AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**DESENVOLVIMENTO DO PLANO PRELIMINAR DE DESCOMISSIONAMENTO DO
REATOR IPEN/MB-01**

Ary de Souza Vivas

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área de Tecnologia
Nuclear - Reatores**

**Orientador:
Prof. Dr. Alvaro Luiz Guimarães Carneiro**

**São Paulo
2014**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**DESENVOLVIMENTO DO PLANO PRELIMINAR DE DESCOMISSIONAMENTO DO
REATOR IPEN/MB-01**

Ary de Souza Vivas

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área de Tecnologia
Nuclear - Reatores**

Orientador:
Prof. Dr. Alvaro Luiz Guimaraães Carneiro

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2014

AGRADECIMENTOS

A Deus por dar forças a cada dia para seguir e enfrentar os desafios da vida.

Aos meus pais, Arimarcio e Olavia, por toda a dedicação, afeto e pela minha formação como indivíduo.

Ao meu orientador Álvaro pela paciência e empenho na orientação e superação dos desafios da pesquisa.

Aos profissionais do IPEN-SP e equipe técnica do reator IPENMB-01 pelas contribuições significativas que enriqueceram este trabalho.

A CNEN que financiou o desenvolvimento deste trabalho.

DESENVOLVIMENTO DO PLANO PRELIMINAR DE DESCOMISSIONAMENTO DO REATOR IPEN/MB-01

Ary de Souza Vivas

RESUMO

Em todo mundo, muitas instalações nucleares foram construídas e necessitarão serem desligadas em um determinado momento por estarem próximas do seu tempo recomendado de utilização que é de aproximadamente 40 anos. A AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) busca orientar e recomendar uma série de diretrizes para a realização de atividades de descomissionamento de instalações nucleares, com atenção especial aos países que não possuem um quadro regulatório legal que ampare as atividades de descomissionamento. O Brasil, até o momento, não possui uma norma específica que oriente as etapas de descomissionamento de reatores de pesquisa. Entretanto, em março de 2011 foi constituída uma comissão de estudo com a atribuição principal voltada às questões de descomissionamento das instalações nucleares brasileiras, culminando na resolução 133, de 8 de novembro de 2012, um projeto de norma que dispõe sobre o Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas. O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) possui dois reatores de pesquisa sendo um deles o reator IPEN/MB-01. O objetivo dessa dissertação de mestrado é elaborar um plano preliminar de descomissionamento desse reator de pesquisa, considerando a documentação técnica da instalação (RAS-Relatório de Análise de Segurança), as normas existentes da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), assim como as recomendações da AIEA. Em termos de procedimentos de descomissionamento para reatores de pesquisa, este trabalho se baseou no que existe de mais moderno em experiências, estratégias e lições aprendidas realizadas e documentadas nas publicações da AIEA que abrangem técnicas e tecnologias de descomissionamento. Considerando estes conhecimentos técnicos e às peculiaridades da instalação, foi selecionada a estratégia de desmantelamento imediato, que corresponde ao início das atividades de descomissionamento assim que a instalação for desligada, dividindo-a em setores de trabalho. Como recurso de gerenciamento e acompanhamento do projeto de descomissionamento do reator e manutenção de registros, foi desenvolvido um banco de dados utilizando o programa Microsoft Access 2007, no qual contêm todos os itens e informações referentes ao plano preliminar de descomissionamento. O trabalho aqui descrito busca atender os requisitos, critérios técnicos e institucionais, incorporando o que se tem de mais atual em procedimentos de descomissionamento, podendo servir como guia para as demais instalações brasileiras.

PRELIMINARY DECOMMISSIONING PLAN OF THE REACTOR IPEN/MB-01

Ary de Souza Vivas

ABSTRACT

Around the world, many nuclear plants were built and need to be turned off at a certain time because they are close to their recommended time of use is approximately 50 years. So the IAEA (International Atomic Energy Agency), seeks to guide and recommend a set of guidelines for the conduct of activities of nuclear facilities, with special attention to countries that do not have a framework regulatory Legal that sustain the activities of decommissioning. Brazil, so far, does not have a specific standard to guide the steps of the guidelines regarding decommissioning research reactors. However, in March 2011 a study committee was formed with the main task facing the issues of decommissioning of nuclear installations in Brazil, culminating in Resolution 133 of November 8, 2012, a standard project that treat about the Decommissioning of nucleoelectric plants. O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) has two research reactors one being the reactor IPEN/MB-01. The purpose of this master dissertation is to develop a preliminary plan for decommissioning this research reactor, considering the technical documentation of the facility (RAS-Safety Analysis Report), the existing standards of CNEN (National Nuclear Energy Commission), as well as IAEA recommendations. In terms of procedures for decommissioning research reactors, this work was based on what is most modern in experiences, strategies and lessons learned performed and documented in IAEA publications covering techniques and technologies for decommissioning. Considering these technical knowledges and due to the peculiarities of the facility, was selected to immediate dismantling strategy, which corresponds to the start of decommissioning activities once the installation is switched off, dividing it into work sectors. As a resource for monitoring and project management of reactor decommissioning and maintenance of records, we developed a database using Microsoft Access 2007, which contain all the items and information for the preliminary decommissioning plan. The work described here aims to meet the requirements, technical and institutional criteria, incorporating what is most current procedures and lessons learned of decommissioning, may serve as a guideline for the other brazilian facilities.

SUMÁRIO

1-INTRODUÇÃO.....	1
2-OBJETIVOS.....	5
2.1-Atributos gerais.....	5
2.2-Objetivos Específicos.....	5
3- HISTÓRICO.....	6
3.1-Estado da Arte.....	8
4-EXPERIÊNCIAS E ESTRATÉGIAS DE DESCOMISSIONAMENTO.....	25
4.1-Descomissionamento do reator de pesquisa (BR-3, Bélgica).....	25
4.2-Experiência operacional de técnicas de descomissionamento para reatores de pesquisa no reino Unido:.....	26
4.2.1-Reator ICI Triga Mk1.....	27
4.2.2- Descomissionamento do reator de pesquisa escocês.....	29
4.3-Estratégias de Descomissionamento para o reator AM-Federação Russa.....	32
4.4-Abordagem para o planejamento do descomissionamento do reator de pesquisa egipcio ET-RR-1.....	34
4.5- Descomissionamento do reator de pesquisa Astra MTR.....	36
5-NORMAS E DOCUMENTOS.....	39
5.1-Normas Nacionais.....	39
5.1.1-Norma CNEN-NN-8.01.....	40
5.1.2-Norma CNEN-NE-6.06.....	40
5.1.3-Norma CNEN-NN-6.09.....	40
5.1.4-Norma CNEN-NE-3.01.....	41
5.1.5-Norma CNEN-NE-3.02.....	41
5.1.6-Norma CNEN-NE-5.01.....	41
5.1.7-Norma CNEN-NE-5.02.....	41
5.1.8-Relatório de Análise de Segurança (RAS).....	42
5.2-Recomendações Internacionais.....	42
5.2.1-Decommissioning Techniques of Research Reactors.....	42
5.2.2- Decommissioning of Research Reactors: Evolution, State of the Art, Open Issues.....	43
5.2.3-Selection of Decommissioning Strategies: Issues and Factors.....	43
5.2.4-Standard Format and Content for Safety Related Decommissioning Documents(Safety Report Series No. 45).....	43
6-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	45

6.1	-Estratégias de descomissionamento.....	45
6.2	Gestão de rejeitos no descomissionamento de reatores de pesquisa	48
7	METODOLOGIA	52
8-GUIA DE PROCEDIMENTOS DE DESCOMISSIONAMENTO PARA O REATOR		
IPEN\MB-01		54
8.1	-Introdução.....	55
8.2	-Descrição da Instalação.....	55
8.2.1	-Conjunto Crítico	59
8.2.1.1	-Vareta Combustível	61
8.2.1.2	- Elementos de Controle e Segurança	62
8.2.1.3	-Mecanismo de Acionamento.....	63
8.2.1.4	-Placas Espaçadoras	63
8.2.1.5	-Instrumentação	63
8.2.1.6	-Estruturas e Componentes	64
8.2.2	-Histórico Operacional.....	66
8.3	-Estratégia de Descomissionamento	67
8.3.1	- Inventário de Doses da Célula Crítica.....	67
8.3.2	-Recursos Humanos	69
8.3.3	-Tecnologia Requerida.....	69
8.3.4	- Instalações de Gerenciamento de Rejeitos.....	70
8.3.5	-Impactos na Saúde, Segurança e Meio Ambiente	70
8.3.6	-Seleção da Estratégia.....	71
8.4	-Gestão de Projeto	71
8.4.1	- Abordagem de Gerenciamento de Projeto	72
8.4.2	-Organização e Responsabilidades de Gestão de Projeto	72
8.4.3	-Responsabilidades e Organização no Gerenciamento de Tarefas.....	79
8.4.4	-Cultura de Segurança	81
8.4.5	-Treinamento	81
8.5	-Atividades de Descomissionamento.....	82
8.6.1	-Recomendações do Safety Report Series nº 45	85
8.7	-Gestão de Rejeitos Radioativos	86
8.7.1	-Estratégia de Gestão de Rejeitos Radioativos	86
8.7.2	- Inventário Radioisotópico dos Componentes do Conjunto Crítico.....	88
8.7.3	-Destinação dos Rejeitos Radioativos.....	91
8.7.4	-Registros	92
8.7.5	-Recomendações para o Plano de Gestão de Rejeitos.....	92
8.8	-Estimativa de Custo e Mecanismos de Financiamento	93

8.8.1-Estimativa de Custo	94
8.8.2-Mecanismos de Financiamento	94
8.8.3-Recomendações do Documento Financial Aspects of Decommissioning.....	94
8.8.3.1-Identificação de Custos no Descomissionamento	95
8.8.3.1.1-Técnicas de Estimativa de Custo	95
8.8.3.1.2-Definição de Elementos de Custo	96
8.8.3.1.3-Processo de Estimativa de Custo	97
8.8.3.2-Fatores que propiciam a redução de custos	98
8.8.3.3-Recomendações Específicas.....	98
8.8.3.3.1- Recomendações para estimativa de custo.....	98
8.8.3.3.2-Recomendações para coleta e gerenciamento de fundos.....	99
8.8.3.3.3- Recomendações para redução de custos	100
8.8.4-Cerrex.....	100
8.9-Avaliação de Segurança	101
8.9.1- Recomendações do documento Safety Report Series Nº 45	101
8.9.2-Recomendações do documento Safety Assessment for Decommissioning ...	101
8.9.2.1-Objetivos da Avaliação de Segurança	102
8.9.2.2-Etapas na Avaliação de Segurança	102
8.9.2.3-Abordagem Gradual.....	102
8.9.2.4-lições Aprendidas	103
8.9.2.5-Exemplos de Aplicação de Procedimentos de Avaliação de Segurança	104
8.9.2.5.1-Consequências de Acidentes e Classificação de Risco	107
8.10-Avaliação Ambiental.....	108
8.10.1-Recomendações do Documento Safety Report Series nº45	109
8.10.2-Determinações das Posições Regulatórias 3.01/008:2011 e 3.01/009:2011	109
8.10.2.1-Posição Regulatória CNEN 3.01/008:2011.....	109
8.10.2.2-Posição Regulatória CNEN 3.01/009:2011.....	111
8.10.2.3-Programa de Monitoração Radiológica Ambiental do IPEN/CNEN-SP.....	111
8.10.3-Demais Recomendações.....	112
8.11-Saúde e Segurança	112
8.11.1-Recomendações do Documento Safety Report Series nº45	113
8.11.2-Plano Geral de Radioproteção do IPEN/CNEN-SP	113
8.11.2.1-Atribuições, Competências e Responsabilidades.....	114
8.11.2.2-Procedimentos de Radioproteção	115
8.11.3-Plano de Segurança do Trabalho.....	116
8.12-Garantia de Qualidade	116
8.12.1-Recomendações do Documento Safety Report Series nº45	117

8.12.2-Determinações da norma CNEN-NN-1.16	117
8.12.3-Recomendações Complementares	119
8.13-Plano de Emergência.....	119
8.13.1-Recomendações do documento Safety Report Series nº45.....	120
8.13.2-Plano de Proteção contra Incêndio do Reator IPENMB-01.....	120
8.13.3-Plano de Emergência Radiológica do IPEN/CNEN-SP.....	121
8.13.4-Conclusão.....	121
8.14-Segurança Física e Salvaguardas.....	121
8.14.1-Recomendações do documento Safety Report Series nº45.....	122
8.14.2-Determinações da norma CNEN-NE-2.01	122
8.14.3-Determinações da Norma CNEN-NN-2.02.....	124
8.14.4-Procedimentos de proteção física e controle de materiais no reator IPENMB-01.	124
8.14.5-Recomendações Complementares	124
8.15-Levantamento Final de Radiação.....	125
9-FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO DE PROJETO.....	126
9.1-Aplicação da Ferramenta: Desmonte do tubo guia.....	126
9.1.1-Janela 7: Desmonte do tubo guia	127
9.1.2-Corpo de Trabalho	128
9.1.3-Custo	129
9.1.4-Desenvolvimento da tarefa	130
10-CONCLUSÕES.....	135
11-CONTRIBUIÇÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS	136
12-REFERÊNCIAS	137
APENDICE A- Recomendação complementar: Principais ações do Plano de Vigilância e Manutenção para o Descomissionamento do Oak Ridge National Laboratory	149

1-INTRODUÇÃO

Nos últimos 60 anos, o programa nuclear brasileiro vivenciou avanços, que resultou na construção dos seus seis reatores existentes (4 de pesquisas e 2 de potência) e mais um reator de potência em construção (ANGRA-III). Com a criação da CNEN em 1956 foi possível normatizar a utilização da energia nuclear para fins pacíficos, regulando as atividades e práticas utilizando radiação ou material radioativo. Referente às instalações nucleares, a CNEN possui legislação específica com várias normas que abrange o licenciamento das instalações nucleares como a norma CNEN-NE-1.04 [1] e todos os procedimentos de segurança necessários para a operação de instalações nucleares. Mas a etapa relacionada após o período operacional, o descomissionamento, não foi contemplada em sua totalidade pela legislação existente. Para atender os requisitos inerentes aos procedimentos de desativação de uma instalação nuclear, especificamente os reatores de potência, foi publicada apenas uma norma referente ao descomissionamento de usinas nucleoeletricas [2].

As lições aprendidas sobre o acidente nuclear de Fukushima ocorrido no dia 11 de março de 2011[3] promoveram uma série de revisões nos programas nucleares de diversos países, incluindo o próprio Japão, com o intuito de implementar medidas que aprimorem e reforcem a segurança em todas as fases de uma instalação nuclear. Um ponto importante nessa revisão e de grande relevância é a questão do descomissionamento.

O descomissionamento refere-se às ações implementadas para o desligamento de uma instalação nuclear no âmbito técnico e administrativo visando à remoção total ou parcial dos seus controles regulatórios se atendo a segurança do local da instalação, a saúde dos trabalhadores e público geral e a minimização de impactos ao meio ambiente [4]. Essas ações requerem planejamento e organização para garantir a segurança durante as atividades que são sintetizadas no plano de descomissionamento.

Os Estados Unidos, Canadá e alguns países da Europa, detentores de um avançado programa nuclear, possuem estabelecidas as práticas, legislação e diretrizes referentes ao descomissionamento. Já para outros países a questão do descomissionamento vem ganhando relevância mais recentemente, não havendo norma ou diretriz específica para esse fim. Dessa forma, a AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) busca orientar a realização das atividades de descomissionamento com intuito de reforçar a segurança em todas as etapas a serem realizadas no período de preparação, execução e término das atividades de desativação de uma instalação nuclear.

A AIEA orienta que toda instalação nuclear, já na fase de projeto, possua um plano de descomissionamento. Este plano é definido como o conjunto de todas as ações iniciais, intermediárias e finais a serem realizadas para o descomissionamento de uma instalação nuclear com máxima segurança. Em alguns países membros da AIEA como exemplo a Hungria, o plano preliminar de descomissionamento é exigido como requisito para a etapa de comissionamento da instalação nuclear [5]. No Brasil, desde o ano de 2012, para as instalações nucleoeletricas, um plano preliminar e um plano final de descomissionamento devem ser elaborados como parte integrante do processo de licenciamento [2].

Um dos principais documentos publicados pela AIEA referente a descomissionamento de instalações nucleares é o SAFETY REPORT SERIES No.45 [6]. Nele constam todos os itens que devem ser contemplados em um plano de descomissionamento, sendo uma importante referência no presente trabalho.

Dessa forma, em função deste contexto atual mundial relacionado à energia nuclear, o Brasil, onde nenhuma de suas instalações possui um plano de descomissionamento, mesmo de forma preliminar, se faz necessário o desenvolvimento de tal plano no intuito de auxiliar o país no processo de adequação as orientações e padrões internacionais e reforçar a credibilidade, qualidade e segurança de seu programa nuclear.

O IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), situado nas dependências da Universidade de São Paulo, possui dois reatores de pesquisa, o Reator IEA-R1 e o reator IPEN/MB-01. O reator IPEN/MB-01 foi concluído no ano de 1988 em parceria entre o IPEN e o CTM-SP (Centro Tecnológico da Marinha de São Paulo), vinculado ao projeto do submarino nuclear brasileiro. É um reator de pesquisa do tipo potência zero, com potência nominal máxima de 100W. Tem como principal característica a versatilidade de montagem de diferentes arranjos críticos de núcleo, com diferentes configurações, com objetivo de realizar testes de núcleos de propulsão naval para um submarino nuclear [7]. Além disso, realiza diversos experimentos com finalidade acadêmica, oferece treinamento para operadores da marinha e operadores das usinas de Angra I e Angra II, tendo um papel importante na história do programa nuclear brasileiro.

A proposta dessa dissertação de mestrado consiste na elaboração de um guia de procedimentos para a elaboração do plano preliminar de descomissionamento do reator IPEN/MB-01 considerando as normas da CNEN, recomendações internacionais da AIEA e a documentação técnica da instalação RAS (Relatório de Análise de segurança)[8]. A opção de elaborar este tipo de documento consiste no fato da instalação não possuir nenhuma diretriz norteadora para desenvolvimento de procedimentos de descomissionamento, mesmo em caráter preliminar e ainda não haver previsão do

término de operação em caráter definitivo, considerando ainda a ocorrência de possíveis modificações de projeto, as quais deverão constar no plano final de descomissionamento. A fim de facilitar a implementação dos procedimentos de gestão de projeto, manutenção de registros e acompanhamento das atividades de descomissionamento, foi desenvolvida uma ferramenta piloto utilizando o programa ACCESS 2007 que foi aplicada no desmonte e destinação final de um componente do conjunto crítico do reator chamado tubo guia.

Este guia de procedimentos para o desenvolvimento do plano preliminar de descomissionamento do reator IPEN/MB-01 tem o papel de orientar as atividades de descomissionamento a serem realizadas futuramente, dando suporte para a elaboração do plano final de descomissionamento da instalação assim que iniciar o desligamento do reator em definitivo. Este documento preliminar foi planejado e elaborado seguindo normas nacionais e recomendações internacionais referentes ao descomissionamento sempre com atenção especial a segurança dos trabalhadores, público e meio ambiente, se atendo a adequação a legislação brasileira, orientações da AIEA, com as peculiaridades do reator IPEN/MB-01 e a realidade nacional. Essa dissertação de mestrado servirá como referência na elaboração de outros planos de descomissionamento das demais instalações nucleares brasileiras.

O descomissionamento de uma instalação nuclear envolve procedimentos diferentes da fase operacional, onde os níveis de doses, termo fonte e os riscos associados à execução de determinadas tarefas nesta fase não são rotineiros e requerem planejamento e gerenciamento específicos. Dessa forma, novas questões de segurança ganham relevância durante a implementação das atividades de descomissionamento [6].

Durante muitos anos, em diversos países, o descomissionamento tanto de reatores de pesquisa como de usinas nucleares foi realizado seguindo diretrizes do quadro de regulamentos estabelecido em fase operacional, não se atendo as peculiaridades da fase de desativação [9].

