

REJEITOS E GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

Carolina Braccini Freire¹, Clédola Cássia Oliveira de Tello²
 Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN
 Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627, Campus da UFMG, Pampulha
 CEP 31270-901 Belo Horizonte, MG, Brasil
¹cbf@cdtn.br, ²tellocc@cdtn.br

RESUMO

Em todas as atividades humanas são produzidos rejeitos. Rejeitos radioativos são gerados quando do uso da energia nuclear na medicina, agricultura, indústria e na produção de energia elétrica. Todo e qualquer tipo de rejeito deve ser tratado e armazenado adequadamente. Portanto rejeitos radioativos requerem gerenciamento apropriado e seguro, desde sua geração até seu armazenamento em repositório. A Gerência de Rejeitos Radioativos inclui todas as etapas técnicas e administrativas pelas quais passam os rejeitos até sua deposição. Seu principal objetivo é preservar a vida humana e o meio ambiente.

Descritores: rejeitos radioativos e gerência.

INTRODUÇÃO

A energia nuclear tem sido usada em diferentes áreas para o benefício e o desenvolvimento humano, tendo suas principais aplicações, além da geração elétrica, nas áreas médica, industrial, na agricultura e na proteção ao meio ambiente.

A energia elétrica é fator essencial para assegurar o crescimento econômico de um país e a qualidade de vida de sua população. A geração nucleoeletrônica é uma opção de energia limpa, permitindo a obtenção de muita energia em um espaço físico relativamente pequeno e a instalação de usinas perto dos centros consumidores reduz o custo da distribuição da energia.

Na área médica, o radiodiagnóstico e a radioterapia são técnicas amplamente utilizadas atualmente, por meio, por exemplo, dos radiofármacos. A esterilização de sangue e

ABSTRACT

In all human activities are produced wastes. Radioactive wastes are generated from the use of the nuclear energy in medicine, agriculture, industry and in the production of electricity. Any and every kind of waste must be processed and stored properly. Then the radioactive wastes also require suitable and safe management beginning in their generation until the storage in repository. The Management of Radioactive Wastes includes all technical and administrative steps regarding the wastes until the deposition. Its main goal is to preserve human life and the environment

Keywords: Radioactive waste and management.

tecidos para transplantes por irradiação tem como objetivo prevenir possíveis rejeições. A irradiação é usada também para esterilizar instrumentos cirúrgicos e produtos médico-farmacêuticos.

Na agricultura as principais aplicações da energia nuclear visam garantir maior produtividade, alimentos com melhor qualidade nutricional e maior resistência a pragas e doenças.

A gamagrafia e os medidores de nível e espessura são exemplos do uso da energia nuclear na indústria.

Como em outras atividades humanas, no uso da energia nuclear também são gerados resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Muitos destes são considerados rejeitos, pois possuem contaminantes em quantidades que podem ter impacto potencial negativo na saúde humana e no ambiente e por isto devem ser bem gerenciados, não devendo ser liberados sem um tratamento prévio.

REJEITO RADIOATIVO

Segundo a norma CNEN-NE-6.05 [1], rejeito radioativo, ou simplesmente rejeito, é qualquer material resultante de atividades humanas contendo radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na norma CNEN – NE 6.02 [2] e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista. Os rejeitos são classificados na norma CNEN-NE-6.05 [1] quanto ao estado físico, à natureza da radiação, ou seja, emissor beta e/ou gama e emissor alfa e à atividade em três categorias: rejeitos de baixo, médio ou alto nível de radiação. Eles são classificados em diferentes faixas de concentração, medidas em $Bq.m^{-3}$ ou $Ci.m^{-3}$, para rejeitos líquidos e gasosos, e de acordo com a Taxa de Exposição (X) na superfície, para os rejeitos sólidos, em $\mu C.kg^{-1}.h^{-1}$ ou Roentgens por hora ($R.h^{-1}$), como especificado nas TAB. 01 e 02.

