensões para a confecção da ficha de emergência e do envelope para o transporte terrestre de produtos perigosos, bem como as instruções para o preenchimento da ficha e do envelope.
NBR-9.735/05	<i>Conj. de equipamentos p/ emergências no transporte terrestre de produtos perigosos.</i> Estabelece mínimo de equipamentos para emergências no transporte terrestre de produtos perigosos, constituído de equipamento de proteção individual, a ser utilizado pelo motorista e pessoal envolvido (se houver) nas operações de transporte do veículo, equipamento de sinalização, isolamento da área em ocorrências e extintor de incêndio portátil.
NBR-13.221/05	<i>Transporte terrestre de resíduos.</i> Especifica os requisitos para o transporte terrestre de resíduos, de modo a evitar danos ao meio ambiente e a proteger a saúde pública.
NBR-14.619/05	<i>Transporte terrestre de produtos perigosos - Incompatibilidade química.</i> Estabelece critérios de incompatibilidade química a serem considerados no transporte terrestre de produtos perigosos.
NBR-11.564/02	<i>Embalagem de produtos perigosos, Classes 1, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 - Requisitos e métodos de ensaio.</i> Fixa requisitos e estabelece métodos de ensaio para embalagens de produtos perigosos, excluídos os da classe 2 (gases: inflamáveis; comprimidos não tóxicos e não inflamáveis; tóxicos) e da classe 7 (radioativos). Tais requisitos são exigíveis, mas não suficientes para embalagens de produtos classe 1, classe 5 (peróxidos orgânicos) e alguns sólidos reagentes da classe 4.1 (sólido inflamável).

Durante as operações de transporte, os embalados devem ser claramente identificados, de acordo com o conteúdo de cada um, mesmo quando armazenados em estoques transitórios. Os embalados, a serem transportados para fora da instalação, devem

apresentar identificação da classe de risco e código da ONU, conforme BRASIL (2004a). Na Figura 3.52 são mostrados exemplos de rótulos de risco.



Figura 3.52 - Exemplos de rótulos de risco.

A identificação deve ser aposta nas embalagens de acondicionamento, de forma legível e indelével, utilizando-se, além de código único de identificação, símbolos, cores e frases, atendendo parâmetros referenciados na norma NBR 7.500/05, além de outras exigências relacionadas à identificação de conteúdo e ao risco específico do rejeito. Quando a embalagem não puder portar diretamente o rótulo, este deve ser apostado a uma etiqueta de identificação do resíduo, fixada em dispositivo preso à embalagem.

De acordo com REAL (2000), existem poucas evidências de uma postura proativa nas regulamentações do transporte de produtos perigosos, no sentido de minimizar os danos provocados por vazamentos de cargas nas rodovias. Segundo a autora, o sistema de identificação de perigos, estabelecido pela ONU através dos rótulos e números de risco, foi orientado para o comércio internacional de produtos perigosos, onde predomina o transporte via marítima, através de cargas fracionadas. Para o transporte rodoviário a granel, o acordo europeu, que também é voltado para o comércio internacional desses materiais, manteve o sistema de identificação de riscos preconizado pela ONU, ao qual

foram agregadas normas que contemplam, principalmente, as especificações técnicas para as embalagens, para os dispositivos de contenção e para o material rodante.

A regulamentação considera apenas a possibilidade de pequenos vazamentos, controláveis pelo condutor. Em caso de acidentes mais graves, todas as medidas requeridas para controlar a situação, que deverão ser implementadas na rodovia, dependerão da capacitação das equipes de atendimento às emergências, em identificar os produtos transportados, os seus perigos e as medidas de controle para reduzir os danos.

Durante o transporte, vazamentos de produtos perigosos são riscos para todos os que integram o ambiente rodoviário, os quais são potencializados em decorrência das dificuldades das equipes para a mitigação dessas ocorrências.

A maioria dos países industrializados dispõe de publicações especializadas voltadas para o atendimento emergencial durante o transporte de produtos perigosos, a exemplo do Guia NAERG (apud REAL & BRAGA, 2000), desenvolvido em conjunto pelos departamentos de transportes dos Estados Unidos, do México e do Canadá. REAL & BRAGA (2000) menciona, para o Brasil, dois manuais com esta finalidade, sendo que o primeiro deles, o Guia para Emergências – Transporte de Produtos Perigosos, do Ministério dos Transportes, de 1984, já se encontrava desatualizado. O outro é o Manual para Atendimento de Emergências com Produtos Perigosos, publicado pela ABIQUIM - Associação Brasileira das Indústrias Químicas e de Produtos Derivados (ABIQUIM, 1994). O manual da ABIQUIM apresenta formato e organização similares aos do Guia NAERG e foi concebido para fornecer orientação básica às equipes de atendimento.

A ABIQUIM mantém um sistema de atendimento a emergências, o Pró-Química, com plantão telefônico 24 horas/dia, através de uma linha de discagem direta gratuita. O serviço atende chamadas de todo o país e fornece orientações de natureza técnica, em caso de vazamentos de produtos químicos (www.abiquim.org.br).

Em 2005, o DNIT, por intermédio do seu Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR, publicou o documento “Manual para implementação de planos de ação de emergência para atendimento a sinistros envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos” (DNIT, 2005), uma ferramenta básica de orientação, como um guia para a execução de planos de ação de emergência para respostas imediatas a eventos acidentais envolvendo produtos

perigosos nas rodovias, que consubstancia uma necessidade real de se implantar, nas nossas rodovias, uma resposta adequada a esses acidentes e às suas conseqüências. De acordo com este manual, o controle do transporte rodoviário está sob a responsabilidade do DNIT, que por sua vez, através do IPR, promove a sua implementação no sentido de orientar adequadamente a execução de respostas em tempo hábil nos eventos acidentais envolvendo produtos perigosos e contribuindo para a diminuição de acidentes rodoviários e suas conseqüências. Para o DNIT (2005), mais importante do que dar respostas aos acidentes com produtos perigosos é evitar que os mesmos ocorram, levando em consideração a questão preventiva da segurança rodoviária específica para produtos perigosos. A este respeito, o Manual propõe uma série de medidas estruturais preventivas de segurança voltadas para produtos perigosos, para serem implementadas na fase de projeto ou de melhorias nas obras rodoviárias, em locais onde o tráfego desses produtos se verifica mais intenso.

Para o transporte de explosivos e substâncias radioativas devem ser também observadas as normas aplicáveis do Ministério do Exército e da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, respectivamente (BRASIL, 1988).

3.7.4 Transporte de materiais radioativos

O desenvolvimento da indústria nuclear no mundo, a partir de 1950, e a conseqüente movimentação de materiais radioativos, entre países, apontaram a necessidade de elaboração de normas e a assinatura de um acordo internacional, de modo a garantir a segurança no transporte, armazenamento em trânsito e manuseio desses materiais pertencentes à Classe 7 de produtos perigosos, conforme classificação da ONU (XAVIER et al., 2003).

De acordo com XAVIER et al. (2003), a AIEA, contando com a contribuição de peritos de diversos países, iniciou, em 1959, a elaboração do Regulamento para o Transporte Seguro de Materiais Radioativos, Safety Series N^o 6, publicado pela primeira vez em 1961. Esse documento obteve ampla aceitação internacional e tem sido, desde então, periodicamente revisado, sendo a revisão de 1985 a base da regulamentação da CNEN (1988a) sobre a matéria. A revisão de 1996 da AIEA foi publicada como Safety Standards Series, N^o ST-1. Em 2000, esse mesmo regulamento foi publicado com pequenas correções editoriais, como Safety Standards Series, N^o TS-R-1 (ST-1, Revised). A última edição desse regulamento é de 2005 (IAEA, 2005c).

O transporte, rodoviário, ferroviário, marítimo ou aéreo, de materiais radioativos está sujeito não só à legislação vigente em cada país como, em caso de transporte entre países, aos regulamentos, acordos e convenções bilaterais, ou internacionais, conforme exemplificado na Tabela 3.29.

Tabela 3.29 - Exemplos de organismos que regulamentam o transporte internacional.

Organização ^(*)	Comentário
IMO	A 1ª convenção sobre segurança da vida no mar, conhecida como SOLAS – “Safety of Life at Sea”, realizada em 1914, estabeleceu a proibição do transporte de produtos que, por razões de sua natureza, quantidade e modo de armazenamento, pudessem colocar em risco a vida de passageiros ou a segurança dos navios. A IMO, Organização Marítima Internacional, criada em 1958, convocou uma conferência com o objetivo de revisar a Convenção SOLAS. Como resultado, em 1960 foi acrescentado um capítulo que tratava exclusivamente do transporte marítimo de produtos perigosos. Em 1961, foi constituído um grupo de trabalho para elaborar um Código para o Transporte de Produtos Perigosos por via marítima, “International Maritime Dangerous Goods”, IMDG, código esse que se encontra consolidado, desde 1990, em quatro volumes.
ICAO/IATA	A ICAO e a IATA são entidades responsáveis pela adoção de um regulamento para o transporte aéreo de produtos perigosos. A ICAO, fundada na Convenção de Chicago, em 1947, com sede em Montreal/Canadá, tem por objetivo principal, desenvolver normas e recomendações práticas, sob forma de instruções, aplicáveis a todas as áreas da aviação civil, consolidadas no Livro Laranja/ONU. Já a IATA, associação representativa das companhias aéreas do mundo, fundada pelo Parlamento Canadense, em 1945, para garantir a segurança dos vôos, adotou as instruções técnicas da ICAO, em 1983, acrescentando-lhes alguns itens, e publicou um documento intitulado “Dangerous Goods Regulation”, DGR, que é editado anualmente.
UPU	A UPU resultou de uma convenção ocorrida em Berna/Suíça, em 1874, sendo atualmente uma agência especializada das Nações Unidas, com sede em Berna. De acordo com a UPU, uma expedição envolvendo materiais radioativos, com atividade que não exceda 1/10 dos limites estabelecidos pela AIEA para materiais exceptivos, pode ser aceita para transporte postal internacional, desde que: seja depositada no serviço postal por expedidores autorizados pela Autoridade Competente do país; seja despachada pela rota mais rápida, normalmente via aérea; apresente um rótulo branco afixado na superfície externa do embalado, contendo os dizeres “material radioativo”, que deve ser cruzado caso o embalado estiver retornando, vazio; e possua, na lateral, a indicação de nome e endereço para o qual a expedição deverá ser devolvida, caso o destinatário não seja localizado.

Fonte: adaptado de XAVIER et al. (2003).

- (*)
 IMO - International Maritime Organization.
 ICAO - International Civil Aviation Organization, ONU.
 IATA - International Air Transport Association.
 UPU - Universal Postal Union.

No Brasil, no âmbito federal, regulamentam e atuam diretamente na área de transporte de materiais radioativos, os seguintes órgãos, além da Vigilância Sanitária e demais autoridades que atuam em portos, aeroportos e fronteiras:

- Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN;
- Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ, órgãos reguladores e fiscalizadores do Ministério dos Transportes;
- Departamento da Aviação Civil - DAC do Ministério da Aeronáutica; e
- Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Minerais Renováveis - IBAMA, em função de sua competência legal relacionada à proteção do meio ambiente.

A regulamentação estabelecida pela CNEN para a operacionalização dos transportes está contida em três de suas normas:

- CNEN-NE-5.01 - Transporte de materiais radioativos (CNEN, 1988a);
- CNEN- NE-5.02 - Transporte de elementos combustíveis (CNEN, 2003); e
- CNEN-NE-2.01 - Proteção física de unidades operacionais da área nuclear (CNEN, 1996).

Estas normas da CNEN estabelecem requisitos de radioproteção e segurança, a fim de que seja garantido um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante durante as operações de transporte de materiais radioativos. Entretanto, é necessário também levar em conta outras características de periculosidade desses materiais que possam acarretar riscos adicionais.

Como qualquer transporte em território nacional, também deve ser observado, além da regulamentação da CNEN, o prescrito no âmbito do Ministério dos Transportes, pelo Regulamento do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, aprovado pelo Decreto nº 96.044/88, atualizado pelas Resoluções ANTT-420 e ANTT-701, ambas de 2004, e no âmbito do Ministério da Aeronáutica, através da Portaria nº 1.603, do Departamento de Aviação Civil, pelas instruções da ICAO e da IATA.

Quanto à segurança nuclear do transporte, esse aspecto deve atender às especificações da Convenção de Segurança Nuclear, patrocinada pela AIEA, cujo texto, assinado pelo Brasil em setembro de 1994, foi aprovado pelo Congresso Nacional por meio do Decreto Legislativo

nº 04, de 22 de janeiro de 1997. Em relação à proteção física, o Brasil ratificou, em 17 de outubro de 1985, a Convenção sobre a Proteção Física de Materiais Nucleares, de 1979.

As seguintes premissas foram usadas no estabelecimento da norma de transporte, CNEN-NE-5.01:

- os embalados contendo material radioativo devem ser tratados com os mesmos cuidados adotados para outros produtos perigosos;
- a segurança depende basicamente do projeto do embalado e não dos procedimentos operacionais; e
- o expedidor é responsável pela segurança do transporte.

O transporte de rejeitos radioativos obedece à mesma regulamentação definida para o transporte de materiais radioativos e os requisitos de radioproteção e segurança para as operações de transporte compreendem:

- especificações sobre materiais radioativos para transporte;
- seleção do tipo de embalado;
- especificação dos requisitos de projeto e de ensaios de aceitação de embalados; e
- disposições pertinentes ao transporte, propriamente dito; e responsabilidades e requisitos administrativos.

De acordo com CNEN (1988a), a expressão “transporte de materiais radioativos” abrange todas as operações e condições associadas e envolvidas na movimentação de material radioativo remetido de um local a outro, em condições normais ou de acidente, como:

- ao transporte por terra, água e ar;
- ao projeto, fabricação, ensaios e manutenção de embalagens;
- à preparação, expedição, manuseio, carregamento, armazenamento em trânsito e recebimento no destino final de embalados; e
- ao transporte de embalagens vazias, que tenham encerrado material radioativo.

De acordo com SILVA & CUSSIOL (1999), os geradores de rejeito devem preparar os embalados contendo rejeitos radioativos, de acordo com as especificações exigidas pelo transportador do rejeito e com os critérios de aceitação estabelecidos pela instalação centralizada que receberá os rejeitos.

Na Tabela 3.30 são apresentadas formas utilizadas para alcançar os objetivos da norma CNEN-NE-5.01.

Tabela 3.30 - Formas de atendimento aos objetivos da norma CNEN-NE-5.01/88.

Objetivo	Formas de Atendimento
Evitar a dispersão de material radioativo.	Garantindo que a contenção do embalado seja adequada para prevenir sua dispersão, ingestão ou inalação. A atividade, em Bq, e a natureza do conteúdo devem ser levadas em consideração no projeto da embalagem.
Evitar o perigo devido à radiação emitida pelo embalado.	Controlando o nível externo de radiação, por meio da incorporação de blindagem ao embalado, e sinalizando o nível de radiação existente externamente ao mesmo. O nível máximo de radiação externa deve ser considerado quando da rotulação, marcação e segregação.
Evitar surgimento de reação em cadeia.	Controlando a configuração dos embalados contendo material físsil, tomando por base as especificações de projeto e a avaliação de subcriticalidade nuclear do arranjo de embalados.
Evitar exposição do embalado a temperaturas elevadas.	Evitando níveis elevados de temperatura na superfície do embalado e danos decorrentes do calor. A temperatura máxima do conteúdo e da superfície do embalado é controlada por meio da utilização de material adequado, bem como pela adoção de formas de armazenamento que garantam a necessária dissipação de calor.

Fonte: adaptado de XAVIER et al., 2003.

Na Tabela 3.31 são apresentadas as especificações sobre materiais radioativos para fins de transporte, ressaltando que, para efeito de classificação desses materiais, incluindo aqueles considerados como rejeito radioativo, a CNEN deve ser sempre consultada.

Ressalta-se que as fontes sólidas não dispersáveis deverão ser submetidas a ensaios de lixiviação e vazamento volumétrico, conforme detalhado na norma CNEN NE-5.01. A atividade no lixiviado não deve exceder a 2kBq (~ 50 nCi).

Tabela 3.31 - Classificação dos materiais radioativos para fins de transporte.

Nome	Especificação
Material Radioativo	Qualquer material com atividade específica superior a 70 kBq/g (2.10^9 Ci/g), podendo estar sob forma especial, a saber, sólido não dispersivo ou material contido em cápsula selada, ou, ainda, sob outras formas. Nesse contexto, atividade específica significa a atividade de um radionuclídeo por unidade de massa do mesmo ou, no caso de um material no qual o radionuclídeo está uniformemente distribuído, é a atividade por unidade de massa do material.
Material Radioativo sob Forma Especial	Abrange o material radioativo sólido não dispersivo e o material radioativo encerrado em cápsula selada, este denominado fonte selada, ambos tendo, pelo menos, uma dimensão não inferior a 5 mm e que não quebrem ou estilhacem sob os ensaios de impacto, percussão, flexão, bem como não fundam ou dispersem quando submetidos ao ensaio térmico, ensaios esses detalhados na Norma CNEN-NE-5.01. Ressalta-se que as cápsulas seladas devem ser produzidas de modo que só possam ser abertas por meio de sua destruição.
Materiais Radioativos sob Outras Formas	<p>Material Físsil - Pu-238, Pu-239, U-233, U-235 ou qualquer combinação desses radionuclídeos, excluindo o urânio natural e empobrecido não irradiados.</p> <p>Material de Baixa Atividade Específica (Material BAE) - material radioativo que tem, por natureza, uma atividade específica limitada, como, por exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Material BAE-I: minérios que contêm radionuclídeos ocorrentes na natureza, tais como urânio e tório, concentrados de tais minérios, compostos sólidos ou líquidos de urânio natural não irradiado ou urânio empobrecido ou tório natural; - Material BAE-II: água com concentração de trício até 1 TBq/L (20Ci/L); - Material BAE-III: sólidos com atividade específica que não exceda os valores especificados na Norma CNEN-NE-5.01, como rejeitos consolidados, onde o material radioativo está distribuído uniformemente em um material aglutinante compacto (concreto, betume, cerâmica). <p>Objeto Contaminado na Superfície (OCS) – objeto sólido de material não radioativo com contaminação por material radioativo distribuída na sua superfície e que, dependendo do tipo e nível de contaminação, pode ser classificado como OCS-I, OCS-II ou OCS-III.</p>

Fonte: CNEN (1988a)

Seleção do Tipo de Embalado. De acordo com XAVIER et al. (2003), o tipo do embalado para transporte de material radioativo, com vistas ao desempenho adequado da respectiva embalagem em termos de sua integridade, deve ser selecionado dentre quatro tipos primários, explicitando-se, em cada caso, se o embalado contém material físsil. Uma descrição sucinta dos tipos primários de embalados de transporte de materiais radioativos é apresentada na Tabela 3.32.

Tabela 3.32 - Tipos primários de embalados de transporte.

Tipo de Embalado	Descrição
Exceptivo	Embalado no qual a embalagem, do tipo industrial ou comercial comum, contém pequena quantidade de material radioativo, com atividade limitada pela Norma CNEN-NE-5.01.
Industrial	Embalado no qual a embalagem, do tipo industrial reforçado, contém material de baixa atividade específica, BAE, ou objeto contaminado na superfície, OCS, com atividade limitada pela Norma CNEN-NE-5.01, podendo ser do Tipo EI-1, EI-2 e EI-3.
Tipo A	Embalado constituído de embalagem projetada para suportar as condições normais de transporte com o exigido grau de retenção da integridade de contenção e blindagem, após a submissão aos ensaios especificados na Norma CNEN-NE-5.01 e que atenda aos requisitos adicionais relativos à limitação do conteúdo radioativo.
Tipo B	Embalado constituído de embalagem projetada para suportar os efeitos danosos de um acidente de transporte com o exigido grau de retenção da integridade de contenção e blindagem, após a submissão aos ensaios especificados na Norma CNEN-NE-5.01.

Fonte: XAVIER et al. (2003).

Limitação de Atividade. Para aplicar a norma da CNEN (1988a), que regulamenta o transporte de fontes sob forma especial e sob outras formas, é necessário conhecer alguns parâmetros, a saber:

- A1, atividade máxima de um material radioativo sob forma especial que pode ser transportado em um embalado Tipo A; e
- A2, atividade máxima de um material radioativo sob outra forma que pode ser transportado em um embalado do Tipo A.

Segundo XAVIER et al. (2003), a limitação de atividade do conteúdo radioativo do embalado é alicerçada nas seguintes hipóteses:

- é improvável que um indivíduo permaneça a uma distância de 1 metro de um embalado por mais de 30 minutos;
- a dose equivalente efetiva para um indivíduo exposto na vizinhança de um transporte de embalado, em condições de acidente, não deve exceder o limite de dose anual para trabalhadores, 50 mSv (5 rem); e

- as doses equivalentes recebidas pelos órgãos individuais, inclusive pele, de uma pessoa envolvida em um acidente de transporte não devem exceder 500 mSv (50 rem) ou, no caso do cristalino, 150 mSv (15 rem).

Para a determinação da quantidade de cada radionuclídeo que pudesse ser transportada em uma embalagem do Tipo A, levando em consideração as hipóteses acima, foi desenvolvido, pela AIEA (apud XAVIER et al., 2003), o Sistema Q, no qual vários modos de exposição à radiação são considerados, como apresentado na Tabela 3.33.

Tabela 3.33 - Sistema Q da AIEA que considera vários modos de exposição à radiação.

Sistema Q	Modo de Exposição
Q _A	Dose externa devida a fótons.
Q _B	Dose externa devida às partículas beta.
Q _C	Dose interna por via de inalação.
Q _D	Dose devida a contaminação de pele e ingestão.
Q _E	Dose devida a imersão em nuvem radioativa.

Fonte: XAVIER et al. (2003).

No caso de fontes seladas, apenas duas possibilidades são consideradas para a determinação do valor básico de atividade, A_1 , sendo adotado o mais restritivo dos valores de Q_A e Q_B .

No caso de fontes não seladas, devem ser considerados todos os valores de Q, sendo selecionado sempre o mais restritivo para representar o valor básico de atividade, A_2 .

Na Tabela 3.34 são apresentados os novos valores de A_1 e de A_2 , diferentes daqueles definidos na norma CNEN-NE-5.01, calculados pela AIEA, para os radionuclídeos mais empregados em medicina, indústria e pesquisa.

Tabela 3.34 - Valores básicos de limites de atividade e concentração em embalados Tipo A para alguns radionuclídeos.

(Continua)

Radionuclídeo	A ₁	A ₂	Concentração em atividade para material exceptivo	Limite de atividade para uma remessa exceptiva
	(TBq)	(TBq)	(Bq/g)	(Bq)
Am-241	1×10^1	1×10^{-3}	1×10^0	1×10^4
C-14	4×10^1	3×10^0	1×10^4	1×10^7
Ca-45	4×10^1	1×10^0	1×10^4	1×10^7
Cf-252	5×10^{-2}	3×10^{-3}	1×10^1	1×10^4
Cl-36	1×10^1	6×10^{-1}	1×10^4	1×10^6
Co-57	1×10^1	1×10^1	1×10^2	1×10^6
Co-58	1×10^0	1×10^0	1×10^1	1×10^6
Co-58m	4×10^1	4×10^1	1×10^4	1×10^7
Co-60	4×10^{-1}	4×10^{-1}	1×10^1	1×10^5
Cr-51	3×10^1	3×10^1	1×10^3	1×10^7
Cs-137 (a)	2×10^0	6×10^{-1}	1×10^1 (b)	1×10^4 (b)
Fe-59	9×10^{-1}	9×10^{-1}	1×10^1	1×10^6
Ga-67	7×10^0	3×10^0	1×10^2	1×10^6
H-3	4×10^1	4×10^1	(b)	-
I-125	2×10^1	3×10^0	1×10^3	1×10^6
I-131	3×10^0	7×10^{-1}	1×10^2	1×10^6
In-111	3×10^0	3×10^0	1×10^2	1×10^6
Ir-192	1×10^0	6×10^{-1}	1×10^1	1×10^4
Kr-85	1×10^1	1×10^1	1×10^5	1×10^4
Mo-99 (a)	1×10^0	6×10^{-1}	1×10^2	1×10^6
Na-22	5×10^{-1}	5×10^{-1}	1×10^1	1×10^6
Na-24	2×10^{-1}	2×10^{-1}	1×10^1	1×10^5
Ni-63	4×10^1	3×10^1	1×10^5	1×10^8
P-32	5×10^{-1}	5×10^{-1}	1×10^3	1×10^5
Pm-147	4×10^1	2×10^0	1×10^4	1×10^7
Po-210	4×10^1	2×10^{-2}	1×10^1	1×10^4
Pu-239	1×10^1	1×10^{-3}	1×10^0	1×10^4
Ra-226 (a)	2×10^{-1}	3×10^{-3}	1×10^1 (b)	1×10^4 (b)

Fonte: IAEA, apud XAVIER et al. (2003).

(a) Valores de A₁ e/ou A₂ incluem contribuições de nuclídeos filhos com meia-vida inferior a 10 dias.

(b) Ver Tabela 3.35.

Tabela 3.34 - Valores básicos de limites de atividade e concentração em embalados Tipo A para alguns radionuclídeos.

(Conclusão)

Radionuclídeo	A ₁	A ₂	Concentração em atividade para material exceptivo	Limite de atividade para uma remessa exceptiva
	(TBq)	(TBq)	(Bq/g)	(Bq)
S-35	4×10^1	3×10^0	1×10^5	1×10^8
Sc-46	5×10^{-1}	5×10^{-1}	1×10^1	1×10^6
Se-75	3×10^0	3×10^0	1×10^2	1×10^6
Tc-99m	1×10^1	4×10^0	1×10^2	1×10^7
Xe-133	2×10^1	1×10^1	1×10^3	1×10^4
Y-90	3×10^{-1}	3×10^{-1}	1×10^3	1×10^5

Fonte: IAEA, apud XAVIER et al. (2003).

(a) Valores de A₁ e/ou A₂ incluem contribuições de nuclídeos filhos com meia-vida inferior a 10 dias.

(b) Ver Tabela 3.35.

Os embalados exceptivos, que contêm materiais radioativos outros que não artigos fabricados com urânio natural, urânio empobrecido ou tório natural, não devem conter atividades superiores aos limites aplicáveis especificados na Tabela 3.35. Para os artigos fabricados de urânio natural, urânio empobrecido ou tório natural, os embalados exceptivos podem conter qualquer quantidade desses materiais, desde que a superfície externa do urânio ou tório seja protegida por um revestimento inativo de metal ou de alguma outra substância resistente.

Tabela 3.35 - Limites de atividade para embalados exceptivos.

Estado Físico do Conteúdo	Instrumentos ou Artigos		Materiais
	Limites para cada Item	Limites para o Embalado	Limites para o Embalado
Sólidos:			
Sob Forma Especial	$10^{-2} A_1$	A ₁	$10^{-3} A_1$
Outras Formas	$10^{-2} A_2$	A ₂	$10^{-3} A_2$
Líquidos	$10^{-3} A_2$	$10^{-1} A_2$	$10^{-4} A_2$
Gases			
Trício (H-3)	$2 \times 10^{-2} A_2$	$2 \times 10^{-1} A_2$	$2 \times 10^{-2} A_2$
Sob Forma Especial	$10^{-3} A_1$	$10^{-2} A_1$	$10^{-3} A_1$
Outras Formas	$10^{-3} A_2$	$10^{-2} A_2$	$10^{-3} A_2$

Fonte: CNEN, apud XAVIER et al. (2003).

Os embalados Tipo B, em conformidade com o que estiver autorizado e especificado nos certificados de aprovação dos seus respectivos projetos, não devem conter:

- atividades superiores às autorizadas;
- radionuclídeos diferentes daqueles autorizados; e
- conteúdos em estados físico ou químico ou em forma diferente daqueles autorizados.

Ensaios para Embalados. 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 da área nuclear que se realizam fora das instalações 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 processamento de minérios e combustível nuclear não irradiado já é uma realidade há muito tempo. Felizmente, não há relato de acidentes de transporte com estas embalagens que tenham causado qualquer contaminação de pessoas ou do meio ambiente (CDTN, 1997).

As embalagens para materiais radioativos devem ser robustas o suficiente para resistir aos severos acidentes possíveis durante seu transporte, ou seja, quedas, incêndios, impactos contra objetos pontiagudos, submersão em rios, lagos ou qualquer corpo d'água profundo. Além disso, caso transportem urânio ou plutônio, devem ser projetadas para jamais permitirem que reações nucleares descontroladas ocorram durante o transporte, mesmo sob o pior cenário imaginável, ou seja, uma conjunção dos efeitos dos acidentes acima (a água, neste caso, atuaria como moderador de nêutrons, aumentando a possibilidade de um acidente de criticalidade). 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. Na Figura 3.53 são mostradas algumas instalações, para realização de ensaios de qualificação de embalados Tipo A, existentes no CDTN/CNEN. A instalação para o ensaio de queda-livre 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.

De acordo com MOURÃO (2002), para obter embalagens confiáveis, a indústria nuclear e a comunidade científico-tecnológica mundial têm investido grande esforço de pesquisa e desenvolvimento, tanto no projeto de sistemas de transporte quanto na incorporação a estes dos novos materiais que vêm surgindo a cada ano. Nesta linha, uma das áreas pesquisadas é o uso de amortecedores de impacto com alma de material celular. Trata-se de componentes de sacrifício que, adicionados externamente às embalagens, absorvem grande quantidade de energia em eventos de queda e impactos contra objetos e, no caso de incêndios, atuam como barreira térmica entre o fogo e o embalado a ser protegido. Várias concepções de amortecedores têm sido propostas pelos pesquisadores, além de diferentes materiais de enchimento, como madeira natural ou aglomerada, concreto leve e espumas metálicas e poliméricas; estes materiais são conhecidos coletivamente como materiais celulares.



Figura 3.53 - Ensaios de qualificação de embalado Tipo A.

De acordo com CNEN (apud XAVIER et al., 2003), para demonstrar a capacidade de resistência em condições normais de transporte, as amostras de embalados Tipo A devem ser submetidas aos ensaios, na ordem indicada, resumidos na Tabela 3.36. O embalado para ser qualificado como Tipo A, deve evitar, quando submetido a esses ensaios, vazamento ou dispersão do conteúdo radioativo e perda de integridade de blindagem que possa resultar em aumento superior a 20% no nível de radiação em qualquer superfície externa do embalado.

Tabela 3.36 - Ensaio para qualificação de embalados Tipo A.

Ensaio	Descrição resumida
Jato d'água	A amostra deve ser submetida a um jato d' água que simule chuva com precipitação de 50 mm/h, durante 1 (uma) hora.
Queda livre	A amostra deve sofrer queda livre sobre um alvo rígido, de modo a sofrer um dano máximo com relação aos aspectos de segurança, sendo a altura de queda função da massa do embalado. Para massas menores que 5000 kg, a distância de queda livre é 1,2 m e, à medida que a massa aumenta, a distância de queda diminui, até 0,3 m.
Empilhamento	A amostra deve ser submetida a uma carga de compressão igual ou superior a 5 vezes a massa do embalado.
Penetração	A amostra deve ser fixada sobre uma superfície rígida, plana e horizontal. Uma barra de aço de 6 kg, cuja extremidade hemisférica tem 3,2 cm de diâmetro, é deixada cair de uma altura de 1 m, com o seu eixo verticalmente orientado, para atingir o centro da parte mais frágil da amostra.

Fonte: CNEN, apud XAVIER et al. (2003).

Segundo XAVIER et al. (2003), entre outros requisitos especificados na Norma CNEN-NE-5.01, o embalado Tipo B deve ser projetado de modo a:

- satisfazer os requisitos para embalados do Tipo A;
- conservar, após ter sido submetido aos ensaios prescritos, uma blindagem ainda suficiente para assegurar, mesmo estando com o máximo conteúdo radioativo que pode comportar, que o nível de radiação a um metro de sua superfície não exceda 10 mSv/h (1 rem/h);
- impedir que o calor gerado pelo conteúdo radioativo afete adversamente a embalagem;
- evitar que as superfícies externas atinjam temperaturas superiores a 50 °C;

- garantir a eficácia da proteção térmica durante o transporte, seja em condições normais, seja em situações acidentais previstas;
- restringir vazamento ou dispersão do conteúdo a $10^{-6}A_2$ por hora, quando submetido aos ensaios para embalados Tipo A; e
- restringir o vazamento acumulado do conteúdo radioativo durante uma semana, no máximo a $10A_2$ para Kr-85 e a A_2 para os demais radionuclídeos.

Portanto, deve ser demonstrado que as amostras de embalados Tipo B, além de terem uma capacidade de resistência em condições normais de transporte, devem ter uma capacidade de resistência em condições acidentais de transporte. Para tanto, devem ser submetidas a ensaios adicionais de:

- Queda I: a amostra deve cair sobre um alvo de uma altura de 9 metros, de modo a sofrer dano máximo;
- Queda II: a amostra deve cair de uma altura de 1m sobre uma barra de aço doce, medindo 20 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro, rigidamente fixada perpendicular ao alvo;
- Queda III: a amostra deve ser submetida a um ensaio mecânico de esmagamento, de modo a sofrer máximo dano quando sujeita ao impacto de uma placa maciça e quadrada de aço doce, de um metro de lado e massa de 500 kg, em queda livre de uma altura de 9 metros;
- Térmico: a amostra deve ser submetida, durante 30 minutos, a uma fonte de calor, com temperatura média de 800 °C e coeficiente de emissividade maior que 0,9; e
- Imersão em Água: a amostra deve ser imersa em água a uma profundidade mínima de 15 m, durante um período não inferior a 8 horas, numa posição capaz de acarretar o máximo dano.