Com o suporte fornecido pela AIEA, esse quadro vem se modificando, proporcionando uma consciência maior sobre a especificidade e necessidade de planejamento adequado em ações de remoção de controles regulatórios de uma instalação. Para se obter êxito em todas as etapas associadas à desativação de uma instalação nuclear, que envolve planejamento, gerenciamento e execução de atividades de desmantelamento e descontaminação, a AIEA recomenda a elaboração de um plano de descomissionamento. Este é desenvolvido basicamente em três etapas:

Em uma primeira etapa encontra-se o plano inicial de descomissionamento onde é desenvolvido juntamente com a fase de projeto da instalação. Na segunda etapa trata-se a atualização do plano considerando todas alterações técnicas e operacionais

ocorridas durante a operação da planta. A terceira e última etapa consiste no plano final de descomissionamento, levando em conta todas as considerações anteriores tornando aptos todos os procedimentos a serem implementados no desligamento e desmonte permanente da instalação, submissão ao corpo regulatório e avaliação do mesmo [6]. Regra geral, o processo de descomissionamento na atualidade, não respeita as etapas aqui mencionadas. No caso do reator IPEN/MB01, este se encontra em operação não tendo sido considerado em nenhum momento a elaboração de um plano de descomissionamento, situação esta que culminou na necessidade de um estudo preliminar objetivando o desenvolvimento de tal plano que é o cerne da proposta aqui apresentada. Considerando tal situação o desenvolvimento de um plano, mesmo de forma preliminar, deve se ater em um primeiro momento no levantamento sobre o histórico da instalação focando-se nas ocorrências durante o seu funcionamento, nos registros técnicos disponíveis quanto a manutenções e atualizações tecnológicas e no inventário radiológico.

Esta proposta preliminar dará suporte técnico na elaboração futura de outros documentos associados à segurança dos trabalhadores, público geral e meio ambiente contemplados no plano final de descomissionamento, servindo como diretriz norteadora na avaliação para tomada de decisões do corpo gestor das atividades quando previsto o desligamento da instalação em caráter definitivo [6].

2-OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo elaborar um guia de procedimentos para o desenvolvimento do plano preliminar de descomissionamento do reator IPEN/MB-01 baseado nas normas CNEN, recomendações da AIEA e no documento referente à instalação intitulado RAS [8].

2.1-Atributos gerais

- Atender ao requisito regulatório da CNEN, buscando adequar a instalação ao contexto internacional com relação à exigência de um plano preliminar de descomissionamento.
- Proporcionar um documento no qual possui diretrizes que irão nortear o desenvolvimento de um plano final de descomissionamento.
- Reforçar os procedimentos de segurança estabelecidos na instalação, visando assegurar que as futuras atividades de descomissionamento sejam executadas com máxima segurança e de acordo com os princípios ALARA.

2.2-Objetivos Específicos

- Desenvolver e propor um conjunto de ações preliminares que envolvem planejamento, gerenciamento e execução de tarefas para o descomissionamento do conjunto crítico do reator IPEN/MB01 baseado na elaboração de procedimentos segundo normas CNEN, AIEA e documentação técnica da instalação (RAS) [8] recomendando estratégias que podem ser utilizadas como base para as atividades de descomissionamento de toda instalação.
- Aplicar a ferramenta computacional desenvolvida com o programa ACCESS 2007 para gerenciamento de uma atividade específica de descomissionamento, no caso, o desmonte do tubo guia, gerenciamento e destinação final deste material. Esse modelo de atividade servirá de suporte para o desenvolvimento das demais atividades de descomissionamento dos outros setores.
- Identificar e incorporar o conhecimento de descomissionamento de instalações similares visando o aperfeiçoamento dos procedimentos a serem adotados no plano preliminar.

3- HISTÓRICO

Em todo mundo, muitas instalações nucleares foram construídas e necessitarão serem desligadas em um determinado momento por estarem próximas do seu tempo recomendado de utilização que é de aproximadamente 40 anos. Sendo assim, estas instalações devem passar pelo processo de descomissionamento, ou seja, a etapa final do ciclo de vida da instalação nuclear.

Especificamente para os reatores de pesquisa, o gráfico 1 apresenta o número de instalações existentes de acordo com sua idade.

Gráfico -1: Número de reatores de pesquisa com relação à idade [10]

Observa-se que existe uma grande quantidade de reatores de pesquisa com idade igual ou superior a 40 anos. Segundo [10] o número estimado é de 152 reatores de pesquisa. Isso gera uma grande preocupação em termos de descomissionamento, pois muitas destas instalações estão em operação e deveriam ser descomissionadas ou estar em processo de descomissionamento. Para países como Estados Unidos, Canadá e grande parte da Europa, não há grande problema, pois possuem vasta experiência em seus programas nucleares, dispõem de recursos técnicos e financeiros para a realização de atividades de descomissionamento e uma legislação específica que ampare e oriente tais atividades. Entretanto, países que não contemplam tais vantagens, geralmente países em desenvolvimento, não possuem recursos e experiências para a realização de atividades de descomissionamento. Soma-se a isso, o fato de existir muitos reatores desligados há anos nestes países, nos quais nenhuma ação foi tomada, acarretando na deterioração dos materiais e estruturas existentes na instalação, riscos radioativos associados à exposição e vazamento de substâncias radioativas ao meio ambiente.

O florescimento da indústria nuclear com a construção de inúmeros reatores nucleares, e aqui especificamente, os reatores de pesquisa, se voltou com o foco na etapa de comissionamento e licenciamento das instalações, deixando de lado a questão do descomissionamento. Dessa forma, havia uma concepção, que ainda é presente em alguns países, de que o descomissionamento era algo a ser realizado a longo prazo, não necessitando de um planejamento prévio sendo considerado de fácil execução. [11]

Esse quadro começou a mudar quando a AIEA iniciou o suporte as atividades de descomissionamento por meio de publicações, treinamentos, workshops, com o foco nos países que não possuem legislação específica e recursos para a realização do descomissionamento de suas instalações nucleares. A tabela 1 mostra a situação atual dos reatores de pesquisa existentes.

Tabela 1- Situação atual dos reatores de pesquisa no mundo[12]

Situação	Países Desenvolvidos	Países em Desenvolvimento	Todos os Países
Operando	159	87	246
Desligamento temporário	13	8	21
Em construção	3	3	6
Planejados	4	7	11
Desligados	121	21	142
Descomissionados	314	24	338
Cancelados	4	4	8
Total	618	154	772

Observa-se na tabela 1, a existência de um número significativo de reatores de pesquisa localizados em países em desenvolvimento e que necessitarão um dia serem descomissionados, incluindo também os reatores desligados. Para facilitar o planejamento e execução do descomissionamento, a AIEA orienta que toda instalação possua um plano de descomissionamento.

A AIEA propõe uma série de recomendações para a realização de atividades de descomissionamento iniciando pelo plano e suas respectivas etapas de preparação, voltada ao planejamento das atividades, e execução, que envolve todos os procedimentos práticos das tarefas de descomissionamento, incluindo as atividades de descontaminação e desmantelamento da instalação. Descontaminação refere-se a atividades de remoção e redução da contaminação radioativa de risco em todos dispositivos e equipamentos da instalação. Já o desmantelamento inclui técnicas de remoção e cortes para a retirada de materiais da instalação nuclear com segurança. [9]

Todas estas ações da AIEA tem como principal objetivo conscientizar, em especial, países em desenvolvimento ou que não possuam um quadro regulatório legal referente ao descomissionamento, da importância de sua realização com planejamento prévio e de todos os fatores que estão relacionados na totalidade de suas fases.

3.1-Estado da Arte

Conforme mencionado no item anterior, houve um aumento expressivo do número de reatores da década de 50 e 60. Atualmente, diferente do período citado, há um crescimento gradual na construção de reatores de pesquisa de tal forma que o número de reatores desligados e descomissionados superam o número de reatores de pesquisa em operação. Consequentemente, influenciado pelas ações da AIEA na disseminação de informações e suporte referente ao descomissionamento, houve um aumento em escala global de consciência da realização de tarefas de descomissionamento de forma planejada, acarretando no seu crescimento. Isso proporcionou a criação e expansão do mercado comercial na área de descomissionamento no qual inclui o surgimento, principalmente, de companhias especializadas e de consultoria na área. Entretanto, ainda existem muitos estados membros da AIEA, que por dificuldades financeiras, não elevaram o grau de desenvolvimento deste mercado, afetando diretamente a possibilidade de competição no mesmo. [11].

Há também avanços nas áreas de eletrônica, computação e operações remotas no qual possibilitou uma melhora significativa das técnicas de descontaminação e desmantelamento [11]. Além disso, órgãos reguladores ambientais se tornaram mais rigorosos referente ao projeto de descomissionamento, requerendo detalhadas avaliações de segurança, de impacto ambiental, descrição das atividades de desmantelamento e descontaminação e até mesmo o envolvimento de partes interessadas. Estas partes são constituídas por grupos de indivíduos no qual o projeto de descomissionamento afeta direta ou indiretamente em diversos aspectos como econômicos e sociais, podendo influir na tomada de decisão com relação ao andamento das atividades, como por exemplo, governantes, lideranças comunitárias da área próxima a instalação, ambientalistas, entre outros [13].

O sucesso do projeto de descomissionamento depende principalmente dos seguintes fatores: planejamento e gerenciamento compatível com às especificidades da instalação; caracterização radiológica; estimativa de custos; técnicas de desmantelamento e descontaminação e o gerenciamento de rejeitos radioativos. Uma discussão específica desses fatores e outros relacionados são encontradas em [11] e [14].

A seguir, serão descritos o quadro atual e os principais avanços dos fatores citados que influenciam diretamente no descomissionamento:

Planejamento e Gerenciamento

Mesmo com avanços e publicações na área de descomissionamento de reatores de pesquisa, ainda hoje, para muitos países que possuem programa nuclear, existe uma percepção que o descomissionamento é de fácil gerenciamento, planejamento e pode ser realizado a qualquer momento. Outros agravantes são o fato de muitos países possuírem infraestrutura inadequada para executar atividades de descomissionamento e a falta de regulamentos que orientam a realização de todos os procedimentos a serem realizados. Atualmente, é consenso entre a maioria dos países membros da AIEA, que para descomissionar um reator de pesquisa com máxima segurança é necessário um planejamento prévio e gerenciamento organizado que envolverá diversos fatores como preocupações com a sustentabilidade, seleção e estudo de estratégias e técnicas de descomissionamento adequadas às peculiaridades do reator, fundos, recursos humanos e tecnologias disponíveis. Além disso, inclui também o estabelecimento de critérios de liberação de rejeitos, levantamento radiológico final, gestão de combustível e previsão de situação final após as atividades de descomissionamento[11].

A recomendação mais recente da AIEA é que o planejamento do descomissionamento se inicie na fase de projeto da instalação [9] e não após o desligamento. Em muitos casos, não houve possibilidade de elaborar um plano preliminar na fase de projeto. Nesse caso, se faz necessário a elaboração de um plano de descomissionamento o quanto antes. Nos últimos 10 anos a AIEA auxiliou alguns países membros, como por exemplo, China e Romênia, na elaboração de seus planos preliminares de descomissionamento para reatores de pesquisa [15].

Uma prática usual que permite a coleta de dados e informações relevantes para o planejamento do descomissionamento são as atividades de reforma e troca de componentes de uma instalação. Experiências de sucesso foram executadas e documentadas no Reino Unido, Paquistão e Índia e estão presentes em [16].

Alguns estados membros da AIEA passaram a adotar a chamada Abordagem Integrada que consiste no planejamento integrado de descomissionamento, podendo ser aplicado em varias instalações. Isto permite uma melhor organização das atividades e a elaboração de princípios gerais e padrões no planejamento do descomissionamento. O Reino Unido, [17] e Canadá [18], alcançaram bons resultados na utilização desta abordagem.

Com relação à organização do trabalho, nos últimos anos a Estrutura de Divisão de Trabalho vindo sendo adotada por muitos países membros da AIEA. Essa estrutura

agrupa as atividades de tal forma que facilite seu gerenciamento e implementação, possibilitando a realização de uma programação compatível com as tarefas a serem executadas. A seguir é mostrado um exemplo geral sobre a Estrutura de Divisão do trabalho [11]:

- Objetivos do projeto: Descomissionamento de um reator de pesquisa.
- Subseções: Desmantelamento de um sistema específico.
- Tarefas Individuais: Remoção de tubulação ou de um sistema.
- Sub-Tarefas: Corte de tubulação, desmontagem de um sistema.

Este tipo de organização de trabalho também auxilia na estimativa de custo, tempo, recursos, no acompanhamento do projeto e nas metas a serem alcançadas. [11]. O programa UKAEA PRICE é um exemplo relevante e tem a função de estimar o custo de um projeto de descomissionamento por meio de informações sobre o gerenciamento e das tarefas a serem implementadas, incluindo os materiais utilizados, sob uma organização por estrutura de divisão do trabalho [19] e [20].

Uma questão importante para o planejamento e gerenciamento no processo de remoção de controles regulatórios é a necessidade de uma legislação específica para este fim. Avanços ocorreram relacionados a uma maior adoção e elaboração de regulamentos voltados ao descomissionamento, principalmente em função das ações desenvolvidas pela AIEA., pois durante muito tempo, o planejamento e implementação do projeto de descomissionamento recorreu à legislação estabelecida na fase operacional.[11]

Nos últimos anos, progressos foram obtidos no que tange a adoção de ações em descomissionamento baseadas em regulamentos e medidas de segurança específicas. Há atualmente um conjunto de orientações com maior grau de padronização como os documentos [6], [9], [21] e [22]. Entretanto, algumas questões como a definição de critérios padrão de nível de liberação para determinados materiais radioativos ainda não estão estabelecidos de forma contundente [23].

Referências que discutem com detalhes diversos aspectos relacionados ao gerenciamento e planejamento e exemplificam algumas situações dos fatores que o contemplam encontram-se em [24], [25] e [26].

Técnicas de Caracterização Radiológica

A caracterização radiológica consiste em um inventário radiológico completo e detalhado que inclui a caracterização de fontes, componentes, materiais, sistemas contaminados ou ativados. Basicamente, a caracterização radiológica é dividida em três fases que são: pesquisa inicial com a coleta de informações e levantamento do projeto da instalação; uso do local da instalação antes de iniciar sua operação e registros da planta [11]. Além disso, fornece informações importantes que facilitam a identificação e

delineamento de áreas contaminadas ou ativadas, os tipos de radionuclídeos existentes em determinados componentes ou na área como um todo. Essas contribuições auxiliam no planejamento e estimativa de custo.

Atualmente, em função de inúmeras experiências em descomissionamento, é de fundamental importância para o sucesso das atividades de descomissionamento e redução de custos que a caracterização radiológica seja realizada de forma antecipada, minuciosa e com instrumentação adequada. O uso de tecnologias da computação auxiliam no planejamento da caracterização radiológica. No projeto de descomissionamento do reator TRIGA da República da Coreia foi utilizado um programa que permitia a visualização em 3D da instalação a fim de se obter informações iniciais para a realização das atividades de caracterização radiológica assim como simular atividades de descomissionamento [16]. Um projeto semelhante foi realizado no descomissionamento do reator belga BR-3 com foco na avaliação de dose na proteção radiológica e no campo da otimização de doses [27].

Nos últimos anos, para muitos países membros da AIEA, tornou-se usual investigações iniciais e pesquisas profundas referente aos radionuclídeos existentes, por meio de utilização de métodos que possibilitem uma estatística confiável em virtude de possíveis variações nas concentrações dos elementos identificados [11]. O objetivo é garantir a qualidade e minuciosidade da caracterização radiológica. Órgãos Reguladores estão cada vez mais exigentes com respeito ao detalhamento da caracterização radiológica para a aprovação de planos de descomissionamento. A referência [28] apresenta e discute diversos métodos de caracterização radiológica. A tabela 2 destaca os dados necessários para a caracterização radiológica, métodos de coleta e uso específicos dos dados.

Tabela-2: Dados Necessários para Inventário de Radionuclídeos, Utilização e Métodos de Coleta de Dados[29].

Dados Necessários	Uso Específico dos Dados	Métodos de Coleta de Dados
Radiação Alfa, Beta e Gama ou Taxas de exposição	Necessário para identificar perigos referentes à radiação, especificar métodos e procedimentos de descomissionamento e para estimar volume de rejeitos.	Medidores diretos de radiação, nível de seleção e monitoramento de ar.
Quantidade de contaminação livre e fixa nas superfícies	Necessária para avaliar a efetividade da pré-descontaminação, planejar a proteção nos gases liberados e identificar medidas de proteção pessoal.	Análises por amostra de esfregaço e medidas de radiação correlacionadas.
Localização de fontes de radiação e contaminação.	Necessário para avaliar a seqüência de ações do projeto de descomissionamento e especificar os procedimentos e métodos a serem seguidos.	Escaneamento de radiação direta e conhecimento sobre o histórico da instalação.
Penetração de contaminação em paredes e pisos.	Necessário para avaliar a seqüência de ações do projeto de descomissionamento e especificar os procedimentos e métodos a serem seguidos.	Escaneamento e análise de amostras do núcleo.
Níveis de Contaminação no Solo e próximo da instalação.	Necessário para especificar os procedimentos e métodos a serem seguidos e avaliar os perigos de escavação e remoção de fundações da instalação.	Análise de amostras de solo e dados do histórico de amostras no solo.

O desenvolvimento de técnicas para medição de concentrações de radionuclídeos vem facilitando o trabalho de caracterização radiológica, devido ao grande número de radionuclídeos e muitos desses de difícil detecção. O aprimoramento dos espectrômetros gama, útil para detecção de radionuclídeos em superfícies de edifícios e medidas de solo, e detectores de NaI ou Ge, projetados para medidas de liberação de

edifícios e locais, tem auxiliado na promoção de caracterizações radiológicas cada vez mais eficazes.[11]. Exemplos de aplicações são encontrados em [30] e [31].

Sistemas para aperfeiçoamento na contagem de radionuclídeos foram desenvolvidos para melhoramento dos dados obtidos. Exemplos de sistemas [32] e [33] são encontrados no descomissionamento do reator de pesquisa CP-5 onde se utilizou o sistema de espectroscopia portátil ISOCS (In Situ Object Counting System) que fornece informações sobre o tipo e quantidade de material radioativo, e o outro sistema utilizado nesse mesmo reator chamado de MACS (Mobile Automated Characterization System) [34]. Outra aplicação é encontrada em [35]. A tabela 3 apresenta alguns dispositivos que são atualmente utilizados para a caracterização de áreas e materiais.

Tabela 3: Dispositivos atuais para caracterização de áreas e materiais [11]

<u>Dispositivos de Caracterização</u>	<u>Descrição</u>
<i>Localizadores Gama/Câmeras gama de sobreposição</i>	-Diferentes pontos coloridos refletem na intensidade da taxa de dose gama para um quadro normal de ambiente.
<i>Instalações de medição de liberação</i>	-Consiste em um número de detectores, geralmente contadores de cintilação, em torno do material a ser medido em quatro ou seis lados em uma geometria 4π , no qual emissões gamas são contadas permitindo um pré-cálculo da atividade do nuclídeo específico contendo um nuclídeo vetor sendo este uma espécie de impressão digital.
<i>Medições de Coincidência de Cobalto, (MCC)</i>	-É um método que é praticável em áreas onde a contaminação principal é oriunda do Co(60) e onde existe alta radiação de fundo. Pares de detectores são colocados em torno do material a ser caracterizado para detectar os dois fótons emitidos em cada decaimento do átomo de Co(60) e quando estes fótons são registrados em um certo intervalo de tempo, o decaimento é atribuído ao material. Caso isto não ocorra, é descontado o nível de fundo. [36]

Associado a estes dispositivos está atrelado um bom planejamento e organização das tarefas de caracterização radiológica. Um exemplo relevante encontra-se em [37] no descomissionamento do reator de pesquisa JASON. Os trabalhos de caracterização radiológica foram divididos em duas fases; A fase 1 se baseou no

reconhecimento do sítio e área, levantamento de registros históricos e revisão geológica e hidrológica; e a fase 2 no início dos trabalhos efetivos de caracterização radiológica em estruturas e componentes da instalação. Detalhes sobre o planejamento implementado para a caracterização radiológica do reator CP-5 encontram-se em [37].

Figura 1: Demonstração prévia de atividade de caracterização radiológica no reator CP-5[11]

Custo e Fundos

O projeto de descomissionamento demanda estimativas de custo e fundos disponíveis ou previstos para a sua implementação. É fundamental que o planejamento orçamentário realizado seja compatível com o projeto proposto, contemplando antecipadamente situações inesperadas. Nos últimos anos, houve progressos relacionados à melhoria da precisão na estimativa de custo e provisão de fundos.

Na estimativa de custo em descomissionamento, uma das questões centrais é a definição de fatores de custo. No ano de 1999, foi proposta uma lista padrão de custo de itens no descomissionamento[38] pelo grupo de trabalho que envolveu a participação da Comissão Européia (CE), AIEA e a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico/ Agência de Energia Nuclear (OCDE/AEN). O intuito desta lista era orientar a realização de estimativas, evitar discrepâncias e facilitar o intercâmbio de informações associadas à área. Esta lista não está plenamente definida, requerendo discussões e aperfeiçoamento[11].

Cabe ressaltar que esta lista padrão, ao ser aplicada, deve ser adaptada de acordo com as peculiaridades da instalação.

Um exemplo bem sucedido na utilização desta lista em estimativas de custos de projetos de descomissionamento de reatores de pesquisa é o aplicado no reator DR-3 na Dinamarca [39]. A estimativa realizada foi revisada no ano de 2001 por especialistas do Departamento de Descomissionamento do Laboratório Nacional Riso e conclui-se que há uma precisão maior que 90% para os valores de custo estipulados do projeto [40]. Esta lista também foi usada em projetos de descomissionamento de reatores de potência, conforme é descrito em [41].