Segundo a Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA [3], rejeitos isentos são aqueles que contêm material radioativo em quantidades tão pequenas que podem ser considerados “não radioativos” e são liberados do controle regulatório. Embora sejam radioativos do ponto de vista físico, estes rejeitos podem ser dispostos com segurança, adotando-se técnicas e sistemas convencionais de deposição, sem considerar especificamente as suas propriedades radioativas. Portanto não existem restrições quanto à deposição. Na norma CNEN-NE-6.05 [1] no item 5.7, denominado “eliminação”, são apresentados todos os requisitos necessários para liberação de materiais radioativos no ambiente. Estes requisitos vão desde suas características físicas até as quantidades máximas de cada radionuclídeo que podem ser liberadas diariamente, mensalmente e anualmente pela instalação na rede de esgoto. Também é especificado o limite da atividade dos rejeitos sólidos que podem ser eliminados no sistema de coleta de lixo urbano e os limites de concentrações para eliminação de rejeitos gasosos na atmosfera.

Rejeitos radioativos podem ser gerados em diversas áreas, tais como usinas nucleares, instalações do ciclo do combustível nuclear, hospitais, clínicas, universidades e institutos ou centros de pesquisa. No ciclo de combustível gera-se maior volume de rejeitos, tanto sólidos quanto líquidos. Estes rejeitos são de atividade baixa e seus principais contaminantes são o urânio e filhos. Na etapa de reprocessamento do combustível irradiado

são gerados rejeitos de atividade baixa, média e alta, sendo que este último contém a maior parte dos produtos de fissão produzidos nos reatores nucleares [4].

No Brasil, a maior parte dos rejeitos gerados é de baixo nível de radiação, nas formas sólida e líquida. Como rejeitos sólidos citam-se papéis, vestuário, pós, ferramentas e demais utensílios contaminados. Os rejeitos líquidos são usualmente soluções aquosas e orgânicas contendo radionuclídeos [5].

Rejeitos de médio nível de radiação são gerados principalmente nas usinas nucleares, como os concentrados do evaporador e resinas de troca iônica saturadas. Os rejeitos de alto nível de radiação são aqueles gerados em operações de reprocessamento do elemento combustível irradiado (ECI) [5]. Pela definição, o material é considerado rejeito quando sua reutilização é imprópria ou não prevista. Portanto, como ainda não foi definido o destino final dos ECI das usinas de Angra 1 e Angra 2 e não há usinas de reprocessamento no Brasil, até o momento não existe rejeito de alto nível no país. Estes ECIs encontram-se armazenados em piscinas dentro das próprias usinas.

A CNEN, na área de rejeitos radioativos, estabelece normas de controle que cobrem todas as atividades concernentes ao gerenciamento destes resíduos, desde sua origem até o armazenamento final [5].

GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

A quantidade de rejeitos produzidos em diversas áreas, principalmente os de origem industrial e doméstica, vem aumentando gradativamente nas regiões mais desenvolvidas do país. Muitas vezes este rejeito gerado não é tratado adequadamente e seu armazenamento ou descarte não oferece segurança ao ambiente e à sociedade.

Desta maneira é necessário que os setores geradores de rejeito desenvolvam um programa para gerenciá-lo de forma correta, mesmo antes de sua geração. Segundo ENDO [6] isto vem sendo feito, desde 1946, pelas indústrias nucleares quando apenas iniciavam suas atividades em países mais desenvolvidos, como tema decisivo para o futuro desta nova indústria. No entanto, somente nas últimas décadas, isto vem ocorrendo, normalmente, nas indústrias convencionais

Tabela 1: Classificação de Rejeitos com Emissores Beta/Gama

Rejeitos Líquidos	Concentração (c)	
	(Bq m ⁻³)	(Ci m ⁻³)
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	Taxa de Exposição na superfície (X)	
	(C.kg ⁻¹ .h ⁻¹)	(R.h ⁻¹)
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	Concentração (c)	
	(Bq m ⁻³)	(Ci m ⁻³)
Baixo Nível de Radiação (GBN)	$c \leq 3,7$	$c \leq 10^{-10}$
Médio Nível de Radiação (GMN)	$3,7 < c \leq 3,7 \times 10^4$	$10^{-10} < c \leq 10^{-8}$
Alto Nível de Radiação (GAN)	$c > 3,7 \times 10^4$	$c > 10^{-6}$