Na Figura 3.54 é mostrada instalação do CDTN/CNEN para o ensaio de queda-livre em embalados Tipo B.



Figura 3.54 - Instalação de teste de queda livre para embalados Tipo B no CDTN.

Índice de Transporte - IT. É um número atribuído a um embalado, pacote de embalados, tanque ou contêiner contendo material radioativo, com a finalidade de estabelecer, conforme aplicável:

- controle da exposição à radiação e da criticalidade nuclear;
- limites de conteúdo radioativo;
- categorias para rotulação;
- requisitos para uso exclusivo do meio de transporte;
- requisitos de espaçamento durante armazenamento em trânsito;

- restrições de mistura durante o transporte realizado mediante aprovação especial de transporte e durante armazenamento em trânsito; e
- o número de embalados permitido em um contêiner ou em um meio de transporte.

De acordo com CNEN (apud XAVIER et al., 2003), baseado no controle da exposição à radiação, o índice de transporte expressa a taxa máxima de dose, em mrem/h, a 1 m da superfície externa de um embalado. Esse valor deve ser arredondado para cima, até a primeira casa decimal, (1,23 deve ser considerado 1,3) exceto quando igual ou inferior a 0,05, ocasião em que pode ser estimado igual a zero.

Para tanques, contêineres ou material BAE-I ou OCS-I desembalado, o valor determinado acima deve ser multiplicado pelo fator apropriado, com base na Tabela 3.37.

Tabela 3.37 - Fator de multiplicação do IT para cargas com grandes dimensões.

Dimensão da Carga Maior Área de Seção Reta (A)	Fator de Multiplicação
$A \leq 1 \text{ m}^2$	1
$1 \text{ m}^2 < A \leq 5 \text{ m}^2$	2
$5 \text{ m}^2 < A \leq 20 \text{ m}^2$	3
$A > 20 \text{ m}^2$	10

Fonte: CNEN, apud XAVIER et al. (2003).

Para um pacote de embalados, o índice de transporte é igual à soma dos ITs de cada embalado. Exceto no caso de expedições na modalidade de Uso Exclusivo (ou seja, uso, com exclusividade, por um único expedidor, de um meio de transporte) o IT de cada embalado individual, ou pacote de embalados, não deve exceder a 10 e o nível máximo de radiação em qualquer ponto da superfície externa do embalado, ou pacote de embalados, não deve ultrapassar 2 mSv/h (200 mrem/h).

Se uma expedição não satisfizer todos os requisitos aplicáveis, poderá, mesmo assim, ser realizada na modalidade de Arranjo Especial, desde que o expedidor garanta que medidas adicionais ou restritivas serão adotadas no sentido de compensar o não cumprimento de alguns

itens da Norma CNEN-NE-5.01. Esse tipo de transporte no país requer a aprovação específica da CNEN. Para transporte internacional, é necessário obter aprovação multilateral.

Categorias de Embalados. Os embalados e pacotes de embalados, para fins de reconhecimento imediato dos respectivos riscos potenciais, devem ser enquadrados em uma das categorias para rotulação, conforme especificado na Tabela 3.38. Os embalados transportados segundo a modalidade de Arranjo Especial devem ser rotulados como Categoria III – Amarela.

Tabela 3.38 - Categoria de embalados.

Índice de Transporte (IT)	Nível Máximo de Radiação –NMR, na superfície externa do embalado (mSv/h)*	Categoria
IT = 0	$NMR \leq 0,005$	I – BRANCA
$0 < IT \leq 1$	$0,005 < NMR \leq 0,5$	II – AMARELA
$1 < IT \leq 10$	$0,5 < NMR \leq 2$	III – AMARELA
IT > 10	$2 < NMR \leq 10$	III – AMARELA USO EXCLUSIVO

Fonte: CNEN, apud XAVIER et al. (2003).

* 1 mSv/h = 100 mrem/h.

Rotulação, Marcação e Sinalização. De acordo com XAVIER et al. (2003), os embalados, pacotes, tanques ou contêineres, com categorias para rotulação definidas anteriormente, devem exibir os rótulos de risco correspondentes, de acordo com os modelos e cores indicados na Norma CNEN-NE-5.01, afixados em duas faces externas opostas de cada embalado ou pacote, ou nas quatro faces externas de cada tanque ou contêiner.

Cada embalado que contenha materiais radioativos com características adicionais de perigo deve exibir, também, rótulos específicos para indicar essas características, conforme regulamento para transporte de produtos perigosos (BRASIL, 2004a).

Deve constar de cada rótulo, exceto para material BAE ou OCS, o nome do radionuclídeo presente (no caso de mistura, aqueles mais restritivos), a atividade, expressa em Bq, e o Índice de Transporte, sendo que não há necessidade de assinalá-lo quando o rótulo for da Categoria I – Branca.

Cada embalado com massa total superior a 50 kg deve ter seu peso bruto marcado, de forma legível e durável, no exterior da embalagem.

Todo embalado em conformidade com os requisitos de projeto para embalados do Tipo A deve ostentar, externamente, de forma legível e durável, a marca “TIPO A”.

Segundo CNEN (apud XAVIER et al., 2003), todo embalado em conformidade com os requisitos de projeto para embalados do Tipo B deve apresentar legível e duravelmente marcados em sua parte externa, os seguintes dados:

- a marca de identificação atribuída ao projeto pela CNEN;
- o número de série que identifica cada embalagem em conformidade com o projeto;
- a marca Tipo B(U), para embalados cujo projeto atende aos requisitos para aprovação unilateral ou Tipo B(M) para embalados cujo projeto exige aprovação multilateral; e
- o símbolo do trifólio, em alto relevo.

Tanques e grandes contêineres contendo embalados que não sejam exceptivos devem exibir quatro placas de aviso, uma em cada face, em conformidade com o modelo e cores especificados na Norma CNEN-NE-5.01. O veículo rodoviário deve, também, exibir essas mesmas placas de aviso, afixadas nas duas laterais e na traseira da carroceria.

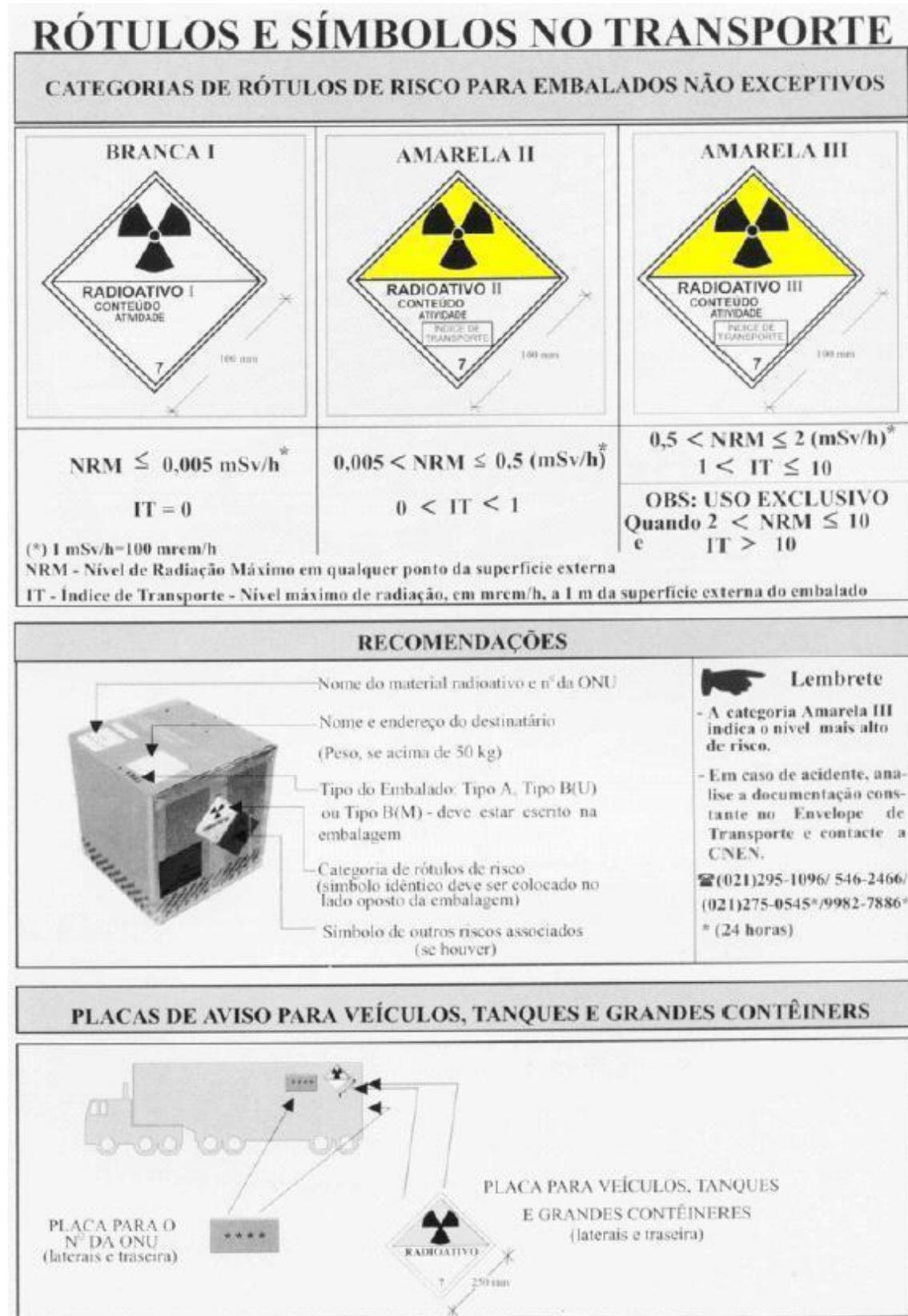
Placas de aviso suplementares, afixadas imediatamente adjacentes às placas de aviso principais, são empregadas para indicar o número de classificação do material, de acordo com a ONU (apud XAVIER et al., 2003).

A Tabela 3.39 é um extrato da classificação de alguns materiais radioativos adotada pela ONU. Na Figura 3.55 são mostradas as categorias de rótulos de risco para embalados não exceptivos, bem como os seus locais de afixação e das placas de aviso em veículo rodoviário.

Tabela 3.39 - Extrato da classificação das Nações Unidas contendo nomes apropriados ao transporte de materiais radioativos e respectivos números atribuídos.

Nº da ONU	Nome apropriado para transporte e descrição
2910	Material Radioativo– Embalado Exceptivo Quantidade Limitada de Material
2911	Material Radioativo – Embalado Exceptivo Instrumentos ou Artigos
2909	Material Radioativo – Embalado Exceptivo Artigos Manufaturados com Urânio Natural ou Empobrecido ou com Tório Natural
2908	Material Radioativo – Embalado Exceptivo Embalagem Vazia
2912	Material Radioativo – Baixa Atividade Específica (BAE-I) não físsil ou físsil isento
3321	Material Radioativo – Baixa Atividade Específica (BAE-II) não físsil ou físsil isento
3322	Material Radioativo – Baixa Atividade Específica (BAE-III) não físsil ou físsil isento
2913	Material Radioativo – Objeto Contaminado na Superfície (OCS-I e OCS-II) não físsil ou físsil isento
2915	Material Radioativo, Embalado Tipo A, outras formas, não físsil ou físsil isento
2916	Material Radioativo, Embalado Tipo B(U) não físsil ou físsil isento
2917	Material Radioativo, Embalado Tipo B(M) não físsil ou físsil isento
3323	Material Radioativo, Embalado Tipo C não físsil ou físsil isento
2919	Material Radioativo sob Arranjos Especiais não físsil ou físsil isento
2978	Material Radioativo, Hexafluoreto de Urânio não físsil ou físsil isento

Fonte: XAVIER et al., 2003.



Fonte: XAVIER et al., 2003.

Figura 3.55 - Rótulos e símbolos utilizados no transporte de materiais radioativos.

Limites de Contaminação Não Fixada na Superfície. De acordo com CNEN (apud XAVIER et al., 2003), a contaminação não fixada em qualquer superfície externa de um embalado, pacote ou contêiner deve ser mantida tão baixa quanto praticável, não excedendo, em condições normais de transporte, os limites especificados na Tabela 3.40.

Tabela 3.40 - Limites de contaminação não fixada em superfícies externas de embalados.

Tipo de embalado	Emissores β/γ e emissores α de baixa toxicidade (Bq/cm²)	Todos os outros emissores α (Bq/cm²)
Exceptivo	0,4	0,04
Outros	4,0	0,4

Fonte: CNEN, apud XAVIER et al. (2003).

Responsabilidades e Requisitos Administrativos. Constitui dever do expedidor de materiais radioativos, entre outros estabelecidos na Norma CNEN-NE-5.01 (CNEN, 1988a):

- a) assegurar que o conteúdo de cada remessa esteja identificado, classificado, embalado, marcado e rotulado de forma completa e precisa e se encontre em condições adequadas para ser transportado. Uma declaração nesse sentido deverá ser apresentada pelo expedidor.
- b) incluir, nos documentos de transporte, as seguintes informações:
 - nome e nº apropriado da expedição, conforme a relação dos nºs da ONU;
 - as palavras “material radioativo”;
 - notação apropriada para BAE ou OCS;
 - nome e símbolo de cada radionuclídeo;
 - uma descrição da forma física e química do material, ou a notação de que se encontra sob forma especial;
 - atividade máxima do conteúdo radioativo;
 - categoria do embalado;

- índice de transporte; e
- marca de identificação de cada certificado de aprovação emitido pela CNEN.

c) fornecer ao transportador os seguintes documentos:

- declaração do expedidor;
- ficha de emergência e envelope de transporte, padronizados pela NBR 7.503/05; e
- ficha de monitoração do veículo.

d) fornecer ao transportador: nome do destinatário, endereço completo e rota a ser seguida.

e) informar ao transportador sobre:

- equipamentos e requisitos especiais para manuseio e fixação da carga;
- requisitos operacionais suplementares para carregamento, transporte, armazenamento, descarregamento e manuseio de embalado ou uma declaração que tais requisitos não são necessários;
- quaisquer prescrições especiais de armazenamento para dissipação segura de calor do embalado, especialmente quando o fluxo na superfície do mesmo exceder 15 W/m^2 ;
- restrições impostas ao modo ou meio de transporte; e
- providências a serem tomadas em caso de emergência.

Processo de Revisão da Norma CNEN-NE-5.01. A AIEA, após um amplo processo de revisão iniciado em 1991, concluiu a versão revisada dos Regulamentos para Transporte Seguro de Material Radioativo (Safety Series N^o 6), tendo esta sido aprovada, pelos países membros desta Agência internacional, em setembro de 1996. De acordo com XAVIER et al. (2003), em função da adoção, pela maioria dos países, do regulamento de transporte da AIEA e devido ao caráter internacional associado à movimentação de fontes radioativas, é esperado que os países revisem suas normas de modo a adaptá-las às mudanças inseridas na revisão de 1996, no prazo estipulado de 5 anos, harmonizando, assim, sua aplicação

internacional, sem que haja conflito com a legislação nacional. Dentre as mudanças mais marcantes na revisão de 1996 do Safety Series N^o 6, destacam-se:

- o desmembramento do Índice de Transporte (IT) em dois índices, o Índice de Transporte baseado no controle da exposição, que expressa níveis máximos de radiação a 1 metro do embalado e o Índice de Segurança de Criticalidade (ISC), que é empregado somente para materiais físséis;
- a necessidade de rotular externamente os embalados exceptivos, com o símbolo indicativo da presença de radiação, até então só rotulados internamente;
- a definição de embalados Tipo C, e o estabelecimento dos ensaios aplicáveis, para o transporte aéreo de materiais radioativos anteriormente transportados em embalados Tipo B;
- a definição de “Materiais Radioativos de Baixa Dispersão” e o estabelecimento dos ensaios aplicáveis, para viabilizar o transporte aéreo destes materiais em embalados Tipo B; e
- a alteração de limites de isenção do cumprimento dos requisitos pertinentes da Norma de Transporte.

3.7.5 Licenciamento ambiental do transporte de resíduos perigosos

Os processos de licenciamento ambiental do transporte rodoviário de resíduos perigosos nos vários estados da federação são similares, a menos de alguns formulários, como o utilizado para o rastreamento. Como exemplo de um processo de licenciamento deste tipo é apresentado o caso do estado de Minas Gerais.

O COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental, criado em 1977 como Comissão de Política Ambiental, é o órgão responsável pela formulação e execução da política ambiental em Minas Gerais. Entre suas competências destacam-se: a formulação de normas técnicas e padrões de qualidade ambiental; a autorização para implantação e operação de atividades potencialmente poluidoras; e a aprovação das normas e diretrizes para o Sistema Estadual de Licenciamento Ambiental. É, portanto, o órgão deliberativo do Sistema Estadual de Meio Ambiente do estado de Minas Gerais (COPAM, 1995).

Segundo SEVÁ FILHO et al. (2001), com base no Decreto Federal nº 96.044/88 e na regulamentação estadual, Deliberação Normativa - DN 74 do COPAM (2004), a atividade de transporte rodoviário dos resíduos classificados nas Classes I e IIA (ABNT, 2004), é considerada potencialmente poluidora e degradadora do meio ambiente e, desta forma, está sujeita ao licenciamento ambiental. Com relação aos resíduos Classe II, a legislação trata somente dos resíduos destinados ao co-processamento em fornos de clínquer.

Na norma COPAM (2004) estão estabelecidos os critérios para a classificação de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente, segundo o porte e potencial poluidor, e as regras para a indenização dos custos de análise dos pedidos de licenciamento e Autorização Ambiental de Funcionamento, forma simplificada para regularizar os empreendimentos considerados de impacto ambiental não significativo (empreendimentos classes 1 e 2).

A Fundação Estadual do Meio Ambiental - FEAM é o órgão responsável pelo licenciamento ambiental da atividade de Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e de Resíduos Classes I e II no estado de Minas Gerais.

Para iniciar o processo de regularização ambiental, o empreendedor deverá preencher o Formulário de Caracterização do Empreendimento Integrado - FCEI (FEAM, 2005) e protocolá-lo nos seguintes locais:

- Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) - referente às atividades industriais, minerárias e de infra-estrutura; e
- Instituto Estadual de Florestas (IEF) - referente à atividade agrossilvipastoril.

A partir dos dados contidos no FCEI, o órgão ambiental classificará o empreendimento de acordo com o porte e potencial poluidor. O empreendedor receberá, então, o Formulário de Orientação Básica Integrado (FOBI), que contém uma listagem dos documentos necessários para requerimento da Licença Ambiental ou da Autorização Ambiental de Funcionamento, relacionados a seguir:

- Requerimento da Autorização Ambiental de Funcionamento (modelo padrão);
- Termo de Responsabilidade, assinado pelo titular do empreendimento;

- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) ou equivalente do profissional responsável pelo gerenciamento ambiental da atividade;
- Declaração da Prefeitura Municipal de que o empreendimento está de acordo com as normas e regulamentos do município;
- Comprovante de pagamento dos custos administrativos para requerimento da Autorização Ambiental de Funcionamento; e
- Documento comprobatório da condição de responsável legal pelo empreendimento, como o Contrato Social.

Em função das características intrínsecas da atividade, o grau do potencial poluidor degradador associado ao transporte rodoviário de resíduos Classes I e II é considerado grande, na água e no solo, e médio, no meio ar. O porte da atividade é classificado como pequeno nos casos em que o número de veículos utilizados no transporte de determinado resíduo for menor ou igual a dez; grande, nos casos onde cinquenta ou mais veículos são licenciados, e médio para os demais (COPAM, 2004).

O procedimento para o licenciamento do transporte rodoviário de resíduos utilizado pela FEAM é o mesmo empregado para o transporte de produtos perigosos e está descrito no Formulário de Orientação Básica Sobre o Licenciamento Ambiental – TRANSPORTE (formulário FOB - Transporte de resíduos perigosos). São exigidos diversos documentos que vão compor o processo de licenciamento da empresa transportadora:

- Requerimento da Licença de Operação;
- Plano de Controle Ambiental - PCA;
- Anotação de Responsabilidade Técnica do profissional responsável pela elaboração do PCA;
- Cópia da caracterização química e classificação do resíduo, de acordo com a norma NBR 10.004/04, “executado por laboratório idôneo, acompanhado de laudo devidamente assinado”;

- Documento original expedido pelo órgão ambiental estadual autorizando a saída, o recebimento ou o processamento do resíduo caso ele seja originado de, ou destinado a, outra Unidade da Federação;
- Cópia da Licença Ambiental concedida pelo COPAM aos empreendimentos geradores e receptores do resíduo para suas atividades de rotina;
- Certidão negativa de débito financeiro de natureza ambiental, expedida pela FEAM; e
- Comprovante de recolhimento da taxa para ressarcimento do custo de análise do pedido de licenciamento.

Como qualquer outro empreendimento sujeito ao licenciamento ambiental na FEAM, a empresa transportadora deve apresentar o FCEI, devidamente preenchido.

De acordo com SEVÁ FILHO et al. (2001), o Termo de Referência para Elaboração do Plano de Controle Ambiental - PCA para Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos também é aplicado para a atividade de transporte de resíduos. As informações solicitadas através desse formulário referem-se a:

- identificação da empresa responsável pelo transporte do resíduo;
- caracterização dos veículos e equipamentos utilizados no transporte;
- caracterização do material a ser transportado - nome técnico, nome comercial, número da ONU, acondicionamento para o transporte, produtores e consumidores do resíduo, rota e frequência do transporte;
- qualificação dos condutores dos veículos, comprovada por meio de fotocópia de certificados de conclusão do Treinamento para Condutores de Veículos Transportadores de Cargas ou Produtos Perigosos;
- medidas de controle e prevenção de acidentes, incluindo normas de segurança, procedimentos de seleção e treinamento de condutores, procedimentos e relatórios de inspeção e manutenção dos veículos e equipamentos utilizados; e

- rotas preferenciais utilizadas para o transporte de cada resíduo, assinalando os pontos de parada previstos durante o percurso.

Após a análise da solicitação e da documentação apresentada pela empresa transportadora, é elaborado parecer técnico que é submetido à apreciação da Presidência da FEAM. As quantidades transportadas, frequência do transporte, acondicionamento dos resíduos, tipo de veículo e rotas e o período de validade da licença são definidos pela FEAM e aprovadas como condicionantes da licença ambiental.

A empresa transportadora é obrigada a declarar à FEAM, com antecedência de 72 horas, a programação para o transporte de determinada carga de resíduos. Essa é a forma utilizada para o controle das quantidades de resíduos, efetivamente transportadas. A empresa transportadora é obrigada também a apresentar ao órgão ambiental certificados de destruição térmica, co-processamento ou beneficiamento do resíduo conforme o caso (SEVÁ FILHO et al., 2001).

3.7.6 Licenciamento ambiental para o transporte de materiais radioativos

No Art.4º da Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, é atribuído ao IBAMA a competência para executar os licenciamentos ambientais, a que se refere o artigo 10 da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, de empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional, a saber: “IV – destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da CNEN”.

De acordo com IBAMA & CNEN (2001), o licenciamento da atividade de transporte de materiais radioativos, sob o ponto de vista ambiental, conforme determina a legislação vigente, será realizado pelo IBAMA após considerar o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos estados envolvidos. Sob o ponto de vista de segurança nuclear, proteção física, controle mineral e radiológico, o licenciamento dessa atividade será realizado pela CNEN, conforme determina a legislação vigente.

Na norma CNEN-NE-5.01 é feita a exigência de apresentação de uma série de documentos pelo responsável pelo transporte. Essa documentação é consolidada no que se

chama Plano Geral de Transporte - PGT, contendo os procedimentos de segurança e demais detalhes de como deve ocorrer a operação.

Procedimentos para requerer “Licença de Operação” ao IBAMA. Para requerer a Licença de Operação - LO, o expedidor deverá encaminhar ao IBAMA, um requerimento específico, devidamente acompanhado do Plano Geral de Transporte - PGT, com parecer favorável da CNEN.

A LO, uma vez concedida, terá validade de 5 (cinco) anos. Expirado este prazo, um novo requerimento deverá ser apresentado ao IBAMA, na forma prevista no parágrafo anterior, visando à revalidação da LO por igual período.

Anualmente, o expedidor deverá apresentar um adendo ao PGT, atualizando as suas informações, ou apresentar documento esclarecendo que não há atualizações a fazer no PGT. Um Expedidor poderá ter mais de um PGT aprovado pelo IBAMA e pela CNEN.

Orientações gerais para elaboração do PGT. No PGT deverão estar descritas, detalhadamente, os procedimentos técnicos, administrativos e operacionais capazes de demonstrar que as operações de transporte serão realizadas com segurança, sob todos os aspectos.

O PGT é específico para os materiais radioativos nele descritos, bem como para a origem e o destino nele declarados e ainda, para as rotas principais e alternativas apresentadas. Qualquer alteração em um desses fatores deverá ser encaminhada ao IBAMA e CNEN para avaliação da necessidade de novo PGT.

Riscos dos transportes. Se forem obedecidos as recomendações e os procedimentos estabelecidos nas normas da CNEN, que estão baseados na normalização internacional, sobretudo naquela da AIEA, pode-se afirmar que os riscos envolvidos no transporte são mínimos. O projeto das embalagens deve ser feito em função dos casos específicos, levando em consideração o manuseio e os possíveis percalços do transporte, de tal forma que seja assegurada a integridade do material até seu destino final (CNEN, 2001).

Pode-se afirmar que a segurança do transporte está, principalmente, no projeto do embalado. Quanto maior a quantidade (de radioatividade) transportada, mais rigorosos devem ser os requisitos aplicáveis. Deve-se ressaltar que no Brasil ou no mundo, não há registro de fatalidade resultante de acidente envolvendo o transporte de material radioativo ou nuclear. Essa condição deve-se ao rigor dos regulamentos e à atuação das autoridades competentes.

Além da própria CNEN, algumas poucas empresas têm permissão para realizar transportes, em geral, de materiais radioativos. Para tanto, planos específicos para transporte de materiais radioativos devem ser submetidos à CNEN, para aprovação. A qualificação dos supervisores de radioproteção dessas empresas deve ser comprovada pela CNEN (1999), através de exame específico.

De acordo com o Art. 23 do Regulamento do Serviço Postal aprovado pelo Decreto Federal nº 83.858/79, não é permitido o transporte de substância radioativo por via postal.

3.8 Programa de Gerenciamento de Rejeitos - PGR

Planejar o gerenciamento de rejeitos não é uma tarefa simples, feita de uma só vez, mas um processo interativo, envolvendo tanto os tomadores de decisões políticas e gerenciais, quanto técnicos especializados (BATSTONE et al., 1989).

A estratégia para o gerenciamento de rejeitos de uma instalação deve ser definida em conformidade com a legislação e normas técnicas vigentes, levando-se em consideração o porte da empresa, as características dos rejeitos e os critérios de classificação a serem adotados. Estes critérios dependem tanto da infra-estrutura local existente para tratamento, condicionamento e armazenamento dos rejeitos, como também daquela disponível em empresas, licenciadas ou credenciadas, receptoras de rejeitos.

Para o efetivo gerenciamento dos rejeitos é fundamental a conscientização do setor produtivo quanto à utilização de práticas preventivas e de minimização da geração de rejeitos, bem como de segregação dos rejeitos na origem, possibilitando a reutilização e a reciclagem dos rejeitos gerados, sempre que possível. As responsabilidades dos envolvidos, internamente entre os diversos setores afetos ao gerenciamento, como também entre as empresas geradoras, transportadoras e receptoras, devem estar muito bem definidas. Uma vez definida a estratégia de gerenciamento, deve-se implantar um sistema de registro de todas as informações sobre os resíduos daquela instalação, mantendo-se um inventário atualizado.

Todas as operações envolvidas na gerência de rejeitos radioativos devem ser minuciosamente planejadas, resultando numa campanha educativa de todos os profissionais envolvidos, devendo ainda ser adotado um rígido controle de sua execução.

3.8.1 Conteúdo do PGR

O Programa de Gerenciamento de Rejeitos - PGR, parte integrante do processo de licenciamento de uma instalação, deve ser elaborado pela instalação geradora de rejeitos, em conformidade com os requisitos do órgão regulador, atendendo às necessidades e circunstâncias locais. No PGR devem estar descritos a metodologia e os controles administrativos e técnicos que deverão ser implementados para atender os objetivos do gerenciamento de rejeitos gerados naquela instalação (CDTN, 1993) e (IAEA, 2003a).

O PGR deve conter, no mínimo, as seguintes informações:

- identificação da instalação e de sua direção;
- descrição da equipe, instalação, processos e equipamentos afetos ao gerenciamento dos rejeitos;
- descrição das atividades geradoras de rejeitos;
- descrição e localização dos pontos de geração de rejeitos na instalação;
- descrição das características dos rejeitos e de seus correspondentes sistemas de controle na origem;
- descrição dos procedimentos operacionais e administrativos relativos à gerência;
- identificação da destinação final dos rejeitos;
- programa de capacitação dos trabalhadores; e
- descrição do sistema de registros para controle e manutenção do inventário de rejeitos devidamente atualizado.

3.8.2 Responsabilidades dos envolvidos

As atribuições e responsabilidades de todos os envolvidos no gerenciamento de rejeitos devem estar claramente definidas e documentadas (IAEA, 2001a, 2003a e 2005b).

Geradores. É da responsabilidade dos geradores de rejeitos:

- estabelecer e submeter aos órgãos reguladores um Programa de Gerenciamento de Rejeitos - PGR para a sua instalação, levando-se em consideração os princípios fundamentais do gerenciamento de rejeitos;
- implementar e fazer cumprir o PGR aprovado para a sua instalação;
- enviar rejeitos apenas a empresas licenciadas ou credenciadas;
- estimular e viabilizar a capacitação e a reciclagem dos profissionais da instalação envolvidos no gerenciamento de rejeitos;
- manter à disposição dos órgãos reguladores todos os registros sobre os rejeitos e as instruções e procedimentos técnico-administrativos relativos à gerência; e
- estar em conformidade com o sistema de rastreamento de rejeitos instituído pelo órgão regulador.

Em função das necessidades previstas no PGR, a instalação deve ser provida de todas as instalações e equipamentos para que as atividades de gerenciamento dos rejeitos sejam realizadas de forma segura e eficaz. Deve-se dispor também de um número apropriado de técnicos de nível superior e/ou médio e por auxiliares devidamente qualificados e capacitados para o exercício de suas funções. Nas instalações nucleares e radiativas, dependendo do porte das atividades desenvolvidas, deve-se dispor de um ou mais Supervisores de Radioproteção, com certificado de qualificação na sua área de atuação, de acordo com a norma CNEN-NE-3.03 (CNEN, 1999).

Transportadores. É da responsabilidade dos transportadores de rejeitos:

- manter à disposição dos órgãos reguladores registros dos rejeitos e das operações de transporte realizadas;
- adotar no transporte o sistema de rastreamento de rejeitos instituído pelo órgão regulador;
- destinar rejeitos apenas para locais licenciados ou com permissão para recebê-los; e
- não transportar materiais inadequadamente rotulados.

Instalações Centralizadas Receptoras. As instalações receptoras de rejeitos são responsáveis pela apropriada realização das etapas finais do gerenciamento de rejeitos, incluindo tratamento, solidificação/estabilização e disposição final, cumprindo requisitos impostos pela legislação vigente.

São da responsabilidade das instalações centralizadas receptoras de rejeitos:

- prover técnicas de gerenciamento de rejeitos que sejam compatíveis com a legislação vigente;
- cuidar para que as etapas de processamento, tratamento e disposição dos rejeitos se façam sem riscos ao meio ambiente e à saúde humana;
- utilizar processos de tratamento/condicionamento dos rejeitos compatíveis com o local de disposição; e
- manter registros dos rejeitos recebidos, processados e dispostos em suas instalações.

4 METODOLOGIA

4.1 Abordagem Utilizada

A abordagem geral utilizada no desenvolvimento da metodologia unificada para a gestão de rejeitos radioativos e demais resíduos perigosos, provenientes de instalações radiativas e de processamento químico, é apresentada de forma esquemática na Figura 4.1.