No ano de 2009, o Grupo de Estimativa de Custo em Descomissionamento atualizou a lista de itens, criando a Estrutura Internacional de Custos em Descomissionamento (EICD) dois anos depois em uma reunião em Paris [42]. Juntamente com a criação da EICD, foi desenvolvido um programa em Excel com o intuito de facilitar a realização de estimativa de custo preliminar para reatores de pesquisa chamado CERREX - Costing Estimative for Research Reactor in Excel (Estimativa de Custo para Reatores de Pesquisa em Excel). Neste programa estão incluídos e organizados os principais itens necessários no projeto de descomissionamento, permitindo a realização de estimativas de forma mais prática por utilizar os recursos do software Excel que é de grande circulação mundial. A figura 2 mostra umas das páginas do programa CERREX.

	A	C	D	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AZ
1			© CERREX	Con	Fixed & period dependent cost input data					Labour cost unit factors & overheads [Euro/h]								Overh.
2			Version:	tin	Investment cost		Expences		1800	6,5	9,5	15,2	7,1	21,1	28,1	44,5	18,0	Licens.
3			DZ	gen	Fixed	Period	Fixed	Period	Dura	9,8	14,3	22,8	10,7	31,7	42,2	66,8	27,0	Contr.
4			24.5.2011	cy	specific	specific	(Assets	specific	tion	Working groups for period dependent activities								
5			© Internati	%	[Euro]	[Euro/y]	[Euro]	[Euro/y]	[y]	LBR	SKW	TCN	ADM	ENG	SEN	MNG	AVW	Total
6			0	ISDC No.														
7																		
8																		
9																		
10																		
12			01						0,1								5,0	5,0
13			01.0100	20					0,1								0,1	0,1
14			01.0101	20				5.000	5,0					5,0				5,0
15			1 01.0102				10 000										3,0	3,0
16			1 01.0103	20														0,0
17			01.0200	20					1,0								1,0	1,0
18			1 01.0201	20					0,6								3,0	3,0
19			1 01.0202	20					0,2								2,0	2,0

Figura 2- Estrutura Básica do Programa CERREX[42].

Além do CERREX, existem outros programas desenvolvidos e aperfeiçoados por empresas privadas que atuam no descomissionamento como o software DeCAT-Pro (Decomissioning Cost Analysis Tool) no qual possui inúmeras funcionalidades, permitindo organizar os trabalhos a serem realizados, estimar o custo de diversas tarefas, gerar relatórios e exportar e gerenciar os dados com facilidade [43].

Referente à provisão de fundos, este pode variar dependendo do tipo de projeto e pela maneira de captação estabelecida. Há situações onde os fundos são amparados por legislação específica, podendo ser previstos antes mesmo que a

instalação inicie os procedimentos de encerramento de suas atividades ou quando é estabelecido um compromisso de financiamento garantido para o futuro. [11]

Uma alternativa atualmente adotada por alguns países membros da AIEA é o fundo segregado que consiste na liberação de recursos mediante a comprovação que os mesmos serão utilizados exclusivamente para o projeto de descomissionamento. Este tipo de financiamento é adotado, por exemplo, pela República Checa, onde há uma lei que obriga o titular da licença realizar a provisão de fundos para descomissionamento quando a estimativa de custo ultrapassa determinado valor. Os recursos ficam depositados em uma conta bloqueada, onde são liberados de forma gradual, apenas para fins de descomissionamento, sob autorização da RAWRA (Radioactive Waste Repository Authority) e em consonância com o projeto de descomissionamento aprovado pela Secretaria de Estado para Segurança Nuclear da República Checa. [44].

Houve progressos com relação à importância de planejar e garantir que os fundos estejam disponíveis para projetos de descomissionamento em tempo adequado e de acordo com a estratégia adotada. Isso demanda uma abrangente e precisa estimativa do projeto de descomissionamento conforme é discutido em [45].

Técnicas de Desmantelamento

Nos últimos 20 anos, houve importantes avanços e aprimoramentos nas técnicas de corte em descomissionamento. Destas, possuem relevância as experiências de cortes submerso desenvolvidas na Universidade de Hannover e Dortmund na Alemanha [11]. Demais técnicas de corte submerso são apresentadas em [46] e [47]. Existem técnicas de corte desenvolvidas especialmente para reatores de pesquisas levando em conta diversas situações como espaço restrito e falta de técnicas de tratamento de rejeitos [48]. Além disso, estudos sobre alternativas para corte em reatores que possuem componentes de grafite foram realizados. [49],[50].

Experiências de corte que obtiveram bons resultados em atividades de descomissionamento foram às ocorridas na Alemanha, [51],[52], técnicas utilizadas no descomissionamento do reator BR-3 da Bélgica[53] e técnicas de desmonte demonstradas no reator LIDO do Reino Unido[54].

O surgimento e aprimoramento de técnicas de corte e desmantelamento remoto com a utilização de robôs também facilitaram as atividades de descomissionamento, principalmente as que envolvem maiores riscos a saúde humana como retirada de materiais e rejeitos altamente ativados. Mas o uso de técnicas remoto não se restringe apenas a materiais radioativos. Estas técnicas também abrangem diversas atividades mecânicas [55]. A seguir, as tabelas 4 e 5 [56], mostram as principais técnicas de desmantelamento para materiais de concreto e metal.

Tabela 4-Principais Técnicas de desmantelamento para concreto [56]

Técnica	Aplicação	Taxa de corte	Limitações
Jato de água abrasivo	-Corte e demolição de concreto reforçado; Não reforçado e; Pisos e paredes não ativadas e pouco reforçadas.	- Média	Geração de grandes volumes de rejeitos secundários.
Corte a fio	-Corte e demolição de concreto reforçado, Não reforçado; Pisos e paredes não ativadas e pouco reforçadas e; Demolição de concreto pouco reforçado.	- Média	-Atua em espessuras de até 1m.
Corte a laser	-Paredes de concreto revestidas com chapa de aço. -Amianto	- lenta	- Alto custo e grande equipamento.
Corte por chama	-Corte e demolição de concreto reforçado; Não reforçado e; Pisos e paredes não ativadas e pouco reforçadas.	- lenta	- Geração de grandes quantidades de fumaça.
Detonação Controlada	- Corte e demolição de concreto reforçado; Não reforçado; Pisos e paredes não ativadas e pouco reforçadas e; Demolição de concreto fracamente reforçado.	-alta	- Barras de reforço devem ser cortadas depois da fratura. - Metal pesado agregado no concreto reduz a velocidade de perfuração.
Diamante Circular	-Corte e demolição de pisos e paredes não ativadas e pouco reforçadas e Demolição de concreto fracamente reforçado.	-Média	Lentidão no corte de concreto reforçado. Máxima espessura de corte equivale a 40% da espessura da lâmina.

Tabela 5-Principais Técnicas de Desmantelamento de Metais [56]

Técnica	Tipo de metal	Aplicação	Limitações
Corte Arco de Serra	-Al, Aço-carbono, Aço-inox (es:≤100cm) Zircônio(es:≤30cm) -Inconel (es:≤10cm)	- Todo tipo de tubulação metálica (até 0,33cm para lamina de serra) - Tubulação de tanques. - Corte na água e no ar.	Requer espaço adequado.
Tocha de Arco de Plasma	-Al,Aço-carbono, Aço-inox (es:≤17cm) -Zircônio -Iconel	- Todos os tipos de tanques e tubulações. -corte no ar e na água.	Requer espaço adequado. -Gera muito rejeito secundário.(gasosos, aerossóis) -Alto custo.
Corte explosivo	Al,Aço-carbono, Aço-inox (es:≤17cm) Zircônio Iconel.	- Toda tubulação de metal até 2m de diâmetro. -corte em água	-Geração de rejeito secundário.
Queima com oxigênio	-Aço-carbono (es:≤100cm e >100cm)	- Tubos de todos os diâmetros, tanques apenas de aço-carbono e materiais de ferro de qualquer formato. - corte no ar e água.	- Aplica-se apenas a aço-carbono.
Máquinas de corte circular	-Todos metais com espessura ≤ 7cm	-Todas tubulações metálicas com diâmetro ≤6cm. -Não se aplica a tanques. -Corte no ar e água	- Itens devem ter seção transversal circular.
Cortes abrasivos	- Todo tipo de metal	-Todas tubulações, tanques e materiais ferrosos(mistura). -Corte no ar	Pouca durabilidade do bocal que efetua o corte.

Figura 3-Corte térmico no projeto do HDR na Alemanha [11]

Técnicas de Descontaminação

O estágio atual de desenvolvimento de técnicas de descontaminação para reatores de pesquisa encontra-se em um patamar elevado. A publicação [57] e as experiências de descontaminação dos reatores de pesquisa BR-3 da Bélgica e Belarus da Bielorrússia constantes em [16], trazem contribuições significativas para descontaminação de superfícies de materiais e considerações relativas à seleção da técnica adequada para a descontaminação. Basicamente, esta seleção depende de informações relacionadas ao rejeito e seu gerenciamento. Para o rejeito deve-se identificar o tipo de instalação no qual o mesmo foi originado, histórico operacional da planta, componente a ser descontaminado, material no qual é composto, sua superfície, o contaminante existente, composição do contaminante e existência de fácil acesso a superfície contaminada. Referente ao gerenciamento, demanda estabelecer a destinação dada aos componentes após descontaminação, tempo e capacidade de tratamento e condicionamento dos rejeitos secundários gerados [58]. A tabela 6 destaca os três processos principais de descontaminação (Químico, Eletroquímico e Físico), suas vantagens e desvantagens.

Tabela 6-Principais métodos de descontaminação [58]

Processo	Vantagens	Desvantagens
- <u>Químico</u> : Utiliza-se de reagentes químicos para a realização da descontaminação: Ex: Ácidos, bases, sais, Oxidações (CORD,LOMI) e soluções.	<ul style="list-style-type: none"> - Permite o tratamento de materiais de geometria complexa. - Radionuclídeos podem ser quase totalmente removidos. - Prática bem conhecida na área nuclear. 	<ul style="list-style-type: none"> - Geração de rejeitos secundários - Necessidade de proteção contra perigos químicos com produtos altamente corrosivos. - Descontaminação química não é efetiva em superfícies porosas.
- <u>Eletroquímico</u> : Polimento eletrolítico utilizando a técnica de eletropolimento de dissolução anódica com H ₃ PO ₄ . Ex: "Patch Operation" "Bath Operation"	<ul style="list-style-type: none"> - Processa rapidamente. - alta confiabilidade e alta eficiência. - Baixa quantidade de rejeitos secundários. (possibilidade de reuso e reciclagem) 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de um eletrodo catodo . - Eletrodos formatados são necessários para descontaminação de certos componentes. Ex: Tanque. - Após certo tempo, as soluções se saturam e necessita de processo adequado de tratamento e condicionamento.
- <u>Física</u> : Consiste em técnicas que buscam descontaminar materiais por meio de processos físicos. Ex: Ultrassônicos, projeção de CO ₂ congelado e água gelada, abrasivos a seco ou molhado, polimento, moagem, escovação, etc..	<ul style="list-style-type: none"> - Complementa as técnicas químicas obtendo bons resultados. - Comercialmente disponível. - Menos agressivas quando comparado a outras técnicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizada apenas em superfícies contaminadas acessíveis. - Muitos métodos geram poluição em virtude de poeira.

Gestão de Rejeitos em Descomissionamento

O desenvolvimento tecnológico da indústria nuclear, sobretudo na aplicação da tecnologia nuclear em diversas atividades como produção de radioisótopos, experimentos e irradiação de materiais diversos, proporcionou o aumento e diversificação dos rejeitos radioativos gerados nessas atividades. Dessa forma, técnicas para tratamento e condicionamento de rejeitos radioativos foram aprimoradas e continuam sendo estudadas. [11]

Em face com as preocupações ambientais e redução de custos no armazenamento e disposição de rejeitos radioativos, métodos para a redução de volume vem sendo cada vez mais utilizados. Estes incluem considerações sobre a seleção adequada da estratégia de descomissionamento, critérios de seleção das técnicas de descontaminação e desmantelamento a serem empregadas, fatores que influenciam a minimização de rejeitos no descomissionamento e os princípios que a norteiam, abrangendo desde a fase de projeto da instalação. Isso implica na seleção de materiais que limitem os custos de vigilância e manutenção, minimize a necessidade de instalações adicionais para garantir a segurança, reduza a exposição à radiação, facilite operações de desmontagem, desmantelamento e descontaminação, reduza custos, facilitem a armazenagem e estocagem dos rejeitos gerados e permita a restauração da instalação ou do local para uso irrestrito. [56]

O documento [56] discute com profundidade as técnicas e considerações no intuito de buscar a redução e minimização de rejeitos radioativos.

Os rejeitos radioativos de alto e médio nível de atividade e o combustível irradiado são uma grande preocupação em termos de armazenamento e disposição final, principalmente pelo cuidado necessário em virtude dos riscos associados à exposição a doses e possíveis vazamentos para o meio ambiente podendo acarretar contaminações do solo, água e ar.

Atualmente, nenhum país possui um repositório final para rejeitos de alta atividade, incluindo o combustível irradiado, pois durante a fase de concepção de projetos de plantas nucleares, não foi dada a devida importância sobre a destinação final dos rejeitos. Dessa forma, de aproximadamente 270.000 toneladas de combustível irradiado armazenados, 90% deste encontram-se em piscinas dos próprios reatores. A Suécia, buscando minimizar o problema, construiu uma piscina subterrânea chamada CLAB com 12 metros de profundidade, reforçada com blindagens de concreto e aço, onde o combustível gasto de diferentes reatores é enviado. [59]

Uma alternativa adotada por alguns países para a gestão do combustível usado é a reciclagem dos mesmos em plantas de reprocessamento, onde a França, Reino-

Unido e Rússia, possuem vasta experiência e reprocessam cerca de 5000 toneladas por ano. Este processo separa o plutônio do urânio existente no combustível usado, reciclando-o em uma planta de fabricação de combustível MOX (em português Óxido Misto), sendo posteriormente misturado com dióxido de urânio empobrecido, tornando o combustível fresco e permitindo que o mesmo seja reutilizado em uma instalação nuclear. O Japão, que reprocessa seu combustível irradiado para Europa desde 1979, possui uma planta de reprocessamento em fase de comissionamento com capacidade prevista de 800 toneladas/ano. Entretanto, além do processo exposto, o reprocessamento é realizado em reatores rápidos onde atualmente existem poucas unidades e as mesmas são distantes entre si, tornando este procedimento caro [59]. Outra prática que vem sendo utilizada por alguns países membros da AIEA para gerenciamento dos elementos combustíveis é mantê-los por 5 anos armazenados em piscinas e transferi-los para cascos secos ou valas com circulação de ar com blindagem de concreto. Os Estados Unidos, por exemplo, armazenam cerca de 25% do seu combustível irradiado em cascos chamados multiuso, pois pode ser usados tanto para transporte como para disposição do combustível usado e possui capacidade para armazenar até 80 elementos combustíveis com gás inerte. Cada um destes cascos é enclausurado em um módulo de armazenamento ventilado constituído de concreto e aço para fins de armazenamento e possui até 45kW de carga de calor. A publicação [60] discute em detalhes sobre este modelo de casco.

Figura 4- Instalação de Armazenamento de Combústivel Gasto Independente Connecticut Yankee com 40 cascos multiuso [61]

Hoje, as técnicas de condicionamento, armazenamento e disposição estão melhor interligadas e o planejamento para a implementação das mesmas tem ganhado

relevância pelas vantagens econômicas, facilitamento na execução das tarefas de gestão de rejeitos e dimensionamento de espaço necessário para armazenamento e disposição [11].

Referente à segurança dos rejeitos dispostos, progressos foram alcançados relacionados ao planejamento de “múltiplas barreiras” de contenção e imobilização de rejeitos de alto e médio nível de radiação, isolando-os do ambiente externo. As barreiras freqüentemente utilizadas e de destaque são a imobilização do rejeito em uma matriz insolúvel, por exemplo, vidro de borossilicato ou rocha sintética; Selamento no interior de um container resistente a corrosão, geralmente de aço inox; Introdução do rejeito em um local subterrâneo profundo de estrutura geológica estável; e a construção de containers circunvizinhos com aterro impermeável, utilizando, por exemplo, argila de bentonita no caso do repositório ser úmido.[59]

Esforços vem sendo realizados para toda instalação, em sua fase de projeto, ter previsto um local para armazenamento e disposição de rejeitos radioativos. Mesmo assim, existem muitos países que possuem reatores antigos e não são dotados de instalações adequadas para condicionamento e disposição dos rejeitos gerados. Há projetos de atualização de instalações de armazenamento de rejeitos no intuito de adequá-las para recebimento de rejeitos gerados no descomissionamento como o ocorrido no reator situado em Salaspis, Latvia [62]. Nesta experiência, um dos fatores desfavoráveis ao projeto foram os resultados das pesquisas sobre a opinião da população residente próxima ao local do repositório que apontaram uma grande rejeição referente à disposição destes materiais, pois os rejeitos, para a maioria da população, causariam danos à saúde.

A pressão de organizações de defesa do meio ambiente, movimentos da sociedade civil e populações onde se projetam construir repositórios, são um entrave para a aprovação do projeto. A estratégia adotada para tentar convencer a população da viabilidade e segurança na construção e funcionamento de um repositório, são audiências públicas no intuito de buscar alternativas conjuntas para a elaboração de um projeto seguro e competição por recursos financeiros em regiões adequadas para a sua construção. Dentre as experiências realizadas nos Estados Unidos, França, Canadá, Alemanha, Finlândia e Suécia, estes dois últimos países estão mais próximos de construir um repositório. Na Finlândia é previsto que o repositório entre em operação em 2020 e será localizado na região de Olkiluto [59]. Em 2009, A Suécia escolheu a área para o repositório e em 2011 requereu a licença para a sua construção [63].

No Brasil, ainda é necessário discutir e estabelecer uma política de destinação final de rejeitos radioativos de alta atividade e combustíveis nucleares usados, cabendo a

CNEN a responsabilidade de encaminhar esta discussão juntamente com representantes do governo brasileiro e sociedade civil.

4-EXPERIÊNCIAS E ESTRATÉGIAS DE DESCOMISSIONAMENTO

A estratégia de descomissionamento deve contemplar o planejamento e gerenciamento, caracterização radiológica da instalação, estimativa de custos, implementação da estratégia que inclui técnicas de descontaminação e desmantelamento a serem utilizadas e o gerenciamento dos rejeitos gerados. Além disso, é diretamente influenciada pelos conhecimentos de especialistas na área nuclear e a aplicação de tecnologias de maneira compatível com as características da instalação [14].

A documentação disponível referente à descrição de experiências de descomissionamento de reatores de pesquisa não é vasta. Pode se destacar as referências [16], [64] e [65]. A seguir serão descritas algumas das estratégias de descomissionamento utilizadas em reatores de pesquisas e as lições aprendidas em cada experiência relatada que foram incorporadas na elaboração deste plano preliminar, podendo ser também utilizadas para outras instalações em fase de desligamento permanente.

4.1-Descomissionamento do reator de pesquisa (BR-3, Bélgica)

O reator de pesquisa BR-3 foi projetado para simular uma instalação de potência tipo PWR com o principal objetivo de realizar treinamento para operadores de reatores de potência e testar diversos tipos de elementos combustíveis. Possui potência máxima de 40MW. Operou de 1962 a 1987 [66]. Publicações relativas ao descomissionamento deste reator tratam das atividades de desmantelamento do vaso de pressão do reator, corte da tubulação primária externa do escudo biológico e da tubulação primária próxima ao vaso de pressão do reator, gerenciamento do rejeito gerado decorrente do corte do vaso de pressão, técnicas de descontaminação aplicadas e os problemas encontrados na realização destas atividades [53].

Para o desmantelamento do vaso de pressão, a estratégia utilizada, após estudos preliminares, foi à realização de corte submerso em água com as técnicas de corte mecânico usando máquina de serra de fita e fresa. O vaso de pressão foi envolvido por um tanque de blindagem de nêutrons que facilitou os trabalhos de imersão e corte, assegurando a estanqueidade da piscina durante as operações. Para o corte do vaso de pressão, optou-se por içá-lo de dentro da piscina de reabastecimento, mas ainda mantendo-o submerso em água para ser cortado em partes, preparando as mesmas para serem embaladas. Essa opção foi feita por possibilitar o reaproveitamento e reuso de ferramentas e equipamentos projetados para realização de atividades de desmantelamento internas. Proporcionou também a diminuição do risco de exposição a altas doses provenientes do fundo da piscina de reabastecimento.