Tabela 2: Classificação de Rejeitos com Emissores Alfa

Rejeitos Líquidos	Concentração (c)	
	(Bq m ⁻³)	(Ci m ⁻³)
Alfa de Baixo Nível de Radiação (LBN)	$3,7 \times 10^8 < c \leq 3,7 \times 10^{10}$	$10^{-2} < c \leq 1$
Alfa de Médio Nível de Radiação (LMN)	$3,7 \times 10^{10} < c \leq 3,7 \times 10^{13}$	$1 < c \leq 10^3$
Alfa de Alto Nível de Radiação (LAN)	$c > 3,7 \times 10^{13}$	$c > 10^3$
Rejeitos Sólidos	Concentração (c)	
	(Bq m ⁻³)	(Ci m ⁻³)
Alfa de Baixo Nível de Radiação (SBN)	$3,7 \times 10^8 < c \leq 3,7 \times 10^{11}$	$10^{-2} < c \leq 1$
Alfa de Médio Nível de Radiação (SMN)	$3,7 \times 10^{11} < c \leq 3,7 \times 10^{13}$	$1 < c \leq 10^3$
Alfa de Alto Nível de Radiação (SAN)	$c > 3,7 \times 10^{13}$	$c > 10^3$

Durante as primeiras décadas da era nuclear, o problema do gerenciamento do rejeito radioativo era essencialmente encabeçado por cientistas e tecnólogos em contato direto com as autoridades licenciadoras. Os conflitos entre os órgãos científicos da época eram intensos, pois as previsões quanto ao crescimento da indústria nuclear eram bastante contraditórias. Por um lado, estavam os que previam que a indústria nuclear não deveria se expan-

dir, pois seria impossível controlar os resíduos por ela produzidos e, por outro lado, os que afirmavam que o gerenciamento dos resíduos não seria difícil, tão pouco problemático [6]. O problema era novo e a primeira tarefa consistia em avaliar a natureza e as dimensões do rejeito, com a necessidade de desenvolver soluções razoáveis e seguras. Hoje, soluções tecnologicamente confiáveis para o gerenciamento seguro do rejeito radioativo têm sido

desenvolvidas após décadas de pesquisas intensas, estudos e testes. Contudo, a deposição do rejeito está longe de ser uma tarefa unicamente de cientistas e tecnólogos, mas requer a cooperação entre eles, os políticos, as autoridades licenciadoras, as indústrias e, naturalmente, o público em geral. O objetivo é um só: a proteção do ambiente de possíveis efeitos negativos, em curto e em longo prazo, da radioatividade [7].

É importante enfatizar que há muitas outras áreas, além da nuclear, que são confrontadas com problemas de periculosidade, como a quimiotoxicidade de compostos orgânicos e a estabilidade de materiais inorgânicos, bem como os metais pesados, que não estão sujeitos a nenhuma forma de decaimento e, conseqüentemente, permanecem potencialmente perigosos por um período de tempo ilimitado [7]. Nestas áreas também é importante o gerenciamento do rejeito gerado. A vantagem principal da Indústria Nuclear é que devido ao desenvolvimento da GRR a quantidade gerada é muito menor do que qualquer outro tipo de indústria. Enquanto a energia de origem nuclear gera 797 toneladas de rejeitos para produzir 1000 MW, a energia de origem carbonífera gera 320×10^3 toneladas (apresentando 400t de metais pesados) [8]. Além disso a energia nuclear é considerada "limpa", pois não há emissão de ácidos nem gases poluentes. Na tabela 3 são mostrados algumas fontes de energia e as quantidades emitidas de gás carbônico (principal causador do efeito estufa), em kg de carbono (kgC), por quilowatt hora (kWh) [9].

Tabela 3: Fontes de emissão de CO₂ por quilowatt de energia produzida por hora [9]

Fontes de Energia	kg C/ kWh
Madeira	6.500
Cana de Açúcar	7.800-21.700
Gás Natural	114.000
Óleo Combustível	303.600

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é o órgão federal responsável por estabelecer normas e regulamentos em radioproteção e segurança nuclear, bem como licenciar, fiscalizar e controlar a atividade nuclear no território nacional [10]. Ela exerce controle sobre todo o material nuclear gerado, de forma a garantir

a segurança da população, trabalhadores e meio ambiente [5].