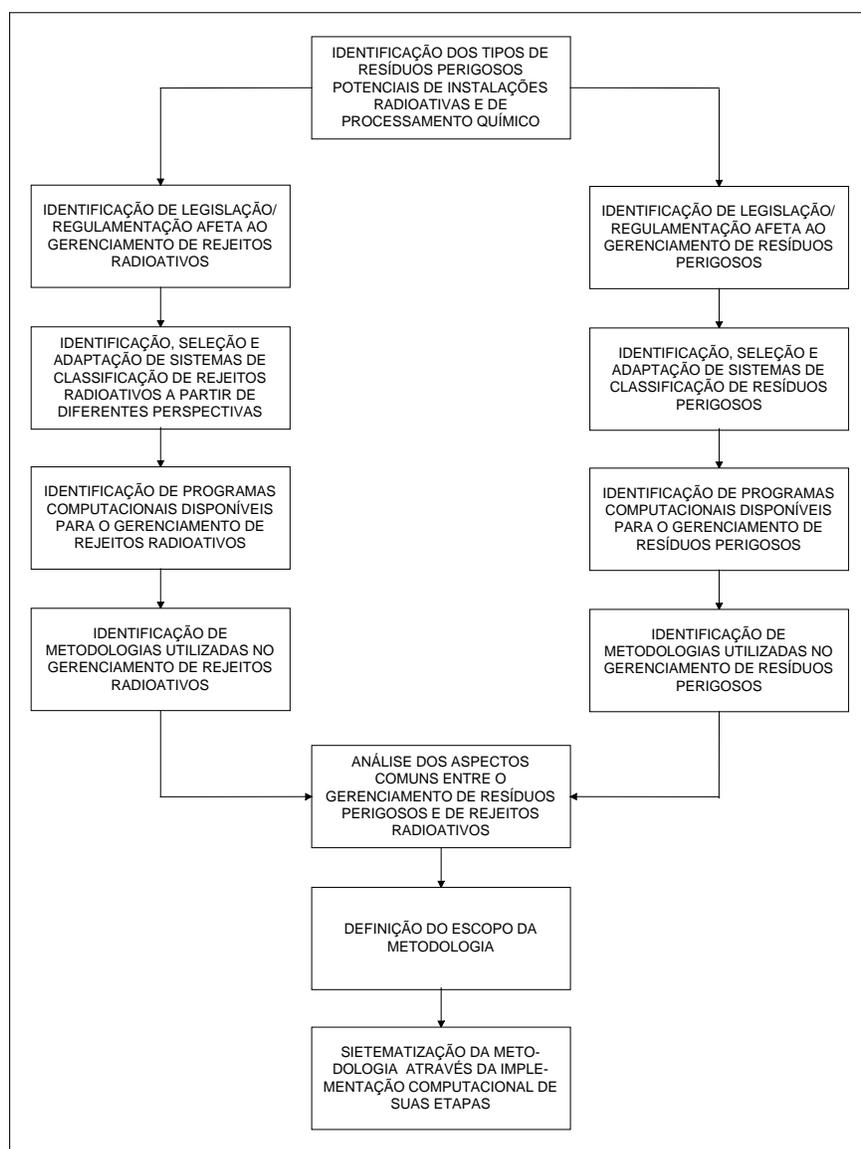


Figura 4.1 - Abordagem geral utilizada para desenvolver a metodologia de gestão de resíduos.

As principais etapas dessa abordagem, seus objetivos e ações para alcançá-los estão sumariados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Principais etapas da abordagem utilizada, objetivos e ações para alcançá-los.

Etapas	Objetivos	Principais Ações
Etapa 1. Identificação da legislação e regulamentação aplicáveis.	Conhecer o arcabouço legal para que as atividades do gerenciamento de rejeitos sejam estabelecidas em conformidade com a legislação vigente.	<ul style="list-style-type: none"> - Facilitar acesso a legislação e regulamentação disponíveis. - Auxiliar na interpretação das normas.
Etapa 2. Identificação dos principais sistemas de classificação de rejeitos.	Orientar e agilizar a classificação dos rejeitos.	<ul style="list-style-type: none"> - Orientar a classificação de resíduos perigosos e de rejeitos radioativos, segundo a regulamentação. - Facilitar a aplicação das metodologias de classificação, através de fluxogramas e acesso direto aos bancos de dados necessários.
Etapa 3. Levantamento de metodologias para o gerenciamento e de softwares para controle dos rejeitos.	Identificar onde a experiência do gerenciamento de rejeitos radioativos pode ser utilizada na gestão de outros resíduos perigosos.	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar etapas básicas para o gerenciamento unificado dos rejeitos e as possíveis vias de destinação final. - Identificar interfaces e definir as várias organizações envolvidas nestas interfaces. - Identificar sistemas disponíveis para o controle de rejeitos.
Etapa 4. Desenvolvimento da metodologia.	Obter uma metodologia unificada para o gerenciamento de rejeitos, tanto radioativos como não radioativos.	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptar uma metodologia, utilizando a experiência no gerenciamento de rejeitos radioativos, que seja geral o suficiente para incluir as necessidades do gerenciamento de outros resíduos perigosos.
Etapa 5. Implementação computacional da metodologia desenvolvida.	Automatizar a aplicação da metodologia desenvolvida.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar um software.

Inicialmente foram identificados os principais tipos e sistemas de classificação de resíduos perigosos e de rejeitos radioativos, seus geradores e a legislação e regulamentação federais pertinentes. Em seguida, fez-se um levantamento de metodologias utilizadas para o gerenciamento destes materiais numa instalação, bem como de programas computacionais

disponíveis para o controle de rejeitos radioativos. A metodologia desenvolvida contempla os resíduos perigosos, conforme definido na norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), e os rejeitos radioativos, conforme definido na norma CNEN-NE-6.05 (CNEN, 1985), aqui tratados como “rejeitos”. Com base na análise dos aspectos comuns do gerenciamento dos rejeitos em questão, foram elaborados Diagramas de Fluxos de Dados - DFDs, incluindo os processos envolvidos no gerenciamento unificado dos rejeitos, e estabelecidos fluxogramas descrevendo como as ações e decisões ocorrem dentro dos processos identificados.

Posteriormente, foram definidos os bancos de dados necessários para implementar a metodologia e elaborado o programa computacional denominado *Sistema Unificado de GEstão de REsíduos - SUGERE*, sistematizando as etapas do gerenciamento segundo a metodologia desenvolvida. O programa foi implementado em Borland DELPHI®, no ambiente Windows®.

O alcance dos objetivos da gerência de rejeitos pela utilização dos recursos disponíveis, da maneira mais efetiva e eficiente, deverá ser assegurado por meio de planejamento, organização, monitoração e controle de todos os aspectos envolvidos (MATTOS, 2005).

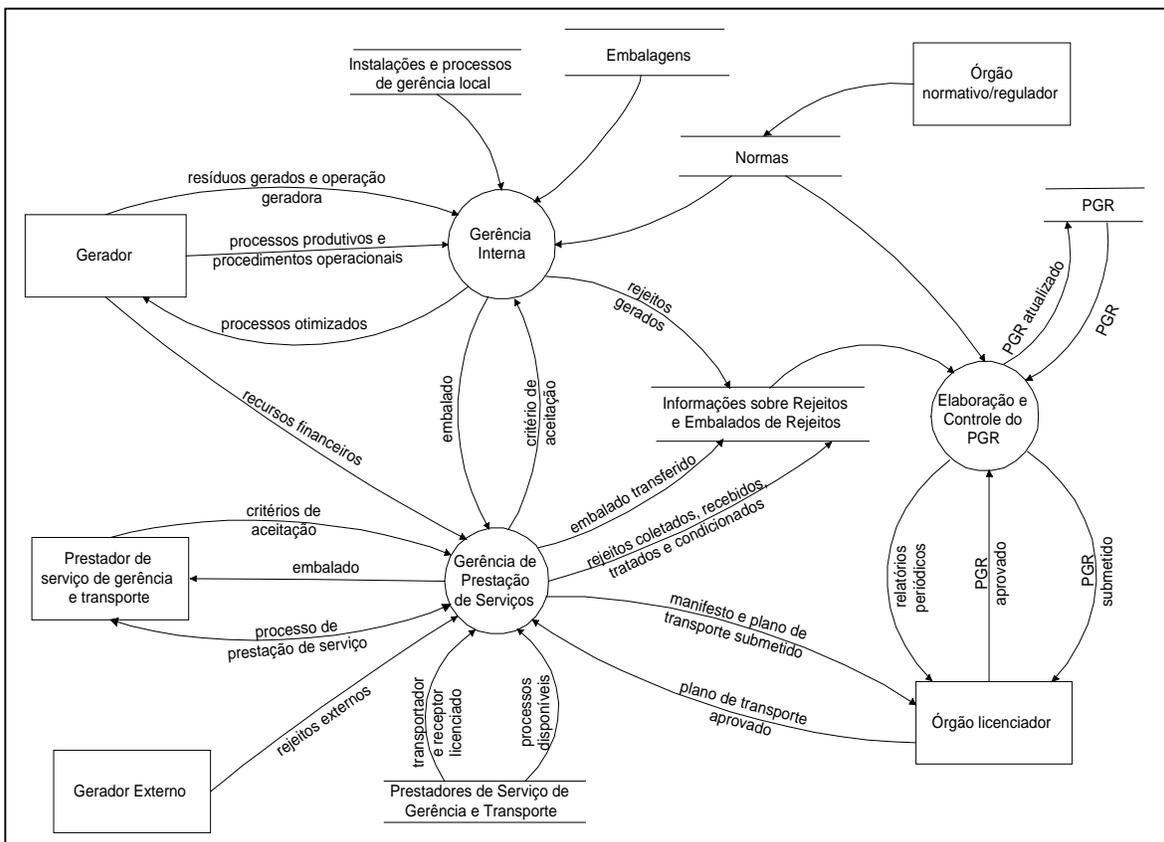
O gerenciamento de rejeitos pode ser implementado apenas pela gerência local, ou seja, na própria instalação onde o rejeito foi produzido. No entanto, em certas circunstâncias, algumas das atividades envolvidas podem ser realizadas em instalações centralizadas receptoras de rejeito, a exemplo dos institutos da CNEN, que recebem fontes fora de uso da indústria, de hospitais e de outras instalações que utilizam materiais radioativos. No mínimo, as etapas de segregação na origem, caracterização básica e de armazenamento inicial devem ser realizadas na própria instalação geradora do rejeito.

4.2 Metodologia Desenvolvida

Para o desenvolvimento da metodologia, com base na análise dos aspectos comuns do gerenciamento de rejeitos radioativos e demais resíduos perigosos, foram identificadas as partes envolvidas no gerenciamento de rejeitos de uma instalação, ou seja, “geradores”, “prestadores de serviços de gerência e transporte” e “órgãos normativos e licenciadores”. Em função das necessidades dos geradores, das exigências legais e dos requisitos de

aceitação de rejeitos dos prestadores de serviços, foram definidos os processos fundamentais para o gerenciamento unificado dos rejeitos e como as informações geradas em cada um desses processos deveriam ser guardadas.

Uma visão geral da metodologia desenvolvida é apresentada no diagrama exibido na Figura 4.2, DFD de 1º nível, elaborado de acordo com GANE & SARSON (1995). Nele é mostrado o fluxo de dados entre o sistema de gestão de rejeitos e geradores, prestadores de serviços de gerência e transporte, órgãos normativos e licenciadores, bem como seus processos básicos, representados por círculos, e os depósitos de dados utilizados e mantidos, representados por duas linhas paralelas. O sistema é subdividido em três processos fundamentais: *Gerência Interna*; *Gerência de Prestação de Serviços*; e *Elaboração e Controle do PGR*.



PGR - Programa de Gerenciamento de Rejeitos.

Figura 4.2 - Visão geral da metodologia desenvolvida (DFD 1º nível).

A partir dos dados sobre os resíduos e das normas aplicáveis, são identificados, caracterizados e classificados os resíduos perigosos e os rejeitos radioativos da instalação. Conhecida a infra-estrutura local para caracterização, tratamento, condicionamento e armazenamento dos rejeitos, verifica-se a necessidade ou não da utilização de instalações centralizadas para as etapas finais da gerência. Neste caso, são identificadas as instalações licenciadas disponíveis, as quais fornecerão informações sobre os seus critérios de aceitação de rejeitos. Todas as informações devem ser registradas em formulários próprios e inseridas em um banco de dados, que dará suporte à elaboração do Programa de Gerenciamento de Rejeitos – PGR da instalação. O PGR, aprovado pelos órgãos competentes, deverá ser cumprido pelo gerador. No caso de utilização de instalação centralizada para o gerenciamento dos rejeitos, o gerador deverá preparar os embalados de acordo com os critérios de aceitação dessa instalação e submeter o plano de transporte ao órgão licenciador para efetivar a transferência dos embalados. Orientações do sistema de manifesto devem ser cumpridas nessa transferência.

Na Figura 4.3 é mostrado o detalhamento do processo *Gerência Interna* (DFD de 2º nível), o qual foi subdividido nos seguintes processos: *Controle da Geração*; *Gerência na Origem*; *Gerência do Armazenamento*; e *Gerência da Pré-deposição*. Abrange tanto as ações do gerenciamento envolvendo manuseio dos rejeitos gerados ou recebidos, ou seja, segregação, caracterização, classificação, acondicionamento, tratamento, condicionamento e armazenamento de rejeitos, quanto orientações para possíveis interferências no processo produtivo visando a prevenção da geração ou a sua minimização.

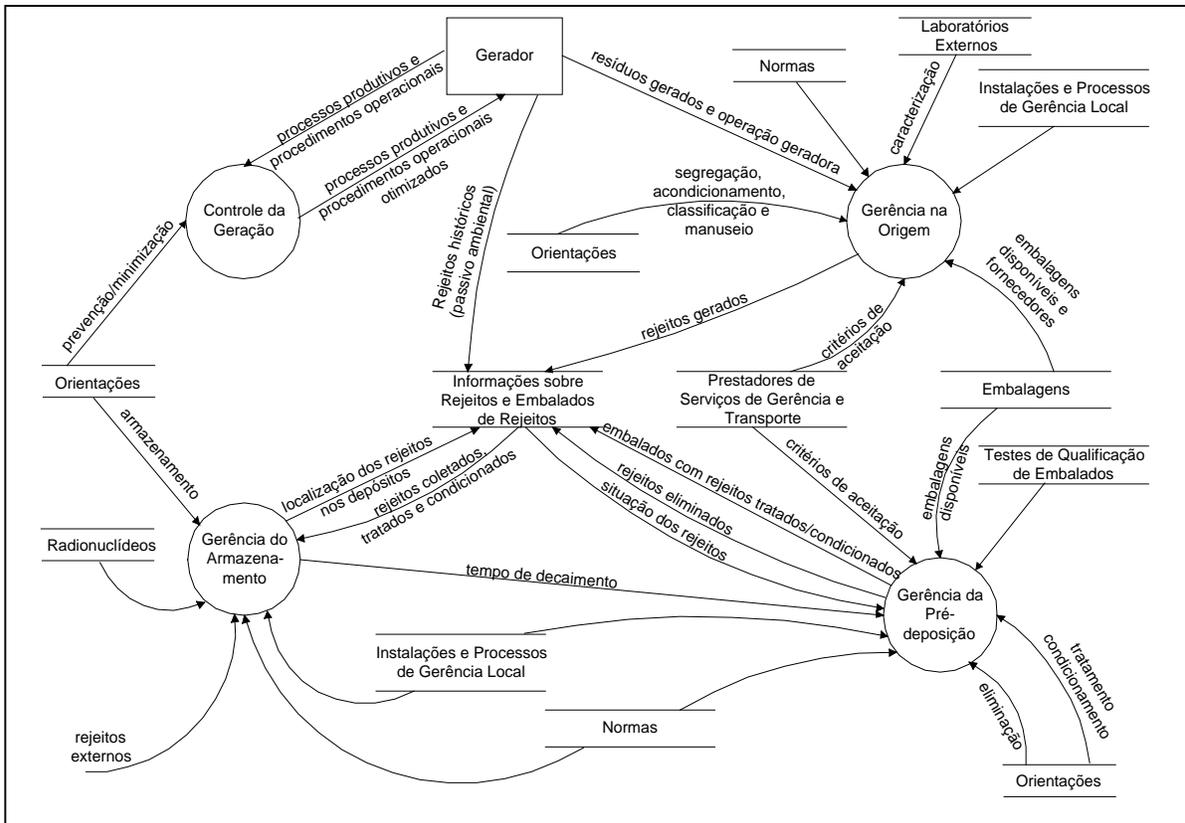


Figura 4.3 - Expansão do processo *Gerência Interna* (DFD 2^o nível).

O processo *Controle da Geração* trata das ações para a otimização dos processos produtivos e seus procedimentos operacionais, em atendimento ao princípio da prevenção e minimização da geração de rejeitos, visando a redução da nocividade e das quantidades geradas. Para isto, é fundamental que as atividades do gerenciamento de rejeitos sejam consideradas e planejadas nos estágios iniciais (fase de concepção) de qualquer projeto onde a geração de rejeitos é prevista. Na impossibilidade de atuar preventivamente, interferências nos processos produtivos devem ser realizadas. A minimização da geração de rejeitos pode ser alcançada através de projetos e de práticas adequadas, incluindo a seleção e controle de materiais, o uso de reciclagem/reutilização e a implementação de procedimentos operacionais apropriados.

O processo *Gerência na Origem* trata das atividades afetas ao gerenciamento dos rejeitos gerados, realizadas nos locais de origem dos rejeitos. Uma vez identificados os

fluxos de resíduos e as operações geradoras, deve-se proceder à sua caracterização. A determinação qualitativa e quantitativa das propriedades físicas, químicas, biológicas e radiológicas dos rejeitos e a sua quantificação (volume e peso) possibilitam classificá-los em função dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Essas atividades dão suporte a tomadas de decisão quanto à destinação dos rejeitos, aos requisitos de segurança para as etapas subsequentes da gerência e aos processos e metodologias a serem adotados no tratamento e condicionamento. É altamente recomendável que o levantamento das características dos resíduos gerados seja feito pelo exame minucioso dos processos produtivos, tanto pelo alto custo das análises de laboratórios químicos, quanto pelo fato de que, nem sempre, estão disponíveis laboratórios com infra-estrutura apropriada. Os rejeitos devem atender aos requisitos de segregação, acondicionamento e caracterização definidos pela Gerência de Rejeitos Local ou pela instalação centralizada receptora. Ressalta-se que práticas de segregação na origem contribuem para reduzir o volume de rejeitos, facilitando o gerenciamento e, conseqüentemente, reduzindo os custos decorrentes.

O processo *Gerência do Armazenamento* refere-se basicamente às atividades diretamente envolvidas com o armazenamento de rejeitos pela Gerência de Rejeitos Local. No ato do recolhimento ou recebimento de rejeitos radioativos, quando aplicável, deve-se calcular o tempo de confinamento/armazenamento previsto para o decaimento, função da quantidade e das características dos radionuclídeos presentes.

O processo *Gerência da Pré-deposição* trata das atividades de tratamento e condicionamento de rejeitos, realizadas pela Gerência de Rejeitos Local, e de avaliação de produtos de rejeito. As instalações receptoras de rejeitos, com fins de valorização, reciclagem, reutilização, tratamento, condicionamento, armazenamento ou disposição final, devem estabelecer critérios de aceitação de rejeitos, em conformidade com os órgãos ambientais. Portanto, a Gerência de Rejeitos Local deverá se empenhar para realizar suas atividades, atendendo aos critérios de aceitação da instalação receptora selecionada. Além disso, para o transporte, os embalados de rejeitos devem ser qualificados em cumprimentos aos requisitos de segurança estabelecidos pelos órgãos reguladores. O processo *Gerência da Pré-deposição* inclui também orientações para a eliminação de rejeitos pelas vias convencionais, a ser realizada após período de confinamento pré-definido, se este for o caso.

Na Figura 4.4 é mostrado o detalhamento do processo *Gerência de Prestação de Serviços* (DFD de 2º nível), o qual foi subdividido nos seguintes processos: *Preparo para Transferência*; *Aprovação Local*; *Serviço de Recolhimento e Recebimento*; *Operação de Transporte*; e *Licenciamento do Transporte*. Abrange as ações do gerenciamento envolvidas com o recolhimento dos rejeitos gerados na própria instalação, recebimento de rejeitos de instituições externas e transferências de rejeitos para instalações centralizadas receptoras.

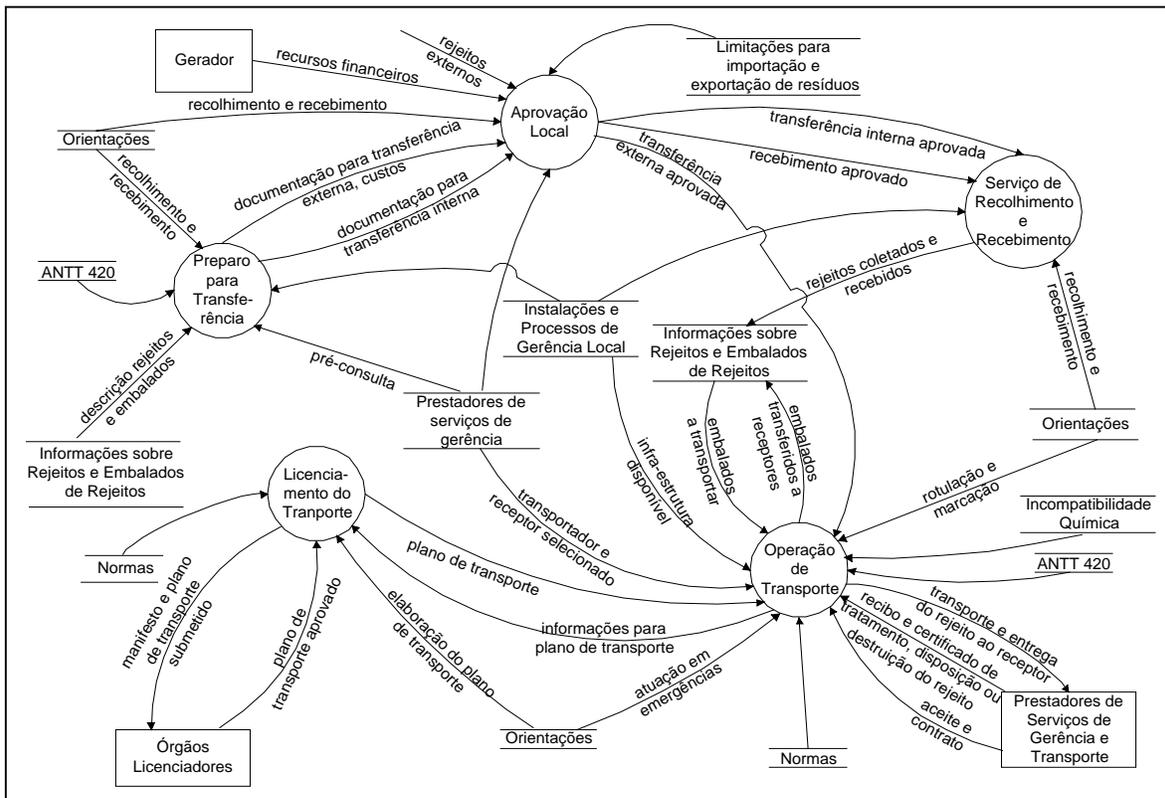


Figura 4.4 - Expansão do processo *Gerência de Prestação de Serviços* (DFD 2º nível).

O processo *Preparo para Transferência* trata das ações preparatórias para obtenção de aprovação local, ou seja, da própria empresa, para o transporte de rejeitos para fora da instalação (transferências externas), bem como para o recolhimento de rejeitos pela Gerência de Rejeitos Local (transferências internas). Uma vez obtidas as informações sobre os embalados de rejeitos a transferir, pesagem e descrição do rejeito visando a sua classificação e identificação para fins de transporte, faz-se o levantamento das possíveis

vias de destinação dos rejeitos e uma estimativa dos custos envolvidos. Para isto, é realizada uma pré-consulta ao setor de Gerência de Rejeitos Local, quanto à infra-estrutura disponível para armazenamento, tratamento e condicionamento de rejeitos, visando verificar a necessidade da utilização de serviços de instalações centralizadas para as etapas finais da gerência. É também realizada uma consulta ao banco de dados de instalações licenciadas prestadoras de serviços de gerência e de transporte, visando uma estimativa dos custos de armazenamento, tratamento, condicionamento, disposição final e de transporte. O processo finaliza com o encaminhamento de formulários específicos, devidamente preenchidos, aos órgãos da própria empresa responsáveis pela aprovação da transferência. No caso de transferências internas, o formulário de controle de rejeitos deve conter todas as informações sobre o embalado, incluindo a operação geradora. No caso de transferências externas, devem constar do formulário: uma descrição dos rejeitos; quantidade a transportar; nome do rejeito para fins de transporte; gerador; custo estimado do transporte; e da opção selecionada de destinação final.

O processo *Aprovação Local* consta de verificações a serem realizadas pelas áreas financeira, ambiental e de segurança da empresa, bem como pela Gerência de Rejeitos Local, visando a obtenção de aprovação para a transferência interna dos rejeitos, para o recebimento de rejeitos de instituições externas ou para a transferência externa de rejeitos, ou seja, o seu transporte até uma instalação receptora pré-selecionada. Para aprovação do recebimento e da transferência interna, verifica-se o cumprimento dos procedimentos de segregação, coleta e recebimento de rejeitos, definidos pela Gerência de Rejeitos Local. Para aprovação da transferência externa, as verificações referem-se à disponibilidade de recursos financeiros, aos aspectos de segurança para o transporte e ao atendimento aos critérios de aceitação da instalação receptora.

O processo *Serviço de Recolhimento e Recebimento* trata exclusivamente do recolhimento dos rejeitos produzidos na própria instalação e do recebimento de rejeitos de instituições externas, após aprovação pela Gerência de Rejeitos Local. Para isto, verifica-se a infra-estrutura local para movimentação de carga e recolhimento dos rejeitos. As operações de recolhimento e de recebimento de rejeitos são realizadas contra recibo, ou seja, estas operações devem ser devidamente documentadas, permitindo assim o rastreamento dos rejeitos.

Os processos *Operação de Transporte e Licenciamento do Transporte* são referentes, respectivamente, ao gerenciamento da transferência de rejeitos para fora da instalação e às ações para obtenção de licenças e autorizações para o transporte, com anuência da empresa receptora. A operação de transporte deve ser realizada de acordo com o plano de transporte aprovado pelos órgãos licenciadores e, na transferência, devem ser observadas as orientações do sistema de manifesto.

Na Figura 4.5 é mostrado o detalhamento do processo *Elaboração e Controle do PGR* (DFD de 2^o nível), o qual foi subdividido nos seguintes processos: *Elaboração do PGR*; *Aprovação do PGR*; e *Controle do PGR*.

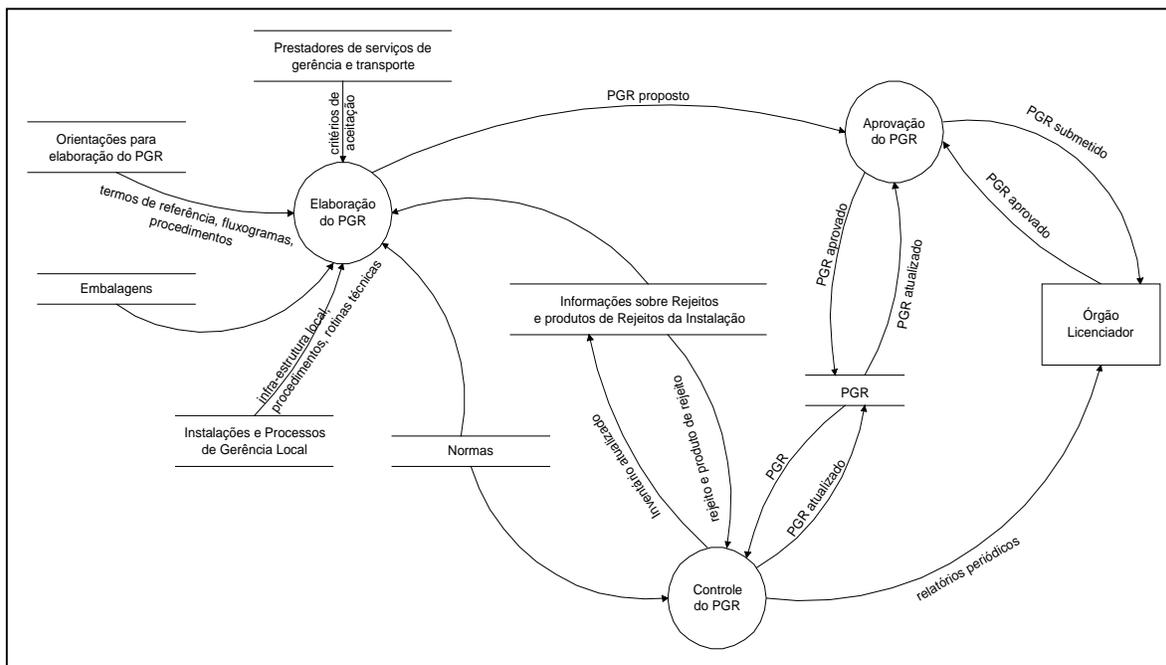


Figura 4.5 - Expansão do processo *Elaboração e Controle do PGR* (DFD 2^o nível).

Informações sobre as características dos rejeitos gerados e recebidos pela instalação, a infra-estrutura da Gerência de Rejeitos Local, a previsão de transferência de rejeitos a outras instalações, critérios de aceitação de rejeitos estabelecidos pelas instalações receptoras, entre outras, darão suporte à elaboração do PGR da instalação. Fazem parte da infra-estrutura local, mão-de-obra qualificada, laboratórios de apoio, instalações de tratamento, condicionamento e armazenamento de rejeitos, procedimentos operacionais e embalagens disponíveis. O PGR,

aprovado pelos órgãos licenciadores, deve ser mantido atualizado, retratando a situação real do gerenciamento de rejeitos da instalação.

No escopo da metodologia desenvolvida, estão incluídas as atividades do gerenciamento, anteriores à disposição final, desde a geração até a aceitação em instalações licenciadas para processamento dos rejeitos, tendo sido adotada uma abordagem integrada de suas etapas. Não inclui arranjos detalhados para a disposição final. Nos fluxogramas exibidos nas Figura 4.6 a Figura 4.11 são apresentados detalhes importantes das etapas identificadas na metodologia.

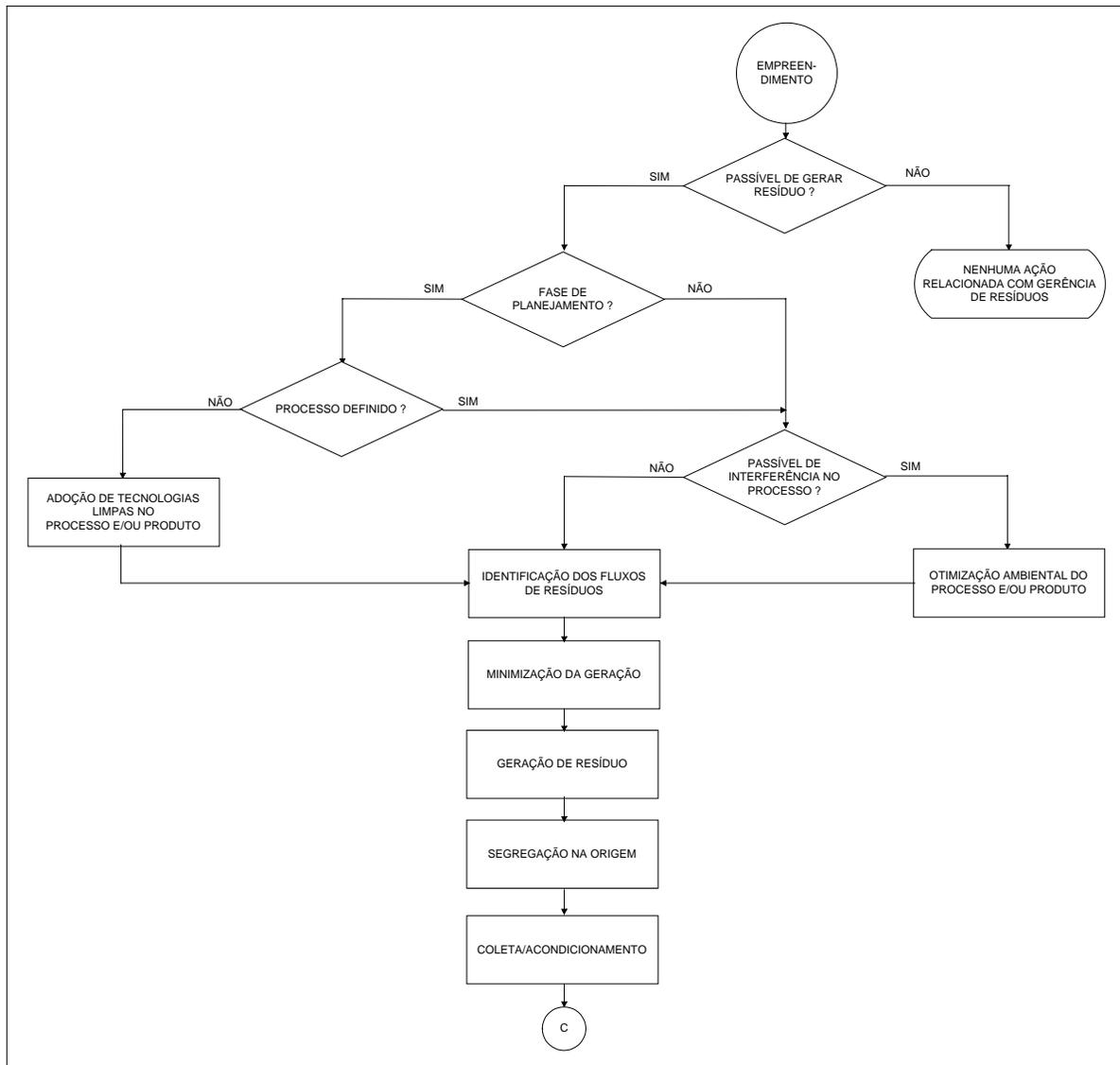


Figura 4.6 - Fluxograma da etapa de controle da geração de rejeitos.