Antes de se implementar as atividades de retirada e corte do vaso de pressão do reator, testes de corte com serra circular e serra de fita em diferentes posições e velocidades foram realizados no intuito de verificar a eficiência e possíveis falhas na estratégia selecionada, buscando corrigi-las.

Os rejeitos gerados nas atividades de descomissionamento foram classificados como materiais de baixa, média e alta atividade radioativa e com relação à possibilidade de descontaminação e reuso, identificados, tratados, caracterizados, condicionados e encaminhados para uma instalação de armazenamento intermediário. Os rejeitos identificados foram categorizados como Rejeito industrial; Rejeito radioativo não viável para descontaminação e reciclagem; e Material radioativo viável para descontaminação, livre liberação ou reciclagem. Na classificação, destaca-se o envio de materiais metálicos para derretimento, objetivando diminuir o máximo a quantidade gerada de rejeitos e bem como a dose e nível de contaminação.

Problemas encontrados nas atividades foram em função de erros no desenho da ripa metálica que auxiliaria o processo de vedação da piscina do reator que apresentou uma espessura maior do que a indicada no desenho e a turvação da água da piscina do reator verificada na retirada da concha de isolamento do reator, no qual liberou poeira, atrapalhando a visibilidade dos trabalhos.

As principais lições aprendidas nesta experiência foram à preferência por técnicas mecânicas de segmentação de materiais que requerem apenas adaptações para cortes submerses; a necessidade de conhecimento detalhado de doses, custos, rejeitos gerados e riscos associados; e a importância de uma elaboração precisa da estimativa de tempo das atividades de desmantelamento. Além disso, em função da grande variedade de materiais e níveis de contaminação, o gerenciamento dos rejeitos do desmantelamento torna-se uma tarefa complexa. Foi constatado também que o custo para desmantelar, descontaminar, reciclar e reutilizar foi mais baixo que a disposição direta do rejeito, acarretando um menor impacto ao ambiente e diminuindo o volume de rejeitos gerados. Finalmente, para o gerenciamento de rejeitos ser realizado de forma adequada, o programa de garantia de qualidade deve ser bem elaborado e executado e os critérios de liberação de materiais devem ser harmonizados [53].

4.2-Experiência operacional de técnicas de descomissionamento para reatores de pesquisa no reino Unido

Nesse trabalho é apresentada a experiência de descomissionamento de dois reatores de pesquisa: O reator ICI Triga Mk I e o reator Argonaut 100 da Universidade de Pesquisa da Escócia.

4.2.1-Reator ICI Triga Mk1

Localizado em Billingham, Cleveland, o reator ICI Triga Mk1 é um reator tipo piscina com potência de 250kW e combustível moderado com Hidreto de Zircônio. O reator operou de 1971 a 1996. A empresa BNFL (British Nuclear Fuels) foi contratada para o planejamento e execução das atividades de descomissionamento deste reator.

A estratégia de descomissionamento planejada envolveu inicialmente o levantamento de equipamentos necessários para a realização das atividades de descomissionamento, obtenção de licenças, elaboração de documentos, treinamento e planejamento e execução de tarefas. A seguir, é descrita a estratégia planejada e implementada:

- Desenvolvimento de uma metodologia otimizada associada a um projeto detalhado com justificativa técnica;
- Elaboração do Relatório de Segurança de Pré-Descomissionamento e toda documentação de segurança complementar;
- Licenciamento dos frascos de transferência de combustível;
- Aquisição, fabricação ou preparação de todos os equipamentos necessários para o descomissionamento;
- Execução das ações e obtenção dos recursos requeridos para comissionamento e treinamento;
- Assistência na busca de autorização dos requerimentos regulatórios necessários;
- Remoção do combustível do reator;
- Remoção dos componentes do reator classificados como rejeitos de nível intermediário de atividade;
- Remoção dos componentes classificados como rejeitos de baixa atividade e livre liberação dos rejeitos que atendem aos níveis de dispensa determinados pelo órgão regulador;
- Remoção do tanque do reator e fundação de concreto;
- Demolição do prédio do reator, laboratórios e escritórios associados;
- Disposição de rejeitos radioativos;
- Supervisão radiológica final.

A escolha da estratégia a ser implementada para o descomissionamento e os fatores envolvidos no mesmo foi pautado pelo relatório HAZOP (Estudo de operabilidades e perigos associados com o projeto, construção ou descomissionamento de qualquer planta ou processo). A estratégia foi executada em cinco estágios que foram os trabalhos preparatórios, retirada do combustível do reator, remoção dos rejeitos de nível de

atividade intermediário, remoção dos rejeitos de atividade baixa, remoção do tanque do reator e a remoção da fundação de concreto.

Os trabalhos preparatórios envolveram órgãos reguladores relacionados à área ambiental e área nuclear para avaliação com respeito à segurança e viabilidade da estratégia e das atividades de descomissionamento propostas, transporte, disposição de rejeitos radioativos e o licenciamento do frasco de transporte para os combustíveis e rejeitos de nível intermediário.

A retirada dos elementos combustíveis do reator foi realizada com o posicionamento de um frasco de transporte, com revestimento para garantir sua integridade física com relação a qualquer acidente, acima do tanque do reator onde uma cesta de carregamento de combustíveis fabricada retirava os combustíveis e era içada por meio de guindaste para o frasco no qual foi reembalado e preparado para transporte.

Figura 6-Entrega do Frasco modular no prédio do reator ICI [67]

A remoção dos rejeitos de nível intermediário, que eram uma prateleira giratória e vasos de ativação de argônio localizados próximos do núcleo do reator, foi iniciada primeiramente com a construção de um container blindado com chumbo para a retirada e disposição desses rejeitos. Métodos de selamento foram testados para evitar fuga de líquidos do container contendo os rejeitos. Ao se rebocar a prateleira giratória (Rotary Specimen Rack), para colocá-la no container, foi necessário corte com tosquiador hidráulico. O container blindado foi retirado do tanque do reator por meio de um

guindaste, colocado num frasco para transporte e enviado para o depósito de rejeitos intermediários de Sellafield.

Os rejeitos de baixo nível de atividade consistiram em alumínios folheados, sistemas de refrigeração primário e secundário e instalações experimentais tais como sistemas coelho. Esses materiais foram desmantelados, acondicionados e dispostos no repositório Drigg para rejeitos de baixo nível de atividade.

Para remoção do tanque do reator foi necessário demolir a fundação de concreto próxima a ele. Esta atividade foi feita remotamente utilizando uma micro-escavadora Brokk Minicut operada por meio de câmeras, sendo necessário um sistema de ventilação para auxiliar a realização dos trabalhos. Amostras do concreto retirado em torno do tanque de alumínio foram levadas para análise e construção do perfil de ativação para comparação com o perfil previsto. Após a retirada de uma quantidade suficiente de concreto das paredes, o tanque de alumínio foi retirado.

Figura 7- Mini Broca BROKK MINICUT[67]

Alguns atrasos ocorreram no início das atividades em virtude do longo tempo demandado para licenciamento dos frascos de transporte. Este atraso foi compensado por uma duração menor das atividades quando comparado ao valor estimado. Além disso, as doses nos locais de trabalho foram muito menores que as previstas e não ocorreram acidentes em virtude do bom planejamento implementado. [67]

4.2.2- Descomissionamento do reator de pesquisa escocês

O reator de pesquisa Universidades Escocesas situado em Glasgow, é do tipo Argonauta, obteve sua primeira criticalidade em 1963 e possui uma potência de máxima de 300kW após atualização (possuía 100kW). Em 1990 decidiu-se descomissionar a

instalação. Todos os elementos combustíveis foram retirados em 1996 e uma grande fonte de irradiação de ^{60}Co foi removida no início de 1999.

As estratégias de descomissionamento planejadas para esse reator foram:

- Elaboração de documentos de justificativas de segurança e suporte.
- Trabalho preparatório incluindo instalação de sistema de contenção flexível suspenso na estrutura do telhado do reator com sistema de ventilação e filtração.
- Remoção do concreto livre para descarte das faces exteriores do reator usando a Brokk 330(Mini-escavadora) (para minimizar o risco de mistura de contaminação depois da remoção dos rejeitos de atividade baixa).
- Remoção dos blocos de blindagem, grafite, rejeitos de atividade intermediária usando a Brokk 330 e retirada de ferramentas de corte especificamente projetadas e guindastes torre.
- Retirada do concreto e fundações de baixa atividade remanescentes.
- Retirada de ventilação ativa e linhas de drenos.
- Demolição, levando em conta abrangente pesquisa radiológica e remoção de controles regulatórios da instalação.

As principais documentações que deram suporte as atividades de descomissionamento foram o relatório de segurança de pré-descomissionamento e o HAZOP nos quais foram submetidos ao Comitê de Segurança Nuclear e em seguida para a NII (Nuclear Installations Inspectorate).

Para a implementação da estratégia de descomissionamento, após a utilização da Brokk mini-escavadora, amostras de rejeitos (núcleos de concreto da face externa da blindagem biológica) foram retirados e analisados para a caracterização, tendo como principal objetivo identificar o limite entre a livre liberação do rejeito e os rejeitos de baixa atividade. Isso permitiu classificar e categorizar os rejeitos como: Livre liberação, sendo entre 1 e 1,5m do concreto externo da blindagem biológica; Rejeitos de baixo nível de atividade que foram o concreto remanescente da blindagem biológica, o grafite do núcleo, colunas térmicas e uma mistura de tubulação de alumínio com concreto; E os rejeitos de nível intermediário sendo basicamente todos os componentes de aço do núcleo do reator.

O concreto de livre descarte foi removido da blindagem biológica do reator usando a Brokk escavadeira com garra. Amostras deste concreto foram recolhidas para análise e caracterização. Com a confirmação do concreto considerado de livre descarte, o mesmo foi carregado em um funil de carga e disposto como rejeito comum. Foi projetada a possível liberação de grandes quantidades de poeira com a metodologia empregada de remoção de concreto, mas com melhoramentos e modificações, houve uma redução na quantidade de poeira de 70% com relação ao valor previsto.

Figura 8-Reator após a retirada do concreto de livre dispensa [68]

Como no caso do reator ICI Triga, as autorizações regulatórias demandaram um tempo muito longo.[68]

Os trabalhos de descomissionamento total deste reator foram encerrados no ano de 2003, sendo transformado em uma instalação de pesquisa voltada as atividades do centro de pesquisa ambiental da Escócia [69].

As lições aprendidas nestas duas experiências de descomissionamento foram:

- Necessidade de um claro e conciso conhecimento total dos problemas existentes nos procedimentos de descomissionamento antes de qualquer desenvolvimento de estratégias.
- Revisão de todos os parâmetros que tem a capacidade de afetar a otimização do esquema do projeto, por exemplo, requerimentos de operadores de rejeitos, restrições específicas do sítio devido à localização, acesso físico, etc..
- É fundamental o planejamento para enfrentar situações inesperadas.
- Conferir diretamente os desenhos da instalação, evitando erros de execução.
- A documentação de segurança deve ser desenvolvida paralelamente com as soluções de engenharia.

- Realização de esforços para fornecer a flexibilidade necessária para permitir a percepção de incertezas.
- Levar em conta as extensas avaliações de riscos dos documentos de segurança (HAZOPS ou relatório de pré-descomissionamento) e disciplina dos profissionais de operação do reator para atender os requisitos de segurança.
- A fase inicial do projeto é a chave para o sucesso. Deve ser dada uma especial atenção e ênfase para o desenvolvimento da estratégia de descomissionamento para não incorrer em erros futuros que possam acarretar custos adicionais e comprometer a segurança.
- Programar as atividades, prevendo tempo adequado para a realização de tarefas externas de controle direto da equipe (elaboração e submissão de documentos para órgão regulatório).
- Um dedicado e integrado núcleo de gerenciamento de equipe compreendendo pessoal de descomissionamento e operacional é importante para o sucesso das atividades programadas e também para a manutenção da concepção do projeto.
- Necessidade de um time integrado de gerenciamento para coordenação em todos os aspectos do projeto com especialistas qualificados e com experiência.
- Realização de treinamentos com simulações de atividades são importantes para detectar eventuais erros e discrepâncias no projeto de descomissionamento.
- Continuas revisões e melhoramentos devem ser realizados quando necessário em todas as atividades de descomissionamento.
- Concreto ativado contém significativas quantidades de trítio com possível potencial de liberação. O órgão regulatório requererá quantificação e métodos de medida.
- Uma variedade de ferramentas padrões podem facilmente ser adaptadas para adequar uma variedade de tarefas remotas e de descomissionamento, livrando de gastos adicionais com ferramentas especializadas e equipamentos. [67] e [68]

4.3-Estratégias de Descomissionamento para o reator AM-Federação Russa

O reator de pesquisa AM é de urânio-grafite, refrigerado a água e situa-se em Obninsk, Rússia. Com uma potência de 6,4MW, iniciou suas operações em 1954, tendo como finalidades pesquisas sobre novos tipos de elementos combustíveis e produção de radioisótopos e radiofármacos.

Com a decisão de desligar a instalação em meados de 1998, foram planejadas as primeiras ações no intuito de auxiliar as futuras atividades de descomissionamento. Os trabalhos iniciaram com a realização de um inventário de todos os materiais e componentes da instalação que possuíam radionuclídeos de meia vida longa com o reator sem os elementos combustíveis e estimativas de doses nas atividades de desmantelamento do vaso de pressão e pilhas de grafite em uma operação não remota. Além disso, foram desenvolvidos estudos de métodos de descontaminação,

levantamento de informações referentes à radioatividade depositada no circuito primário e no grafite, análise de tecnologias para condicionamento dos blocos de grafite altamente contaminados e das consequências da queima do grafite irradiado após o estágio de remoção diferido. Em seguida, um inventário preliminar de rejeitos gerados e componentes contaminados foi elaborado conjuntamente com uma estimativa de consequências radiológicas.

Cálculos e análises realizadas apontaram o tempo de 90 anos como um período adequado para a realização de atividades de desmantelamento manual do vaso de pressão e pilhas de grafite. Dessa forma, optou-se por uma estratégia inicial de descomissionamento de desmonte diferido com confinamento seguro.

Para todas as atividades realizadas referentes ao inventário de radionuclídeos de meia vida longa nos componentes e materiais do reator foram utilizados métodos experimentais e cálculos por meio de programas computacionais como o ORIGEN-2,1 [70] e o SABINE-3 (versão atualizada na época do ORIGEN-2.1) [71]. Todos os cálculos realizados com este último programa foram validados pelo teste de benchmark da AIEA[72], com um reator japonês (JPDR) e um reator armênio WWER-440.

Com o inventário realizado, foi possível elaborar um planejamento preliminar de atividades de descomissionamento para o reator AM que é descrito a seguir:

- Inventário preliminar de radioatividade de vida longa acumulada no reator AM.(1998-2000)
- Desenvolvimento do projeto de descomissionamento.(2001-2003)
- Análise de segurança para o estágio diferido de desabastecimento do reator. (2004)
- Desligamento final do reator. (dezembro-2004)
- Esfriamento e desabastecimento do reator e drenagem do refrigerante. (2005)
- Primeiro estágio de diferimento.(2006-2010)
- Pesquisa de radiação do reator e armazenamento dos rejeitos radioativos.(2007-2009)
- Atualização do plano de descomissionamento, incluindo revisões para análise de segurança para o segundo estágio de diferimento.
- Isolamento do reator e descontaminação de seus componentes em zonas necessárias para manutenção durante o estágio de diferimento. (2011-2013)
- Remoção dos rejeitos radioativos armazenados ou seu isolamento por segurança.
- Monitoramento do estágio diferido. (2013-2095)
- Desmantelamento e remoção de alguns componentes de aço inox do circuito refrigerante primário. (2055)
- Detalhada pesquisa de radiação do reator e de todos os componentes que ainda estarão no local para o desenvolvimento de soluções de desmantelamento dos mesmos.
- Desmantelamento do reator (se requerido) (2095-2100)

A partir desta programação de atividades de descomissionamento, estratégias preliminares para a realização de algumas atividades foram estabelecidas, nas quais se destacam:

- Confinamento seguro da instalação por 90 anos com desmantelamento diferido sem uso de equipamento remotamente operado e isolamento em torno do reator.

- Escolha de uma das opções: Desmantelamento das pilhas e transporte dos blocos de grafite para um depósito especial ou continuar o armazenamento do grafite no reator por um período entre 50-100 anos, depois de reforçar o vaso do reator e construir outras barreiras de isolamento.

- Classificação durante o desmantelamento das pilhas de grafite, do rejeito gerado em função de seu nível de contaminação e reprocessamento do mesmo com especial tecnologia, buscando a transformação dos blocos de grafite em um material composto de óxido de carboneto sobre altas temperaturas.

- Queima do grafite armazenado e escolha de tecnologia adequada a ser usada futuramente para disposição do grafite após o período de diferimento.

- Após 50 anos de decaimento, liberar para reuso os componentes de aço do reator contaminados com produtos de corrosão ativados sem necessitar de descontaminação ou se necessário, depois de 25 anos de decaimento com cuidadosa descontaminação.

4.4-Abordagem para o planejamento do descomissionamento do reator de pesquisa egipcio ET-RR-1

O primeiro reator de pesquisa do Egito ET-RR possui uma potência de 2MW, sendo um reator tipo tanque. Alcançou a sua primeira criticalidade em 1961 e suas principais finalidades são a produção de isótopos e experimentos nucleares.

Como a instalação já possuía uma idade avançada, (em 2001 próximo dos 40 anos), foi apontada a necessidade de descomissionamento do reator. Em virtude disso e em função de inspeções realizadas, foi prevista a construção de uma nova instalação de armazenamento de elementos combustíveis devido a grande quantidade de combustíveis irradiados existentes na piscina do reator que acarretam grande risco radiológico. Esta nova instalação foi construída para armazenamento úmido com arranjo dos elementos combustíveis em prateleiras dentro de um tanque.

O objetivo deste projeto de descomissionamento é incluir esta nova instalação de armazenamento de combustível irradiado nos requerimentos e no planejamento do descomissionamento do reator.

Como preparação para as atividades de descomissionamento foram decididas as ações a serem implementadas durante a fase operacional da instalação que são: atualização dos sistemas do reator para operação segura até todos os estoques de combustível fresco sejam usados levando em consideração o plano de

descomissionamento, modificações na potência do reator com todas as mudanças necessárias com o intuito de estender o tempo de vida operacional, o desligamento do reator e a preparação do plano de descomissionamento.

Após a definição destas atividades iniciais, o plano de descomissionamento do reator egípcio foi estruturado em 4 estágios que envolvem o planejamento e licenciamento, desabastecimento, descontaminação e demolição.

O planejamento e licenciamento consiste na submissão do projeto de descomissionamento para a autoridade regulatória que é contemplado em um plano de descomissionamento. As possíveis abordagens para este plano são o armazenamento protetivo da instalação depois da completa remoção e armazenamento do combustível do reator, seguido do confinamento de estruturas radioativas e grandes componentes depois da remoção de todos os materiais e descontaminação dos mesmos.

O desabastecimento envolverá a preparação da infraestrutura para transporte dos elementos combustíveis até a instalação de armazenamento e equipamento de manuseamento de elemento combustível adequado para a sua remoção.

A descontaminação, após inspeções que comprovem a sua necessidade, será feita após a retirada e transporte dos elementos combustíveis e outros materiais radioativos. Técnicas adequadas de descontaminação deverão ser aplicadas conforme cada situação, tipo de material e contaminação.

A demolição utilizará técnicas convencionais para derrubar as estruturas do reator, pois nesta situação, não há a necessidade de utilizar técnicas diferenciadas.

Para complementar e dar suporte as ações planejadas de descomissionamento, foi elaborado um plano para proteção radiológica e controle de segurança que inclui um inventário de radionuclídeos da instalação de armazenamento, quando a mesma for carregada pelos combustíveis gastos; Avaliação de riscos e perigos; Gerenciamento da segurança e monitoramento; Estimativa de dose; Estimativa de quantidade de rejeito ativo produzido e dose recebida no operador durante as atividades de descomissionamento e Registros de informações relevantes.

A principal lição aprendida com estas atividades realizadas que auxiliarão o futuro descomissionamento do reator foi que é possível estender o tempo de vida da instalação mesmo com o aumento de sua potência, levando em consideração os requerimentos para o descomissionamento e os equipamentos necessários.

O plano de descomissionamento deste reator, que é baseado no documento [6], esta em fase de desenvolvimento com apenas os planos de emergência e segurança física e salvaguardas elaborados. [73]

4.5- Descomissionamento do reator de pesquisa Astra MTR

O reator de pesquisa ASTRA MTR foi construído em 1958 e em 1960 alcançou a sua primeira criticalidade. Foi projetado para uma potência máxima de 10 MW. Iniciou operando a uma potência de 100 kW e na década de 90, após sucessivos aumentos de potência, operou a 9,5 MW. Este reator é do tipo multipropósito e tinha como principais finalidades a produção de radioisótopos, estudo de técnicas de análise de ativação e produção de fontes gama para aplicações médicas e industriais. Os elementos combustíveis possuíam 90% de urânio enriquecido que posteriormente foram modificados para 20% de enriquecimento de urânio em um composto de U-Si-Al. Em 1994, foram iniciados os estudos para o desligamento do reator.