A Gerência de Rejeitos Radioativos, ou simplesmente Gerência, é definida na norma CNEN-NE-6.05 [1] como o conjunto de atividades administrativas e técnicas envolvidas na coleta, segregação, manuseio, tratamento, condicionamento, transporte, armazenamento, controle e deposição do rejeito radioativo. Na figura 1 é apresentado o fluxograma típico da gerência de rejeitos.

PRINCÍPIOS BÁSICOS DA GERÊNCIA DE REJEITOS

Os princípios fundamentais da gerência resumem-se na não-geração, na redução de volume, na proteção do trabalhador, do público e do meio ambiente e nas responsabilidades com as gerações futuras.

Não-geração – Nenhuma prática usando materiais radioativos deve ser adotada a menos que sua introdução produza um benefício positivo comprovadamente superior à prática com materiais convencionais.

Redução de volume – Devem-se estudar exaustivamente os processos, que serão ou que já estão implantados, verificando em cada uma das etapas a possibilidade de não-gerar ou de minimizar o volume de rejeito gerado. Deve-se sempre que possível exaurir as possibilidades de uso dos materiais radioativos antes de descartá-los como rejeitos.

Devem-se segregar os rejeitos radioativos dos demais rejeitos, bem como segregá-los entre si de acordo com a meia-vida de seus radionuclídeos, forma e possibilidades de tratamento. Deve-se optar por tratamentos que reduzam o máximo possível o rejeito final a ser armazenado.

Proteção do trabalhador, do público e do meio ambiente – Durante todas as etapas da GRR deve-se proteger o trabalhador, o público e o meio ambiente de qualquer efeito nocivo que possa advir dos RR.

Gerações futuras – As atividades da GRR não devem gerar ônus para as gerações futuras. Assim devem ser respeitados dois princípios gerais: elas devem ser supridas pelo menos com o mesmo grau de pro-

teção à radiação que é dado ao público hoje e a segurança dos RR não deve depender da manutenção ativa do sistema de deposição pelas futuras gerações, além do período institucional de guarda.

Para que estes princípios sejam obedecidos um programa para a GRR deve ser iniciado, sempre que possível, na implantação da instalação, desde o sistema produtivo, analisando-se em cada etapa os materiais a serem usados e gerados, de modo que haja uma perfeita harmonia entre todos os passos. Deste modo ao final do ciclo, será atingida a redução máxima da quantidade de rejeitos gerada, da área de disposição e guarda do rejeito tratado e o completo controle e registro destes materiais.

Etapas Principais da GRR

A segregação é a etapa que consiste em separar o rejeito de acordo com seu estado físico, a meia-vida dos radionuclídeos, a natureza física, química e biológica, além de outras características, tais como explosividade, corrosividade, etc. Esta etapa deve ser realizada no mesmo local onde os rejeitos são gerados, pois o setor gerador é o que melhor conhece o rejeito e, portanto, é o mais capacitado para fazer a caracterização preliminar do que é produzido.

A etapa do tratamento tem como objetivo reduzir o volume original do rejeito, podendo mudar sua composição ou mesmo remoção dos radionuclídeos presentes. No caso dos rejeitos