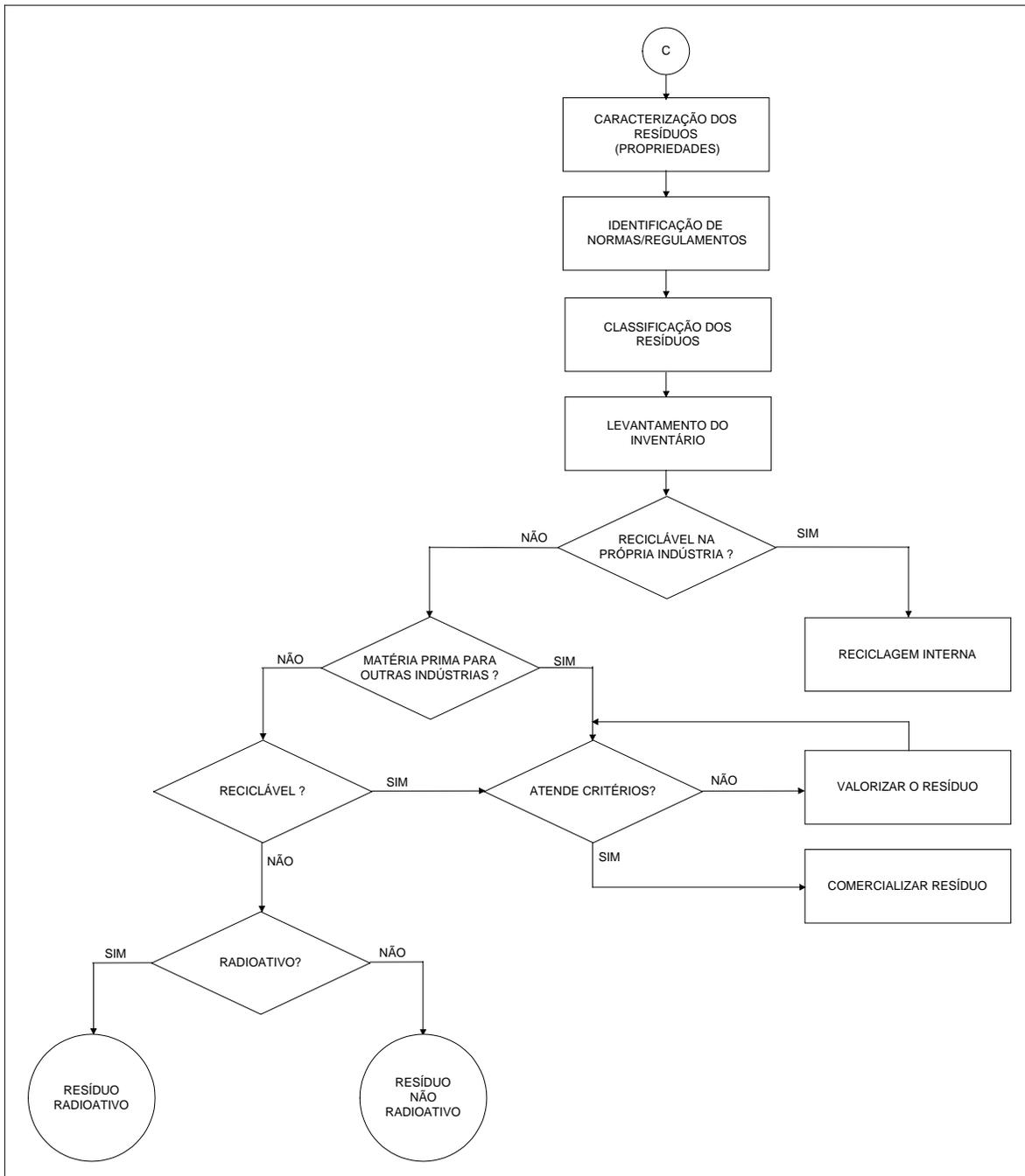
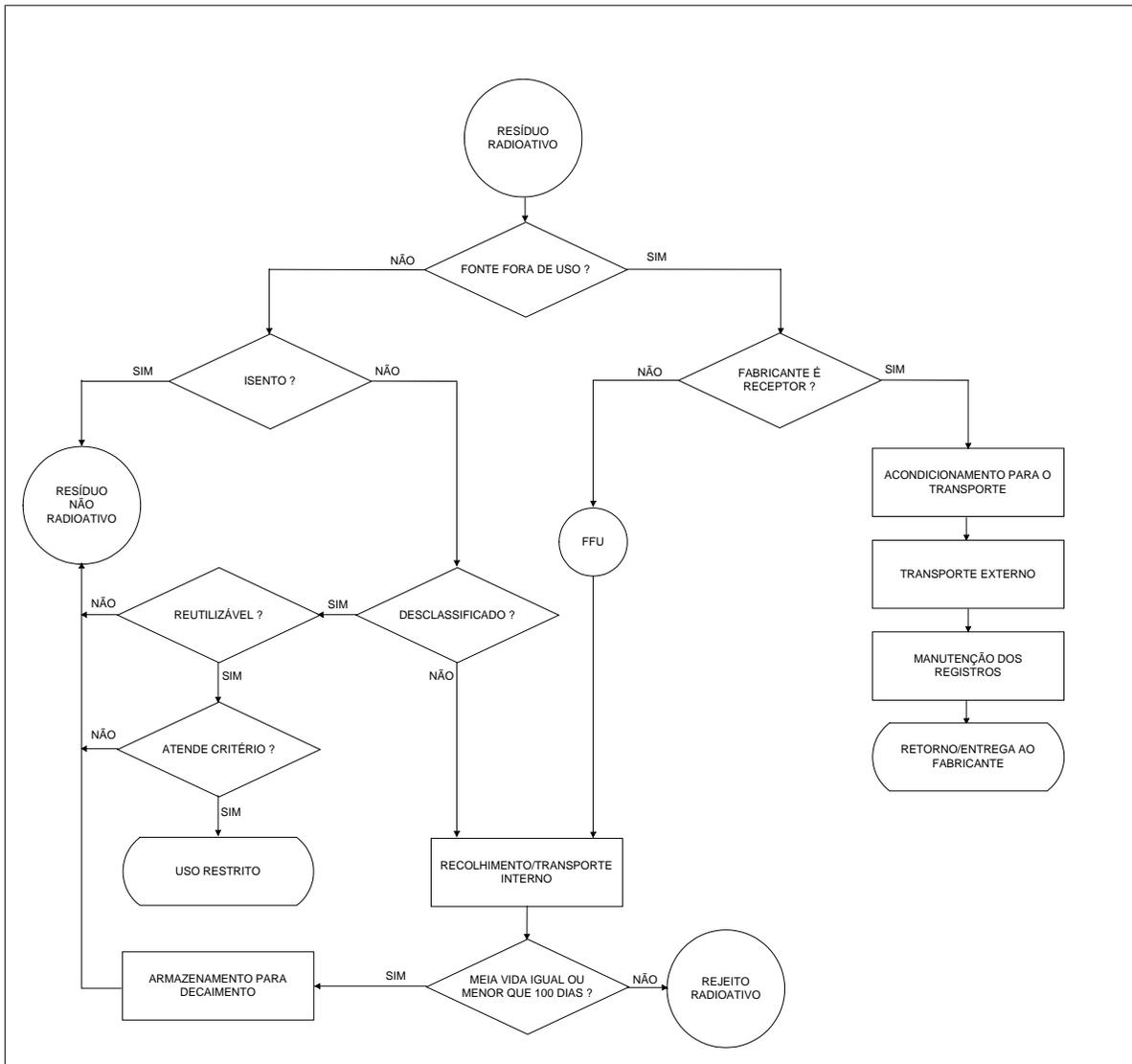
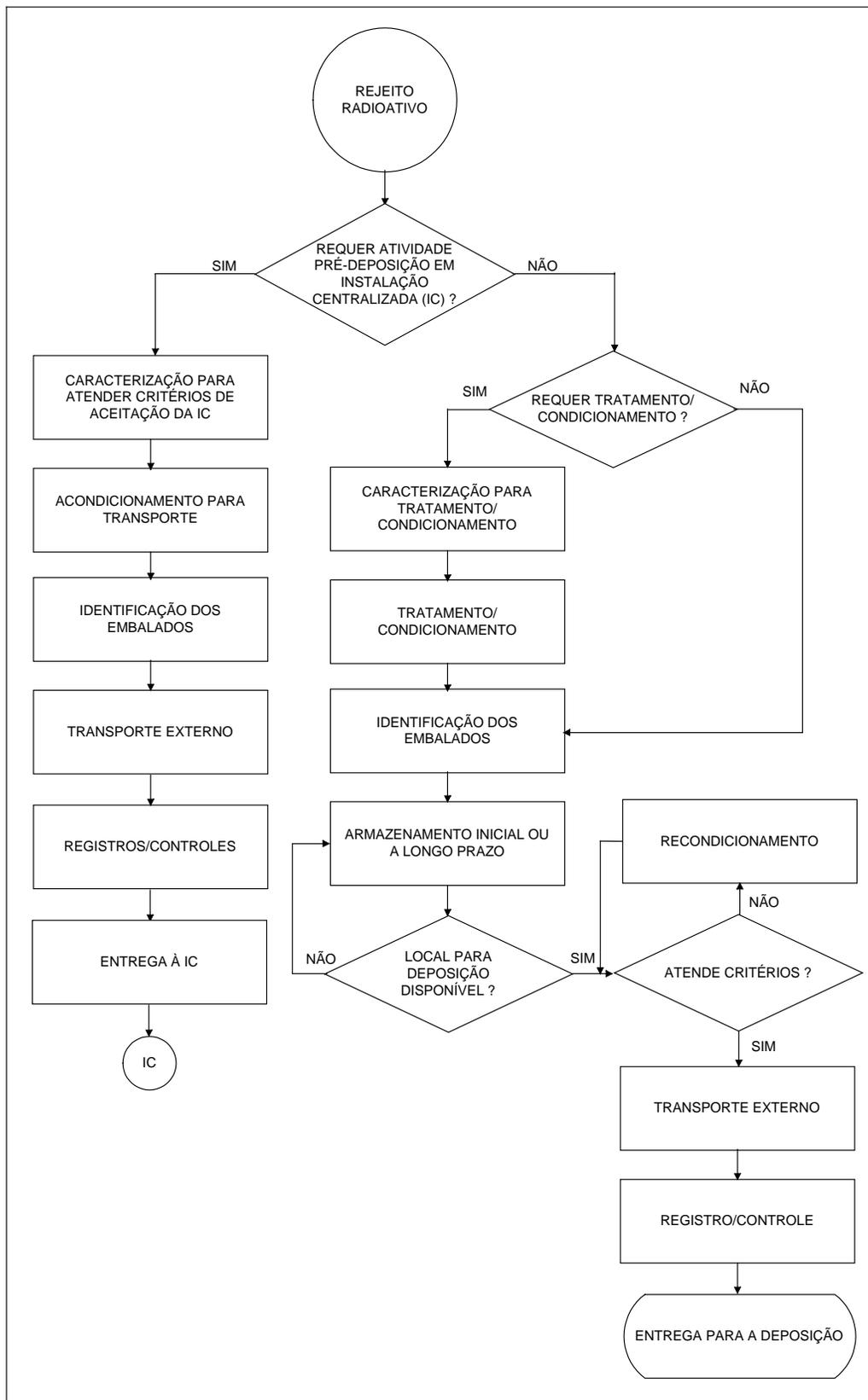


Figura 4.7 - Fluxograma da etapa de caracterização visando a reciclagem.



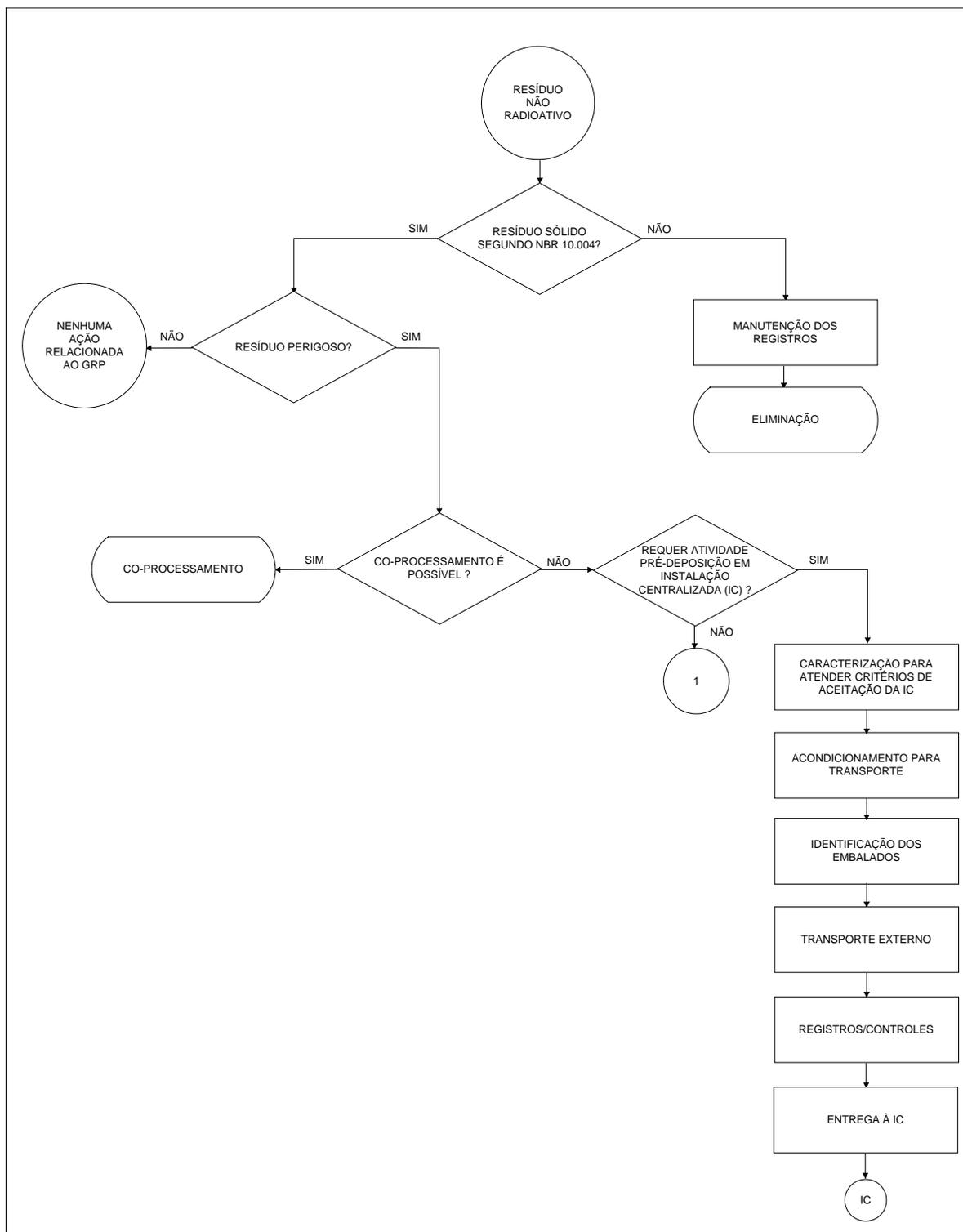
FFU: Fonte Fora de Uso

Figura 4.8 - Fluxograma indicando possíveis vias de destinação de rejeitos radioativos.



IC: Instalação Centralizada receptora de rejeitos.

Figura 4.9 - Fluxograma com etapas da gestão local de rejeitos radioativos.



GRP: Gerenciamento de Resíduos Perigosos

IC: Instalação Centralizada receptora de rejeitos.

Figura 4.10 - Fluxograma com etapas da gerência local de resíduos perigosos.

(continua)

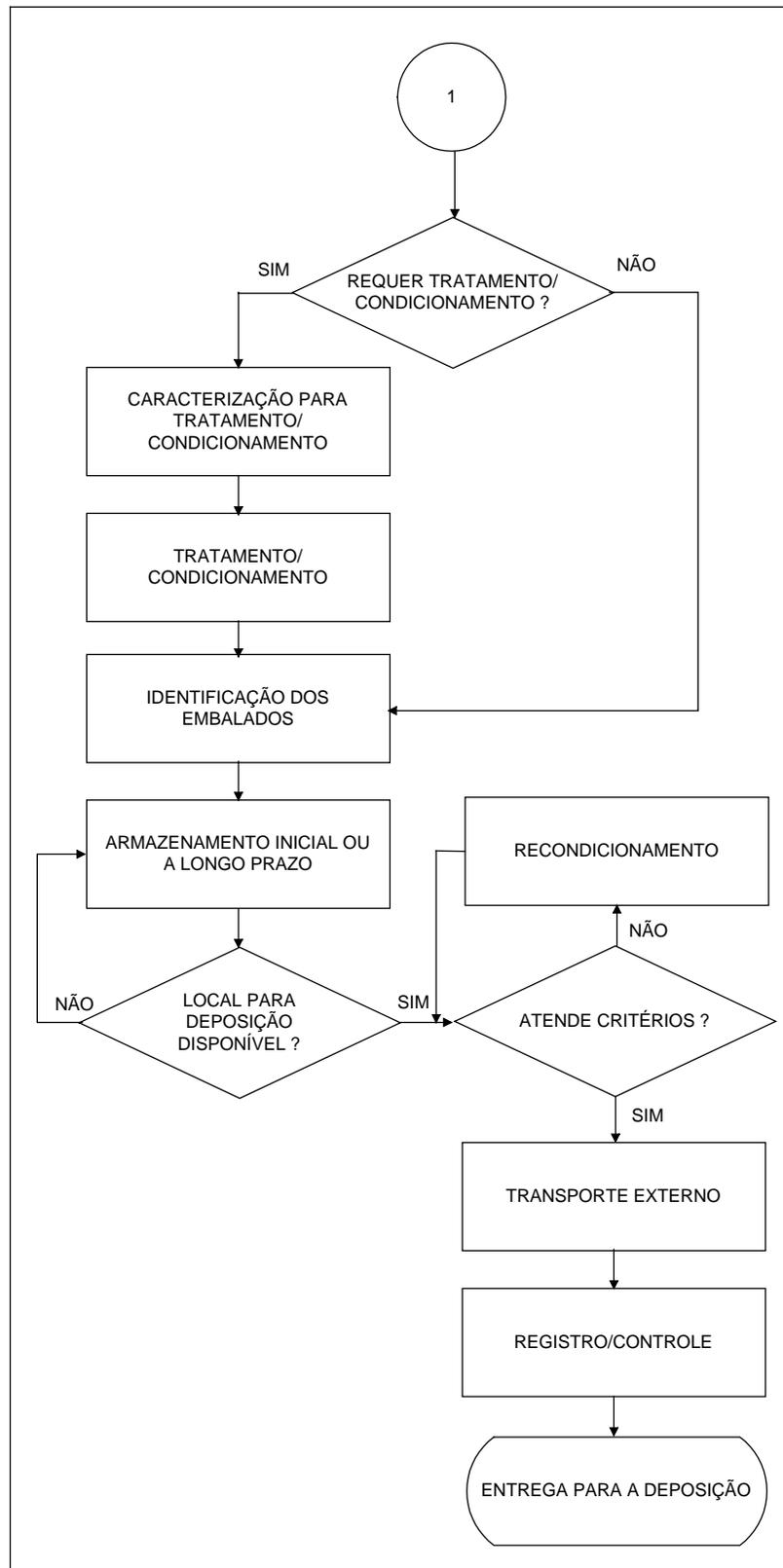
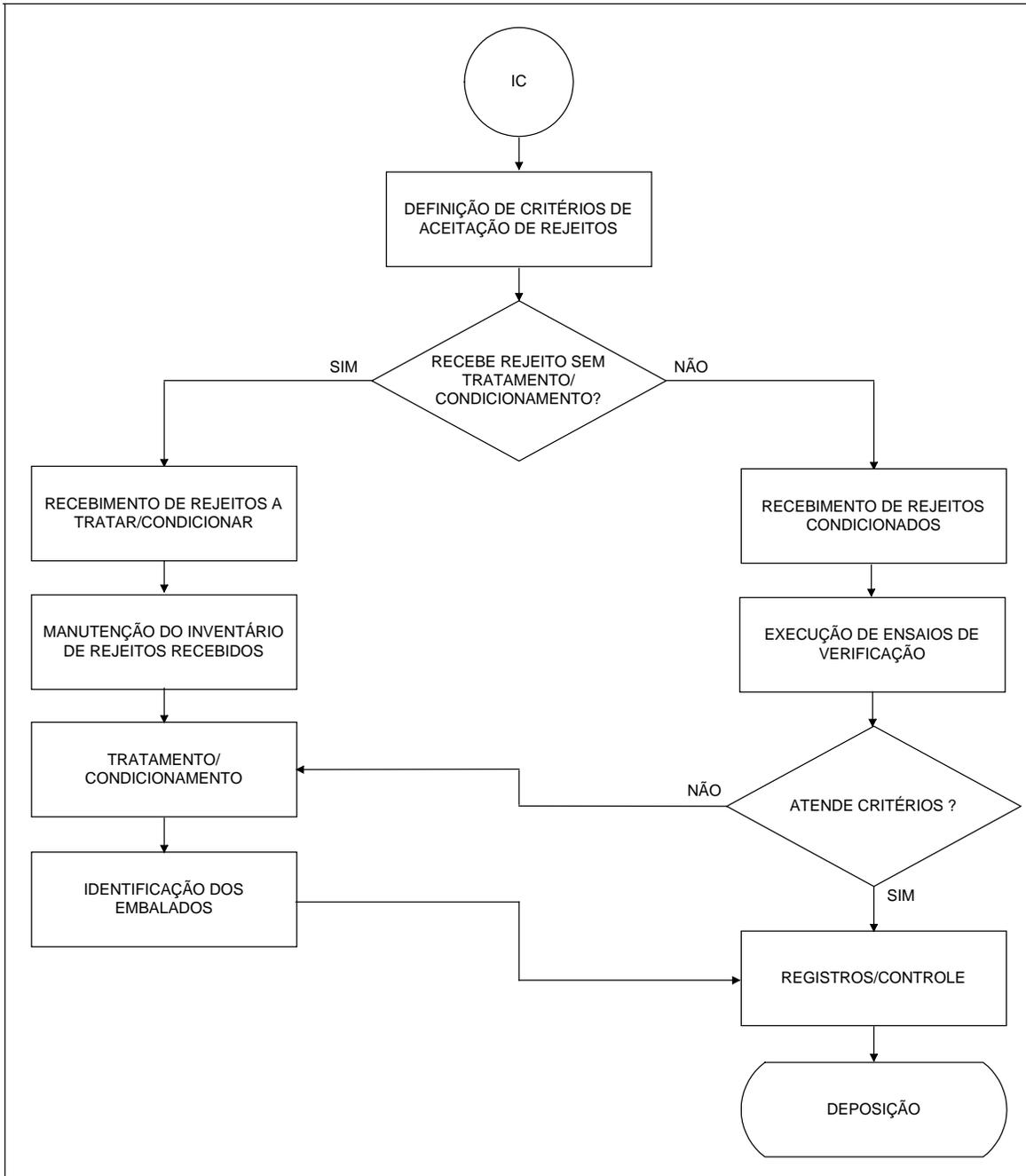


Figura 4.10 - Fluxograma com etapas da gerência local de resíduos perigosos.

(conclusão)



IC: Instalação Centralizada receptora de rejeitos.

Figura 4.11 - Fluxograma com etapas da gerência de rejeitos em instalação centralizada.

4.3 Software Implementado

Para a automatização da metodologia foi desenvolvido o software *SUGERE* (SILVA et al., 2005), cujo Diagrama de Estrutura Hierárquica, elaborado de acordo com GANE & SARSON (1995), é apresentado na Figura 4.12. Nele são mostrados os principais módulos definidos para implementar as funções identificadas nos diagramas de fluxo de dados descritos no item anterior.

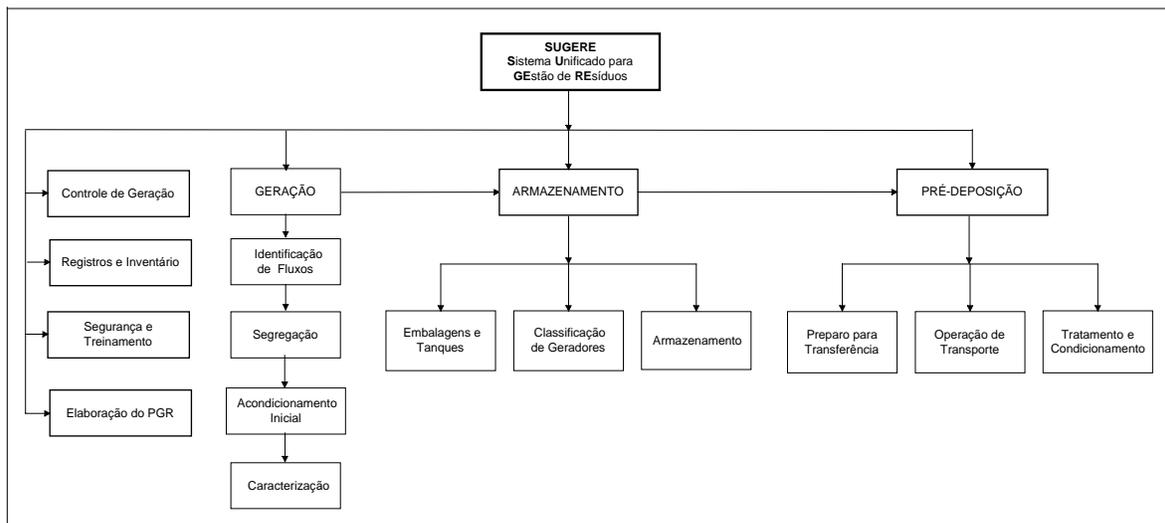


Figura 4.12 - Diagrama de Estrutura Hierárquica do *SUGERE*.

O módulo denominado *Geração* refere-se às etapas do gerenciamento de rejeitos na origem e contém orientações para a implementação de iniciativas ligadas a essas etapas. É composto pelas etapas:

- *Identificação de Fluxos*, que trata da identificação das atividades geradoras e das características dos fluxos de rejeitos. Envolve a identificação dos pontos reais ou potenciais de geração de resíduo, estimativa das quantidades geradas e suas características perigosas e a elaboração do fluxograma de resíduos nos processos produtivos;
- *Segregação*, com orientações quanto à separação dos rejeitos, em função de suas características e processamento previsto;

- *Acondicionamento inicial*, para atender requisitos de transferência, transporte ou armazenamento; e
- *Caracterização e Classificação*, com metodologias para a caracterização e classificação dos resíduos conforme regulamentação vigente e técnicas disponíveis.

O módulo denominado *Armazenamento* trata basicamente das atividades envolvidas no recebimento e armazenamento de rejeitos. É composto pelas etapas:

- *Embalagens e Tanques*, com orientações para a seleção de embalagens e tanques para acumulação e transporte de rejeitos, bem como para a identificação e sinalização das embalagens;
- *Classificação de Geradores*, com classificação dos geradores de rejeitos em função das características e inventário de rejeitos gerados; e
- *Coleta, Recebimento e Armazenamento*, abordando a infra-estrutura local, a documentação necessária e as ações para o recolhimento de rejeitos produzidos na própria instalação, o recebimento de rejeitos de instituições externas e o armazenamento dos rejeitos pela Gerência de Rejeitos Local.

O módulo denominado *Pré-deposição* engloba as atividades do gerenciamento realizadas pela Gerência de Rejeitos Local, anteriores à disposição final dos rejeitos, incluindo o transporte. É composto pelas etapas:

- *Preparo para Transferência*, que trata da seleção de instalação licenciada/credenciada receptora, das atividades de preparação dos embalados para o transporte, tratamento/condicionamento local ou em instalações centralizadas e da documentação para transporte e deposição;
- *Operação de Transporte*, referente ao gerenciamento do transporte externo de rejeitos; e
- *Tratamento e Condicionamento*, incluindo requisitos para armazenamento e deposição, atividades de tratamento e condicionamento pela Gerência de

Rejeitos Local, ações para a eliminação de rejeitos e informações sobre possíveis vias para a destinação final dos rejeitos.

Algumas atividades que, pelas suas próprias características, permeiam todo o processo de gerenciamento dos rejeitos não fazendo parte especificamente de nenhum dos módulos descritos, são apresentadas em separado, como:

- *Controle de Geração*, constando de orientações para a prevenção e minimização de rejeitos, com controle efetivo de sua geração no local de origem. É importante que ações sejam tomadas para assegurar que a geração de resíduos secundários seja minimizada durante a execução de todas as etapas previstas no gerenciamento dos resíduos;
- *Registros e Inventário*, referente aos registros de todas as informações relevantes para o gerenciamento dos rejeitos e à manutenção do inventário de rejeitos da instalação, permitindo o seu rastreamento e a emissão de relatórios consistentes e consolidados. Para esta finalidade, é utilizado, através do *SUGERE*, o software “Radioactive Waste Management Registry” (RWMRegistry) desenvolvido pela AIEA, cujo detalhamento da tela principal é mostrado na Figura 4.13.



Figura 4.13 - Detalhamento da tela principal do RWMRegistry.

Nas Figura 4.14 e Figura 4.15 são apresentadas outras telas do RWMRegistry, indicando acesso às opções de condicionamento de rejeitos e à situação de determinado embalado de rejeito, respectivamente.

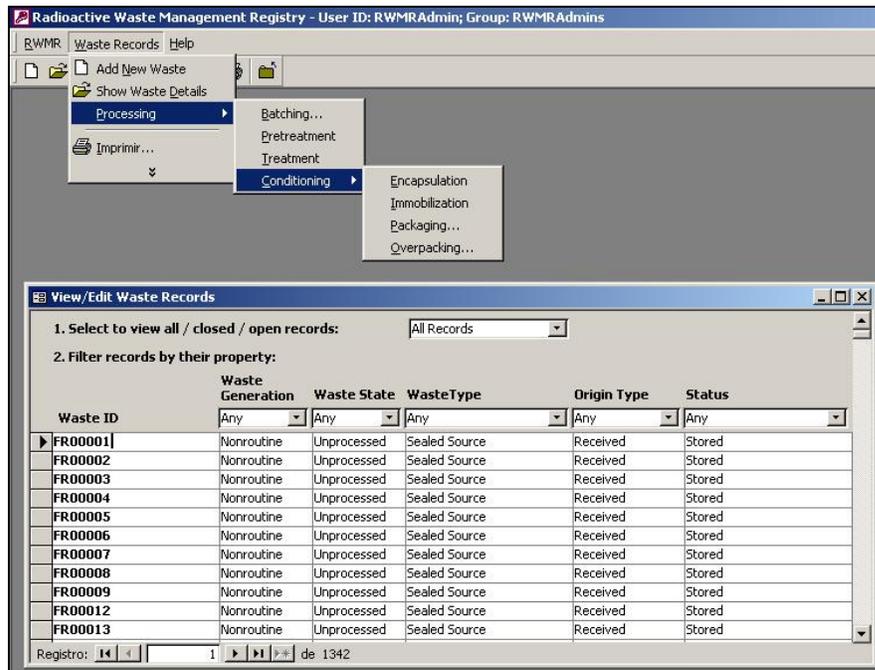


Figura 4.14 - Tela do RWMRegistry: Acesso às opções de condicionamento.

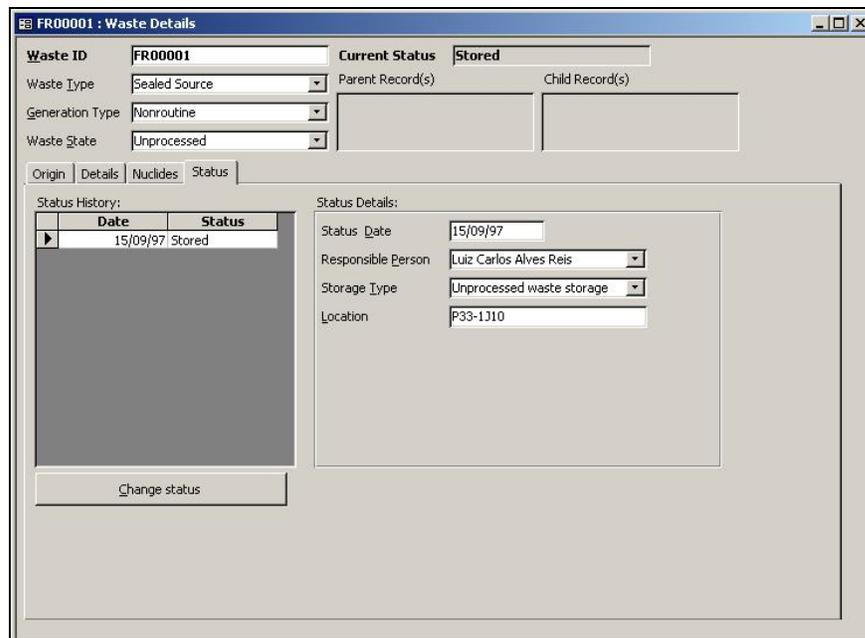


Figura 4.15 - Tela do RWMRegistry: Detalhamento da situação do rejeito.

- *Segurança Física e Radiológica*, constando de orientações para atuação em casos acidentais envolvendo materiais radioativos, bem como para averiguação de eventos radiológicos e atendimentos a emergências radiológicas e com outros produtos químicos perigosos. Contém também orientações para o manuseio seguro de materiais radioativos e ações para prevenir perigos provocados pela aquisição e uso ilegal de materiais nucleares, como também para reforçar a proteção do uso pacífico da energia nuclear, dos depósitos de rejeitos e de fontes fora de uso, e das operações de transporte dos rejeitos.
- *Elaboração do PGR*, fornecendo suporte para a elaboração do Programa de Gerenciamento de Rejeitos da instalação, com fluxogramas ilustrativos, conteúdo básico, descrição sumária das responsabilidades dos envolvidos e orientações gerais.