Em 1999, com o desligamento permanente do reator, foram projetadas as principais tarefas em âmbito geral de descomissionamento deste reator que foram divididas em 4 fases:

-Fase 0- Remoção dos elementos combustíveis para encaminhamento para DOE (Departamento de Energia dos Estados Unidos) / Planta Savannah River (final do ano 2000)

-Fase 1- Remoção dos rejeitos radioativos de nível intermediário de atividade (metade de 2002)

-Fase 2- Remoção de rejeitos radioativos de baixo nível de atividade (metade de 2005)

-Fase 3- Liberação dos edifícios (até o fim de 2005).

O processo de escolha da estratégia a ser implementada para o descomissionamento do reator ASTRA levou em consideração o relatório de estudos sobre descomissionamento, o documento da AIEA [74] e as peculiaridades da instalação.

Para orientar e auxiliar a escolha da melhor estratégia foi realizada uma estimativa de inventário de atividade de várias partes do reator e volume de rejeitos. Com base nessa estimativa e em estudos e documentos, foram adotadas as estratégias constantes em [74]. O armazenamento com vigilância seguido do desmantelamento e uso restrito do sítio foi à estratégia mais adequada para a instalação pelo fato de a maioria dos radionuclídeos possuírem meia vida até 80 dias no qual decaem suficientemente para permitir a continuidade do desmantelamento. Como foi previsto o reuso do prédio do reator, o projeto seguirá imediatamente para a etapa de liberação e reuso do local. Dessa forma, a estimativa de inventário de atividade dos componentes do reator considerou o intervalo de 2 para 3 anos que corresponde entre o desligamento do reator e o início da remoção dos principais componentes e demolição da blindagem biológica. Os componentes foram inventariados identificando os radionuclídeos presentes, o tempo de meia-vida, atividade após o desligamento, atividade após 2 anos e atividade após 80 dias. Os componentes inventariados foram os elementos refletores

de Berílio, Grafite, placas, varetas de controle, revestimentos de alumínio, concreto baritado e instalações de dopagem de silicone. Os dados, juntamente com as estimativas de volume são encontrados em [65].

Para a implementação das fases 0 até 4 para descomissionamento do reator, foi necessário estabelecer em detalhes os procedimentos a serem seguidos. Estes consistiram na submissão ao corpo regulatório de toda documentação necessária, obtenção de fundos, organização da equipe de trabalho e proteção radiológica e elaboração e execução das atividades de descomissionamento

O conjunto de atividades realizadas no reator foi estabelecido conforme descrito a seguir:

- A remoção e disposição final dos elementos combustíveis;
- Recuperação e tratamento de materiais de nível intermediário de atividade das vizinhanças do núcleo do reator,
- Avaliação de impacto ambiental;
- Manuseamento e condicionamento do grafite exposto a fluxo de nêutrons e dos elementos refletores de Berílio e Hf (Háfio) das hastes de controle; e
- Processamento de materiais ativados, contaminados e desmantelamento do sistema de ventilação.

Uma descrição detalhada destas atividades é encontrada em [65]

Após a realização destas atividades, foram iniciados os procedimentos para liberação radiológica do prédio do reator. Medições, descontaminações e cortes foram realizados para análise da condição radiológica do prédio. Esses resultados foram enviados para o órgão regulatório da Áustria para avaliação. Houve medições com dispositivos de espectroscopia gama, medidas diretas com monitores de contaminação (detectores beta-gama), medidas indiretas com contadores de ultra-baixo nível alfa-beta, entre outras ações. A liberação radiológica do prédio do reator iniciou em maio de 2006 e terminou em outubro de 2006.

Um inventário de rejeitos foi elaborado no qual contem sua classificação por nível de atividade, material que é composto e volume para cada tarefa desempenhada no descomissionamento do reator.

O prédio do reator foi liberado para reuso, sendo que parte do mesmo obteve autorização para ser utilizado como depósito intermediário de rejeitos. Entretanto, por razões de segurança, o governo austríaco decidiu investir em futuras instalações de armazenamento do que gastar com a reconstrução da contenção do reator. Dessa forma, adaptações serão realizadas para o melhoramento da contenção do prédio do reator que armazenará os rejeitos até se construir uma instalação de armazenamento de rejeitos adequada e de acordo com as exigências legais.

Ocorreram atrasos com relação ao planejamento original na disposição do combustível, na análise e parecer da EURATOM (Comissão Europeia de Energia Atômica), na obtenção da licença para descomissionamento e problemas administrativos nas medidas de liberação do prédio do reator. O tempo de atraso para liberação do prédio foi de 10 meses.

Toda documentação referente às atividades realizadas no descomissionamento e na fase operacional da instalação foram elaboradas no decorrer das atividades com relatórios e estatísticas anuais.

As lições aprendidas nesta experiência apontaram a necessidade de se reservar um tempo significativo relacionado às licenças e requisições regulatórias, pois é muito provável que o tempo transcorrido para isso superará o tempo planejado. Fatores que levaram o sucesso dessa experiência de descomissionamento e que devem influir em outras é a preparação, iniciada pela antiga gestão operacional do reator e continuada pelos profissionais da empresa estatal responsável pela gestão dos rejeitos NES (Nuclear Engineering Seibersdorf), do gerenciamento e recrutamento do pessoal da instalação para o descomissionamento. Isso possibilitou a elaboração de procedimentos que permitiu o uso do conhecimento de funções da instalação combinado com a familiaridade de técnicas aplicadas necessárias para o manuseamento seguro do material radioativo. Finalmente, a atitude positiva de cooperação dos reguladores, especialistas e consultores teve uma contribuição essencial para o resultado positivo do projeto. [65]

As demais experiências em descomissionamento de reatores pesquisa possuem similaridades com estas descritas no que diz respeito às estratégias iniciais adotadas, havendo peculiaridades na implementação em função das características específicas de cada instalação. Outras experiências são encontradas em [11], [16] e [64].

5-NORMAS E DOCUMENTOS

Para a implementação de todos os procedimentos necessários para o descomissionamento, principalmente no planejamento, gerenciamento e na execução de atividades, os mesmos devem atender a legislação nacional referente ao tema, assim como leis correlatas, e na falta destas, deve se amparar nas experiências e recomendações internacionais. Em muitos países, existem órgãos reguladores responsáveis pela elaboração da legislação associada a qualquer trabalho realizado que envolva material radioativo.

No Brasil, a CNEN é o órgão regulador nacional que estabelece as normas, cujas quais são regulamentadas como leis, relacionadas à utilização, manuseio, gerenciamento e trabalho com o material radioativo.

Internacionalmente, a AIEA é a principal responsável pela divulgação de documentos que visam orientar a realização de procedimentos de descomissionamento.

5.1-Normas Nacionais

Com relação à legislação nacional, mesmo o Brasil não possuindo uma norma ou documento que oriente o descomissionamento de reatores de pesquisa, a CNEN possui normas estabelecidas que regulam o trabalho com material radioativo. As diretrizes para Licenciamento de Instalações Nucleares são apresentadas em [1] e os procedimentos referentes ao rejeito radioativo são regulados por [75], [76], [77] e [78]. O conjunto de determinações relacionados à radioproteção estão estabelecidos em [79] e [80], juntamente com a posição regulatória sobre os Critérios de Exclusão, Isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radiológica [81]. O gerenciamento dos elementos combustíveis é regido pela norma constante em [82] e os regulamentos pertinentes à proteção física, incêndios e o controle do material nuclear são, respectivamente, os presentes em [83], [84] e [85]. Além, disso há a norma que trata sobre o Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas [2], onde algumas determinações estabelecidas, como a necessidade de um plano preliminar e de um plano final de descomissionamento submetido à CNEN para se obter o licenciamento e a autorização para o descomissionamento, provavelmente terão efeito sobre os reatores de pesquisa.

Das normas CNEN citadas, para fins de planejamento, execução e definição de estratégias de descomissionamento, destacam-se a CNEN-NN-8.01 [75], CNEN-NE-6.06 [76], CNEN-NN-6.09 [77], CNEN-NE-3.01 [79], CNEN-NE-3.02 [80], CNEN-NE-5.01 [78], CNEN-NE-5.02 [82]. A seguir serão apresentadas resumidamente as determinações das normas citadas.

5.1.1-Norma CNEN-NN-8.01

A norma CNEN-NN-8.01, que substituiu recentemente a norma CNEN-NE-6.05, trata de diversos procedimentos relacionados ao gerenciamento de rejeitos radioativos de baixo e médio nível de radiação definindo o campo de aplicação e a classificação dos rejeitos radioativos adotando critérios que levam em consideração principalmente a meia-vida e o tipo de emissor do rejeito. Determina também quais são os requisitos básicos da gerência de rejeitos radioativos que abrangem os requisitos gerais, a segregação, as embalagens e volumes adequados, transporte, armazenamento inicial ou intermediário, tratamento, dispensa, liberação de efluentes de instalações nucleares e minero-industriais, transferência e registros e inventários. Além disso, apresenta o roteiro de elaboração de plano de gerência de rejeitos radioativos e as tabelas com os limites de concentração para dispensa de rejeitos sólidos, líquidos e gasosos, limites anuais para dispensa de rejeitos líquidos na rede de esgotos sanitários, níveis máximos de contaminação radioativa removível na superfície do volume do rejeito radioativo e o controle de variações do inventário de radionuclídeos [75].

5.1.2-Norma CNEN-NE-6.06

A norma CNEN-NE-6.06 aborda os critérios referentes à seleção e escolha de locais para depósito de rejeitos radioativos. Neste documento são estabelecidas para repositórios e depósito intermediário as considerações gerais, adequação do local, capacidade de retenção de radionuclídeos, critérios gerais hidrogeológicos e fatores e seleção de escolha do local. Também são descritas as informações a serem contempladas nos estudos ecológicos, sócio-econômicos, geológicos, fisiográficos e nos trabalhos para caracterização do local. Regulamenta também os requisitos associados à localização do depósito provisório e os itens que devem compor o relatório de impacto ambiental no local selecionado. [76]

5.1.3-Norma CNEN-NN-6.09

A CNEN estabelece os critérios de aceitação para deposição de rejeitos de baixo e médio nível de atividade por meio da norma CNEN-NN-6.09. Nela são definidos os critérios gerais para deposição dos rejeitos radioativos onde incluem as especificações e restrições relacionadas às embalagens que os contém. Estas devem ter seu conteúdo de radionuclídeos determinado em detalhes, respeitar os limites de dose e contaminação superficial, possuir estabilidade estrutural de tal forma que a embalagem preserve sua integridade ao ser colocada no depósito, ser resistente a compressão, tração e corrosão e possuir taxa de lixiviação que atenda os limites determinados pela CNEN. Além destas especificações, as embalagens devem possuir materiais, taxa de produção de calor, gases e doses que não gerem danos ao repositório e nem a saúde dos trabalhadores, público geral e meio ambiente, entre outras especificações. [77]

5.1.4-Norma CNEN-NE-3.01

As diretrizes de proteção radiológica são determinadas pela norma CNEN-NE-3.01. Esta apresenta as responsabilidades gerais e requisitos para as práticas e intervenções. Referente às práticas são apontados os requisitos fundamentais, gerais, básicos de proteção radiológica e de gestão. Estabelece também os procedimentos de verificação de proteção radiológica; Critérios e limites para exposição ocupacional; médica e para o público; Classificação de áreas; Monitoração de área, individual e avaliação da exposição ocupacional; Saúde e registros ocupacionais; e Controle de visitantes. Os requisitos de intervenção discutem as obrigações fundamentais; requisitos de proteção radiológica e as exposições crônicas e em situação de emergência. [79]

5.1.5-Norma CNEN-NE-3.02

Os serviços de radioproteção descritos na norma CNEN-NE-3.02, estabelecem como tal serviço deve ser organizado. Nesta norma são apresentados os Objetos e aplicação; Estrutura do Serviço de Radioproteção; Qualificações dos Técnicos; Atividades do Serviço de Radioproteção e as Inspeções Realizadas pela CNEN.[80]

5.1.6-Norma CNEN-NE-5.01

Os procedimentos a serem adotados no transporte de materiais radioativos estão presentes na norma CNEN-NE-5.01. Este documento apresenta as especificações sobre materiais radioativos para fins de transporte tratando sobre a definição de material radioativo; Material radioativo sob forma especial; Material físsil, Tório não irradiado e natural; Urânio enriquecido, empobrecido, não irradiado e natural; Materiais internacionais BAE II e BAE III; Contaminação de Superfície e Objetos Considerados Contaminados. Aponta também a seleção do tipo de embalado destacando as limitações de atividade; Requisitos de projetos para embalados; Radioproteção e Segurança do Transporte; Responsabilidades e Requisitos Administrativos; Disposições Transitórias e os ensaios a serem realizados com o material radioativo e a embalagem para garantir a segurança do transporte [78].

5.1.7-Norma CNEN-NE-5.02

O transporte, recebimento, armazenagem e manuseio de elementos combustíveis são regidos pela norma CNEN-NE-5.02. Embora esta norma seja voltada para as instalações nucleoeletricas, muitos de seus itens se aplicam a reatores de pesquisa, principalmente no que tange aos combustíveis irradiados. Os itens que abrangem este documento são os requisitos gerais, específicos e a inspeção para transporte; e o Recebimento, armazenagem e manuseio de elementos combustíveis tanto irradiados como não-irradiados [82].

5.1.8-Relatório de Análise de Segurança (RAS)

O reator IPEN/MB-01 possui um documento que é exigido por norma [1] como parte de seu licenciamento chamado RAS (Relatório de Análise de Segurança) [8]. Este descreve a instalação, todos os programas e ações que são promovidas para garantir a segurança na operação, a segurança dos trabalhadores, do público em geral e do meio ambiente. O RAS possui informações, descrição de sistemas, itens e programas importantes em fase operacional da instalação que auxiliaram na elaboração deste plano preliminar. Dos itens presentes neste documento destacam-se, para fins de descomissionamento, os capítulos referentes à descrição completa da instalação, seus arredores e das condições geológicas e hidrológicas do sítio, procedimentos vigentes de proteção radiológica, gerenciamento de rejeitos radioativos, análise de segurança, proteção física, plano de emergência e controle de qualidade.

5.2-Recomendações Internacionais

No âmbito internacional existem diversos documentos e guias publicados pela AIEA que orientam todos os procedimentos envolvidos no descomissionamento, abrangendo desde recomendações gerais e até específicas voltadas aos reatores de pesquisa. Com relação as recomendações gerais, pode-se citar os documentos [4], [64] e [24]. Das referências específicas para descomissionamento de reatores de pesquisa, destacam-se as constantes em [11], [16], [21] e [86], entre outras.

Além das referências mencionadas, existem publicações da AIEA que foram utilizadas neste trabalho de forma complementar visando abordar itens específicos como recomendações sobre a seleção de estratégias, planejamento e gerenciamento de projeto e gestão de rejeitos radioativos presentes nos documentos [14],[25],[26],[56] e [87]. Há também publicações que abordam os demais itens relacionados ao descomissionamento, tendo como destaque as recomendações relacionadas à estimativa de custos e Avaliação de Segurança presentes, respectivamente em [88] e [22], entre outras.

Todas estas referências trazem informações, orientações e experiências que visam à realização das atividades de descomissionamento levando em consideração a segurança e os princípios ALARA. A seguir serão apresentadas resumidamente algumas publicações de grande relevância para o descomissionamento de reatores de pesquisa.

5.2.1-Decommissioning Techniques of Research Reactors

O documento [16] reúne a descrição de diversas experiências e técnicas utilizadas para o descomissionamento de reatores de pesquisa realizados por alguns países membros dos anos de 1997 a 2001. Esta publicação aborda sobre a coordenação em projetos de pesquisa relacionados ao descomissionamento; Resumos das metas do

projeto; Os avanços técnicos alcançados; Questões Pendentes; Resultado do Projeto e as Conclusões obtidas.

5.2.2- Decommissioning of Research Reactors: Evolution, State of the Art, Open Issues

A referência [11] realiza um levantamento das principais ações, procedimentos, técnicas e fatores relacionados ao descomissionamento de reatores de pesquisa até o ano de 2006. Este documento destaca o histórico e estágio atual onde é discutido o quadro global atual, razões para o descomissionamento e os fatores que afetam a estratégia. Estes fatores são o gerenciamento e planejamento, técnicas de descomissionamento e gerenciamento de rejeitos, intercâmbio de informações, custos e fundos. Por fim, uma discussão e levantamento sobre as questões pendentes relacionadas a cada um destes fatores também é realizada.

5.2.3-Selection of Decommissioning Strategies: Issues and Factors

A publicação [14] visa orientar a seleção da estratégia de descomissionamento em situações específicas, principalmente em casos adversos. Tal documento trata sobre os fatores que afetam a seleção da estratégia de descomissionamento que são o Quadro Regulatório e as Políticas Nacionais; Custo e Fundos; Gestão do Combustível Usado; Sistema de Gerenciamento de Rejeitos; e Técnicas e Tecnologias Adequadas para o Descomissionamento. Além destes fatores existem outros relacionados aos citados acima que também são discutidos como a Saúde, Segurança e Impacto Ambiental; Recursos humanos; Impactos Sociais e Envolvimento de Partes Interessadas. Com relação as situações adversas, esta publicação trata sobre as considerações estratégicas para a implementação do projeto de descomissionamento, recomendando ações nos casos de fundos disponíveis, quadro regulatório, sistemas de gestão de rejeitos e gerenciamento de combustível usado, inadequados ou limitados. Além disso, há recomendações em cenários decorrentes de falta de especialistas na área nuclear, demanda para uso de instalações ou sítios, questões específicas para pequenos programas nucleares com limitados recursos e influência de questões econômicas e sociais locais.

5.2.4-Standard Format and Content for Safety Related Decommissioning Documents(Safety Report Series No. 45)

O documento da AIEA que apresenta e discute os itens a serem contemplados em um plano de descomissionamento encontra-se em [6], sendo um importante guia para a realização dos procedimentos necessários para a remoção dos controles regulatórios de instalações nucleares, destacando quais ações devem ser implementadas. Este documento foi utilizado como base principal deste trabalho e norteou o seu

desenvolvimento. Por ser parte integrante da estrutura deste plano preliminar, os itens que compõem este documento serão apresentados no capítulo 8.

6-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

6.1 -Estratégias de descomissionamento

O conceito de descomissionamento é amplo e envolve diversas ações que dependem das características da instalação e dos recursos disponíveis. Uma instalação é considerada descomissionada, quando de acordo com a legislação do órgão regulador, chega ao estado final, onde ela é total ou parcialmente descontaminada, desativada e desmantelada com todos os possíveis riscos minimizados e com níveis seguros.

Descontaminação refere-se as técnicas de remoção e redução da contaminação radioativa de risco em todos dispositivos e equipamentos da instalação. Já o desmantelamento inclui técnicas de remoção e cortes para a retirada de materiais da instalação nuclear com segurança [86].

O descomissionamento envolve etapas como a preparação e fases de implementação. Com relação à preparação, tem-se o desenvolvimento de uma estratégia de descomissionamento, considerando a característica radiológica da instalação. A implementação inclui a preparação para o plano final de descomissionamento e a submissão para o corpo regulatório para aprovação, execução do plano, sua gestão e demonstração que o local esta de acordo com os requisitos de segurança estabelecidos no estágio final definido no plano [4].

Uma das ações em descomissionamento que podem ser necessárias em função do tipo de instalação e os recursos disponíveis é o confinamento com o intuito de diminuir a atividade radioativa presente, processo no qual pode durar alguns anos ou décadas. Isso, juntamente com as atividades de descomissionamento, implica na seleção de estratégias adequadas para a realização desses trabalhos [86]. As estratégias usuais para descomissionamento são apresentadas a seguir [21]:

- a) Desmantelamento imediato: É o descomissionamento completo da instalação logo após o seu desligamento. Este tipo de estratégia é recomendado para instalações que não trabalham com altas atividades radioativas como pequenas instalações e reatores de pesquisa de pequeno porte. Entretanto, é necessário recursos tanto técnico-administrativos como financeiros, operadores com bons conhecimentos da instalação e ter um plano bem definido para a gestão dos rejeitos gerados pelo descomissionamento.
- b) Desmantelamento diferido: Essa opção requer uma desmontagem precoce da instalação para prepará-la para o modo de confinamento seguro. No caso de reatores de pesquisa, consiste em desmontar de imediato as partes periféricas acessíveis da instalação e manter o núcleo do reator ativo em modo de

confinamento. Essa estratégia de descomissionamento permite a diminuição da atividade radioativa do núcleo para instalações com alta atividade radioativa e também disponibilizar os rejeitos de maneira adequada na instalação. Entretanto, deve-se ter uma boa estimativa do período de confinamento da instalação, pois os recursos técnico-administrativos e financeiros necessários para a manutenção e vigilância da instalação podem se tornar altamente caros. Pode ocorrer também a deterioração da estrutura da instalação se não houver os recursos disponíveis para dar continuidade aos trabalhos. Dessa forma, é fundamental a realização de planejamento já prevendo períodos de escassez de recursos.