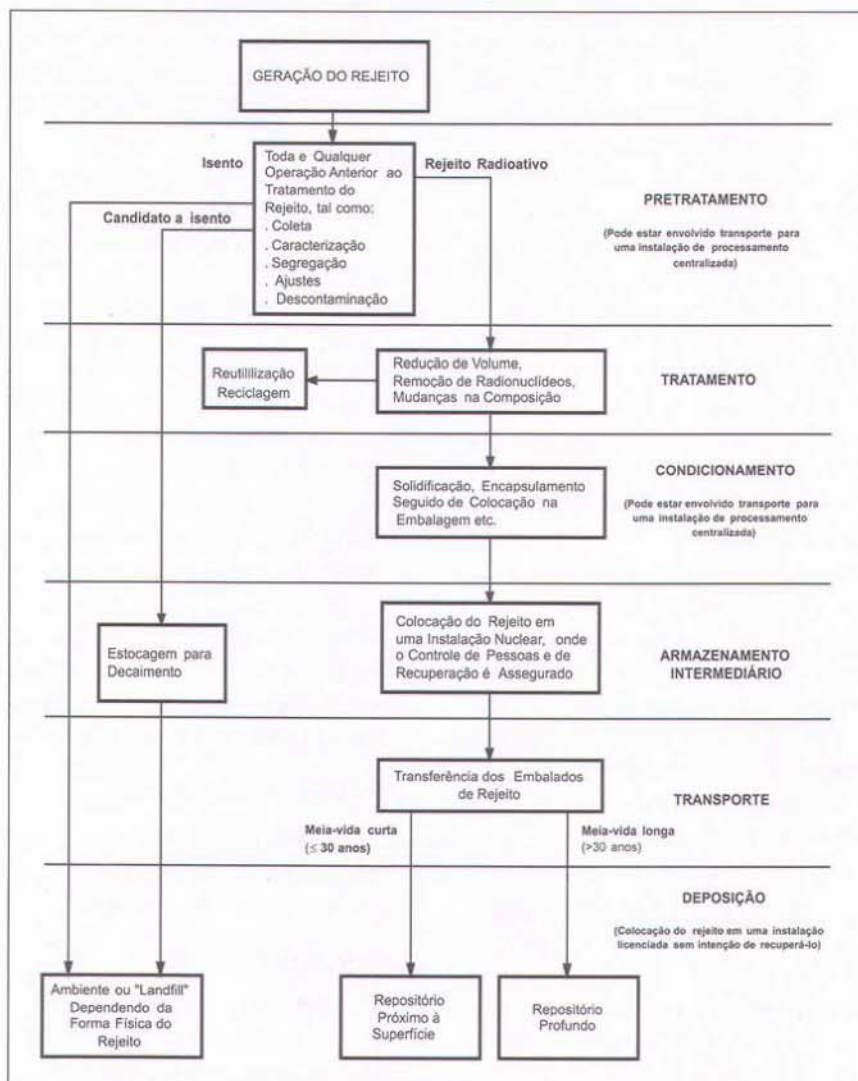


Figura 1: Etapas da gestão de rejeitos [11]

líquidos alguns exemplos de tratamento são: a precipitação química, a troca iônica e a evaporação, cujo objetivo é concentrar a maior parte da atividade e reduzir o volume. Os rejeitos orgânicos líquidos e sólidos, bem como todo outro material sólido combustível, podem ser incinerados, reduzindo seu volume de 30 a 60 vezes [4]. Os sólidos não combustíveis podem ser reduzidos de tamanho, em moinho, ou prensados.

Após o tratamento, os rejeitos devem ser condicionados de modo a mantê-los estáveis química e fisicamente durante o tempo que se fizer necessário, além de poderem ser manuseados e transportados com segurança, minimizando os custos das etapas posteriores de sua gerência.

Alguns materiais podem ser utilizados como matriz para imobilização do rejeito, tais como cimento, betume, vidro, cerâmica e polímeros. A escolha da matriz vai depender de diversos fatores, como o tipo e forma de rejeito, as espécies de radionuclídeos presentes com as respectivas atividades, os requisitos do repositório, além de fatores econômicos, de engenharia e de segurança [4]. O cimento é um material largamente utilizado na incorporação de rejeitos líquidos de baixa e média atividade, pela facilidade de sua obtenção, por existir uma larga experiência na sua utilização e pela possibilidade de ser processada a temperatura ambiente [4]. No Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte, utiliza-se cimento para solidificar o rejeito líquido e imobilizar o rejeito sólido.

As embalagens para os rejeitos devem ser apropriadas para contê-los, devendo ser vedadas e identificadas. O transporte interno, ou transferência, do rejeito deve ser realizado em veículos que possuam meios de fixação adequados para os recipientes, de modo a evitar danos aos mesmos. Os veículos, após cada transferência, devem ser monitorados e, caso necessário, descontaminados [1]. O transporte externo é regulamentado pela norma CNEN-NE-5.01 "Transporte de Materiais Radioativos" [12].