Os resíduos são, em geral, misturas complexas de várias substâncias, o que torna difícil, na prática, determinar com precisão suas características e composição. No entanto, a caracterização dos resíduos perigosos é uma exigência legal necessária para assegurar que as atividades de classificação, processamento, transporte e deposição dos resíduos sejam realizadas de maneira correta e ambientalmente segura, ficando esta atividade a cargo dos geradores.

Para a classificação de um resíduo como resíduo perigoso foi utilizada a metodologia adotada na norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), que por sua vez foi elaborada com base na norma americana constante do “Code of Federal Regulations” (CFR), Title 40, “Protection of Environment”, Part 260-265, “Hazardous Waste Management”. De acordo com a norma NBR 10.004, as seguintes verificações compõem o processo de identificação/caracterização de resíduos perigosos: O resíduo em questão é um resíduo sólido? O resíduo é um resíduo especificamente excluído? O resíduo é um resíduo perigoso listado? e O resíduo apresenta pelo menos uma das características de resíduos perigosos?

Com relação aos rejeitos radioativos, a metodologia adotada para a classificação dos rejeitos atende à norma CNEN-NE-6.05 e às recomendações da AIEA. Esta classificação visa separar os rejeitos em grupos, quanto aos aspectos de radioproteção envolvidos no seu manuseio, bem como quanto aos requisitos para a deposição segura.

Para implementar as metodologias de classificação de resíduos perigosos são necessários os seguintes bancos de dados: resíduos perigosos de fontes não específicas;

resíduos perigosos de fontes específicas; substâncias que conferem periculosidade aos resíduos; substâncias agudamente tóxicas; substâncias tóxicas; e concentração-limite máxima no extrato obtido no ensaio de lixiviação. Estas informações foram retiradas das listagens constantes dos Anexos A, B, C, D, E e F da norma NBR 10.004, respectivamente. Para a metodologia de classificação dos rejeitos radioativos foi definido um banco de dados contendo símbolo, classe de toxicidade e meia-vida física dos radionuclídeos constantes no anexo da norma CNEN-NE-6.02 e seus limites de eliminação, conforme Anexo D da norma CNEN-NE-6.05.

Vários outros bancos de dados são necessários para implementar as metodologias das outras etapas da gerência, entre eles:

- normas, regulamentos e diretrizes aplicáveis a resíduos perigosos e a rejeitos radioativos. A consulta será por assunto e para cada título normativo apresentado é disponibilizado sua identificação, ementa, resumo e texto completo, quando disponível;
- métodos de caracterização, tratamento e condicionamento de rejeito e sua aplicação;
- instalações e processos de gerência local (disponíveis na própria instalação geradora), a ser preenchido pela instalação usuária do software *SUGERE*;
- embalagens qualificadas disponíveis no mercado;
- critérios de aceitação de rejeito das respectivas empresas receptoras;
- relação dos resíduos perigosos e dos rejeitos radioativos da instalação e sua situação (tratado, não tratado, armazenado, transferido, etc.);
- empresas receptoras de resíduos perigosos e de rejeitos radioativos; e
- empresas transportadoras de resíduos perigosos e de rejeitos radioativos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metodologia, desenvolvida para o gerenciamento unificado de rejeitos radioativos e demais resíduos perigosos de uma instalação, busca a otimização do gerenciamento de rejeitos, pela integração das etapas envolvidas e considerando a interdependência entre elas. Reúne orientações, de diferentes especialidades, em uma ferramenta facilitadora das atividades de gerenciamento de rejeitos, servindo como suporte para tomadas de decisão. Da maneira que foi desenvolvida, deve ser aplicada por usuário especializado, não o eximindo de conhecimentos específicos da área.

O software desenvolvido - *SUGERE* - contém orientações gerais para a gerência de resíduos perigosos e de rejeitos radioativos de uma instalação e suas respectivas etapas. Ele estará disponível para uso, após registro no INPI. Com uma interface de fácil utilização (tela principal mostrada na Figura 5.1), o software inclui ícones que permitem obter informações sobre a utilização do sistema, uma visão geral sobre suas características, glossário de termos da área de gerência de rejeitos, relação de normas e regulamentos aplicáveis e procedimentos para a classificação dos rejeitos e para o preenchimento do manifesto de rejeitos, dentre outros procedimentos e documentos de licenciamento com orientações disponíveis. O posicionamento do mouse em qualquer ícone, caixa de texto ou figura permite a obtenção de informações sobre o seu conteúdo, facilitando a navegação pelas etapas detalhadas nos formulários que se abrem. Utilizando-se de um menu *pop-up*, através do clique no botão direito do mouse, em qualquer tela do programa, é possível acessar o glossário de termos, a legenda das caixas de texto utilizadas no software (Figura 5.2) e um editor de texto contendo o termo de referência para o Programa de Gerenciamento de Rejeitos - PGR da instalação. Em cada etapa, textos e fluxogramas que orientam a sua utilização vão sendo construídos à medida que informações sobre o rejeito, processo ou instalação vão sendo fornecidas pelo usuário. Estas informações podem ser gravadas, diretamente no editor de texto disponibilizado pelo menu *pop-up* mencionado, para subsidiar a elaboração do PGR da instalação. Estão também disponíveis bancos de dados relacionados a resíduos perigosos e rejeitos radioativos, bem como introduzidos cálculos que facilitam a utilização de normas e a implementação do PGR, incluindo o rastreamento dos rejeitos através do RWMRegistry.

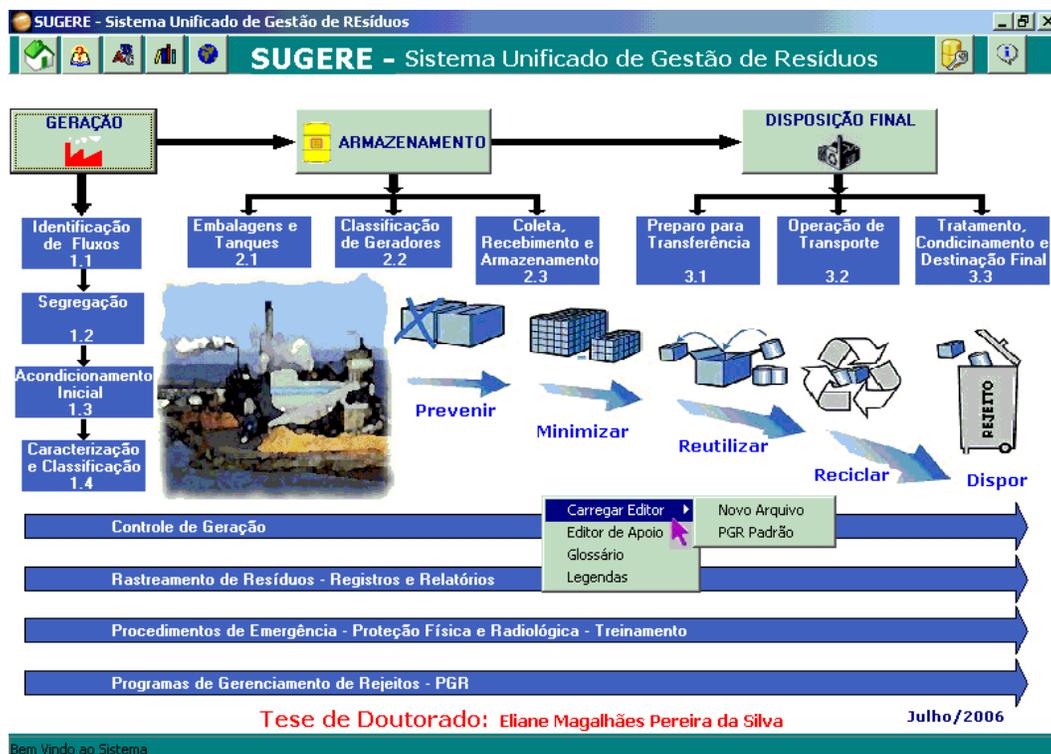


Figura 5.1 - Tela principal do software *SUGERE*.

Elemento do Diag.	Ação	Descrição da Ação
Nome da Etapa	"Click"	Etapa básica, sem detalhamento
Nome da Etapa	"Click"	Etapa detalhada em novos formulários
Nome da Etapa	"Click"	Detalha diagrama no próprio formulário
Nome da Etapa	"Click"	Detalha diagrama no próprio formulário
Nome da Etapa	"Click-B. Dir."	Descrição da etapa através de arquivos pdf
Nome da Etapa	"Click"	Detalha diagrama no próprio formulário
Nome da Etapa	"Duplo-Click"	Descrição da etapa através de arquivos pdf
Nome da Etapa	"Click"	Descrição da etapa através de arquivos pdf
Nome da Etapa	"Click"	Etapa de consulta a Banco de Dados
Nome da Etapa	"Click"	Saída para execução de Programas Externos

Figura 5.2 - Legenda dos diagramas utilizados no *SUGERE*.

A seguir são apresentadas algumas telas do *SUGERE* ilustrando alguns procedimentos, funções, bancos de dados, cálculos e orientações implementadas.

Na Figura 5.3 é apresentado um exemplo de consulta ao banco de dados “Dispositivos Legais e Normas Regulamentadoras”, acessado através da tela principal. A consulta pode ser feita por assunto (meio ambiente, rejeitos radioativos, resíduos de serviços de saúde, resíduos perigosos e transporte) e tipos de dispositivos (dispositivos legais e normas regulamentadoras). Podem ser consultados ementas, resumos e textos completos destes documentos, quando disponíveis.

Na Figura 5.4 é apresentado um exemplo de cadastro de dados dos elementos radioativos, contendo informações que constam das normas CNEN NE-5.01, 6.02 e 6.05. Ressalta-se que a atualização dos bancos de dados é realizada através do módulo de administração do sistema, na tela principal, que somente é acessado mediante uso de senha, para garantir a integridade dos dados. Estes dados são utilizados na classificação dos rejeitos, na eliminação de rejeitos pelas vias convencionais, em cálculos do tempo de decaimento e na seleção de embalagens para o transporte.

Na Figura 5.5 é mostrado um fluxograma com orientações para obtenção dos parâmetros A_1 e A_2 , referentes às atividades máximas de material radioativo em forma selada e não selada, respectivamente, permitidas para transporte em embalados Tipo A.

Na Figura 5.6 é mostrado um fluxograma básico com as possíveis etapas para a prevenção da geração de rejeitos, o qual vai sendo construído à medida que decisões vão sendo tomadas (na Figura, a título de clareza, é mostrado o fluxograma completo). Estas decisões são também gravadas, podendo ser complementadas e acessadas, a qualquer instante, através de menu do tipo “*pop-up*”, e ser incluídas na estrutura de um PGR padrão disponível para edição (PGR.rtf). Isto é feito através da utilização direta do WordPad[®] que é carregado automaticamente.

Normalização/Legislação

DISPOSITIVOS LEGAIS E NORMAS REGULAMENTADORAS

Assunto: Resíduos Perigosos | Tipo: Dispositivos Legais

Lei Federal Legislação Estadual
 Decreto Federal Normas da ABNT
 Decreto Legislativo Normas da CNEN
 Portaria Outras Normas
 Resolução

[Retornar](#) [Mostrar](#)

Identificação	Ementa	Resumo	Texto
Lei Federal 5.357/87 e Decreto Federal 50.877/61	Dispõem sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores ou litorâneas do País.		
Portaria MINTER n. 053, de 01/03/1979	Estabelece normas aos projetos específicos de tratamento e disposição de resíduos sólidos.		
Portaria Ministerial 537/9	Determina que os resíduos sólidos ou semi-sólidos de qualquer natureza não devem ser incinerados e que a fiscalização e os projetos específicos de tratamento e disposição destes resíduos ficam sujeitos à aprovação do órgão estadual competente.		
Resolução CONAMA n.006, de 15/06/1988	Dispõe sobre o inventário dos resíduos perigosos gerados e/ou existentes no país.		
Resolução CONAMA n.008, de 06/12/1990	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes no ar.		
Resolução CONAMA	Dispõe sobre resíduos de cargas deterioradas, contaminadas, fora de especificação ou		

Figura 5.3 - Tela do *SUGERE*: Dispositivos legais e normas reguladoras.

Cadastro de Elementos Radioativos

Cadastro dos Elementos Radioativos e Seus Parâmetros das Normas CNEN NE - 5.01, 6.02 e 6.05

[Retornar](#)

Radionuclídeo: Ag105 | Elemento e Número Atômico: Plata-47

Procura por Radionuclídeo: Verifica se já existe cadastrado

Classe: C | Meia-Vida: 41 | Unidade: d | Atividade Específica: [Bq/g] | Tipo Emissor: []

A1: [] 2 [TBq] | A2: [] 2 [TBq] | A1 e A2 apresentadas na Norma com "não limitada" devem ser cadastradas com o valor -1

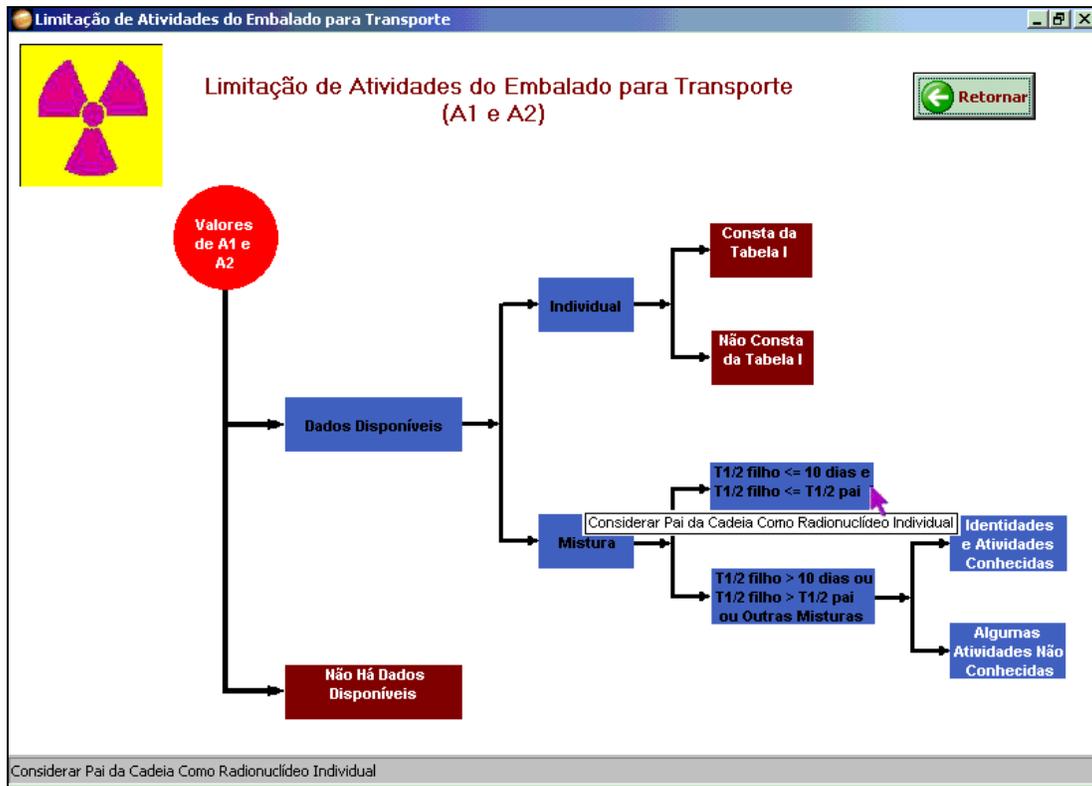
Limites de Eliminação do Radionuclídeo de acordo com Norma CNEN NE- 6.05 (I - Insolúvel; S: Solúvel)

Coluna1 (I)	Coluna2 (I)	Coluna3 (I)	Coluna1 (S)	Coluna2 (S)	Coluna3 (S)
110000000 [Bq/m ³]	110 [Bq/m ³]	[] [Bq/m ³]	110000000 [Bq/m ³]	740 [Bq/m ³]	40 [Bq/m ³]

*Valores de A1 e/ou A2 limitados pelos núclídeos filhos resultantes do decaimento
 A1: valor básico de atividade de um radionuclídeo no caso de se tratar de material radioativo especial
 A2: valor básico de atividade de um radionuclídeo no caso de não se tratar de material radioativo especial

Fonte: CNEN (1985, 1988a, 1998).

Figura 5.4 - Tela do *SUGERE*: Cadastro de parâmetros de radionuclídeos.



Fonte: CNEN, 1988a.

Figura 5.5 - Tela do SUGERE: Obtenção dos limites de atividade para embalados Tipo A.

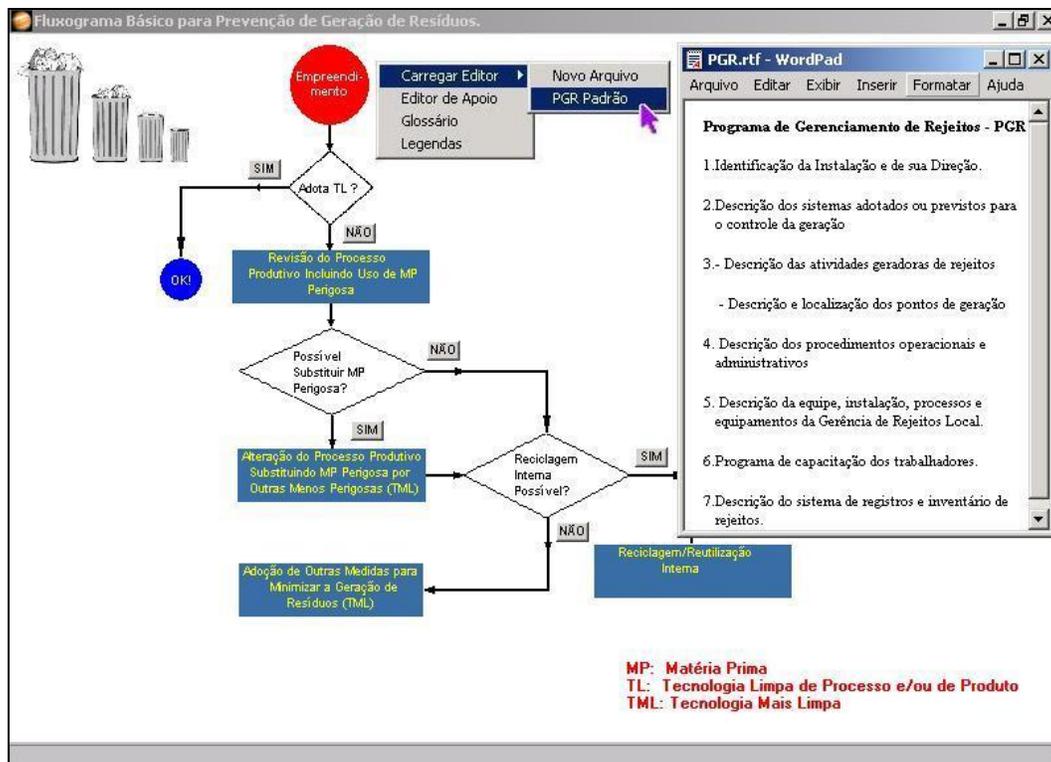


Figura 5.6 - Tela do SUGERE: Orientação para a prevenção da geração de rejeitos.

Na Figura 5.7 são apresentados exemplos de técnicas utilizadas para a caracterização de cada elemento, segundo sua faixa de concentração (alta, média e baixa). São também indicadas técnicas para caracterização de alguns radionuclídeos específicos. No *SUGERE* estão cadastradas as técnicas disponíveis no CDTN/CNEN. Para identificar as técnicas, basta posicionar o mouse em cada elemento, na sua posição na tabela periódica, sobre a faixa de concentração esperada, ou sobre o símbolo do radionuclídeo de interesse.

Exemplos de Técnicas Disponíveis para Caracterizar cada Elemento ou Radionuclídeo

Para Identificar as Técnicas Disponíveis para Caracterizar cada Elemento ou Radionuclídeo, Posicionar o Mouse sobre a Concentração Estimada

TÉCNICAS UTILIZADAS PARA CADA ELEMENTO SEGUNDO SUA CONCENTRAÇÃO E PARA CADA RADIONUCLÍDEO

Concentração: alta (vermelho), média (azul), baixa (verde)

0,1 - 5% : Volumetria, Absorção Atômica, Espectrometria UV-VIS e Fluorescência de RX

0,1 - 5%: Espectrometria de Energia (RX), Gravimetria, Absorção Atômica, Espectrometria UV-VIS e Fluorescência de RX

< 0,1%: Ativação Neutrônica

Técnicas: Radiometria e Ativação Neutrônica

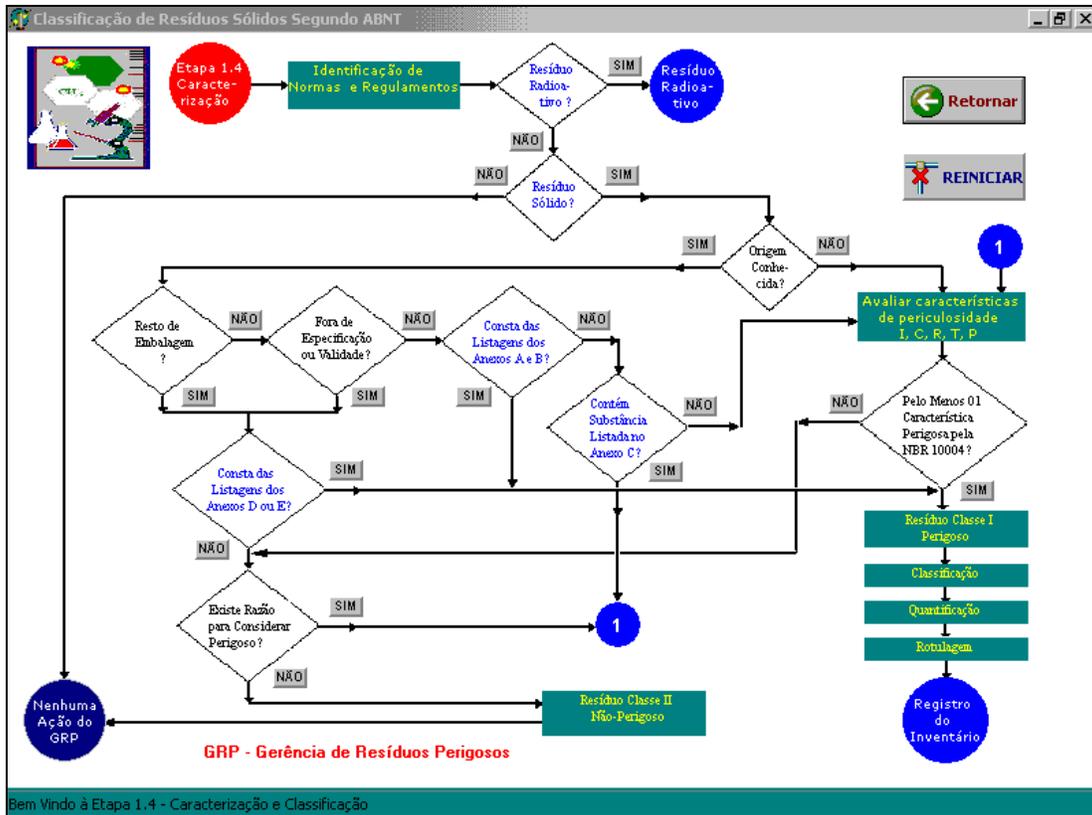
Fonte: SENNE Jr, 2000.

Figura 5.7 - Tela do *SUGERE*: Técnicas para caracterização de elementos químicos ou radionuclídeos.

Algumas telas do *SUGERE*, mostrando os fluxos de ações para a classificação dos resíduos perigosos e dos rejeitos radioativos, são apresentadas nas Figuras 5.8 e 5.9, respectivamente.

Na Figura 5.8 é apresentado um fluxograma completo para a classificação de resíduos sólidos quanto à periculosidade, de acordo com a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004). Através

do clique do mouse no interior dos losangos é possível fazer a consulta direta aos bancos de dados relevantes para a classificação (Anexos A, B, C, D e E da norma NBR 10.004).

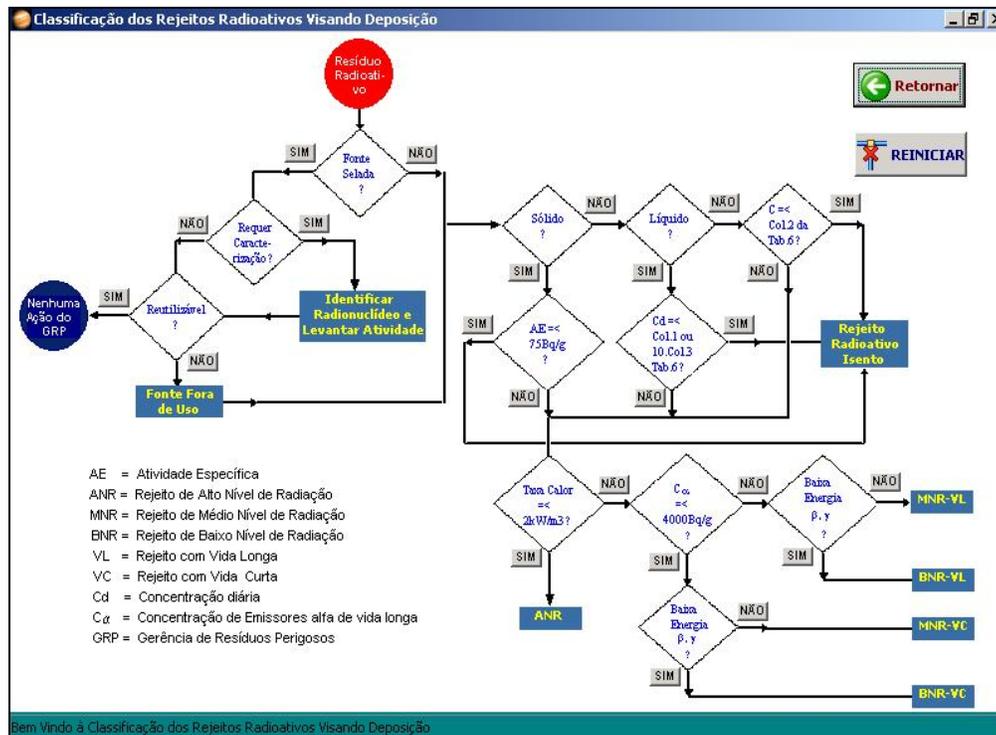


Fonte: Adaptado de ABNT (2004).

I - Inflamabilidade; C - Corrosividade; R - Reatividade; T - Toxicidade; e P - Patogenicidade.

Figura 5.8 - Tela do *SUGERE*: Classificação de resíduos sólidos quanto à periculosidade.

Na Figura 5.9 é apresentada a classificação dos rejeitos radioativos visando orientar a estratégia a ser adotada na sua deposição, segundo recomendações da AIEA (IAEA, 1994a). De acordo com esta metodologia, os rejeitos podem ser classificados em: rejeitos isentos, passíveis de eliminação pelas vias convencionais; rejeitos ANR (Alto Nível de Radiação); rejeitos BNR (Baixo Nível de Radiação) e rejeitos MNR (Médio Nível de Radiação), de vida curta, nos quais predominam radionuclídeos de meia-vida curta ($t_{1/2} < 30$ anos); e rejeitos BNR e MNR, de vida longa, nos quais predominam radionuclídeos com meia-vida superior a 30 anos.



Fonte: adaptado de CNEN (1985) e IAEA (1994a).

Figura 5.9 - Tela do SUGERE: Classificação de rejeitos radioativos visando a deposição.

Na Figura 5.10 é apresentado um exemplo de cálculo do tempo de decaimento, necessário para o confinamento de rejeitos radioativos, visando a sua futura eliminação pelas vias convencionais. A partir de dados sobre as características do rejeito, como estado físico, massa e atividade inicial do radionuclídeo presente, e acessando o banco de dados de radionuclídeos, é possível calcular diretamente esse tempo de armazenamento necessário.

No diagrama da Figura 5.11 é apresentada a tela do SUGERE, através da qual pode ser acessada a infra-estrutura local, para recebimento e armazenamento de rejeitos e de fontes fora de uso, e obtidas orientações quanto a documentação necessária e as ações para o recolhimento de rejeitos produzidos na própria instalação, o recebimento de rejeitos de instituições externas e o armazenamento dos rejeitos pela Gerência de Rejeitos Local.

Cálculo do Tempo de Decaimento para Eliminação de Rejeitos Radioativos

Retornar

Características Físicas do Radionuclídeo / Rejeito

Atividade Inicial do Radionuclídeo, Bq: 1110000

Sólido

Massa Total do Rejeito, [g]: 23

Radionuclídeo I125

Massa Atômica, [Ma]: 125

Tempo de Meia Vida: 60,1

Unid. T1/2: d

Atividade Total, [Bq]: 1110000

Atividade Esp. [Bq/g]: 4,7 E-7

Tempo de Decaimento para Eliminação de Rejeitos Sólidos: **221,52 dias**

Procura por Radionuclídeo:

Procura por Nome:

Observação: A primeira letra do símbolo do radionuclídeo deve ser maiúscula

Radionuclídeo	NomeElemento	Classe	MeiaVida	UnidadeMV	AtividadeEsp	TipoEmissor	A1	A2	Coluna1	Coluna2
I123	Iodo-53	C	13,2 h				6	6		
I124	Iodo-53	B	4,18 d				0,9	0,9		
I125	Iodo-53	B	60,1 d				20	2		
I126	Iodo-53	B	13 d				2	0,9		
I128	Iodo-53	D	0,416 h							
I129	Iodo-53	D	15700000 a				-1	-1		
I130	Iodo-53	C	12,4 h							
I131	Iodo-53	B	8,04 d				3	0,5		

Figura 5.10 - Tela do SUGERE: Cálculo do tempo de decaimento visando a eliminação.

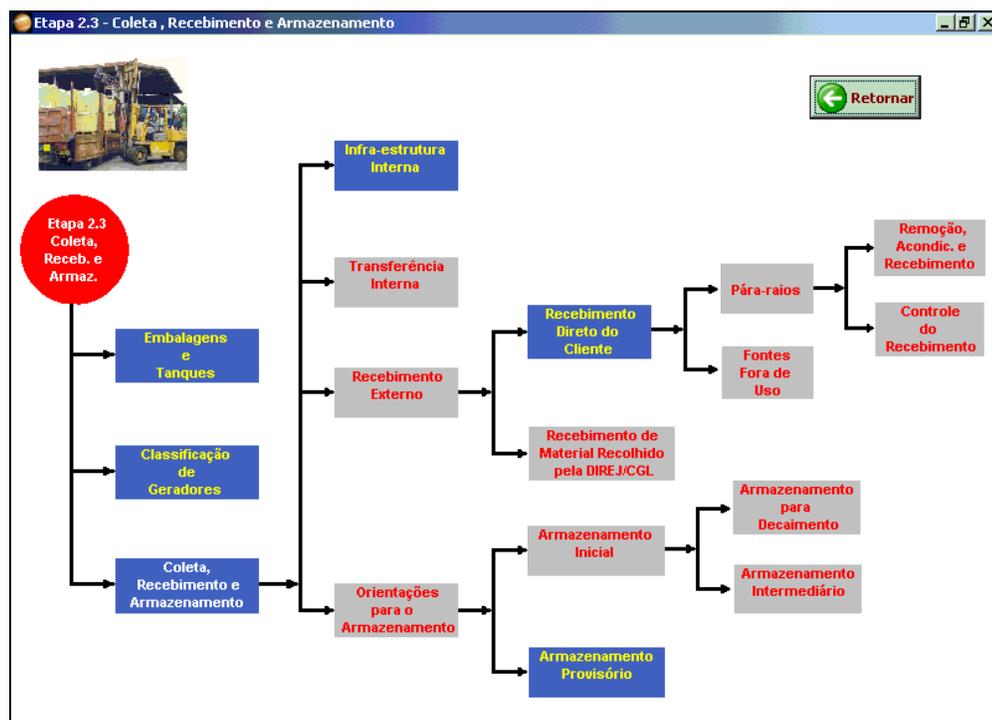


Figura 5.11 - Tela do SUGERE: Coleta, recebimento e armazenamento de rejeitos.

No diagrama da Figura 5.12 é mostrada uma tela do *SUGERE*, através da qual podem ser obtidas orientações para a seleção de embalagens para acondicionamento de rejeitos, sua identificação e sinalização. Inclui o apoio na estimativa dos valores limites A1 e A2, de acordo com a norma CNEN-NE-5.01, orientações para identificação e sinalização de embalagens, ensaios para embalados e instalações de teste, entre outras.