- c) Confinamento: O confinamento é uma estratégia na qual o material radioativo remanescente é permanentemente confinado no local da instalação. Um nível baixo e intermediário dos resíduos depositados é efetivamente estabelecido e os requerimentos e controles para o estabelecimento, operação e isolamento dos resíduos depositados são aplicados [4]. Esta estratégia possui algumas vantagens pelo fato de se reduzir os custos com transporte de rejeitos. Atualmente não é praticada pelos estados membros da AIEA em função da preocupação ambiental [21]

A seleção da estratégia de descomissionamento deve se ater as peculiaridades do reator, custo e eficiência e as diversas ações de planejamento e execução das atividades [21]. Estas últimas incluem a gestão de rejeitos radioativos, técnicas de desmonte e descontaminação de materiais e as medições dos níveis de radiação durante as atividades de descomissionamento, estabelecendo níveis seguros para os trabalhadores no interior da instalação e para o meio externo.

A relação entre a estratégia escolhida e os recursos que a afetam e a relação entre a estratégia escolhida com o tipo de instalação é estabelecida segundo alguns critérios [21], conforme as tabelas 7 e 8 apresentadas abaixo.

Tabela-7: Relação entre a estratégia escolhida e os recursos que a afetam [21]

<i>Recursos que afetam a estratégia</i>	<i>Desmantelamento imediato</i>	<i>Desmantelamento diferido</i>	<i>Confinamento</i>
Necessidade de financiamento	- Curto prazo: alto - Longo prazo: ainda possível se os rejeitos foram armazenados.	-Curto prazo: médio - médio prazo: muito baixa - longo prazo: alto	- curto prazo: alto - longo prazo: nada
Recursos humanos	- Alto: pode também utilizar o conhecimento pessoal remanescente.	- Necessita de uma equipe de reconstrução depois do diferimento.	-Desmontagem imediata.
Termo fonte e taxas de dose	-Alta	-Desmontagem final lenta, dependendo dos radionuclídeos dominantes.	-alto, mas evita o acesso em áreas de altas doses.
Tecnologia adequada para cumprir as condições de segurança	- Uma sofisticada tecnologia pode ser requerida para realizar os trabalhos sob condições de segurança, dependendo da instalação.	-Curto prazo: Alguma tecnologia necessária. Longo prazo: Tarefas similares para desmonte imediato e simples técnicas para doses baixas.	-Curto prazo
Armazenamento de resíduos e disposição	- Curto prazo: Necessidade dos resíduos serem dispostos ou armazenados. - Longo prazo: Disposição de resíduos se previamente armazenados.	- Curto prazo: remoção simples de fontes avaliáveis. - Longo prazo: Necessidade dos resíduos serem dispostos.	- Curto prazo: simples remoção avaliável.
Combustível irradiado (reatores) uso futuro do local	- O local pode ser usado para outros fins depois de completos os trabalhos de descomissionamento. Mas, dependendo da situação o uso pode ser restrito.	- Curto prazo: O uso da instalação é restrito pela licença. -Longo prazo: desmontagem imediata.	- O uso do local pode ser restrito para proteção da instalação confinada.

Tabela-8: Tipo de instalação x Estratégia de Descomissionamento[21]

<i>Aplicações com combustível nuclear</i>	<i>Comentários</i>
<p><i>a) Instalações de ciclo nuclear combustível</i></p> <p><i>b) Reatores de pesquisa</i></p>	<p><i>a) A ativação não é um grande problema. O armazenamento de produtos, por exemplo, plutônio pode aumentar os riscos com o tempo. O diferimento é desencorajado.</i></p> <p><i>b) Ativação e contaminação presentes. Necessária análise completa para determinar a estratégia a ser adotada.</i></p>

6.2-Gestão de rejeitos no descomissionamento de reatores de pesquisa

Assim como todo o processo de descomissionamento, é fundamental que o gerenciamento de rejeitos radioativos seja planejado detalhadamente. Dessa forma, uma série de ações prévias devem ser contempladas em âmbito organizacional, administrativo e técnico para alcançar o sucesso nas atividades de gerenciamento de rejeitos no descomissionamento. Toda atividade de descomissionamento deve ser planejada e executada para gerar a menor quantidade de rejeito tanto radioativo como não radioativo, atendendo os princípios fundamentais de minimização de rejeitos radioativos que são: manter a geração de rejeitos mínima, minimizar o espalhamento da contaminação, otimizar as possibilidades de reciclagem e reuso e minimizar a quantidade de rejeitos radioativos por meio de técnicas de tratamento adequadas[56].

Para que esses princípios de minimização de rejeitos radioativos sejam contemplados com êxito, é necessário escolher a estratégia de descomissionamento adequada considerando, além das peculiaridades da instalação, fatores estratégicos (planejamento antes da ação), táticos (planejamento das ações) e técnicos (planejamento de como as ações serão realizadas). O conjunto de considerações que compõem estes fatores é apresentado a seguir [56]:

Estratégicos

- Condição material da instalação
- Condição radiológica da instalação.
- Restrições de segurança nuclear, industrial e proteção.
- Disponibilidade de infraestrutura para gerenciamento de rejeitos.
- Leis que governam a reciclagem e reuso de materiais.
- Serviços de operação, manutenção, monitoramento e vigilância.
- Possibilidade de reuso e recuperação da planta e seu interior como um todo.
- Existência de todos os recursos necessários disponíveis.
- Fundos e Custo.
- Aspectos sociais e de opinião pública. [56]

Tabela-9: Considerações em âmbito tático referente à estratégia de descomissionamento [56]

<i>Decisões Requeridas</i>	<i>Fatores que influenciam a decisão</i>
-Inventário das atividades de descomissionamento.	-Restrições regulatórias. -Especificidades da instalação.
-Gerenciamento de atividades de Descomissionamento	-Deve atender as condições de segurança e proteção com menor custo.
-Otimização do balanço de custos, programação e doses ocupacionais.	- Atender os limites de doses individuais e cumulativas nos trabalhadores

Técnicos:

- Descontaminação ou fixação de contaminação.
- Remoção de grandes peças ou redução de volume.
- Corte imerso em água ou no ar.
- Manuseamento de rejeito no local ou centralizado.
- Modos de acesso e rotas do material contaminado.
- Manipulação e manuseamento de equipamento.
- Métodos para proteção e segurança.
- Programação do trabalho, custo estimado e operação. [56]

Depois de realizada a análise de todos esses fatores que afetam a escolha da estratégia de descomissionamento que influi nos resultados de minimização de rejeitos, é necessário escolher a técnica de desmantelamento e descontaminação baseada nas considerações anteriores. Entretanto, antecede esta etapa, a realização da estimativa de volume a ser gerado ao se empregar tais técnicas e uma caracterização radiológica da instalação no intuito de selecionar a técnica mais adequada a ser utilizada. Isso facilita as futuras etapas de gestão do rejeito como tratamento, condicionamento, transporte, armazenamento e disposição final. A estimativa de volume, segundo [56], contempla os seguintes procedimentos:

- Classificação de componentes e estruturas da instalação quanto à atividade. (ativado, contaminado ou não e emissor).
- Inventário de massa e volume de sistemas e estruturas.
- Estimativa de quantidade de materiais que podem ser descontaminados e liberados condicional ou incondicionalmente, reciclados ou reusados.
- Estimativa de volume de materiais que podem ser incinerados ou compactados.
- Estimativa de volume de materiais que não podem ser incinerados ou compactados.
- Estimativa de volume de líquidos contaminados, efluentes gasosos e aerossóis gerados.

Cada uma das técnicas de desmantelamento e descontaminação devem ser avaliadas de acordo com o material onde serão aplicadas e com relação a viabilidade de aplicação em termos de custo, níveis de dose e geração de rejeitos secundários, pois em algumas destas técnicas podem ser vantajosas ou não. As principais técnicas de descontaminação e desmantelamento foram explicitadas anteriormente nas tabelas 4 e 5 constantes no item 3.1 deste trabalho.

Selecionadas as técnicas apropriadas para descontaminação e desmantelamento, inicia-se a implementação das atividades de descomissionamento. Nestas atividades, rejeitos serão gerados e os mesmos deverão passar pelo processo de caracterização. Isso permitirá uma gestão adequada do rejeito gerado. O fluxograma abaixo resume as etapas gerais para contemplar o gerenciamento de rejeitos radioativos buscando atender os princípios de minimização dos mesmos.

Figura 9-Fluxograma de etapas na gestão de rejeitos radioativos em descomissionamento. [56]

A etapa final do fluxograma compreende a gestão de rejeitos comum em fase operacional que no caso do Brasil, segue a norma presente em [75].

7-METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o plano preliminar de descomissionamento consistiu basicamente no estudo das normas CNEN, recomendações internacionais da AIEA e do documento referente à instalação chamado RAS (Relatório de Análise de Segurança) [8]. Com base neste estudo, todas as informações levantadas foram articuladas com foco na elaboração de procedimentos de descomissionamento voltados aos reatores de pesquisa visando adequá-los ao reator IPENMB-01.

As normas CNEN utilizadas neste trabalho estão presentes no item 5.1 e os subitens correspondentes apresentam um resumo das determinações das principais normas que nortearam o desenvolvimento deste trabalho.

O principal documento utilizado para a elaboração deste plano preliminar foi a recomendação *Safety Report Series No. 45* [6], sendo tal documento, a estrutura deste trabalho. Informações sobre esta referência encontram-se nos itens 5.2.4 e 8.1 desta dissertação.

O estudo do RAS [8] permitiu reunir informações e dados para a elaboração de diversos itens presentes em um plano de descomissionamento como a descrição da instalação, entorno e histórico operacional, estratégia de descomissionamento e subsidiou na composição de recomendações para outros planos individuais necessários para o descomissionamento. Os capítulos do RAS [8] utilizados para a composição dos planos individuais foram os referentes à Proteção Radiológica, Gerência de Rejeitos Radioativos, Conjunto Crítico, Sistemas Auxiliares, Programa de Garantia de Qualidade, Análise de Segurança, Plano de Emergência, Condução da operação-item proteção física, Edifícios e Estruturas, Características do Local e Descrição da Instalação [8].

Além das contribuições destes capítulos, foram incorporados nos planos individuais, os planos e programas estabelecidos no IPEN/CNEN-SP, documentos internos do reator e as recomendações internacionais que tratam de assuntos pertinentes aos itens que compõem um plano de descomissionamento. Com relação aos planos e programas existentes no IPEN/CNEN-SP, foi proposto que os mesmos fossem adaptados para a fase de descomissionamento. Os planos vigentes no IPEN/CNEN-SP utilizados foram os de Radioproteção [89], Emergência Radiológica [90], Proteção Contra Incêndio [91] e os programas existentes de Gerência de Rejeitos Radioativos [92], Garantia de Qualidade [93], Monitoração Radiológica Ambiental [94], Monitoração Químico Ambiental [95], Gerenciamento de Resíduos Químicos Não Radioativos [96] e Treinamento de Pessoal [97]. As documentações internas da instalação consultadas foram os programas de Combate a Incêndio do Reator [98], Proteção contra Incêndio [99], Proteção Física [100], Controle de Material Nuclear [101], Detecção de Intrusos [102] e Treinamento e

Retreinamento de Pessoal em Geral do reator IPENMB-01[103]. Por fim, as contribuições das experiências internacionais estão presentes nas referências apresentadas no item 5.2 deste trabalho.

Dessa forma, todo este conjunto de referências citadas foi utilizado para compor as recomendações presentes nos planos individuais deste trabalho com o intuito de orientar o desenvolvimento futuro da versão final de cada um destes planos pelos setores existentes no IPENCNEN-SP. Tais setores são o Serviço de Radioproteção, Gerência de Rejeitos Radioativos, Serviço de Engenharia e Segurança do Trabalho, Serviço de Salvaguardas, Serviço de Proteção Física, Garantia de Qualidade e Departamento de Monitoração Ambiental.

A próxima etapa consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta de gerenciamento de projeto utilizando o programa de banco de dados ACCESS 2007. A finalidade principal desta ferramenta é oferecer suporte ao gerenciamento do projeto de descomissionamento, permitindo o controle e manutenção de registros; e o acompanhamento e organização das atividades a serem executadas. Além disso, pode contemplar também as tarefas de descomissionamento dos demais setores quando for previsto o desligamento permanente da instalação.

A ferramenta elaborada foi aplicada em uma atividade selecionada do conjunto crítico que consiste no desmonte e destinação do tubo-guia das varetas absorvedoras. Uma descrição detalhada sobre a ferramenta desenvolvida e a atividade na qual foi aplicada consta no capítulo 9.

8-GUIA DE PROCEDIMENTOS DE DESCOMISSIONAMENTO PARA O REATOR IPEN\MB-01

Conforme já mencionado, o desenvolvimento do plano preliminar de descomissionamento seguirá o documento guia da AIEA *Safety Report Series n°45*[6]. Este apresenta um conjunto de itens que estruturam e orientam a elaboração de um plano de descomissionamento. Assim, o documento [6] recomenda que um plano seja composto pelos seguintes itens:

- Introdução
- Descrição da Instalação
- Estratégia de Descomissionamento
- Gestão de Projeto
- Atividades de Descomissionamento
- Monitoramento e Vigilância
- Gestão de Rejeitos
- Custo estimado e mecanismos de financiamento
- Avaliação de Segurança
- Avaliação Ambiental
- Saúde e Segurança
- Garantia de Qualidade
- Plano de Emergência
- Segurança física e Salvaguardas
- Supervisão Final de Radiação

O estudo realizado das normas CNEN, recomendações da AIEA e do RAS [8], permitiram o desenvolvimento dos itens introdução, descrição da instalação, estratégia de descomissionamento, gestão de projeto, atividades de descomissionamento e gestão de rejeitos radioativos. Em cada um destes itens foram propostos ações e procedimentos de descomissionamento a serem implementados. Os demais, em sua maioria e com exceção do custo, são itens compostos por planos individuais que deverão ser elaborados e revisados por profissionais da própria instalação e dos setores existentes no IPEN\CNEN-SP. Tais setores são o Serviço de Radioproteção, Gerência de Rejeitos Radioativos, Serviço de Engenharia e Segurança do Trabalho, Serviço de Salvaguardas, Serviço de Proteção Física, Garantia de Qualidade e Departamento de Monitoração Ambiental.

Dessa forma, para os itens de responsabilidade dos setores do IPEN\CNEN-SP serão apresentados um conjunto de orientações baseadas nas publicações da AIEA, normas CNEN e nos planos e programas apresentados no capítulo 7 deste trabalho. O item custo não será contemplado nesta proposta de plano preliminar, pois uma estimativa de custo é adequada quando for prevista a data de desligamento da instalação e um plano final de descomissionamento estiver em desenvolvimento. Entretanto, neste plano

constará também um conjunto de recomendações baseadas na experiência internacional para a elaboração deste item.

A seguir serão apresentados os procedimentos de descomissionamento propostos e as recomendações presentes nos itens que compõem este plano preliminar.

8.1-Introdução

O reator de pesquisa IPEN / MB-01 localiza-se nas dependências do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) precisamente na Av. Lineu Prestes 2242 - CEP: 05508-000 – Butantã - São Paulo – SP, Brasil, campus capital da Universidade de São Paulo. O IPEN é uma autarquia do estado de São Paulo gerenciada pela CNEN (Comissão Nacional de energia Nuclear) desde 1982. A CNEN é vinculada ao ministério da ciência e tecnologia do governo brasileiro. O IPEN / CNEN-SP realiza inúmeras pesquisas voltadas a aplicações da energia nuclear em diversos setores da sociedade como energia, indústria, agricultura, medicina, alimentos e bem como a formação de cientistas por meio de cursos de pós-graduação e treinamento de pessoal para diversas áreas referentes à energia nuclear. [7].

O projeto do reator IPEN / MB-01 iniciou a sua concepção em 1983 por meio de estudos e avaliações realizadas pelos técnicos do Departamento de Tecnologia de Reatores (RT), lotados no IPEN /CNEN-SP, que teve como resultado a confecção do Relatório de Projeto do Reator IPEN/MB-01[104].

Com a elaboração deste relatório, no mesmo ano, a fase seguinte foi à realização do processo licitatório com o intuito de contratar uma empresa de engenharia para a construção do reator. A empresa escolhida foi a ENGEVIX S.A por oferecer a melhor proposta em termos de custo-benefício e pela experiência reconhecida nacionalmente [8].

Referente à participação dos técnicos do IPEN /CNEN-SP no projeto do reator, os mesmos projetaram todos os sistemas diretamente voltados à segurança operacional da instalação, tais como o Sistema de Controle, Sistema de Proteção, Monitoração de Radiação e Conjunto Crítico, além da escolha e estudos de impacto ambiental no local. [8].

Em julho de 1988 o reator foi totalmente construído e nesse mesmo ano iniciou-se os primeiros testes de funcionamento e trabalhos para a obtenção de sua autorização para operação junto a CNEN, atendendo todos os requisitos da norma CNEN-NE 1.04 [1]. Contemplado este processo, no dia 19 de outubro de 1988, o reator obteve sua autorização de funcionamento [8].

8.2-Descrição da Instalação

Operando desde o ano de 1988 e construído com parceria entre o IPEN-SP (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) e o CTM-SP (Centro Tecnológico da

Marinha de São Paulo), vinculado ao projeto do submarino nuclear brasileiro, o reator IPEN/MB-01 situa-se no campus da capital da Universidade de São Paulo, nas dependências do IPEN-SP. O mesmo abriga diversos centros de pesquisa com atividades em diversas áreas de aplicação da energia nuclear. O setor do instituto responsável pelo gerenciamento do reator é o CEN (Centro de Engenharia Nuclear). A localização do reator dentro do IPEN/CNEN-SP é mostrada na figura abaixo:

Figura 9-Localização do reator IPEN/MB-01 nas dependências do IPEN-CNEN/SP [8]

A área externa ao reator e ao IPEN/CNEN-SP é urbanizada abrangendo diversos institutos e faculdades da Universidade de São Paulo como o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Instituto Butantã, Fundação Prefeito Faria Lima (CEPAM), Hospital Universitário, Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Faculdade de Veterinária e Zootecnia e a Faculdade de Odontologia.

O IPEN/CNEN-SP é localizado no bairro do Butantã e próximo aos bairros de Pinheiros e Rio Pequeno, situados na zona oeste da cidade de São Paulo. Às vias de acesso mais próximas ao instituto são a Marginal do Rio Pinheiros, Avenida Corifeu de Azevedo Marques, Avenida Jaguaré e Rodovia Raposo Tavares. [8]

A figura a seguir apresenta o mapa das edificações e vias próximas ao reator IPEN/MB-01.

Figura 10-Mapa dos arredores e vias de acesso ao reator IPENMB-01 [8]

O IPENMB-01 é um reator de pesquisa do tipo potencia zero, com potência nominal máxima de 100W. Atingiu a sua primeira criticalidade no dia 9 de novembro de 1988 e iniciou o seu funcionamento no dia 28 de novembro deste mesmo ano. Tem como principal característica a versatilidade de possibilitar diferentes arranjos críticos de seu núcleo, obtendo-se diferentes configurações. Realiza também testes de núcleos de propulsão naval para um submarino nuclear e de núcleos de reatores de potência mais elevada, simulando condições de operação. Suas finalidades são a realização de experimentos científicos, treinamento e formação de operadores.

Como o projeto deste reator foi atrelado ao submarino nuclear, o mesmo possui como característica peculiar o controle da reatividade por inserção e retirada de barras de controle, que permite variações de potência em curtos intervalos de tempo, situação interessante para um submarino nuclear caso necessite variar sua velocidade rapidamente, no qual difere o reator de outros projetos de instalação desse tipo. [7]

Figura 11-Reator IPEN/MB-01 [7]

De forma a atender aos critérios estabelecidos em [1], por requisito de segurança, relacionado ao tipo de atividade desenvolvida, a instalação foi dividida em cinco setores conforme a figura abaixo:

- Setor 1:** Célula Crítica
Setor 2: Sala de Controle e Aquisição de Dados
Setor 3: Laboratórios
Setor 4: Gerência
Setor 5: Edifício Auxiliar

Figura 12- Setores do reator IPEN/MB-01[8]

Setor 1-Célula Crítica: Edifício onde se encontra o conjunto crítico destinado ao estudo das características neutrônicas de núcleos moderados a água leve, tendo para

isso na sua concepção a flexibilidade necessária para testar diferentes configurações de núcleos,

Setor 2-Controle: Área estanque, constituída pela sala de controle, aquisição de dados, eletrotécnica e galeria de cabos.