O armazenamento é definido na norma CNEN-NE-6.06 [13] como o confinamento de rejeitos radioativos por um período definido de tempo. Durante as etapas do gerenciamento, os

rejeitos passam por diversos tipos de armazenamentos até a deposição que é o armazenamento definitivo, sem a intenção de removê-los. O armazenamento inicial ocorre quando os rejeitos ficam armazenados no espaço físico das instalações que os geraram. Já no armazenamento intermediário, os rejeitos, já tratados, estão prontos para serem enviados para o depósito final, também designado como repositório, onde ficarão armazenados de forma definitiva.

É muito importante que se tenha controle de todas as etapas do gerenciamento. Para isto é necessário que se registre todo o caminho percorrido pelo rejeito desde sua geração, suas características físicas, químicas e radiológicas, forma de tratamento, local onde se encontra armazenado até à sua deposição. Este sistema garante a rastreabilidade dos rejeitos em qualquer ponto da gerência, de modo que as condições de segurança possam ser mantidas, evitando possíveis incidentes ou acidentes [5].

CONCLUSÕES

No desenvolvimento de qualquer atividade industrial ou de pesquisa deve-se estudar detalhadamente o processo quanto à matéria-prima, aos fluxos de materiais e aos rejeitos que poderão ser gerados, buscando atender aos princípios fundamentais de não-geração, redução de volume, proteção ao ecossistema, lembrando sempre do compromisso com as gerações futuras.

Os rejeitos radioativos, como outros rejeitos perigosos, devem ser bem gerenciados a fim de evitar riscos desnecessários e inaceitáveis hoje em dia. Cada instalação deve montar seu próprio Programa de GRR (PGRR), respeitando aqueles princípios e as normas e regulamentos municipais, estaduais, nacionais e internacionais relativos à sua área de atuação.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores envolvidos. Ao CDTN por dispor suas instalações e prestar serviços. A CNEN pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN-NE-6.05: Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas. Rio de Janeiro, 1985.

- [2] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN-NE-6.02: Licenciamento de Instalações Radiativas. Rio de Janeiro, 1984.
- [3] SILVA, E.M.P. Implementação de um sistema unificado para gerenciamento de rejeitos. Tese (Engenharia Química) Unicamp. Campinas 2006.
- [4] TELLO, C.C.O. Avaliação de bentonitas nacionais como aditivo na cimentação de rejeitos radioativos. Dissertação (Mestrado em Ciência e Técnicas Nucleares)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1988.
- [5] TELLO, C.C.O. Tratamento e Armazenamento de Rejeito Radioativo 23p. Belo Horizonte: CDTN, 2003.
- [6] ENDO, L.S. Avaliação de parâmetros de retenção de produtos de fissão no solo. Dissertação. (Mestrado) Instituto de Energia Atômica, São Paulo, 1978.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radioactive Waste Management: an IAEA source book, 276p. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1992.
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IAEA Bolletins. Quartely Journal of the International Atomic Energy. Vienna: IAEA, 1993, v. 42, n. 3, Sept. 2000, 76p.
- [9] COELHO, S., Mechanisms for Implanting Electricity Cogeneration from Biomass – A model for São Paulo State. PhD. Thesis, University of São Paulo, Brasil 1999, 172 p.
- [10] TELLO, C.C.O. Projeto Desenvolvimento de Técnicas e Métodos para Suporte à Implantação de Repositórios de Rejeitos Radioativos. Belo Horizonte: CDTN, Projeto, 09p, 2005.
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Review of factors affecting the selection and implementation of waste management technologies. Vienna: IAEA, Aug. 1999, 73p. (IAEA-TECDOC-1096).
- [12] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN-NE-5.01: Transporte de Material Radioativo, Rio de Janeiro, 1988.
- [13] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN-NE-6.06: Seleção e Escolha de Locais para Depósitos de Rejeitos Radioativos. Rio de Janeiro, 1989.