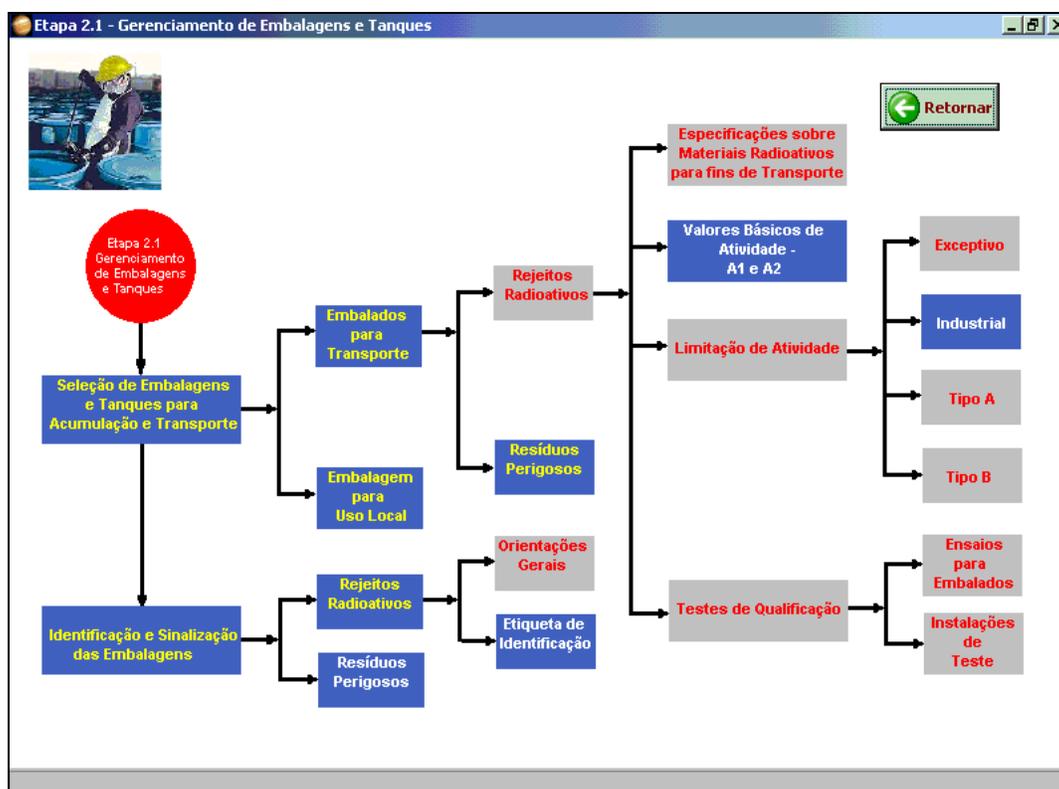


Figura 5.12 - Tela do *SUGERE*: Gerenciamento de embalagens e tanques.

Na Figura 5.13 é apresentada a tela do *SUGERE* que permite o acesso ao(s) banco(s) de dados disponíveis para o controle de rejeitos e de fontes fora de uso, utilizando a interação com o software RWMRegistry. Esta interação permite também a administração de outras informações fundamentais para tomadas de decisão quanto ao gerenciamento desses materiais. Esta tela também permite visualizar exemplos de formulários para manutenção de registros (controle e inspeção de rejeitos, seus depósitos, transferências e eliminações) e para a emissão de relatórios.

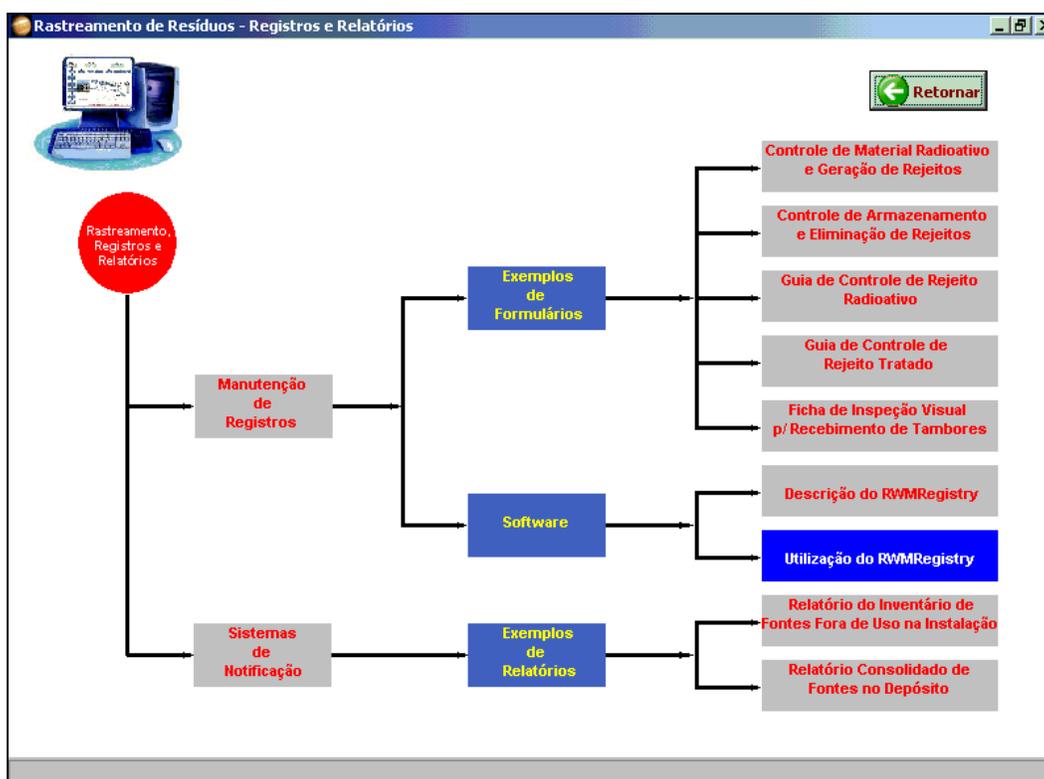


Figura 5.13 - Tela do *SUGERE*: Rastreamento dos rejeitos e inventário atualizado.

Na Figura 5.14 é mostrada a tela do *SUGERE* que serve de suporte para a elaboração do PGR da instalação, contendo fluxogramas ilustrativos, conteúdo básico, descrição sumária das responsabilidades dos envolvidos e demais orientações gerais.

Pela tela do *SUGERE*, mostrada na Figura 5.15, são fornecidas orientações tanto para atendimento a situações de incidentes e acidentes envolvendo materiais radioativos, como também para produtos químicos. Para o caso de materiais radioativos, são apresentadas orientações para elaboração de procedimentos para atuação em situações de emergências radiológicas e para acionamento do Sistema de Atendimento a Emergência Radiológica – SAER e do Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos – SINAER, ambos da CNEN. Para o caso de emergências envolvendo resíduos perigosos, são fornecidas informações para acionamento do Pró-Química e subsídios para elaboração de fichas de emergência para transporte de produtos perigosos. Constam, ainda, orientações para se garantir a guarda dos materiais radioativos contra ação de malfetores e terroristas.

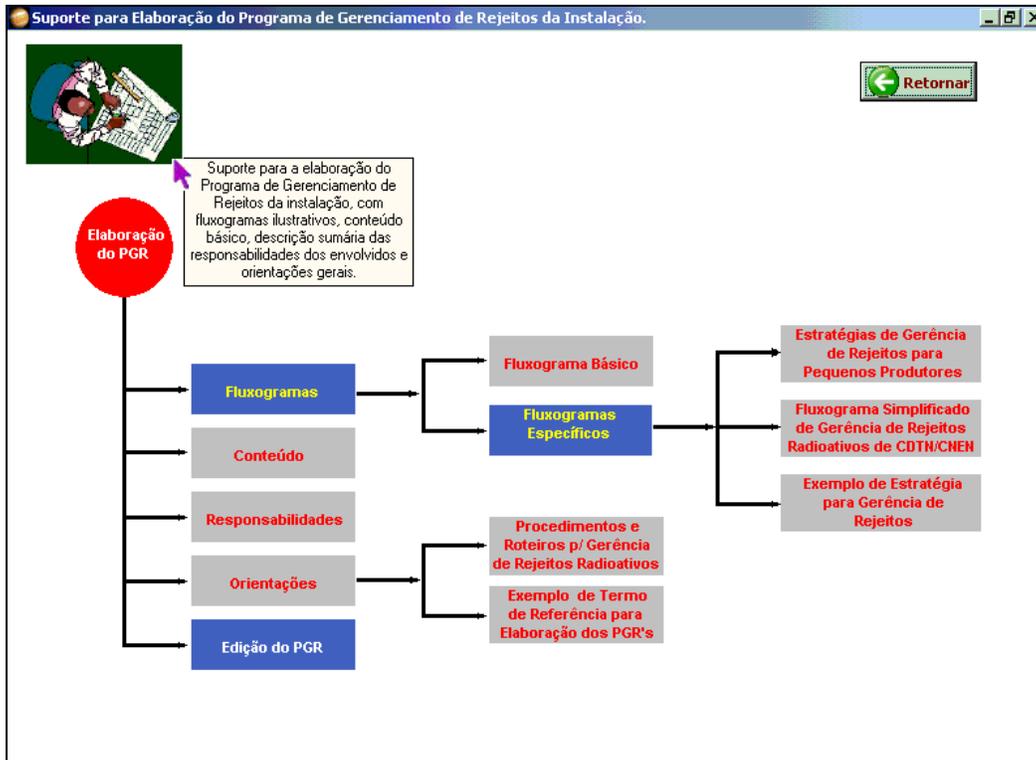


Figura 5.14 - Tela do *SUGERE*: Suporte para elaboração do PGR da instalação.

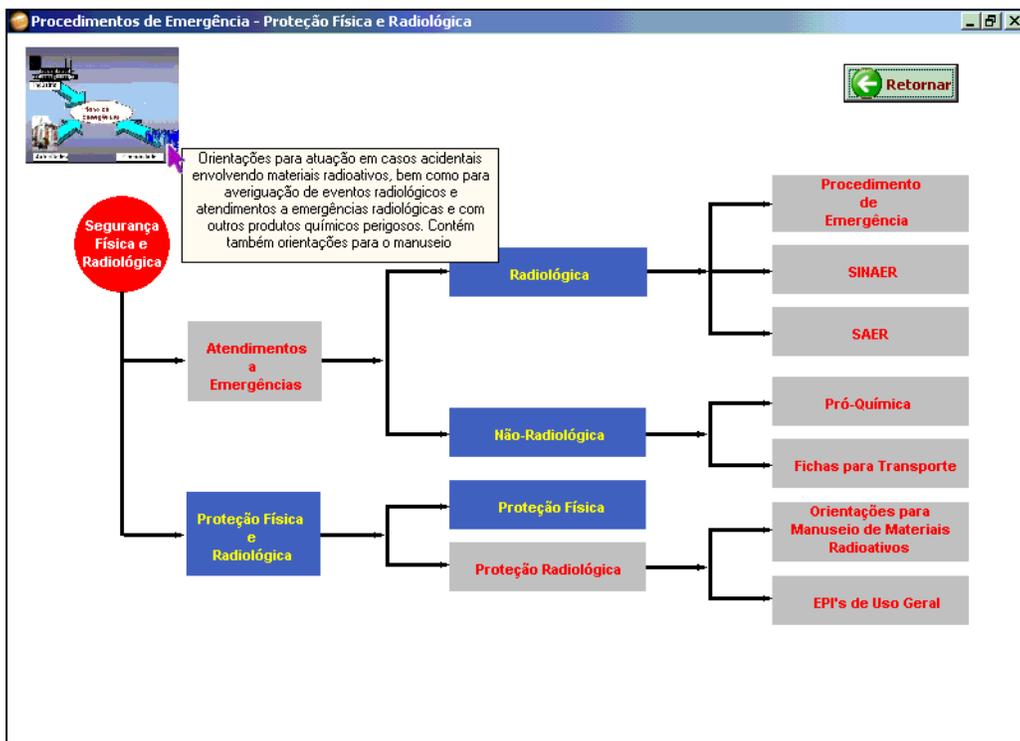


Figura 5.15 - Tela *SUGERE*: Segurança física e radiológica.

Nas Figuras 5.16 a 5.21 são mostradas algumas telas do *SUGERE* com orientações para as operações de transferência e transporte de rejeitos.

Na Figura 5.16 é mostrado um diagrama incluindo as atividades de preparação dos embalados para o transporte, tratamento/condicionamento local ou em instalações centralizadas e da documentação para transporte e deposição. Por esta tela é possível acessar o banco de dados de empresas licenciadas/credenciadas para receber ou transportar rejeitos.

Através da tela do *SUGERE* apresentada na Figura 5.17 são obtidas orientações para o transporte de rejeitos, incluindo marcação, rotulagem, licenciamento para o transporte, carregamento e sinalização do veículo, bem como informações sobre importação e exportação de resíduos.

Na Figura 5.18 é mostrado o diagrama detalhando as ações para obtenção de autorizações e licenças para a atividade de transporte de rejeitos radioativos e de resíduos perigosos, orientações para a elaboração do Plano de Transporte exigido pelos órgãos reguladores e formulários utilizados para o transporte de rejeitos.

Na Figura 5.19 são mostradas orientações para a colocação de rótulos de risco em embalados, conforme a norma CNEN NE-5.01, visando o transporte de rejeitos radioativos.

Na Figura 5.20 é apresentado um exemplo de consulta ao banco de dados de produtos perigosos, visando a identificação da classe de risco das substâncias que compõem os embalados de rejeitos, visando o transporte, de acordo com a Resolução ANTT nº 420 (BRASIL, 2004a). Esta classe de risco é utilizada na sinalização do veículo de transporte.

Na Figura 5.21 é apresentado um exemplo de formulário eletrônico – manifesto de rejeitos - a ser preenchido no caso de transporte de cargas perigosas, que pode ser impresso e encaminhado a órgãos licenciadores, em atendimento às exigências legais, neste caso, do estado do Rio de Janeiro.

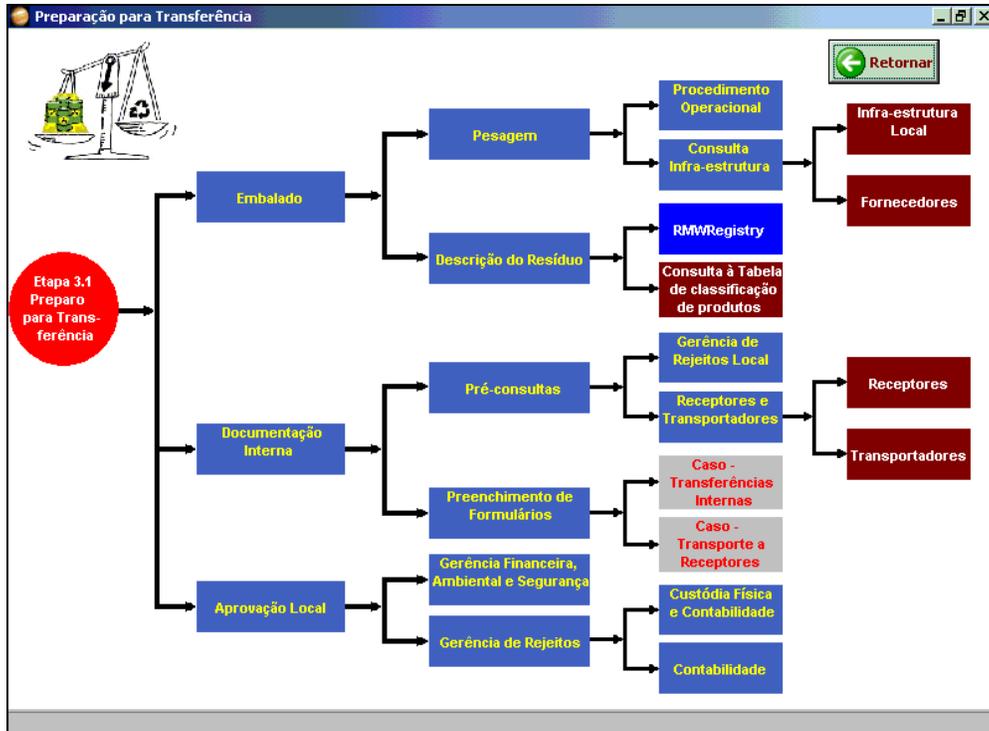


Figura 5.16 - Tela do SUGERE: Preparo para transferência.

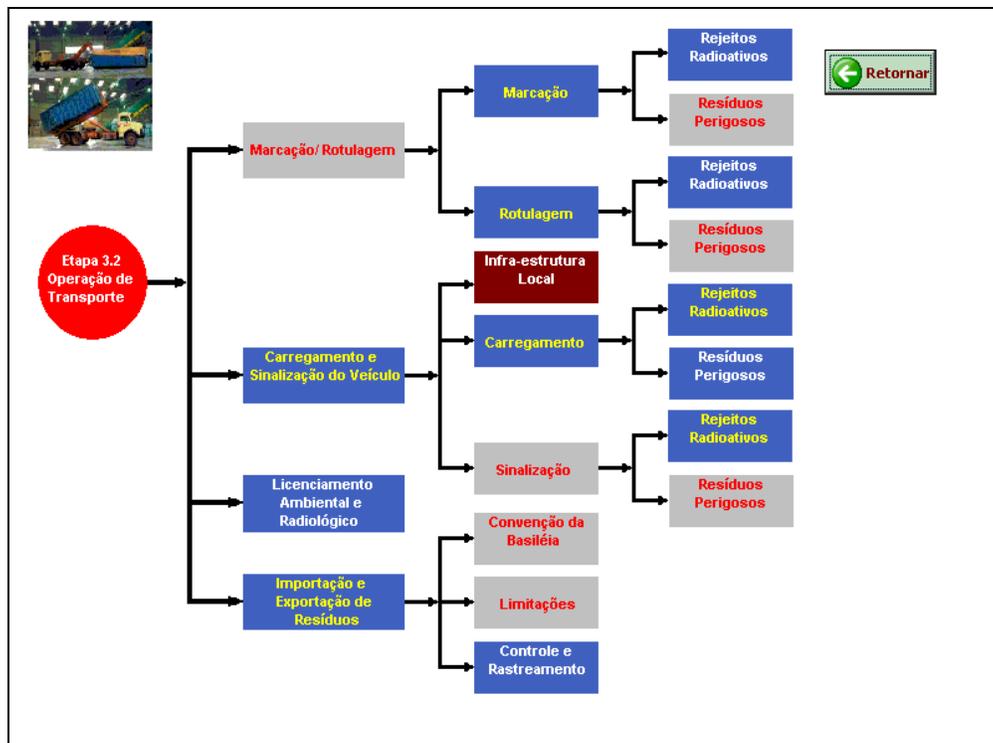


Figura 5.17 - Tela do SUGERE: Gerenciamento do transporte externo.

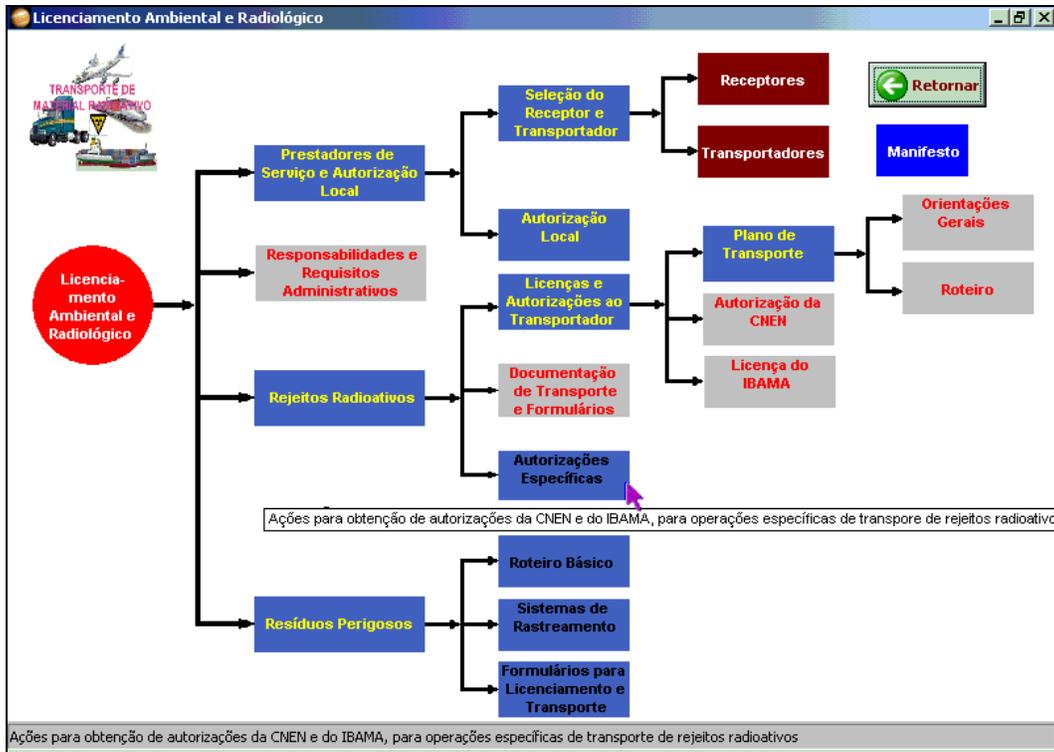


Figura 5.18 - Tela do *SUGERE*: Licenciamento ambiental e radiológico para a operação de transporte.

7.3.7 ROTULAÇÃO

Exceto o disposto no subitem 7.3.9.3, cada embalado, pacote, tanque ou contêiner usado como pacote, com categoria para rotulação definida consoante o item 7.3.6, deve exibir os rótulos de risco correspondentes de acordo com os modelos e cores indicados nas Figuras 2, 3 ou 4, da Norma CNEN NE-5.01 conforme aplicável.

Estes rótulos devem ser afixados em duas faces externas opostas do embalado ou pacote, ou nas quatro faces externas do tanque ou contêiner.

Cada embalado que contenha materiais radioativos com características adicionais de perigo deve exibir, também, rótulos específicos para indicar estas características, conforme exigido pelos regulamentos para transporte de produtos perigosos aplicáveis (ver item 7.1.4).

Cada rótulo de identificação conforme os modelos e cores indicados nas Figuras 2, 3 ou 4 deve ser preenchido com as seguintes inscrições:

CONTEÚDO:

Exceto para material BAE-I, indicar o nome do radionucléido conforme consta da Tabela I, usando os símbolos ali prescritos.

Figura 2 - Rótulo Categoria I - BRANCA

Figura 3 - Rótulo Categoria II - AMARELA

Figura 4 - Rótulo Categoria III - AMARELA

Figura 5.19 - Tela do *SUGERE*: Orientações para rotulagem de resíduos radioativos.

Pesquisa da Classe de Produtos Perigosos para Transporte

Pesquisa por Num. ONU
2980

Retornar

Pesquisa Produto Perigoso

No. ONU	Descrição do Produto Perigoso a ser Transportado	Classe
2976	NITRATO DE TÓRIO, SÓLIDO	7
2977	HEXAFLUORETO DE URÂNIO, FÍSSIL, contendo mais de 1,0% de Urânio-235	7
2978	HEXAFLUORETO DE URÂNIO, não-físsil ou físsil com isenção	7
2979	URÂNIO METÁLICO, PIRÓFÓRICO	7
2980	NITRATO DE URANILA HEXA-HIDRATADO, SOLUÇÃO	7
2981	NITRATO DE URANILA, SÓLIDO	7
2982	MATERIAL RADIOATIVO, N.E.	7
2983	MISTURA(S) DE ÓXIDO DE ETENO E ÓXIDO DE PROPILENO, com até 30% de óxido de eteno	3
2984	PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO, SOLUÇÕES AQUOSAS, com 8% ou mais e menos de 20% de peróxido de hidrogênio (estabilizadas se ne	5.1
2985	CLOROSSILANOS, N.E., com PFG abaixo de 23°C	3
2986	CLOROSSILANOS, N.E., com PFG igual ou superior a 23°C	8

No. ONU: 2980
Produto Perigoso: NITRATO DE URANILA HEXA-HIDRATADO, SOLUÇÃO

Classe: 7

Produto Perigoso: pesquisa com letras maiúsculas
Informações Secundárias: pesquisa com letras minúsculas

Figura 5.20 - Tela do *SUGERE*: Pesquisa de classe de produtos perigosos para transporte.

MANIFESTO DE RESÍDUOS

No. (Órgão Ambiental):

Retornar Gerador

1. RESÍDUO: N. RESÍDUO 2. QUANTIDADE: (Peso) (Volume)

3. ESTADO FÍSICO: Sólido Semi-sólido Líquido

4. ORIGEM: Processo ETA Separador de Água-Óleo
 ETDI Cx. Gordura Outros, especificar:
 ETE Fora do Processo

5. ACONDICIONAMENTO: Tambor de 200 L Bombonas L Caçamba Tanque m³ Sacos plásticos Fardos Granel Big-bags Outros, especificar:

6. PROCEDÊNCIA: Industrial Restaurante Comercial Hospital Residencial Shopping/Mercados Clubes/Hotéis Outros, especificar:

7. TRATAMENTO/DISPOSIÇÃO: Aterro Sanitário Aterro Industrial Tratamento Biol./Fis-Quí. Co-processamento Reciclagem Incorporação Incineração Estocagem Outros, especificar:

Bem Vindo à Elaboração do Manifesto de Rejeitos

Figura 5.21 - Tela do *SUGERE*: Auxílio no preenchimento do manifesto de produtos perigosos para transporte.

A tela do SUGERE apresentada na Figura 5.22, refere-se a atividades de tratamento e condicionamento realizadas pela Gerência de Rejeitos Local, ações para a eliminação de rejeitos, requisitos para o armazenamento e deposição de rejeitos e informações sobre possíveis vias para a destinação final de rejeitos.

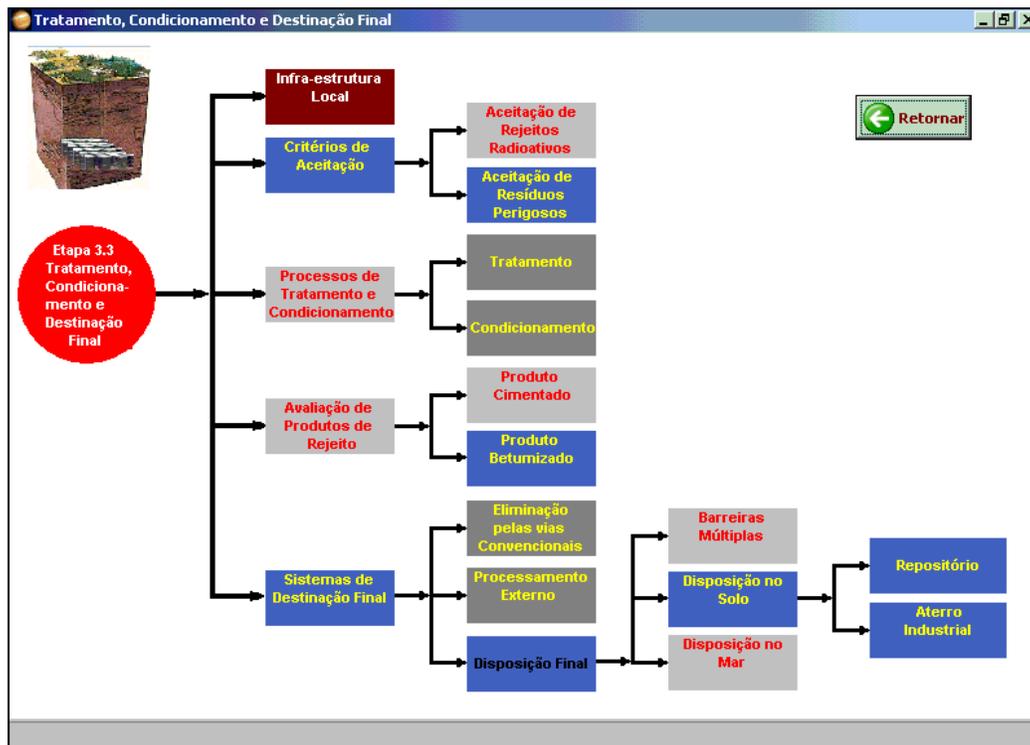


Figura 5.22 - Tela do SUGERE: Tratamento, condicionamento e vias de destinação final.

De uma maneira geral, o programa *SUGERE* permite:

- acesso rápido à situação dos rejeitos de uma instalação e rastreamento dos rejeitos nas etapas do gerenciamento, através de interface com software de controle de rejeitos (RWMRegistry), com possibilidade de emissão de relatórios para os órgãos reguladores;
- classificação de resíduos perigosos e de rejeitos radioativos, conforme normas da ABNT e da CNEN;

- preparação de manifestos de rejeitos e de outras documentações para transportes externos e transferências;
- estabelecimento de procedimentos e recomendações para o processamento de rejeitos;
- visualização de opções de formulários para o controle dos rejeitos;
- controles visando o gerenciamento dos rejeitos condicionados;
- rastreamento dos rejeitos transferidos a instalações centralizadas;
- orientações para o controle da geração de rejeitos;
- orientações quanto às técnicas analíticas para a caracterização de rejeitos;
- cálculos de tempo de decaimento para rejeitos contendo radionuclídeos de meia-vida curta, permitindo a definição do tempo necessário para confinamento dos rejeitos;
- orientações para a classificação de produtos perigosos, marcação e rotulagem de embalados para transporte, bem como elaboração de Planos de Transporte;
- orientações para os ensaios de qualificação de embalados para transporte;
- orientações para atuação em situações de emergências radiológicas e envolvendo produtos químicos; e
- orientações para a elaboração e implementação de Programas de Gerenciamento de Rejeitos, inclusive na capacitação de seus trabalhadores.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Foi desenvolvida uma metodologia sistematizando as diversas atividades envolvidas no gerenciamento de rejeitos radioativos e demais resíduos perigosos de uma instalação, tomando como base a experiência do setor nuclear no gerenciamento de rejeitos radioativos. Isto porque, tradicionalmente, o setor nuclear tem se empenhado na busca de soluções seguras para o controle e confinamento dos rejeitos gerados.

A metodologia desenvolvida é uma ferramenta facilitadora das atividades de gerenciamento de rejeitos, servindo como suporte para tomadas de decisão, devendo ser aplicada por usuário especializado. Adota uma abordagem geral integrando todas as etapas que envolvem o gerenciamento de rejeitos de uma instalação, de modo a assegurar que estes sejam gerenciados de forma planejada, disciplinada e consistente, atendendo aos requisitos de segurança exigidos pela legislação vigente. Tem as seguintes características:

- incorpora técnicas de gestão ambiental para aplicação na fase inicial da concepção de projetos tecnológicos com previsão de geração de rejeitos, de modo a orientar o uso de tecnologias que resultam em menor volume de rejeitos. No caso de serem gerados, os rejeitos devem ser o menos nocivo possível ao homem e ao meio ambiente;
- tem flexibilidade de adaptação a uma variedade de instalações, principalmente àquelas pertencentes a pequenos geradores;
- contém ferramentas necessárias ao gerenciamento de rejeitos na forma de documentos padronizados;
- disponibiliza, através de fluxogramas ilustrativos e outros exemplos, meios facilitadores para a escolha de estratégias de gerenciamento mais adequadas aos rejeitos; e
- disponibiliza, na forma de bancos de dados, informações relevantes ao gerenciamento de rejeitos, incluindo, entre outros: listagem de empresas

licenciadas ou credenciadas para determinadas atividades da gerência de rejeitos, como também para o seu transporte; e características de resíduos perigosos e rejeitos radioativos.

Para automatizar e agilizar a aplicação da metodologia desenvolvida, foi elaborado e implementado um software, denominado *SUGERE – Sistema Unificado de Gestão de Resíduos*. A utilização deste software, como uma ferramenta de orientação quanto ao gerenciamento de rejeitos, deverá estimular o planejamento adequado desta atividade, antes mesmo da geração dos rejeitos, com as seguintes vantagens:

- aumento de produtividade da instalação, através da minimização dos desperdícios;
- redução dos custos decorrentes, através da minimização da geração de rejeitos; e
- proteção da saúde humana e do meio ambiente, através da implementação de atividades de prevenção da poluição e, para os rejeitos gerados, o seu controle e confinamento seguros.

Uma lista dos dispositivos legais e das normas regulamentadoras, relevantes para as atividades envolvidas no gerenciamento de rejeitos radioativos e de resíduos perigosos, está disponível no *SUGERE*. Suas ementas, resumos e textos completos, quando disponíveis, podem ser acessados através da tela principal do programa.

O glossário de termos específicos da gerência de rejeitos, apresentado no Anexo 1, contribui para melhorar a compreensão deste texto e facilitar a utilização da metodologia desenvolvida. No *SUGERE*, ele pode ser acessado a partir de qualquer tela do programa, através de um menu do tipo *pop-up*, que disponibiliza também a legenda para facilitar a navegação e o entendimento dos diagramas utilizados.

A utilização do *SUGERE* auxilia a estruturação e a elaboração do PGR da instalação, disponibilizando, aos usuários, vários fluxogramas ilustrativos com indicação de possíveis estratégias para o gerenciamento de diversos fluxos de rejeitos, conteúdo mínimo de um PGR, descrição sumária das responsabilidades dos envolvidos, e orientações gerais com exemplos de procedimentos operacionais e roteiros para as etapas de gerenciamento dos rejeitos. Isto,

juntamente com demais recursos disponíveis, auxiliam no processo de licenciamento ambiental e radiológico das atividades de gerência dos rejeitos, incluindo o transporte.

Através da interação do *SUGERE* com o software “Radioactive Waste Management Registry” - RWMRegistry, desenvolvido pela AIEA, é possível um rastreamento rigoroso das etapas de geração, armazenamento, transporte, condicionamento e disposição final, bem como a manutenção do inventário atualizado dos rejeitos da instalação usuária. Qualquer instalação que gere, receba ou processe rejeitos radioativos pode solicitar à AIEA autorização para uso do RWMRegistry, desde que pertença a um dos seus países membros, como é o caso do Brasil. O contato deve ser feito ao setor de “Waste Technology Section”, da AIEA.