Setor 3-Laboratórios: Espaços utilizados como sala de contagem de alvos irradiados, atividades químicas, sala de descontaminação e depósito de materiais radioativos de baixa atividade e atividades de proteção radiológica,

Setor 4- Administração: Área convencional onde estão alocados portaria, sala de gerência, vestiários, sanitários e depósitos de materiais,

Setor 5-Edifício Auxiliar: Destinado a abrigar os sistemas de tratamento de água de alimentação, de condicionamento de ar e ventilação, ar comprimido para instrumentos e combate a incêndio.

Dos setores citados acima, o foco deste trabalho está em um componente do setor 1, conforme já mencionado, o conjunto crítico. A escolha deste componente para aplicação de procedimentos de descomissionamento está no fato de o mesmo se apresentar como uma potencial fonte de geração de rejeitos radioativos, pois seus constituintes estão mais suscetíveis ao fluxo de nêutrons. O conjunto crítico envolve materiais radioativos e não radioativos, fato este que contribuirá na elaboração de estratégias a serem implementadas nos demais setores da instalação.

8.2.1-Conjunto Crítico

O Conjunto Crítico tem como finalidade a realização de experimentos e simulações neutrônicas de reatores moderados a água leve possibilitando a verificação experimental de parâmetros nucleares. A flexibilidade de configurações de núcleo do conjunto crítico possibilita a verificação de métodos de cálculo, efetividade de elementos de controle, estrutura de células, malhas do reator e resposta do núcleo a inserções de reatividade. Constituído por uma montagem de material físsil, este conjunto permite que a reação em cadeia seja auto mantida, sustentada e controlada a um nível baixo de potência durante as operações, de tal forma que se torna desnecessário um sistema de resfriamento do reator pelo fato dos efeitos de realimentação de temperatura serem insignificantes [8]. A figura 12 apresenta o Conjunto Crítico e seus principais componentes.

Figura 13- Representação do conjunto crítico do reator IPEN/MB-01[8]

A primeira configuração de núcleo do reator IPEN/MB-01, conhecida como retangular, possui um total de 680 varetas combustíveis sendo um arranjo de 28x26 e 48 varetas de controle/segurança que visam o controle da reação nuclear em cadeia e o desligamento do reator. As dimensões ativas deste tipo de configuração são 39x 42x 54,6 cm, com 2415pcm de excesso de reatividade[7].

O núcleo do reator é inserido em um tanque moderador de aço no qual os nêutrons são moderados com água leve, e assentado em uma estrutura metálica constituída por três placas espaçadoras de aço inox denominadas placa suporte do núcleo, placa espaçadora intermediária e placa espaçadora superior. A fonte de nêutrons é de Am-Be com atividade de 1Ci.

Nos próximos subitens serão descritos os principais constituintes do objeto de estudo selecionado neste trabalho para a implementação de procedimentos de descomissionamento, o conjunto crítico.

8.2.1.1-Vareta Combustível

As varetas combustíveis são revestidas e fechadas por tampões constituídos de aço inox austenítico AISI 304 L, contendo 52 pastilhas de dióxido de urânio(UO_2) enriquecidas a 4,3% de U-235. Estas pastilhas possuem formato cilíndrico com concavidades e chanfros nas extremidades sendo obtidas pelo processo de compactação a frio do pó de UO_2 e posterior sinterização. O comprimento total das varetas combustíveis é de 1194 mm com comprimento ativo (região onde se encontra o combustível da vareta) de 546 mm. Para fins de posicionamento da coluna de pastilhas, há um tubo espaçador, uma mola de fixação e pastilhas cilíndricas de Al_2O_3 no interior da vareta. Para detecção de vazamento por qualquer falha estrutural que possa ocorrer, as varetas combustíveis são internamente preenchidas com gás hélio (He) a pressão de 1 bar [8].

Em função da baixa potência e baixo número de horas de operação, a elevação de temperatura nas varetas combustíveis é praticamente desprezível, sendo improvável vazamento ou inchaço que promova a ruptura e liberação significativa de produtos de fissão. [8] A figura 13 apresenta um diagrama esquemático da vareta combustível.

Figura 14- Diagrama esquemático da vareta combustível [8]

8.2.1.2- Elementos de Controle e Segurança

As finalidades destes elementos são o controle de nível de potência do reator por meio da inserção ou retirada dos elementos de controle com a relação à região ativa do núcleo e o desligamento do reator com a inserção dos elementos de segurança. Os elementos de controle e segurança são constituídos de 48 varetas, divididas em grupos de 12 varetas para cada um dos quatro quadrantes do núcleo [8].

As varetas de controle são constituídas por um material absorvedor de nêutrons composto por uma liga de Ag-In-Cd encapsulada num tubo revestido por aço inox austenítico com fechamento na extremidade inferior por tampão e na parte superior por haste soldada que permite sua fixação. Os elementos de segurança são varetas com as mesmas características das varetas de controle diferindo apenas no elemento absorvedor de nêutrons que no caso é o Carbeto de Boro na forma de pó compactado. [8].

A figura 14 apresenta um diagrama esquemático das varetas de controle e de segurança.

Figura 15- Diagrama esquemático das varetas de controle e de segurança. [8]

8.2.1.3-Mecanismo de Acionamento

Este mecanismo é responsável pela movimentação dos elementos de controle e segurança e está conectado a haste de acionamento. Esta é ligada a aranha que permite a fixação dos elementos de controle e segurança.

O mecanismo de acionamento (MAB) interliga-se a haste de acionamento por meio de um magneto acoplado. Para o desligamento rápido do reator, a corrente que circula nos magnetos é cortada, desenergizando-os. Isso acarreta na queda dos elementos de controle e segurança por gravidade. Na instalação, esse procedimento de desligamento é chamado de SCRAM (Desligamento involuntário do reator em função de qualquer acontecimento ou procedimento adotado que afete a segurança da operação) de Nível 1 e o desligamento pelo esvaziamento rápido da água do tanque moderador é chamado de SCRAM de Nível 2.

As varetas que constituem os elementos de controle e segurança se movimentam por tubos guia de aço inox com folga suficiente entre os mesmos e as varetas de controle e segurança, evitando atrito e possíveis danos durante os movimentos de inserção e retirada [8].

8.2.1.4-Placas Espaçadoras

A estrutura metálica que alinha verticalmente e proporciona o espaçamento adequado para as varetas combustíveis é composta por três placas espaçadoras posicionadas em cotas diferentes ao longo do núcleo. A primeira placa, partindo do fundo do tanque a sua parte superior é denominada placa suporte do núcleo, cuja função é suportar o peso das varetas combustíveis.

A segunda placa se situa a 11,12cm partindo da placa suporte do núcleo sendo denominada placa espaçadora do núcleo. A mesma foi projetada para facilitar o posicionamento e a introdução das varetas combustíveis no núcleo.

A terceira placa, a placa espaçadora superior, é utilizada como base para as quatro colunas guia dos elementos de controle/Segurança e localiza-se a 11,34cm acima da placa suporte do núcleo.

Todas as placas são conectadas entre si por tubos guias das varetas absorvedoras, por colunas e possuem furos circulares com espaçamento de 15 mm com relação a cada centro para facilitar o posicionamento das varetas combustíveis e de modo a não interagir com a região ativa do núcleo [8].

8.2.1.5-Instrumentação

Responsável pelo controle e operação da instalação, a instrumentação do reator é constituída por detectores que representam 10 canais. Estes são divididos em dois canais de partida com detector BF_3 , dois canais de potência com detectores Câmaras de Ionização Compensada (CIC), dois canais lineares com detectores (CIC),

um canal de segurança de partida com detector BF_3 e três de segurança para a faixa de potência com dois detectores (CIC) e um detector BF_3 .

Os detectores dos canais de instrumentação são inseridos no centro de tubos de alumínio de 9,5cm de diâmetro interno e estão posicionados a $1/4$ da altura efetiva do núcleo de tal forma que não alteram o fluxo de nêutrons e não inserem, isoladamente, reatividade positiva superior a 500pcm. A figura 15 mostra o posicionamento dos refletores no núcleo do reator.

Figura 16- Posicionamento dos Detectores no Núcleo em que: 1 e 2- canais de partida; 3 e 4- canais de potência; 5 e 6- canais intermediários; 7,8 e 10- canais de segurança para a faixa de potência e 10- canal de segurança para a faixa de partida.[8]

Além destes detectores, existem detectores de ativação para realização de experimentos onde são inseridos fios e folhas no núcleo do reator.

Existem também componentes auxiliares como fontes de alta tensão, amplificadores, fontes de alimentação e fiação que são responsáveis pela aquisição de dados que se destina a sala de controle. [8]

8.2.1.6-Estruturas e Componentes

As estruturas e componentes do conjunto crítico como a estrutura suporte do núcleo, tanque moderador e algumas tubulações são constituídas de aço inoxidável

padrão ASTM, possuindo baixo teor de cobalto e em sua maioria estão afastadas da região ativa do núcleo. Essas características proporcionam uma baixa ativação destes materiais, com exceção dos tubos guias das varetas absorvedoras, pois os mesmos se encontram muito próximos da região ativa do núcleo. As figuras 16 e 17 apresentam respectivamente os principais componentes do conjunto crítico em detalhes e a visão geral do conjunto crítico do reator.

Figura 17- Principais Componentes do Conjunto Crítico: 1-Varetas Combustíveis; 2-Aranha com Varetas Absorvedoras; 3-Mecanismo de Acionamento ; 4-Placa Espaçadora Superior; 5-Tubo para Detectores Experimentais; 6-Tubos de Detectores; 7-Cabos; 8-Fiação para Aquisição de Dados ;9-Tanque Moderador..

Figura 18-Visão Geral do Conjunto Crítico do reator-Piso Térreo.

O reator possui diversos sistemas que permitem uma operação segura e evitam acidentes de diversas naturezas, principalmente associados a vazamento de material radioativo e a exposição a altas doses. Uma descrição detalhada destes sistemas constam nos capítulos 1, 6 e 9 do RAS [8].

Para fins de descomissionamento, os sistemas existentes na instalação de Condicionamento Ar e Ventilação da célula crítica e do Edifício de Apoio, iluminação e os Subsistemas Elétricos de Serviço e Essencial permanecerão ligados, sendo os mesmos desligados apenas no final dos trabalhos por serem importantes para garantir a segurança de todos os trabalhadores envolvidos nas tarefas a serem desempenhadas.

8.2.2-Histórico Operacional

Desde o início de seu funcionamento até o presente momento, todos os experimentos realizados na instalação não afetaram sua estrutura e não provocaram nenhum tipo de vazamento de material radioativo em qualquer estado da matéria tanto no interior como nas áreas externas ao reator. Não houve reforma ou reparo feito de tal forma que modificasse as características da instalação para fins de descomissionamento. Em função da baixa quantidade de rejeito gerado, não há material radioativo enterrado no interior ou nos arredores da instalação. Os únicos eventos que ocorreram foram desligamentos involuntários (SCRAM) e 20 ocorrências de eventos de operação que consistem em acontecimentos não usuais onde há possibilidade de afetar a segurança das operações. Com relação aos desligamentos, os mesmos ocorreram em função da

queda de energia ou flutuações na alimentação elétrica externa, ruídos eletrônicos e grandes variações no canal nuclear de segurança 10. Este problema foi resolvido com interligamento de malhas de aterramento e a substituição do detetor tipo BF3 do canal 10 por um detetor de Boro 10 com blindagem apropriada nos pré-amplificadores dos canais nucleares onde há estes instrumentos. Os eventos de operação que ocorreram não ocasionaram qualquer tipo de acidente seja radioativo ou não radioativo e não culminou na liberação de nenhum tipo de material ao meio ambiente [8].

8.3-Estratégia de Descomissionamento

Para definição da estratégia inicial de descomissionamento do Conjunto Crítico do reator IPENMB-01, diversos aspectos foram considerados. Estes foram os inventários de doses da Célula Crítica presentes em [8], a análise geral dos principais fatores que afetam a seleção da estratégia de descomissionamento (Recursos humanos, tecnologia requerida, disponibilidade de instalações de gerenciamento de rejeitos e impactos na saúde, segurança e meio ambiente) [6], [14] e [21], e as experiências e estratégias internacionais em descomissionamento de reatores de pesquisa presentes em [16] e [65].

Cabe ressaltar a existência de outros fatores que afetam a seleção da estratégia de descomissionamento como a legislação existente referente ao descomissionamento, o envolvimento de partes interessadas e impactos sociais associados ao projeto e o custo. Referente ao primeiro fator, a legislação nacional que ampara direta ou indiretamente os procedimentos de descomissionamento propostos neste trabalho já foram citadas no capítulo 5. Para o segundo e terceiro fator, uma discussão e análise sobre os impactos sociais e envolvimento de partes interessadas e o custo é pertinente para fins de elaboração de um plano final de descomissionamento, não sendo compatível neste momento com os objetivos do trabalho proposto.

As considerações que justificam a seleção preliminar da estratégia de descomissionamento são discutidas a seguir.

8.3.1- Inventário de Doses da Célula Crítica

As estimativas de doses que serão apresentadas constam no capítulo 12 da referência [8]. Para fins de justificativa de estratégia de descomissionamento foram utilizadas as estimativas de inventários de doses nas proximidades do conjunto crítico em determinadas condições de operação no intuito de avaliar a segurança radiológica para acesso e execução de procedimentos de descomissionamento. A tabela 9 e o gráfico 2 apresentam os resultados obtidos.

Tabela-9: Taxa de Dose Versus Tempo de Operação de Resfriamento com reator operando com potência de 100 W a 1m do tanque moderador. [8]

Tempo de Irradiação (Horas)	Tempo de Resfriamento (dias)													
	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
	Dose (10^{-5}Sv/h)													
1/2	20,5	8,5	5,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
1	40,0	16,5	10,0	7,0	5,0	4,0	3,0	2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
2	75,5	32,0	19,0	13,0	10,0	8,0	6,0	5,0	4,0	3,0	<2,5	<2,5	<2,5	<2,5
3	108,0	46,5	28,0	20,0	15,0	12,5	9,0	7,5	6,0	4,5	3,5	3,0	<2,5	<2,5
4	132,0	60,5	36,5	25,5	19,5	16,0	12,0	10,0	7,5	6,0	4,5	4,0	3,5	3,0
6	191,0	86,5	53,0	37,5	29,0	24,0	18,0	15,0	11,5	8,0	7,0	5,5	4,5	4,2
8	236,0	110,5	68,0	48,5	38,0	23,5	19,5	19,5	14,5	11,5	9,5	7,5	6,5	5,5
24	464,0	248,5	165,5	124,0	100,0	84,5	66,0	55,0	42,5	33,0	26,5	22,0	18,5	16,0

Gráfico-2: Taxa de Dose Versus Tempo de Decaimento – Detetor Encostado ao Tanque do Moderador [8].

Analisando os dados da tabela 9, nota-se que as doses diminuem significativamente em poucos dias. De acordo com esta tabela, na situação em que o reator opera 1 hora, tempo em média de operação diária do reator, a dose na célula crítica nas primeiras 12 horas após os desligamento do reator é de $40 \times 10^{-5} \text{ Sv/h}$ e passadas mais 12 horas atinge o valor de $16,5 \times 10^{-5} \text{ Sv/h}$. Estes valores estão abaixo do limite para acesso de pessoas autorizadas no prédio da célula crítica estabelecido em $100 \times 10^{-5} \text{ Sv/h}$ [8].

O gráfico 2 demonstra que em poucas horas as doses presentes na região próxima do tanque moderador diminuem drasticamente e passadas 6 horas, a dose é próxima de 0. Cabe ressaltar que nem sempre o reator opera a 100 W de potência e provavelmente as doses presentes no conjunto crítico sejam menores que os valores estimados.

Para fins de descomissionamento do conjunto crítico, estas doses podem ser gerenciadas de tal forma que até o término das tarefas um trabalhador possa receber uma dose muito inferior aos limites anuais constantes em [79]

Dessa forma, é possível o acesso seguro nas proximidades do conjunto crítico desde que sob uma programação, planejamento de doses e supervisão estabelecida pela proteção radiológica [8].

A dose de outras áreas da instalação como a sala de controle que abrange a área restrita supervisionada é de $7,5\mu\text{Sv/h}$ considerando uma operação a 100W. Este valor de dose é bem abaixo do limite determinado para área que é de $25\mu\text{Sv/h}$. Em uma ano, considerando o mesmo composto por 50 semanas, com o reator operando a 40 horas semanais, a dose recebida seria inferior a $1,5 \times 10^{-2}$ Sv [8], valor também menor que o limite de dose anual para os trabalhadores determinados em [79].

8.3.2-Recursos Humanos

O IPEN/CNEN-SP, em função de sua tradição em pesquisas e formação de pessoal na área nuclear, possui um corpo técnico e científico de alto nível que juntamente com a infraestrutura existente, podem atuar e auxiliar nas atividades de descomissionamento. Além disso, reúne condições para a formação de novos especialistas por meio de cursos existentes e treinamentos realizados para aprimoramento do trabalho dos profissionais lotados nos diversos setores do instituto, inclusive para os técnicos ingressantes lotados no reator, garantindo a transmissão do conhecimento sobre a planta por meio do programa de treinamento e retreinamento de operadores do reator IPENMB-01[103]. Isso é importante pelo fato do projeto de descomissionamento demandar profissionais com conhecimento da instalação [14].

Existem também diversos setores que oferecem suporte ao funcionamento de diversos centros de pesquisa que podem contribuir na realização de procedimentos de descomissionamento. Tais setores são descritos no item 7 desta dissertação.

8.3.3-Tecnologia Requerida

Em função das características da instalação, não são necessárias tecnologias e ferramentas sofisticadas ou não convencionais na área de descomissionamento para execução das atividades propostas. Com relação às doses na célula crítica apresentadas no item 8.3.1, como as mesmas são baixas, as atividades de descomissionamento não demandarão operação remota em nenhuma situação, sendo possivelmente executadas

diretamente por trabalhadores e técnicos com supervisão da proteção radiológica. Os componentes do conjunto crítico são, em sua maioria, conectados entre si por parafusos e suportes metálicos. Dessa forma, depois da elaboração e implementação de uma programação específica pela proteção radiológica, o desmonte do conjunto crítico se enquadrará na categoria de desmonte industrial sendo previsto que as ferramentas utilizadas para esta atividade sejam as comumente utilizadas pela indústria.

8.3.4- Instalações de Gerenciamento de Rejeitos

As instalações de gerenciamento de rejeitos radioativos com possibilidade de receber os rejeitos oriundos das atividades de descomissionamento do conjunto crítico são a Gerência de Rejeitos Radioativos do IPEN/CNEN-SP (GRR) e o Repositório de Rejeitos de Baixo e Médio nível de atividade com previsão de funcionamento para o ano de 2018 [105].

A instalação existente na Gerência de Rejeitos Radioativos recebe rejeitos baseado no Programa de Gerenciamento de Rejeitos Radioativos do IPEN/CNEN-SP[92], possuindo infraestrutura para coleta, transporte, tratamento e armazenamento dos mesmos. O critério geral de aceitação de rejeitos são que os mesmos possuam meia-vida superior a 100 dias. Casos específicos que transgridam este critério são analisados pela própria GRR. [92]

É previsto que o Repositório de Rejeitos de Baixo e Médio Nível de Radiação receba rejeitos emissores beta/gama de meia-vida curta menor ou da ordem de 30 anos e rejeitos de meia-vida muito curta com meia-vida inferior ou da ordem de 100 dias, de baixa contaminação, oriundos de atividades de descomissionamento em instalações nucleares e radiativas [105]. Para deposição dos rejeitos de meia-vida curta e muita curta estão sendo projetados, respectivamente, módulos de concreto e trincheiras com camadas drenantes e hipermeabilizantes [105].

Com relação às varetas combustíveis usadas, o destino final das mesmas é de competência da CNEN.

8.3.5-Impactos na Saúde, Segurança e Meio Ambiente

Em função dos resultados de estimativas de doses presentes no item 8.3.1 e tendo como objetivo apenas o descomissionamento do conjunto crítico, onde é previsto a geração de um volume baixo de rejeitos radioativos, não é esperado grandes impactos negativos a saúde, a segurança e ao meio ambiente. Pelo fato da instalação operar a baixa potência (máximo 100 W), é previsto um inventário radiológico baixo associado aos rejeitos a serem gerados, minimizando efeitos de dose nos trabalhadores [24], [106]. Para garantir a segurança, toda a atividade programada de descomissionamento a ser executada terá o acompanhamento da proteção radiológica, supervisão do Serviço de Engenharia e Segurança do Trabalho do IPEN/CNEN-SP, especificamente para as

atividades de desmantelamento do conjunto crítico. Além disso, todos os procedimentos preliminares relacionados ao descomissionamento deverão se submeter às determinações do programa de garantia de qualidade.