A capacitação de todos os envolvidos nas diversas etapas do gerenciamento de rejeitos, que é uma exigência legal do próprio processo de licenciamento da instalação, pode ser facilitado com a utilização dos recursos do programa *SUGERE*.

Da forma que a metodologia foi implementada, o *SUGERE* trata com maior grau de detalhamento, profundidade e exemplificação de procedimentos, técnicas e normalização, os rejeitos radioativos. Os recursos relativos aos demais resíduos perigosos foram implementados nas etapas em que a experiência do setor nuclear pudesse ser destacada e utilizada. As etapas e os princípios gerais implementados no software *SUGERE* também se aplicam à gestão dos demais tipos de resíduos e podem ser detalhados e complementados futuramente para estas aplicações.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- a efetiva integração entre o *SUGERE* e o software RWMRegistry, através do compartilhamento dos dados utilizados por ambos, facilitando o processo de tomada de decisões na gerência de rejeitos, a manutenção de inventário atualizado dos rejeitos da instalação usuária, o seu rastreamento e a emissão de relatórios consolidados aos órgãos reguladores;
- o desenvolvimento de versões específicas do *SUGERE*, aplicáveis a diferentes setores da sociedade, principalmente aos pequenos geradores, considerando as peculiaridades de cada setor e os dispositivos legais vigentes;

- o desenvolvimento e implementação de bancos de dados ou planilhas eletrônicas complementares aos já implementados no *SUGERE*, suporte na implantação do PGR de instalações específicas;
- a elaboração de um tutorial para o *SUGERE* demonstrando para o usuário os recursos disponíveis e exemplificando a sua utilização no gerenciamento de rejeitos de uma instalação;
- a elaboração de um tutorial para o *SUGERE* exemplificando o seu uso como uma ferramenta de treinamento para usuários de pequenas e médias empresas, quanto ao gerenciamento de seus rejeitos; e
- adaptações/melhorias contínuas na metodologia incluindo mudanças que estão ocorrendo na legislação, normas, posições regulatórias e políticas relacionadas às diversas etapas da gerência de rejeitos no país e no mundo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E DE PRODUTOS DERIVADOS. *Manual para atendimento de emergências com produtos perigosos - Pró-Química*. São Paulo, 1994.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.004: Resíduos sólidos - classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo, 2005. Disponível em: <www.abrelpe.com.br>. Acesso em 23 março 2006.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo, 2004. Disponível em: <www.abrelpe.com.br>. Acesso em 28 abril 2005.

ALMEIDA, F. *Gestão do desenvolvimento sustentável na indústria eletroeletrônica*. CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2003. Disponível em: <www.tec.abinee.org.br/2003/arquivos/s902.pdf>.

AMORÓS, F. R. *Normativa y gestión de residuos peligrosos: situación in España*. In: CEMCO 98 - XIV CURSO DE ESTUDIOS MAYORES DE LA CONSTRUCCIÓN. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 1998.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *Resolução RDC n.º 306*, de 7 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde..

ARAÚJO, M. S. P. Redução dos resíduos na fonte: reduzindo a geração de resíduos implementando processos industriais mais limpos. In: COMO REDUZIR CUSTOS COM TRATAMENTO DE RESÍDUOS. São Paulo, 25 e 26 de Março de 2003. *Anais...* São Paulo: ADPO - Academia de Desenvolvimento Profissional e Organizacional, 2003.

AWWAL, M. A.; GUZELLA, M. F. R.; SILVA, T. V. Chemical treatment of simulated solution of evaporator concentrate for immobilization in bitumen. *Waste Management*. v. 16, n. 4, p. 251-256, 1996.

BAPTISTA, W. C. *Avaliação da norma de classificação de resíduos sólidos - NBR 10.004/87 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e o seu processo de revisão*. 2001, 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2001.

BATSTONE, R.; SMITH Jr.; WILSON, D.; *The safe disposal of hazardous wastes: the special needs and problems of developing countries, Volume 1*. Washington: World Bank;

Geneva: WHO - World Health Organization; UNEP - United Nations Environment Programme. 1989, 271 p. (World Bank Technical Paper n° 93).

BRANDALISE, L. T. *A aplicação de um método de gerenciamento para identificar aspectos e impactos ambientais em um laboratório de análises clínicas*. 2001, 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2001.

BRANDÃO SILVA, A. *Gestão ambiental na indústria: uma avaliação do comportamento dos setores químico e petroquímico com relação aos passivos ambientais e os problemas causados em torno da Baía de Guanabara*. 2001, 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública) - Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Osvaldo Cruz - FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL. Ministério dos Transportes. *Resolução n° 420*, de 12 de fevereiro de 2004a. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos.

BRASIL. Ministério dos Transportes. *Resolução n° 701*, de 25 de agosto de 2004b. Altera a Resolução n° 420, de 12 de fevereiro de 2004, que aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos e seu anexo.

BRASIL. *Decreto 4.097*, de 23 de janeiro de 2002. Altera a redação dos artigos 7 e 19 dos Regulamentos para os transportes rodoviário e ferroviário de produtos perigosos, aprovados pelos Decretos n° 96.044, de 18 de maio de 1988, e 98.973, de 21 de fevereiro de 1990, respectivamente.

BRASIL. *Lei n° 10.308*, de 20 de novembro de 2001. Dispõe sobre a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a indenização, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos de rejeitos radioativos, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério dos Transportes. *Regulamentação do transporte rodoviário de produtos perigosos*. Brasília: MT, 1998.

BRASIL. Ministério dos Transportes. *Portaria MINTER n° 204*, de 20 de maio de 1997. Aprova instruções complementares aos regulamentos de transportes rodoviários e ferroviários de produtos perigosos e suas revisões.

BRASIL. *Decreto n° 96.044*, de 18 de maio de 1988. Aprova o Regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos e dá outras providências.

BREIA, G. C. *Gerenciamento do transporte de produtos perigosos na indústria química*. 2002. 72 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, 2002.

CARVALHOSA, V. M. *Curso em meio ambiente*. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2002. 93 p.

CDTN - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. *Caracterização qualitativa de resíduos químicos inorgânicos desconhecidos*. Belo Horizonte: CNEN/CDTN, 2004, 28 p. (Rotina Técnica RT(D)CDTN-0403 Rev.00).

CDTN - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. *Descarte e segregação de efluentes químicos líquidos*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2002a. 12 p. (Instrução Normativa IN(S)CDTN-0387 Rev.00).

CDTN - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. *Experiência do CDTN na gerência de rejeitos radioativos*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2002b. 17 p.

CDTN - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. *Eliminação de rejeitos líquidos gerados pelo CDTN*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2002c. 12 p. (Instrução Normativa IN(S)CDTN-0383 Rev.00).

CDTN - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. *Rejeitos radioativos*. Belo Horizonte: CT3/CDTN/CNEN, 1997. 52 p.

CDTN - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. *Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos - PGRR/CDTN*. In: PLANO DE RADIOPROTEÇÃO DO CDTN - PR/CDTN. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 1993, Seção 5, 15 p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Gerenciamento de resíduos químicos provenientes de estabelecimentos de serviços de saúde*. São Paulo: CETESB, 2003, 25 p. (Procedimento CETESB P4.262).

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Manual para implementação de um programa de prevenção à poluição*. São Paulo: CETESB, 4ª ed., 2002, 16p.

CHEREMISINOFF, N. P.; GRAFFIA, M. *Safety management practices for hazardous materials*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996, 350 p.

CIETEC - CENTRO INCUBADOR DE EMPRESAS TECNOLÓGICAS. *Reciclagem de resíduos: Reaproveitamento de materiais para evitar desperdício*. *Informativo do CIETEC*. São Paulo, n. 3, ano 2, ago. 2005.

CLÁUDIO, J. R. *Resíduos sólidos: solidificação de lamas galvânicas com cimentos*. 1987, 258 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1987.

CLUB OF ROME. Disponível em <www.clubofrome.org/about/index.php>. Acesso em 12 dez. 2006.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NN-3.01: Diretrizes básicas de radioproteção*. Rio de Janeiro, 2005a.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NN-4.01: Requisitos de segurança e proteção radiológica para instalações minero-industriais*. Rio de Janeiro, 2005b.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Posição Regulatória 6.02/002: Revisão 01/ Dez. 2004. Refere-se ao Capítulo 4 da Norma CNEN-NE-6.02 e à sua aplicação na classificação de Instalações de Produção e Exploração de Petróleo e Gás com Materiais, Peças e Componentes Contaminados com Ra-226 e Ra-228 e seus Descendentes Radioativos.* Rio de Janeiro, 2005c.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-5.02: Transporte, recebimento, armazenagem e manuseio de elementos combustíveis de usinas nucleoeletricas.* Rio de Janeiro, 2003.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-1.04: Licenciamento de instalações nucleares.* Rio de Janeiro, 2002.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Transporte de Materiais Radioativos e Nucleares.* Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <www.cnen.gov.br/cnen99/news/transporte.doc>. Acesso em: 02 maio 2006.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *SINAER - Sistema Nacional de Averiguação de Eventos Radiológicos.* Rio de Janeiro, 2000, 100 p.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NN-3.03: Certificação da qualificação de supervisores de radioproteção.* Rio de Janeiro, 1999.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-6.02: Licenciamento de Instalações Radiativas.* Rio de Janeiro, 1998.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-2.01: Proteção física de unidades operacionais da área nuclear.* Rio de Janeiro, 1996.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-IN-DRS-0001 Revisão 0: Plano geral de fiscalização.* Rio de Janeiro, 1994.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-1.13: Licenciamento de minas e usinas de beneficiamento de minérios de urânio e/ou tório.* Rio de Janeiro, 1989.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-5.01: Transporte de materiais radioativos.* Rio de Janeiro, 1988a.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-3.02: Serviços de Radioproteção.* Rio de Janeiro, 1988b.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN NE-6.05: Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas.* Rio de Janeiro, 1985.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-1.09: Modelo Padrão para Relatório de Análise de Segurança de Fábrica de Elementos Combustíveis.* Rio de Janeiro, 1980.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. *A indústria e o meio ambiente*. São Paulo, 2004. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=/gestao/artigos/industria.html>. Acesso em: 11 maio 2006.

COELHO, A. C. D. *Bolsa de resíduos - portal de oportunidades de produção mais limpa*. 2001, 67 p. Monografia. (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria). Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola Politécnica, Universidade da Bahia - UFBA. Salvador, 2001.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *O que é o CONAMA? SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente*. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama/estr1.cfm>. Acesso em: 11 maio 2006.

COOPER, J.; LINSLEY, G.; GONZÁLEZ, A. J.; WRIXON, T. What waste is “radioactive”? *IAEA Bulletin*, v. 42, n. 3, 2000.

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. *Deliberação Normativa COPAM nº 74*, de 9 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Belo Horizonte: FEAM/COPAM, 2004.

COPAM - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. *O que é COPAM?* Belo Horizonte, 1995. Disponível em: <<http://www.feam.br/principal/home.asp>>. Acesso em: 03 Maio 2006.

DAVID, R. D. Palestra proferida pela ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. In: 1º WORKSHOP DA ÁREA DE PRODUTOS PERIGOSOS. ABTLP / NTC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA DE PRODUTOS, São Paulo, 14 e 15 dezembro de 2004. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/noticias/eventos/cursos/palestras_ProdPerigosos/att.pdf>. Acesso em: 25 abril 2006.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual para implementação de planos de ação de emergência para atendimento a sinistros envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos*. Rio de Janeiro, 2005. 142 p. (Publicação IPR-716).

ELETRONUCLEAR - ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S. A. *Segurança nuclear - Subsídios ao GT da Comissão de Minas e Energia do Congresso Nacional*. Rio de Janeiro, 2005, 56 p. (GPO.T / Maio-2005).

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Orientação para preenchimento do Formulário de Caracterização do Empreendimento Integrado (FCEI)*. Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <http://www.feam.br/Principal/DN74/orientacao_de_preenchimento.doc>. Acesso em: 03 Maio 2006.

FERNANDES, H. M.; RIO, M. A. P.; FRANKLIN, M. R. *Impactos radiológicos da indústria de fosfato*. Rio de Janeiro: CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. 46 p.

FERNANDES, J. V. G.; GONÇALVES, E.; ANDRADE, J. C. S.; KIPERSTOK, A. Introduzindo práticas de Produção Mais Limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 6, n. 3, 2001.

FERNANDES, R. C. Como reduzir custos, otimizando os processos através da auditoria em empresas prestadoras de serviços de reciclagem e disposição final de resíduos e desta forma evitar problemas ambientais futuros. In: COMO REDUZIR CUSTOS COM TRATAMENTO DE RESÍDUOS. São Paulo, 25 e 26 de Março de 2003. *Anais...* São Paulo: ADPO - Academia de Desenvolvimento Profissional e Organizacional, 2003.

FERREIRA, S. N. M. *Como introduzir e implementar práticas de produção mais limpa em obras de eletrificação rural*. 2004. 223 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador, 2004.

FONSECA, T. P. B. et al. Tratamento químico de rejeitos líquidos de baixa atividade - caso exemplo. In: VI ENAN/INAC 2002 - NATIONAL MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS / INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE. Rio de Janeiro, 2002. *Proceedings...* Rio de Janeiro: ABEN, 2002, CD-ROM.

FRANKE, C. *Tratamento de lixo tecnológico*. 2004. Disponível em: <www.achetudoeregiao.com.br/lixo_recicle/lixo_tecnologico.htm>. Acesso em: 11 maio 2006.

FURTADO, J. S. *Produção Limpa, prevenção de resíduos & segurança química*. Salvador, 2001. Disponível em: <www.teclim.ufba.br/jsfurtado/gestaosq.asp>. Acesso em: 8 maio 2006.

FURTADO, J. S. et al. *Prevenção de Resíduos na Fonte & Economia de Água e Energia - produção limpa (Manual de avaliação na fábrica)*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção & Fundação Vanzolini, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP, 1998, 191 p.

GANE, C.; SARSON, T. *Análise estruturada de sistemas*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995, 257 p.

GOLDEMBERG, J.; BARBOSA, L. M. A legislação ambiental no Brasil e em São Paulo. *Revista de Ecologia do Século 21*. Rio de Janeiro, ed. 96, novembro 2004. Disponível em: <www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=954>. Acesso em 27 dezembro 2005.

GRIMBERG, E. *A política nacional de resíduos sólidos: a responsabilidade das empresas e a inclusão social*. 2004. Disponível em: <www.polis.org.br/artigo_interno.asp?codigo=35>. Acesso em: 26 abril 2005.

GUZELLA, M. F. R.; SILVA, T. V. Evaluation of Bitumens for Radioactive Waste Immobilization. In: WASTE MANAGEMENT 01. Tucson, 2001. *Proceedings...* Tucson, 2001.

HEILBRON FILHO, P. F.; XAVIER, A. M. Pára-raios radioativos: proteção ou perigo? In: V CGEN - CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR. Rio de Janeiro, 5-9 jul.1992. *Anais...* Rio de Janeiro: ABEN, 1992, v.2, p. 493-498.

HIRUSAWA, S. et al. Evolution and major turning points of HLW disposal policy in several countries. In: 14th PACIFIC BASIN NUCLEAR CONFERENCE. Honolulu, HI, March 21-25, 2004. *Proceedings...* La Grange Park, Illinois: ANS. Disponível em: <www.numarkassoc.com>. Acesso em: 06 abril 2006.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radioactive waste management - Status and trends*. Vienna: IAEA, 2005a. 191p. (IAEA/WMDB/ST/4).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Management of waste from the use of radioactive material in medicine, industry, agriculture, research and education*. Vienna: IAEA, 2005b. 88 p. (IAEA/WS-G-2.7).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Regulations for the safe transport of radioactive material*. Vienna: IAEA: 2005c. 153 p. (IAEA-TS-R-1).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Predisposal management of low and intermediate level radioactive waste*. Vienna: IAEA, 2003a. 55p. (PUB. 1150 IAEA-Safety Guide WS-G-2.5).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radioactive waste management glossary*. Vienna: IAEA, 2003b. 54p.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radiation protection and the management of radioactive waste in the oil and gas industry*. Vienna: IAEA. 2003c. 130 p. (Safety Reports Series n° 34).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Management of low and intermediate level radioactive wastes with regard to their chemical toxicity*. Vienna: IAEA, 2002a. 71p. (IAEA-TECDOC-1325).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radioactive waste management registry - RWMRegistry Version 1.0.1*. Vienna: IAEA, 2002b. 89 p.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Handling and processing of radioactive waste from nuclear applications*. Vienna: IAEA, 2001a. 153p. (IAEA-TRS-402).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Management for the prevention of accidents from disused sealed radioactive sources*. Vienna: IAEA, 2001b. 36p. (IAEA-TECDOC-1205).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Handling, conditioning and storage of spent sealed radioactive sources*. Vienna: IAEA, 2000. 68p. (IAEA-TECDOC-1145).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Review of the factors affecting the selection and implementation of waste management technologies*. Vienna: IAEA, 1999. 73p. (IAEA-TECDOC-1096).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Management of small quantities of radioactive waste*. Vienna: IAEA, 1998a. 49p. (IAEA-TECDOC-1041).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research*. Vienna: IAEA, 1998b. 49p. (IAEA-TECDOC-1000).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources*. Vienna: IAEA, 1996. 356p. (IAEA Safety Series SS-115)

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *The principles of radioactive waste management*. Vienna: IAEA, 1995a. 24p. (IAEA Safety Series 111-F).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radioactive waste management practices and issues in developing countries*. Vienna: IAEA: 1995b. 315 p. (IAEA-TEC-DOC-851).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Classification of radioactive waste*. Vienna: IAEA, 1994a. 40p. (IAEA Safety Series 111-G-1.1).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Reference design for a centralized waste processing and storage facility – technical manual for the management of low and intermediate level wastes generated at small nuclear research centers and by radioisotope users in medicine, research and industry*. Vienna: IAEA, 1994b. 108p. (IAEA-TECDOC-776).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Handling, treatment, conditioning and storage of biological radioactive wastes*, Vienna: IAEA, 1994c. (IAEA-TECDOC-775).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Handling and treatment of radioactive aqueous wastes*, Vienna: IAEA, 1992a. (IAEA-TECDOC-654).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Minimization and segregation of radioactive wastes*. Vienna: IAEA, 1992b. (IAEA-TECDOC-652).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Treatment and conditioning of radioactive solid wastes*, Vienna: IAEA, 1992c. (IAEA-TECDOC-655).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Treatment and conditioning of radioactive organic liquids*, Vienna: IAEA, 1992d. (IAEA-TECDOC-656).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Acceptance criteria for disposal of radioactive wastes in shallow ground and rock cavities*. Vienna: IAEA. 1985. 35 p. (Safety Series 71).

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Conditioning of low- and intermediate-level radioactive wastes*. Vienna: IAEA, 1983. 186 p. (IAEA Technical Reports Series 222).

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS. *Guia de procedimentos do licenciamento ambiental federal - documento de referência*. Brasília: IBAMA, 2002a, 128 p.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS. Avaliação e Licenciamento. In: WORKSHOP DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL, 25 a 28 de junho de 2001, Porto Alegre. *Anais...* IBAMA, MMA, 2002b.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS; CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Termo de referência: Licenciamento ambiental da atividade de transporte de material radioativo*. Ver. 00/2001. Rio de Janeiro: IBAMA/CNEN, 2001, 14 p. Disponível em: <www.abende.org.br/down2/termo_referencia.pdf>. Acesso em: 02 maio 2006.

IGNÁCIO, E. A. *Caracterização da legislação ambiental brasileira voltada para a utilização de fluidos de corte na indústria metal-mecânica*. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1998.

JACOMINO, V. M. F.; GOMES, A. M.; BRITO, W.; ROCHA, Z. Exposição ao radônio decorrente do uso do fosfogesso na construção civil. In: INAC 2005 - INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE. Santos, SP. Aug. 26 to Sept. 02, 2005. *Proceedings...* Rio de Janeiro: ABEN, 2005 - CD-ROM.

JESUS, S. P.; VITORELLI, J. C.; SILVA, A. X. Aspectos normativos sobre ocorrência natural de material radioativo em rejeitos de petróleo. In: INAC 2005 - INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE. Santos, SP. Aug. 26 to Sept. 02, 2005. *Proceedings...* Rio de Janeiro: ABEN, 2005 - CD-ROM.

JURAS, I. A. G. M. *A questão dos resíduos sólidos na Alemanha, na França, na Espanha e no Canadá*. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Agosto 2001.

KAPAZ, E. *Relatório preliminar da Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília: Câmara dos Deputados, 2002, 43 p.

LEMONS, H. M.; CASTRO, M. I. S. M. C. *Competitividade e meio ambiente no Mercosul*. Cooperação Técnica entre o Mercosul (SGT6) e Alemanha (GTZ). Parte 2 - relatório baseado nas 4 recopilações nacionais realizadas no marco do projeto MERCOSUL-GTZ. Junho 2003, 63 p.

LEMONS, H. M. *Convenção da Basiléia*. Instituto Brasil PNUMA: 2001. Disponível em: <www.brasilpnuma.org.br>. Acesso em: 10 outubro 2005.

LESTIENNE, B. *Johannesburg, ou "Rio + 10" - 2ª Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável*. 2002. Disponível em: <<http://resistir.info/ambiente/johannesburg.html>>. Acesso em: 11 maio 2006.

MADROÑERO, E. C. et al. *Origen y gestión de residuos radiactivos*. 3ª edición, Madrid: Ilustre Colegio Oficial de Físicos, 2000, 205 p.

MARINO, R. H. *Utilização de areia de fundição em concreto*. 2004, 121 p. Disponível em: <www.bayer.com.br/byee/home.nsf/0/83256E850068DF8283256F2E003D38C8?OpenDocument>. Acesso em: 19 set. 2004.

MATTOS, J. R. P. *Modelo para sistematização da inovação e da gerência de projetos nos processos das Instituições Científicas e Tecnológicas - ICT*. 2005. 257 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2005.

MAZZINI, A. L. D. A. *Monitoramento de resíduos sólidos*. Belo Horizonte: IETEC, 2000, 51p.

MEANS, J. L. et al. *The application of solidification/stabilization to waste materials*. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers, 1995, 334 p.

MEIRA, C. C. *Uma avaliação do instrumento do licenciamento ambiental sob a perspectiva da prevenção da poluição: estudo de caso de um centro de tratamento e disposição de resíduos sólidos industriais*. 2003. 203 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador, 2003.

MOHANKUMAR, M. N. Concerns on the health effects of low-dose ionizing radiations from naturally occurring radioactive materials (NORM). In: 3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RADIATION EDUCATION. August 23-26, 2004, Nagasaki. *Proceedings...* Nagasaki: JAERI-Conf, 2005, p.187-193.

MOURÃO, R. P. *Amortecedores de impacto de embalagens para transporte de materiais radioativos: uma metodologia para sua avaliação*. 2002. 132 p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Reatores) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2002.

NEWBURY, C. M.; ZIEGLER, J. D. Licensing a high level radioactive waste repository - The path forward. In: WM'04 - WASTE MANAGEMENT CONFERENCE. Tucson, AZ, February 29 - March 4, 2004. Disponível em: <<http://www.wmsym.org/abstracts/2004/pdfs/4358.pdf>>. Acesso em 08 maio 2006.

NOVAES, W. *A pior das sujeiras*. Artigo no jornal "O Estado de São Paulo", em 16 de maio de 2006.

OGATA, T. *Aplicação do conceito de produção mais limpa na otimização do processo de produção de álcool butílico*. 2004. 105 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Departamento de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador, 2004.

OLIVEIRA, T. V. S. *Estudo de testes de lixiviação aplicados aos resíduos perigosos solidificados/estabilizados com cimento*. 2002. 86p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2002.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Manejo ambientalmente saudável dos resíduos perigosos, incluindo a prevenção no tráfico internacional ilícito de resíduos perigosos. In: CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE - AGENDA 21. Rio de Janeiro, 3-14 jun. 1992. *Proceedings...* ONU: Capítulo 20. Disponível em: <<http://www.preservacaolimeira.com.br/agenda-21>>. Acesso em: 08 maio 2006.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *CNUDM - Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar*. Versão oficial para todos povos de língua portuguesa. Rio de Janeiro: DHN/Ministério da Marinha, 1985, 313 p.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE; IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS; UMA - UNIVERSIDADE LIVRE DA MATA ATLÂNTICA. *Perspectivas do meio ambiente mundial 2002, GEO-3*. 1.ed. Reading: IBAMA, 2004. Cap. 1: Integração entre o meio ambiente e o desenvolvimento: 1972-2002, p. 1-28. Disponível em: <www2.ibama.gov.br/~geobr/geo3-port/geo3port/capitulo1.pdf>. Acesso em 11 maio 2006.

PONGRÁCZ, E. *The concepts of waste and waste management - Evolving the theory of waste management*. 2002. 166 p. Dissertation (Department of Process and Environmental Engineering) – Faculty of Technology, University of Oulu, Oulu, Finland, 2002.

RAJ, K. et al. Radioactive waste management practices in India. *Nuclear Engineering and Design*. n. 236, p. 914-30, April, 2006.

REAL, M. V. *A informação como fator de controle de riscos no transporte rodoviário de produtos perigosos*. 2000. 208 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

REAL, M.V.; BRAGA, M. G. C. Controle de riscos no transporte rodoviário de produtos perigosos no Brasil - uma proposta. In: XIV CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. 2000. Gramado, RS. Disponível em: <<http://ivig.coppe.ufrj.br/doc/anpet-1.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2006.

REINHARDT, P.A.; LEONARD, K.L.; ASHBROOK, P.C. *Pollution prevention and waste minimization in laboratories*. New York: Lewis Publishers, 1995. 480 p.

REIS, L.C.A. *Célula-quente para desmonte de medidores nucleares*. 2000. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) - Departamento de Engenharia Nuclear, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2000.

SANTOS, P. O. Acondicionamento de fitas de 241-Am provenientes do desmonte de pára-raios radioativos. In: V REGIONAL CONGRESS ON RADIATION PROTECTION AND SAFETY - REGIONAL, IRPA CONGRESS. Recife, April 29 - May 4, 2001. *Proceedings...* Recife: SBPR, 2001. CD-ROM.

SANTOS, P. O. Compactação de rejeitos radioativos sólidos. In: VI ENAN/INAC 2002 - NATIONAL MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS / INTERNATIONAL

NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE. Rio de Janeiro, 2002. *Proceedings...* Rio de Janeiro: ABEN, 2002, CD-ROM.

SAVASTANO NETO, A. Meio ambiente: leis e regulamentos ambientais (resíduos sólidos, responsabilidade ambiental compartilhada). In: ABINEE TEC 2003. São Paulo, 07 a 09 out. 2003. *Anais...* São Paulo: ABINEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2003. Disponível em <www.tec.abinee.org.br/2003/arquivos/s903.pdf>. Acesso em: 8 maio 2006.

SENNE Jr., M. et al. *Identificação da competência técnica e de recursos humanos do CDTN visando a participação no Projeto Nacional do Repositório de Rejeitos Radioativos*. CNEN/CDTN. Belo Horizonte, 2000. 18p. (Nota Interna NI-S-001/00).

SEPR - SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA & ENRESA - EMPRESA NACIONAL DE RESIDUOS RADIATIVOS. *Guía técnica de gestión de materiales residuales con contenido radiactivo en centros de investigación y docencia*. Madrid: SEPR, 2002. 157p. (Publicación SPR nº 7).

SEPR - SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA & ENRESA - EMPRESA NACIONAL DE RESIDUOS RADIATIVOS. *Guía de gestión de material radiactivo en instituciones médicas y laboratorios de investigación biológica*. Madrid: SEPR, 1996. 117p. (Publicación SPR nº 2).

SEVÁ FILHO, A. O. et al. Estudo da disseminação dos riscos e da contaminação: diagnóstico parcial do transporte rodoviário de resíduos no estado de Minas Gerais e análise da cadeia de geração e destinação. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. João Pessoa, 2001. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2001, CD ROM.

SILVA, E. M. P. Análise do comportamento químico de alguns radionuclídeos em produto cimentado. In: VI CGEN - CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR. Rio de Janeiro, 27 de outubro a 01 de novembro de 1996. *Anais...* Rio de Janeiro: ABEN, 1996.

SILVA, E. M. P. Gerência de rejeitos radioativos. In: CDTN/CNEN. *Apostila do Curso de Atualização em Proteção Radiológica e Dosimetria - Módulo: Normas e Procedimentos*. Belo Horizonte, 2003. 87p.

SILVA, E. M. P.; CUSSIOL, N. A. M. *Gerência de rejeitos radioativos de serviços de saúde*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN. 1999. (CDTN - 857/99).

SILVA, E. M. P.; MIAW, S. T. W. Gerência de rejeitos radioativos de serviços de saúde. In: V REGIONAL CONGRESS ON RADIATION PROTECTION AND SAFETY - REGIONAL, IRPA CONGRESS. Recife, April 29 - May 4, 2001. *Proceedings...* Recife: SBPR, 2001. CD-ROM.

SILVA, E. M. P.; SILVA, F. Gerência de Rejeitos Radioativos no CDTN/CNEN. In: V REGIONAL CONGRESS ON RADIATION PROTECTION AND SAFETY - REGIONAL, IRPA CONGRESS. Recife, April 29 - May 4, 2001. *Proceedings...* Recife: SBPR, 2001. CD-ROM.

SILVA, E. M. P.; SILVA, F. *Relatório das atividades de rotina da gerência de rejeitos radioativos no CDTN no período de janeiro a dezembro de 2003*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2004. (Nota Interna NI-SN1-01/04).

SILVA, E. M. P.; SILVA, F. *Relatório das atividades do projeto Gerência de Rejeitos Radioativos no CDTN - período janeiro a dezembro de 2002*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2003. (Nota Interna NI-CT3-03/03).

SILVA, E. M. P. *Estudo teórico do comportamento químico de alguns radionuclídeos no produto cimentado*. 1997. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) - Departamento de Engenharia Nuclear, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 1997.

SILVA, E. M. P.; JORDÃO, E.; VASCONCELOS, V. Proposta de metodologia para a seleção de matrizes para a estabilização de resíduos perigosos. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, São Paulo, v. 4, n. 3, parte 1, p. 771-75, 2002.

SILVA, E. M. P.; VASCONCELOS, V.; SENNE Jr., M.; JORDÃO, E. *SUGERE* - Um sistema unificado de gestão de resíduos. In: INAC 2005 - INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE. Santos, SP. Aug 28 to Sept 02, 2005. *Proceedings ...* Rio de Janeiro: ABEN, 2005 - CD-ROM.

SOUZA, J. A. M. et al. *Os rejeitos provenientes de aplicações pacíficas da energia nuclear e o seu gerenciamento*. 2. ed. Rio de Janeiro: ELETRONUCLEAR, 1998. 48 p.

TAYRA, F. *O conceito do desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <www.semasa.sp.gov.br/admin/biblioteca/docs/doc/conceitodesensustent.doc>. Acesso em: 09 março 2006.

TEIXEIRA DA SILVA, J. C. *A gestão da tecnologia nas empresas e interfaces com a gestão ambiental e gestão energética*. Departamento de Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia, UNESP, Bauru. 2005, 63 p. (Relatório de Pesquisa).

TELLO, C. C. O. Solidificação de rejeitos líquidos orgânicos usando cimento. In: XV COBEC - A ENGENHARIA QUÍMICA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL e II CBTERMO - CONGRESSO BRASILEIRO DE TERMODINÂMICA APLICADA. 26 - 29 setembro 2004, Curitiba. *Anais...* São Paulo: ABEQ, 2004, CD-ROM.

TELLO, C. C. O.; BARROSO, A. C. O. Design and process improvements on the waste treatment of Angra I and Angra II power plants in Brazil. In: 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR ENGINEERING. 2002, Arlington, EUA. *Proceedings...* New York: ASME, 2002, CD-ROM.

TELLO, C. C. O.; SILVA, E. M. P.; PRADO, M. A. S. Proposal for the establishment of an emergency radioactive waste task force in Brazil. In: GOIÂNIA, TEN YEARS LATER. Goiânia, October, 26-31, 1997. *Proceedings...* Vienna: IAEA, 1998, p. 65-70.

TELLO, C. C. O. *Efetividade das bentonitas na retenção de cézio em produtos de rejeitos cimentados*. 2001. 148 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de

Engenharia Química, Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2001.

TORRES, E. Mc. M. *Resíduos sólidos industriais*. Porto Alegre: IBPS - Instituto Brasileiro de Produção Sustentável e Direito Ambiental, 2004. Disponível em: <www.ibps.com.br/index.asp?idmenu=&Idnoticia=2566>. Acesso em 26 abril 2005.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Estocolmo, 1972. Disponível em: <www.unep.org/Documents.Multilingual/default.asp?documentid=97&l=en>. Acesso em: 13 jan. 2006.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer: as either adjusted and/or amended in London 1990, Copenhagen 1992, Vienna 1995, Montreal 1997, Beijing 1999*. UNEP - United Nations Environment Programme, 2000. Disponível em: <http://www.unep.org/ozone/Montreal-Protocol/Montreal-Protocol2000.shtml>>. Acesso em: 11 maio 2006.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Declaração internacional sobre produção mais limpa*. Disponível em: <<http://unepie.org/pc/cp/declaration/pdfs/portuguese.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2006.

USDOE/EM - US DEPARTMENT OF ENERGY OFFICE OF ENVIRONMENT MANAGEMENT. *Integrated Data Base Report - 1995: U.S. Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste Inventories, Projections, and Characteristics - Revision 12*. Washington, D.C., 1996. Disponível em: <<http://web.em.doe.gov/idb96>>. Acesso em 08 maio 2006.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Introduction to Hazardous Waste Identification (40 CFR Parts 261) - Training Module*. Washington: US EPA, 2003. 26p. (EPA530-R-04-012).

VEIGA, M. M. A competitividade e a gestão ambiental internacional de resíduos sólidos perigosos. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção*. n. 4, p. 67-80, Fev. 2005.

WALD, M. L. O. A new vision for nuclear waste. *Technology Review*. p. 38-44, December, 2004.

WCED - WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento). *Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro: FGV - Fundação Getúlio Vargas, 1988.

XAVIER, A. M.; HEILBRON FILHO, P. F. Incineração de resíduos orgânicos contaminados por pequenas quantidades de materiais radioativos. In: 4º CONGRESSO INTERNACIONAL DE RADIOPROTEÇÃO INDUSTRIAL e 1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA. Rio de Janeiro, 02 a 05 novembro 2005. *Anais...* Rio de Janeiro, 2005, CD-ROM.

XAVIER, A. M.; PONTEDEIRO, E.; HEILBRON FILHO, P.; FERREIRA, R.. *Programa de gerência de rejeitos radioativos em pesquisa - PROGER*. Rio de Janeiro: CNEN. Coordenação de Rejeitos Radioativos. 1998. 103p.

XAVIER, A. M.; MORO, J. T.; HEILBRON FILHO, P. *Princípios básicos de proteção radiológica*. 2. ed., Porto Alegre: Laboratório de Radiação, Instituto de Física, UFRS, 2003. 227 p.

ZIGLIO, L. *Segurança ambiental no Brasil e a Convenção da Basiléia*. 2004. In: II ENCONTRO DA ANPPAS. Indaiatuba, São Paulo, 26 a 29 de maio de 2004. Disponível em: <www.anppas.org.br/encontro/segundo/Papers/papers.html#10>. Acesso em: 11 maio 2006.

ANEXOS

Anexo 1 - Glossário de Termos.

Acondicionamento. Preparação do rejeito para o manuseio, transporte, armazenamento ou deposição seguros, por meio de sua colocação em embalagens adequadas.

Acondicionamentos de Transporte. Meios de transporte, tais como cofres de carga, carrocerias e tanques de caminhões, vagões e tanques ferroviários e tanques portáteis.

Armazenamento. Confinamento de rejeitos por um período definido.

Armazenamento Inicial. Armazenamento temporário de rejeitos no espaço físico da instalação que os tenha gerado.

Atividade (de uma quantidade de radionuclídeos em um determinado estado de energia em um instante). Grandeza definida pela relação dN/dt , onde dN é o valor esperado do número de transições nucleares espontâneas daquele estado de energia, no intervalo de tempo dt . A unidade no Sistema Internacional é o recíproco de segundo (s^{-1}), denominada becquerel (Bq).

Autorização. Ato administrativo pelo qual a CNEN autoriza a efetivação de determinada atividade necessária ao funcionamento de uma instalação radiativa ou nuclear.

Blindagem. Material ou dispositivo interposto entre fontes de radiação e pessoa ou meio ambiente, para fins de redução da exposição externa.

Bolsa de Resíduos. Sistema de troca de informações sobre resíduos disponíveis e resíduos desejados.

CADRI (Certificado de Aprovação para Destinação de Resíduos Industriais). Instrumento que aprova o encaminhamento de resíduos industriais a locais de reprocessamento, armazenamento, tratamento ou disposição final, licenciados ou autorizados pela CETESB.

Caracterização. Determinação qualitativa e quantitativa das propriedades físicas, químicas, biológicas e radiológicas de rejeitos e a sua quantificação (volume e peso), visando identificar a natureza perigosa do rejeito e estabelecer a estratégia mais adequada a ser adotada para a sua gerência.

Condicionamento. Conjunto de operações que transformam o rejeito em uma forma apropriada para manuseio, liberação, transporte, armazenamento ou deposição, obedecendo a critérios pré-estabelecidos aprovados pelo órgão regulador. Pode compreender a imobilização do rejeito, a sua colocação em embalagens qualificadas e, se necessário, a provisão de sobre-embalagem.

A comunidade nuclear tem utilizado, impropriamente, o termo *encapsulamento* com o significado do termo *condicionamento* aqui definido.

Confinamento. Isolamento de rejeito de modo a impedir a sua dispersão no ambiente de uma maneira inaceitável.

Contaminação Radioativa (ou, simplesmente, Contaminação). Presença indesejável de materiais radioativos em pessoas, objetos, meios ou locais.

Controle Administrativo. Medidas relativas a organização e gerência, procedimentos, registros, verificações, auditorias e comunicações, necessárias para garantir a operação segura da instalação.

Controle Institucional. Controle mantido em repositório ou área descomissionada, com o objetivo de limitar a dose para a população, envolvendo a manutenção de registros, a delimitação de áreas, as restrições quanto ao uso da terra, o programa de monitoração radiológica ambiental, as inspeções periódicas e ações corretivas que se fizerem necessárias.

Co-processamento. Processo de destruição térmica de resíduos, em fornos industriais devidamente licenciados para este fim, com aproveitamento energético ou aproveitamento de matérias primas.

Crítérios de Aceitação. Critérios gerais estabelecidos pelo receptor de rejeitos, para os embalados de rejeito, compreendendo os requisitos básicos de segurança para a aceitação de rejeitos para fins de destinação (armazenamento, recuperação, reutilização, reciclagem, tratamento, eliminação ou deposição).

Decaimento Radioativo. Processo pelo qual a atividade de um material radioativo decai com o tempo.

Deposição (ou Disposição Final). Colocação de rejeitos em instalação licenciada pelas autoridades competentes, sem a intenção de removê-los. Essas instalações podem ser: repositórios, aterros industriais ou aterros sanitários.

Depósito Intermediário. Instalação licenciada pelas autoridades competentes e destinada a receber e, eventualmente, tratar ou condicionar rejeitos até seu descarte ou remoção para a deposição.

Depósito Provisório. Instalação destinada a abrigar rejeitos provenientes de áreas atingidas por acidentes com materiais radioativos até sua transferência, para outro depósito, observando-se os requisitos de segurança estabelecidos pela CNEN.

Descomissionamento. Ações técnicas e administrativas tomadas para encerrar o controle regulatório da instalação.

Descontaminação. Remoção ou redução da contaminação radioativa, com objetivo de reduzir a radioatividade a níveis estabelecidos pela CNEN.

Disposição Final (ou Deposição). Colocação de rejeitos em instalação licenciada pelas autoridades competentes, sem a intenção de removê-los. Essas instalações podem ser: repositórios, aterros industriais ou aterros sanitários.

Eliminação (ou Liberação ou Descarte). Liberação planejada e controlada de rejeitos para o ambiente ou para uso. Tal liberação deve atender às restrições impostas pelos órgãos reguladores.

No gerenciamento de rejeitos radioativos, o termo *eliminação* pode ser entendido como *dispensa* ou *isenção a posteriori*, ou seja, ele pode ser definido como a liberação de rejeitos com níveis de atividade suficientemente baixos de modo que nenhuma forma de envolvimento regulatório pós-eliminação é requerida para a verificação da adequada proteção do público. Este envolvimento regulatório poderia ser uma obrigatoriedade de monitoração ambiental ou, no caso de material sólido, a especificação da destinação do material eliminado ou de sua possível reutilização.

Embalado. Conjunto formado pela embalagem e pelo seu conteúdo de rejeito. Nas operações de transporte, corresponde ao volume apresentado para transporte.

Embalagem. Conjunto de componentes necessários para encerrar completamente o conteúdo radioativo.

Estabilização. Processo de conversão de rejeitos para uma forma química mais estável, menos tóxica e de menor mobilidade.

Etiqueta. Elemento de identificação, afixado ao material por amarração. Uma etiqueta pode eventualmente ser portadora de um rótulo.

Exposição. Ato ou condição de estar submetido à radiação ionizante.

Exposição Natural. Exposição resultante da radiação natural local.

Fonte de Radiação (ou, simplesmente, Fonte). Equipamento ou material que emite ou é capaz de emitir radiação ionizante ou de liberar substâncias ou materiais radioativos.

Fonte Fora de Uso. Fonte não mais em uso, cuja reutilização é imprópria ou não prevista pelo Gerador.

Fonte Não Selada. Fonte em que o material radioativo não está encerrado de forma selada.

Fonte Radioativa. Material radioativo utilizado como fonte de radiação.

Fonte Selada. Fonte cujo material radioativo está hermeticamente encerrado em uma cápsula, ou intimamente ligado a material inativo envolvente e numa forma sólida, de forma que não possa haver dispersão do material radioativo em condições normais ou severas de uso.

Gerador. Pessoa física ou jurídica que, como resultado de seus atos ou de qualquer processo, operação ou atividade, produza e ofereça rejeitos para o transporte interno ou externo.

Gerenciamento (Gerência ou Gestão) de Rejeitos. Conjunto de atividades técnicas e administrativas envolvidas desde o planejamento das atividades geradoras de rejeitos, radioativos e não radioativos, em quaisquer instalações, e que estão relacionadas ao controle da geração, segregação, acondicionamento, caracterização, manuseio, tratamento, condicionamento, transferência, transporte, armazenamento, controle e disposição final de rejeitos.

Imobilização. Conjunto de operações que produzem produtos de rejeito qualificados, por meio de processos de solidificação/estabilização ou encapsulamento, de modo a minimizar o potencial de migração ou dispersão de contaminantes pelos processos naturais, durante armazenamento, transporte e deposição.

Isenção. Ato regulatório que isenta uma “prática” ou uma fonte associada a uma “prática” de posterior controle regulatório, sob o ponto de vista de proteção radiológica.

Instalação Nuclear. Instalação na qual material nuclear é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado em quantidades relevantes, a juízo da CNEN. Estão, desde logo, compreendidos nesta definição: (a) reator nuclear; (b) usina que utilize combustível nuclear para produção de energia térmica ou elétrica para fins industriais; (c) fábrica ou usina para a produção ou tratamento de materiais nucleares; (d) usina de reprocessamento de combustível nuclear irradiado; e (e) depósito de materiais nucleares, não incluindo local de armazenamento temporário usado durante transportes.

Instalação Radiativa. Estabelecimento ou instalação onde se produzem, utilizam, transportam ou armazenam fontes de radiação. Excetuam-se desta definição: a) as instalações nucleares; b) os veículos transportadores de fontes de radiação, quando estas não são partes integrantes dos mesmos.

Inventário. Registro detalhado e itemizado contendo, no mínimo, informações relativas à caracterização física, química, biológica e radiológica, origem, quantidade e localização dos rejeitos.

Limites de Eliminação. Valores, estabelecidos pelo órgão regulador e expressos em termos de concentrações de atividade e/ou atividade total, abaixo dos quais um determinado fluxo de rejeitos pode ser liberado pelas vias convencionais, sob os aspectos de segurança radiológica.

Material Nuclear. Os elementos nucleares ou seus subprodutos, definidos na Lei 4118:1962.

Material Radioativo. Material que contém substâncias emissoras de radiação ionizante.

Manifesto de Rejeitos. Formulário a ser utilizado pelas atividades vinculadas ao Sistema de Manifesto (FEEMA) (v. CADRI).

Manifesto para Transporte de Resíduos – MTR. Documento emitido pelo gerador para o controle do transporte de resíduos (NBR 13221).

Meia-vida Física ($t_{1/2}$ ou Período de Semi-desintegração). Tempo que um elemento químico radioativo leva para ter sua atividade inicial reduzida à metade.

Minimização da Geração. Conjunto de ações do gerenciamento de rejeitos, envolvendo a **Redução na Fonte** e a **Reciclagem Externa**, como também a **Segregação** dos rejeitos na origem.

Minimização dos Rejeitos Gerados. Redução, ao menor volume, quantidade e periculosidade possíveis, dos rejeitos gerados num processo produtivo. Envolve ações de tratamento dos rejeitos.

Monitoração Radiológica. Medição de grandezas e parâmetros para fins de controle ou de avaliação da exposição à radiação, incluindo a interpretação dos resultados.

Monitoramento ou Monitoração. Coleta, com um propósito determinado, de medições ou observações sistemáticas e intercomparáveis, em uma série espaço-temporal, de qualquer variável ou atributo ambiental, que forneça uma visão sinóptica ou uma amostra representativa do meio ambiente. No contexto de uma avaliação de impacto ambiental, refere-se à medição das variáveis ambientais após o início da implantação de um projeto para documentar as alterações, basicamente com o objetivo de testar as hipóteses e previsões dos impactos e as medidas mitigadoras.

NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials). Material radioativo de ocorrência natural e que expõe pessoas à radiação.

Passivo Ambiental. Conjunto de obrigações, contraídas de forma voluntária ou involuntária, que exigem a adoção de ações de controle, preservação ou recuperação ambiental.

Pequenos Geradores. Instituições cujas atividades geram pequenas quantidades de rejeitos.

Periculosidade de um Resíduo. Característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, possa apresentar riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, ou ainda riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Plano de Proteção Radiológica (PPR). Documento exigido para fins de licenciamento junto à CNEN, que descreve o sistema de radioproteção implantado numa instalação radiativa.

Prática. Toda atividade humana que introduz fontes de exposição ou vias de exposição adicionais ou estende

a exposição a mais pessoas, ou modifica o conjunto de vias de exposição devida a fontes existentes, de forma a aumentar a probabilidade de exposição de pessoas ou o número de pessoas expostas.

Pré-deposição. Ações do gerenciamento de rejeitos, anteriores à disposição final.

Prestadores de Serviços de Gerência ou Transporte (Receptor ou Transportador). Pessoa física ou jurídica responsável pela destinação (armazenamento, recuperação, reutilização, reciclagem, tratamento, eliminação ou deposição) de rejeitos ou pelo seu transporte.

Prevenção da Poluição. Conjunto de ações envolvendo a **Redução na Fonte** e a **Reciclagem Interna**.

Produto de Rejeito. Rejeito incorporado ou não em matriz sólida, ou seja, o rejeito tratado na sua forma final sem a embalagem.

Programa de Gerência de Rejeitos/PGR (PGR - Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos ou PGRP - Programa de Gerenciamento de Resíduos Perigosos). Documento em que se descrevem a metodologia e os controles administrativos e técnicos que deverão ser implementados para atender o estabelecido pelo Sistema de Gerência de Rejeitos de uma instalação.

Programa de Monitoração Radiológica Ambiental. Descrição da programação anual a ser desenvolvido, visando à monitoração do impacto ambiental causado pela operação de uma instalação existentes no local.

Proteção Radiológica ou Radioproteção. Conjunto de medidas que visam proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante.

Radiação. Energia radiante que se propaga no espaço sob a forma corpuscular ou eletromagnética.

Radiação Ionizante. Qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, ioniza seus átomos ou moléculas.

Receptor de Rejeitos (ou Unidades receptoras de rejeitos ou, ainda, simplesmente Receptor). Pessoa física ou jurídica responsável pela destinação (armazenamento, recuperação, reutilização, reciclagem, tratamento, eliminação ou deposição) de rejeitos. As instalações receptoras de rejeitos devem ser licenciadas pelas autoridades ambientais.

Reciclagem Externa. Prática de **Minimização da Geração**, significando o uso, reuso ou recuperação de material residual fora do processo produtivo que lhe deu origem.

Reciclagem Interna. Prática de prevenção da poluição, significando o uso direto, reuso ou recuperação de material residual dentro do próprio processo produtivo.

Redução na Fonte (ou Prevenção da Geração). Utilização de processos, práticas, materiais ou energia nas atividades geradoras de produtos e serviços, com o objetivo de evitar ou minimizar o volume de poluentes ou de resíduos, como também os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente. Estão incluídas: modificações no processo ou em equipamentos, reformulação ou re-planejamento de produtos, substituição de matéria-prima, eliminação de substâncias tóxicas e melhorias nos procedimentos operacionais, protocolos de manutenção, treinamentos ou práticas de controle de inventário.

Rejeito. Refere-se aos **Resíduos Perigosos** e aos **Rejeitos Radioativos** de uma instalação.

Rejeito Misto. Rejeito radioativo contendo agente infectante ou tóxico.

Rejeito NORM. Resíduos contendo materiais radioativos de ocorrência natural.

Rejeito Radioativo. Qualquer material resultante de atividades humanas, que contenha radioisótopos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados pela CNEN e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista.

Repositório. Instalação licenciada destinada a receber, em observância aos critérios estabelecidos pela CNEN, os rejeitos radioativos provenientes de armazenamentos iniciais, depósitos intermediários e depósitos provisórios. O mesmo que depósito final.

Resíduo. Qualquer material cuja reutilização é imprópria ou não prevista pelo Gerador.

Resíduos Perigosos. Resíduos sólidos que, em função de suas propriedades físicas, químicas, ou infectantes, possam apresentar riscos à saúde pública ou à qualidade do meio ambiente, conforme NBR 10004:2004.

Resíduos Sólidos. Restos provenientes de quaisquer atividades ou processos de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agropecuária e outras, incluindo os lodos e cinzas oriundos de sistemas de controle de

poluição ou de tratamento de água, nos estados sólido, semi-sólido e/ou líquido, não passíveis de tratamento convencional.

Resíduo Radioativo. Material contaminado ou com suspeita de contaminação cuja reutilização é imprópria ou não prevista pelo Gerador.

Segregação. Separação dos rejeitos, de acordo com suas características físicas, químicas, biológicas e radiológicas, de modo a facilitar a gerência, permitindo melhor processamento e redução de volume sempre que possível

Serviço de Gerência de Rejeitos. Setor constituído especificamente com vistas à execução e manutenção do PGR de uma instalação. Essa designação não tem caráter obrigatório, servindo simplesmente como referência.

Símbolo. Figura, com significado convencional, usada para exprimir graficamente um aviso, recomendação ou instrução, de forma rápida e facilmente identificável.

Símbolo Internacional da Radiação Ionizante. Símbolo utilizado internacionalmente para indicar a presença de radiação ionizante. Trifólio de cor púrpura ou magenta e fundo amarelo, que deve ser afixado em locais onde há a presença de radiação, na seguinte posição:



SISNAMA. Sistema Nacional do Meio Ambiente. Conjunto de órgãos e instituições que, no nível federal, estadual e municipal, são encarregados da proteção ao meio ambiente.

Sistema de Gerência de Rejeitos. Estrutura organizada estabelecida pela instalação para atender aos objetivos da gerência de rejeitos.

Sistema de Manifesto. Sistema de controle de resíduos industriais que, mediante o uso de formulário próprio, permite conhecer a forma de destinação dada aos rejeitos pelo gerador, transportador e receptor de rejeitos (rastreamento do nascimento ao túmulo).

Solidificação. Transformação do resíduo líquido, pastoso ou sólido em uma forma monolítica, de modo a minimizar o potencial de migração ou dispersão de contaminantes pelos processos naturais, durante o armazenamento, transporte e deposição.

Supervisor de Proteção Radiológica ou Supervisor de Radioproteção. Indivíduo com habilitação de qualificação emitida pela CNEN, no âmbito de sua atuação, formalmente designado pelo titular da instalação para assumir a condução das tarefas relativas às ações de proteção radiológica na instalação relacionadas àquela “prática”.

Tecnologia de Fim-de-Tubo (Tecnologia de Controle da Poluição ou de Final de Processo ou, ainda, de Fim-de-Linha). Tecnologias ambientais convencionais aplicáveis aos rejeitos após a sua geração, ou seja, têm foco no tratamento e disposição final dos rejeitos, práticas corretivas no controle da poluição.

Tecnologias Limpas. Qualquer medida técnica na indústria, para reduzir, ou até eliminar na fonte, a produção de qualquer incômodo, poluição ou resíduo, e ajudar na economia de matérias-primas, recursos naturais e energia. Elas podem ser introduzidas tanto a nível de projeto, com mudanças radicais no processo de manufatura, ou num processo existente, com a separação e utilização de produtos secundários que de outra maneira seriam perdidos. Com relação aos resíduos, as tecnologias limpas são voltadas para as fontes da geração de resíduos visando aproximar o processo produtivo da condição de emissão zero.

Titular. Responsável legal pela instituição, estabelecimento ou instalação para a qual foi outorgada, pela CNEN, uma licença, autorização ou qualquer outro ato administrativo de natureza semelhante.

Transportador. Pessoa física ou jurídica que transporta rejeitos.

Transporte de Material Radioativo. Expressão que abrange todas as operações e condições associadas e envolvidas na movimentação de material radioativo remetido de um lugar a outro, incluindo tanto as

condições normais como as condições de acidente.

Transporte Externo (ou simplesmente Transporte). Transporte de rejeitos realizado em áreas externas à instalação licenciada.

Transporte Interno (ou simplesmente Transferência). Transporte de rejeitos realizado em áreas internas à instalação licenciada.

Tratamento. Qualquer operação ou procedimento que modifique as características originais dos rejeitos, visando aumentar a segurança e minimizar os custos das etapas posteriores de sua gerência (por exemplo, redução de volume, mudança da composição, remoção de radionuclídeos, etc).

Valorização de Resíduos (Valoração de Resíduos). Traduz-se em uma técnica que permite o reaproveitamento dos resíduos. Envolve práticas de separação, recuperação ou regeneração dos materiais que compõem os resíduos, para posterior reciclagem e reutilização do material ou aproveitamento energético.

Anexo 2 - Classes de radionuclídeos segundo a radiotoxicidade (CNEN-NE-6.02).

Classe de radionuclídeos	Radionuclídeos									
Classe A Muito alta radiotoxicidade	Pb-210	Po-210	Ra-223	Ra-225	Ra-226	Ra-228	Th-227	Th-228	Th-229	Th-230
	Pa-231	U-230	U-232	U-233	U-234	Np-237	Pu-236	Pu-238	Pu-239	Pu-240
	Pu-241	Pu-242	Am-241	Am-242	Am-243	Cm-240	Cm-242	Cm-243	Cm-244	Cm-245
	Cm-246	Cm-247	Cm-248	Cf-248	Cf-249	Cf-250	Cf-251	Cf-252	Cf-254	Es-254
	Es-255									
Classe B Alta radiotoxicidade	Na-22	Cl-36	Ca-45	Sc-46	Co-60	Sr-90	Y-91	Zr-93	Nb-94	Ru-106
	Ag-110m	Cd-115m	In-114m	Sb-124	Sb-125	I-124	I-125	I-126	I-131	Cs-134
	Ba-140	Ce-144	Eu-152 (13a)	Eu-154	Tb-160	Tm-170	Hf-181	Ta-182	Ir-192	Tl-204
	Pb-212	Bi-207	Bi-210	At-211	Ra-224	Ac-228	Th-232	Thnat	Pa-230	U-236
	Pu-244	Am-242	Cm-241	Bk-249	Cf-246	Cf-253	Es-253	Es-254m	Fm-255	Fm-256
Classe C Relativa radiotoxicidade	Be-7	C-14	F-18	Na-24	Si-31	P-32	P-33	S-35	Cl-38	Ar-41
	K-42	K-43	Ca-47	Sc-47	Sc-48	V-48	Cr-51	Mn-52	Mn-54	Fe-52
	Fe-55	Fe-59	Co-55	Co-56	Co-57	Co-58	Ni-63	Ni-65	Cu-64	Zn-65
	Zn-69	Ga-72	As-73	As-74	As-76	As-77	Se-75	Br-82	Kr-74	Kr-77
	Kr-87	Kr-88	Rb-86	Sr-83	Sr-85	Sr-89	Sr-91	Sr-92	Y-90	Y-92
	Y-93	Zr-86	Zr-88	Zr-89	Zr-95	Zr-97	Mo-93	Nb-90	Nb-93	Nb-95
	Nb-95m	Nb-96	Mo-90	Mo-99	Tc-96	Tc-97m	Tc-97	Tc-99	Ru-97	Ru-103
	Ru-105	Rh-105	Pd-103	Pd-109	Ag-105	Ag-111	Cd-109	Cd-115	In-115m	Sn-113
	Sn-125	Sb-122	Te-121	Te-121m	Te-123m	Te-125m	Te-127	Te-129	Te-131	Te-131m
	Te-132	Te-133m	Te-134	I-120	I-123	I-130	I-132	I-132m	I-133	I-135
	Xe-135	Cs-132	Cs-136	Cs-137	Ba-131	La-140	Ce-134	Ce-135	Ce-137m	Ce-139
	Ce-141	Ce-143	Pr-142	Pr-143	Nd-147	Nd-149	Pm-147	Pm-149	Sm-151	Sm-153
	Eu-152m (9h)	Eu-155	Gd-153	Gd-159	Dy-165	Dy-166	Ho-166	Er-169	Er-171	Tm-171
	Yb-175	Lu-177	W-181	W-185	W-187	Re-183	Re-186	Re-188	Os-185	Os-191
	Os-193	Ir-190	Ir-194	Pt-191	Pt-193	Pt-197	Au-196	Au-198	Au-199	Hg-197
	Hg-197m	Hg-203	Tl-200	Tl-201	Tl-202	Pb-203	Bi-206	Bi-212	Rn-220	Rn-222
	Th-226	Th-231	Th-234	Pa-233	U-231	U-237	U-240	Np-239	Np-240	Pu-234
	Pu-237	Pu-245	Am-238	Am-240	Am-244	Am-244m	Cm-238	Bk-250	Cf-244	Fm-254
Classe D Baixa radiotoxicidade	H-3	O-15	Ar-37	Mn-51	Mn-52	Mn-53	Mn-56	Co-58m	Co-60m	Co-61
	Co-62	Ni-59	Zn-69	Ge-71	Kr-76	Kr-79	Kr-81	Kr-83	Kr-85m	Kr-85
	Sr-80	Sr-81	Sr-85	Sr-87	Y-91m	Nb-88	Nb-89 (66m)	Nb-89 (127m)	In-113m	Te-116
	Te-123	Te-127	Te-129	Te-133	I-120m	I-121	I-128	I-129	I-134	Xe-131m
	Xe-133	Cs-125	Cs-127	Cs-129	Cs-130	Cs-131	Cs-134m	Cs-135	Cs-135m	Cs-138
	Ce-137	Os-191m	Pt-193m	Pt-197m	Po-203	Po-205	Po-207	Ra-227	U-235	U-238
	U-239	Unat	Pu-235	Pu-243	Am-237	Am-239	Am-245	Am-246m	Am-246	Cm-249

Anexo 3 - Incompatibilidade química (ANVISA, 2004).

(Continua)

Substância Química	Incompatível com
Ácido acético	Ácido nítrico, peróxidos, permanganatos, etilenoglicol, compostos hidroxilados, ácido perclórico e ácido crômico.
Acetona	Misturas de Ácidos sulfúrico e nítrico concentrados, Peróxido de hidrogênio.
Acetileno	Bromo, cloro, flúor, cobre, prata, mercúrio e seus compostos.
Metais alcalinos	Tetracloroeto de carbono, outros hidrocarbonetos clorados, dióxido de carbono, água e halogênios.
Metais alcalinos (alumínio ou magnésio em pó)	Tetracloroeto de carbono ou outro hidrocarboneto clorado, halogênio e dióxido de carbono.
Amônia anidra	Mercúrio, ácido fluorídrico, hipoclorito de cálcio, cloro, iodo e bromo.
Nitrato de amônio	Ácidos, líquidos inflamáveis, pós metálicos, enxofre, cloretos, qualquer substância orgânica em pó ou combustível.
Anilina	Ácido nítrico e peróxido de hidrogênio.
Bromo, cloro	Hidróxido de amônio (amônia), gases de petróleo, hidrogênio, sódio, benzeno, acetileno, etano, propano, butadienos e metais finamente divididos (pós metálicos).
Carvão ativado	Hipoclorito de sódio e todos os agentes oxidantes (dicromatos, permanganatos, ácido nítrico, ácido sulfúrico).
Cloratos, percloratos, clorato de potássio	Sais de amônio, ácidos, metais em pó, enxofre e substâncias orgânicas finamente divididas ou combustíveis.
Ácido crômico	Ácido acético glacial, cânfora, glicerina, naftaleno, terebintina, álcoois de baixo peso molecular e outros líquidos inflamáveis.
Cobre metálico	Acetileno e peróxido de hidrogênio, azidas.
Líquidos inflamáveis	Nitrato de amônio, ácido crômico, óxido de cromo VI, peróxidos, ácido nítrico, hidrogênio e os halogênios (flúor, cloro, bromo).
Hidrocarbonetos (Butano, propano, tolueno, benzeno, gasolina)	Flúor, cloro, bromo, peróxidos e ácido crômico.
Ácido fluorídrico	Amônia (aquosa e anidra).
Peróxido de hidrogênio	A maioria dos metais e seus sais, álcoois, substâncias orgânicas e quaisquer substâncias inflamáveis.
Sulfeto de hidrogênio	Gases oxidantes e ácido nítrico fumegante.
Halogênios (Flúor, Cloro, Bromo e Iodo)	Amoníaco (amônia), acetileno e hidrocarbonetos.
Cloro	Amônia, acetileno, butadieno, butano, outros gases de petróleo, Hidrogênio, carbeto de sódio, terebintina, benzeno, metais finamente divididos, benzinas e outras frações do petróleo.

Anexo 3 - Incompatibilidade química (ANVISA, 2004).

(Conclusão)

Substância Química	Incompatível com
Iodo	Acetileno, Hidróxido de amônio, Hidrogênio.
Mercúrio	Acetileno, amônia e ácido fulmínico.
Ácido nítrico (conc.)	Ácido acético, sulfeto de hidrogênio, líquidos e gases inflamáveis, ácido cianídrico, óxidos de cromo VI, ácido crômico e anilinas.
Oxigênio	Óleos, graxas, hidrogênio, líquidos, sólidos e gases inflamáveis.
Ácido perclórico	Anidrido acético, bismuto e suas ligas, álcoois, papel, madeira e outros materiais orgânicos.
Pentóxido de fósforo	Água.
Clorato de potássio	Ácido sulfúrico e outros ácidos e qualquer material orgânico.
Permanganato de potássio	Ácido sulfúrico, glicerina e etilenoglicol.
Prata e sais de prata	Acetileno, compostos de amônia, ácido oxálico e ácido tartárico.
Peróxido de sódio	Álcool etílico ou metílico, ácido acético glacial, anidrido acético, dissulfeto de carbono, glicerina, etilenoglicol, acetatos de metila e etila, benzaldeído e furfural.
Ácido sulfúrico	Clorato de potássio, perclorato de potássio, permanganato de potássio, compostos similares de outros metais leves e água.
Ácido hidrocianico	Ácido nítrico, álcalis.
Ácido oxálico	Prata e mercúrio.
Alquil alumínio	Água.
Azida sódica	Chumbo, Cobre e outros metais.
Anidrido acético	Compostos contendo hidroxil tais como etilenoglicol, Ácido perclórico.
Cianetos	Ácidos e álcalis.
Dióxido de cloro	Amônia, metano, Fósforo, Sulfeto de hidrogênio.
Flúor	Isolado de tudo.
Fósforo	Enxofre, compostos oxigenados, cloratos, percloratos, nitratos, permanganatos.
Nitrato de sódio	Nitrato de amônio e outros sais de amônio.
Óxido de cálcio	Água
Óxido de cromo VI	Ácido acético, glicerina, benzina de petróleo, líquidos inflamáveis, naftaleno.
Perclorato de potássio	Ácidos.
Sódio	Dióxido de carbono, Tetracloroeto de carbono, outros hidrocarbonetos clorados.

Anexo 4 - Substâncias que devem ser acondicionadas separadamente (ANVISA, 2004).

Acondicionar separadamente		
Ácidos	Criogênicas	Metais pesados
Asfixiantes	Ecotóxicas	Mistura sulfocrômica
Bases	Explosivas	Óleos
Brometo de etídio	Formalina ou Formaldeído	Oxidantes
Carcinogênicas, Mutagênicas e Teratogênicas	Gases comprimidos	Resíduo fotográfico
De combustão espontânea	Líquidos inflamáveis	Sensíveis ao choque
Compostos orgânicos halogenados	Materiais reativos com a água	Soluções aquosas
Compostos orgânicos não halogenados	Materiais reativos com o ar	Venenos
Corrosivas	Mercúrio e compostos de Mercúrio	-

Anexo 5 - Lista com algumas substâncias que reagem com embalagens de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), de acordo com ANVISA (2004).

Algumas substâncias que reagem com embalagens de Polietileno de Alta Densidade		
Ácido butírico	Cloreto de Amila	o-diclorobenzeno
Ácido nítrico	Cloreto de etila, forma líquida	Óleo de canela
Ácidos concentrados	Cloreto de tionila	Óleo de cedro
Álcool benzílico	Cloreto de vinilideno	p-diclorobenzeno
Anilina	Cresol	Percloroetileno
Bromo	Dietil benzeno	Solventes bromados & fluorados
Bromobenzeno	Dissulfeto de carbono	Solventes clorados
Bromofórmio	Éter	Tolueno
Butadieno	Fenol / clorofórmio	Tricloroeteno
Ciclohexano	Nitrobenzeno	Xileno