Um documento detalhado sobre os impactos na saúde, segurança e meio ambiente do projeto de descomissionamento deverá ser elaborado pelos profissionais IPEN/CNEN-SP para fins de desenvolvimento de um plano final de descomissionamento.

8.3.6-Seleção da Estratégia

De acordo com os resultados da estimativa de inventário de dose, características da instalação, a análise geral dos fatores que interferem na seleção da estratégia segundo [6], [14] e [21], a estratégia geral recomendada para o descomissionamento do conjunto crítico é o desmantelamento imediato, que foi discutida no item 5, consistindo no início das atividades de descomissionamento assim que o reator for desligado.[14]

Em termos de estratégias específicas de descomissionamento, a experiência internacional relacionada aos reatores de pesquisa presentes em [16] e [65] permite recomendar os seguintes procedimentos:

- Retirada do combustível do reator e armazenamento provisório nas covas.
- Remoção, armazenamento, acondicionamento e destinação final adequada dos materiais classificados como de baixa atividade e livre liberação dos materiais abaixo do nível de dispensa estabelecido em [75].
- Desmontagem/Desmantelamento dos componentes do Conjunto Crítico.
- Gerenciamento e destinação adequada dos rejeitos radioativos.
- Supervisão radiológica final.

Cabe apontar que a estratégia desmantelamento imediato não precisa ser implementada imediatamente ao desligamento da instalação. Como o descomissionamento demandará uma fase de preparação, é possível manter a instalação desligada por alguns dias no intuito de promover a diminuição de doses existentes, pois as mesmas diminuem rapidamente conforme os dados apresentados na tabela 9. O número de dias adequados para mantê-la desligada será definido pela proteção radiológica.

8.4-Gestão de Projeto

A gestão de projeto foi baseada nas peculiaridades da instalação e nas referências [107] e [108]. Dessa forma, foi elaborada a proposta para gerenciamento do projeto de descomissionamento voltada para as atividades selecionadas neste trabalho, podendo ser aplicada para toda a instalação.

A gestão de projeto é constituída pela Abordagem de Gerenciamento de Projeto, Organização e Responsabilidades de Gestão de Projeto e de Gerenciamento de Tarefas, Cultura de Segurança, Treinamento e Suporte de Contratados. A seguir serão descritos cada um destes itens que contemplam a gestão de projeto de acordo com [6].

8.4.1- Abordagem de Gerenciamento de Projeto

O planejamento, gerenciamento e implementação das atividades de descomissionamento propostas neste plano preliminar demandarão, em linhas gerais, os seguintes recursos:

- Recursos humanos (técnicos do IPEN e contratados)
- Espaço Físico e equipamentos para a realização de atividades administrativas
- Sistema de monitoramento
- Ferramentas para execução de tarefas
- Equipamentos para monitoração e detecção de radiação
- Embalagens e cascos para transporte de materiais radioativos
- Equipamentos de proteção individual
- Veículo para transporte de materiais radioativos e não radioativos

Uma estimativa detalhada dos materiais necessários e de força de trabalho para realização das atividades de descomissionamento deverá ser elaborada ao longo do tempo de vida útil da instalação por profissionais do IPEN/CNEN-SP e técnicos do reator, sendo pertinente uma definição destes recursos quando for anunciado o seu desligamento.

No reator, o setor 2, gerência administrativa, existe uma sala que dispõe de materiais usuais de escritório como computadores, mesas, cadeiras, computadores, impressora e outros materiais que auxiliarão na execução de tarefas administrativas com organização e elaboração de documentos. Além disso, existem 2 salas no setor de laboratórios que podem ser adaptadas e utilizadas para finalidades administrativas.

8.4.2-Organização e Responsabilidades de Gestão de Projeto

Para o gerenciamento do projeto de descomissionamento e bem como em suas atividades, é fundamental definir a hierarquia organizacional, especialidades e as funções técnicas, administrativas e de campo a serem realizadas pela equipe que trabalhará no projeto de descomissionamento. Em todos os cargos e funções a serem realizadas estarão presentes técnicos da instalação de diversos setores do IPEN/CNEN-

SP e contratados. O fluxograma presente na figura 18 apresenta a proposta de hierarquia geral de funções para a realização das atividades de descomissionamento da instalação:

Figura 19-Hierarquia geral para a realização das atividades de descomissionamento. [108]

Conforme se observa na figura 19, o cargo responsável por todo o gerenciamento do projeto de descomissionamento é o de Gerente de Projeto, com a função de acompanhar os procedimentos realizados pelas demais funções. A garantia de qualidade tem uma posição de destaque na hierarquia organizacional, pois ela deve estar presente em todas as ações relacionadas às atividades de descomissionamento assim como nos aspectos financeiros que mesmo não sendo tratado em detalhes neste plano preliminar, terá uma grande importância na elaboração do plano final de descomissionamento em virtude do planejamento das ações ser diretamente subordinado aos recursos financeiros disponíveis [88]. A revisão independente da gestão de projeto e bem como do plano preliminar será realizada pela CNEN.

Em cada um destes cargos constantes na hierarquia geral são definidas responsabilidades no intuito de garantir uma organização e implementação eficazes no gerenciamento do projeto de descomissionamento. Tais responsabilidades são descritas a seguir:

Gerente de Projeto de Descomissionamento: Cargo máximo na hierarquia geral, possuindo a responsabilidade de organizar, fiscalizar, coordenar, planejar, orientar, delegar funções e comunicar e responder às partes interessadas e órgão regulatório tudo referente ao projeto de descomissionamento. Qualquer fato, alteração ou necessidades no projeto devem ser reportados e autorizados pelo gerente de projeto. É importante para

o profissional que ocupe este cargo que o mesmo tenha um amplo conhecimento sobre a instalação e experiência significativa na área nuclear. Recomenda-se alguém da própria instalação ou um profissional do próprio IPEN/CNEN-SP com conhecimentos sobre a instalação.

Finanças: O profissional que ocupar o cargo neste setor se responsabilizará pelo controle financeiro referente ao projeto de descomissionamento. Realizará levantamento e previsão de custos, liberação de compra, análise, orçamento, participação em auditorias e prestação de contas junto ao órgão de fomento relacionado ao projeto de descomissionamento. Toda tomada de decisão deve ter o aval do gerente de projeto. É recomendado para assumir o cargo um profissional da instalação ou do corpo científico do IPEN/CNEN-SP.

Garantia de Qualidade: Este cargo tem como responsabilidade acompanhar e avaliar todos os procedimentos de descomissionamento orientando ações que otimizem a segurança e o desempenho nas tarefas do projeto de descomissionamento. É incumbido a este(s) profissional (s) o controle de documentação, elaborar, propor e fiscalizar medidas de controle e teste de equipamentos, ações corretivas, gerenciamento dos registros de controle de qualidade e realização de auditorias do programa de qualidade [6]. Os profissionais ocupantes deste cargo devem ter conhecimentos nesta área, podendo ser pessoal técnico contratado, especialista da instalação ou do quadro do IPEN/CNEN-SP.

Revisão Independente: Responsável pela revisão dos procedimentos realizados no projeto de descomissionamento, apontando falhas, necessidade de correções e propondo novas ações. Nesta revisão deve estar envolvidos especialistas com conhecimentos nas áreas de gestão de projeto, finanças, controle de qualidade e em atividades de descomissionamento. Recomenda-se que a revisão independente seja composta por especialistas da CNEN.

O suporte técnico, administrativo e as operações de campo que estão inseridas na hierarquia geral são essenciais, pois estão relacionados diretamente com as atividades de descomissionamento. Essa organização demanda uma equipe com boa formação, conhecimento e experiência em Segurança Radiológica e Industrial, Engenharia, Licenciamento, Sistemas e Instalações da Planta, Garantia de Qualidade, Manuseamento de Combustível, Demolição, Desmantelamento e Descontaminação. [108]. A figura 19 apresenta a estrutura hierárquico-organizacional referente aos setores de suporte e de campo.

Figura 20- Estrutura hierárquico organizacional dos setores de suporte, administrativo e de campo [108]

As responsabilidades e atribuições de cada função são descritas a seguir:

Supervisor de Suporte Técnico: A responsabilidade deste cargo é acompanhar, orientar e fiscalizar o desempenho dos especialistas da área de suporte técnico nas atividades que lhe foram atribuídas. Deve também informar sempre que possível ao gerente do projeto sobre o andamento das atividades realizadas pelo grupo de suporte técnico, problemas que possam vir a ocorrer, ou seja, todo acontecimento que afete o andamento dos trabalhos. Recomenda-se para ocupar este cargo um profissional com experiência na área nuclear do corpo do IPEN/CNEN-SP ou da própria instalação.

Saúde Física: Profissional(s) com a atribuição de garantir que os procedimentos de descomissionamento realizados estejam de acordo com o programa de proteção a radiação estabelecida na instalação de tal forma a minimizar os riscos a saúde dos trabalhadores. Tem como função também participar da elaboração dos planos acima citados e oferecer treinamento para os trabalhadores. Especialistas do setor de Serviço de Radioproteção do IPEN/CNEN-SP são recomendados para esta função.

Segurança Industrial: As funções a serem desempenhadas pelos profissional(s) de Segurança Industrial são a participação na elaboração do plano de Saúde e Segurança Industrial e acompanhamento das atividades de descomissionamento certificando-se que as mesmas estejam de acordo com tal plano. Além disso, deve promover medidas e estabelecer procedimentos que visam à segurança dos trabalhadores e técnicos na realização das tarefas por eles desempenhadas, apontando todos os riscos existentes e as ações para mitigá-los, oferecendo treinamento. Profissionais do setor de Serviço de

Engenharia e Segurança do Trabalho do IPEN/CNEN-SP podem ser designados para esta função.

Gerenciamento de Rejeitos: As principais funções a serem executadas por técnicos responsáveis pelo gerenciamento de rejeitos em atividades de descomissionamento são a participação na elaboração e adaptação do plano de gestão de rejeitos vigente na instalação para a realização das atividades propostas, garantir que o mesmo seja cumprido por meio de acompanhamento, oferecer treinamento para os trabalhadores e técnicos e estabelecer as etapas de gestão de rejeito tanto em situações previstas como imprevistas. Os especialistas mais apropriados para o cumprimento destas tarefas são os técnicos da Gerência de Rejeitos Radioativos do IPEN/CNEN-SP juntamente com técnicos da instalação.

Engenharia: Profissionais que atuarão, quando necessário, na fabricação de ferramentas, suportes e na construção de adaptações para a realização das atividades de descomissionamento. Especialistas com conhecimento em engenharia civil e nuclear do Centro de Engenharia Nuclear ou trabalhadores contratados com experiência comprovada, podem assumir estas tarefas.

Treinamento: Pessoal designado a organizar e ministrar treinamento para as atividades de descomissionamento e situações de emergência possibilitando que estes procedimentos sejam futuramente desempenhados corretamente e com máxima segurança. Para ocupar esta função, propõe-se que sejam profissionais do IPEN/CNEN-SP juntamente com técnicos com vasto conhecimento da instalação.

Licenciamento: É de responsabilidade dos profissionais que irão atuar nesta função a elaboração e controle de documentação referente ao licenciamento, junto a CNEN, de materiais e cascos de transporte externo de rejeitos a serem utilizados no descomissionamento quando requisitado tal procedimento. Recomenda-se para a realização desta função especialistas da área de Licenciamento ou Gerência de Rejeitos Radioativos do IPEN/CNEN-SP.

Subcontratos: Esta função tem como objetivo, quando necessário, celebrar subcontratos emergenciais de suporte para as atividades de descomissionamento, como por exemplo, contratação de empresa de transporte ou execução de um serviço específico. Profissionais do IPEN/CNEN-SP são os mais adequados para realizar esta função.

Envio e Recebimento de Materiais: Profissionais cuja finalidade é controlar e organizar a documentação e realizar os procedimentos necessários para o envio e recebimento de materiais. Técnicos da instalação ou do IPEN/CNEN-SP podem ocupar esta função.

Supervisor de Suporte Administrativo: A responsabilidade deste cargo é acompanhar, orientar e fiscalizar o desempenho dos especialistas da área de suporte administrativo nas atividades que lhe foram atribuídas. Deve também informar sempre que possível ao

gerente do projeto sobre o andamento das atividades realizadas pelo grupo que coordena, problemas que possam vir a ocorrer, ou seja, todo acontecimento que afete o andamento dos trabalhos. Recomenda-se para ocupar este cargo um profissional com experiência na área nuclear do corpo do IPEN/CNEN-SP ou da própria instalação.

Aquisição e Contratos: Função com a finalidade de celebrar contratos e aquisições essenciais para a realização das atividades de descomissionamento respeitando e adotando todas as medidas necessárias. Além disso, os trabalhadores que exercerão esta função também devem, quando solicitado pelo coordenador ou gerente de projeto, analisar e revisar os contratos e organizar os documentos gerados de tal forma que facilite o acesso para eventuais consultas futuras.

Proteção Contra Incêndio: As atribuições desta função são a elaboração do plano contra incêndio para os trabalhos de descomissionamento se baseando no plano vigente da fase operacional da instalação [8] e certificar que as ações adotadas nas atividades estão em consonância com o referido plano. Além disso, deve instruir e participar da elaboração de treinamentos voltados aos trabalhadores sobre práticas de prevenção contra incêndios e atuar em situações de emergência. Especialistas contratados com experiência comprovada em proteção contra incêndios são indicados para assumir estas funções.

Preparação para Emergências: Cabe aos profissionais que exercerão esta função a adaptação do plano de emergência [8] estabelecido na instalação para os procedimentos de descomissionamento e ministrar treinamento voltado aos técnicos e especialistas que irão executar os trabalhos no reator. Profissionais contratados especialistas na área de emergências são recomendados para a realização destas funções.

Segurança: Pessoal encarregado de zelar pela proteção física do reator e controlar o acesso de entrada e saída de pessoas na instalação. Na área externa ao reator existe, atualmente, uma guarita onde há profissionais de segurança contratados que realizam este controle. Dessa forma, esta estrutura existente será utilizada para fins de descomissionamento.

Relações com o Público e Interessados: Esta função tem a responsabilidade de implementar mecanismos e alternativas para informar ao público e partes interessadas sobre todo o processo que envolve as atividades de descomissionamento. Os meios de comunicação convencionais, internet e audiências públicas podem ser utilizados como formas de divulgação. Trabalhadores do IPEN/CNEN-SP do setor de comunicação podem executar tal função. Para o propósito deste trabalho, esta função não será contemplada, pois apresenta uma maior relevância para o plano final de descomissionamento.

Monitoração Ambiental: A estes profissionais são delegadas as tarefas de readequar o programa de monitoração ambiental existente para procedimentos de descomissionamento e certificar que as ações estabelecidas neste plano sejam cumpridas. Especialistas da área de monitoração ambiental do IPEN /CNEN-SP são recomendados para esta função.

Gerenciamento de Registros: Os profissionais ocupantes desta função tem a responsabilidade de manter, preservar, organizar e armazenar os registros gerados durante os trabalhos criando mecanismos para facilitar sua localização quando requisitados. Técnicos da instalação ou especialistas do IPEN-CNEN-SP são mais apropriados para assumir esta função.

Coordenador de Operações de Campo: A responsabilidade deste cargo é acompanhar, orientar e fiscalizar o desempenho dos especialistas da área de operações de campo nas atividades que lhe foram atribuídas. Deve também informar sempre que possível ao gerente do projeto sobre o andamento das atividades realizadas pelo pessoal de operação de campo, problemas que possam vir a ocorrer, ou seja, todo acontecimento que afete o andamento dos trabalhos. Recomenda-se para ocupar este cargo um profissional com experiência na área nuclear do corpo do IPEN/CNEN-SP e um profissional de empresa contratada para as atividades de desmatelamento ou da própria instalação.

Técnicos em Descontaminação e Desmantelamento: Trabalhadores que irão executar as atividades de descomissionamento propostas sobre orientação do coordenador de operações de campo e gerente de projeto. Profissionais com experiência do IPEN/CNEN-SP, ou contratados e técnicos da instalação são recomendados para esta função.

Técnicos de Proteção a Radiação: A principal tarefa destes profissionais é o acompanhamento e monitoração radiológica nas atividades de descomissionamento e zelar para que os procedimentos adotados pelos técnicos de Descontaminação e Desmantelamento estejam em consonância com o plano de proteção radiológica. Técnicos de proteção radiológica do IPEN/CNEN-SP são apropriados para exercer esta função.

Técnicos de Manutenção: Profissionais com atribuição de realizar trabalhos de reparo em equipamentos e outros materiais utilizados nas tarefas de descomissionamento. Técnicos com experiência na área de mecânica do IPEN/CNEN-SP ou contratados se adéquam as exigências desta função.

Subcontratos Especiais: Pessoal contratado que pode ser designado para a execução de alguma atividade na qual faltem profissionais ou em situações emergenciais e imprevistas.

8.4.3-Responsabilidades e Organização no Gerenciamento de Tarefas

Os procedimentos e organização proposto para realização das tarefas propostas recomendados consistirão em pacotes de trabalho no qual possuem etapas individuais para cada atividade. Essa organização é baseada nos documentos da AIEA [107] e [22]. Para este plano preliminar, as atividades de descomissionamento foram divididas em quatro pacotes de trabalho denominados respectivamente Pré-atividades de descomissionamento (Pacote 1), Atividades de Desmantelamento (Pacote 2), Gerenciamento de Rejeitos (Pacote 3) e Trabalhos finais(Pacote 4).

O pacote 1 consiste na elaboração de documentação associada aos planos individuais que compõem o plano de descomissionamento, procedimentos de treinamento e licenciamento de casco para transporte externo, armazenamento e disposição, caso haja uma definição referente ao repositório deste tipo de material por parte do governo brasileiro. Para a execução das tarefas deste pacote, o gerente de projeto encaminhará as informações necessárias constantes no plano de descomissionamento para o Serviço de Proteção Radiológica, Gerencia de Rejeitos Radioativos, Serviço de Salvaguardas, Departamento de Monitoração Ambiental e Serviço de Engenharia e Segurança do Trabalho.

O pacote 2 trata das tarefas de retirada dos materiais radioativos da instalação e o desmatelamento do conjunto crítico, o pacote 3 envolve as atividades de armazenamento, confecção de embalagens e cascos, transporte e destinação de rejeitos e o pacote 4 abrange as atividades de inspeção final de radiação e finalização de relatórios e registros.

Para cada uma destas etapas existentes nestes pacotes, principalmente para as tarefas dos pacotes de trabalho 2 e 3, recomenda-se que sejam dadas instruções verbais e por escrito dos procedimentos a serem seguidos antes do inicio de cada atividade e os coordenadores de equipe acompanharão e fiscalizarão de tal forma que os procedimentos corretos sejam aplicados. A organização proposta funcionará da seguinte maneira: Primeiramente, todos os trabalhadores e técnicos envolvidos nas atividades serão previamente cadastrados com a coleta de informações pessoais. Com estes dados, o gerente de projeto enviará as instruções antecipadamente para a realização da tarefa proposta por meio digital (e-mail) para todos os trabalhadores e técnicos designados a executá-la. Antes do inicio efetivo da tarefa, material impresso sobre os procedimentos e etapas de realização a serem implementadas serão entregues para cada trabalhador e instruções verbais serão dadas com auxílio de recursos audiovisuais. Caso houver alguma mudança nos procedimentos, esta será comunicada antecipadamente por meio digital (e-mail) ou durante as primeiras instruções referentes à tarefa. Para execução das tarefas é previsto a realização de treinamentos.

O acompanhamento das atividades será feito pelo gerente de projeto por meio do sistema de monitoramento instalado na célula crítica permitindo a reprodução de imagens na sala de controle e visitas diretas no local quando necessário.

Os coordenadores da área de suporte e profissionais de suporte técnico das áreas de Segurança Industrial, Saúde Física, Controle de Qualidade e Gerenciamento de Rejeitos, irão acompanhar e avaliar o desenvolvimento das tarefas e elaborar relatórios diários e um relatório final sobre as atividades que serão enviados de forma impressa e digital (e-mail) para o Gerente de Projeto que dará seu parecer sobre o decorrer das atividades.

Os registros referentes aos procedimentos de trabalho, incluindo documentos relacionados ao setor de finanças, serão armazenados em forma digital por um programa de banco de dados ACCESS elaborado para gerenciamento do projeto de descomissionamento que será descrito em detalhes no capítulo 9. Cópias de segurança em “pen-drives” de todos os registros e do programa de banco de dados serão realizadas. A revisão destes documentos gerados fica a cargo do pessoal responsável pela manutenção de registros juntamente com os elaboradores dos mesmos e o Gerente de Projeto.

Caso, durante as atividades, necessite de algum material ou equipamento, o mesmo deve ser solicitado por escrito pelo coordenador de atividades de campo que o enviará ao Gerente de Projeto, que avaliará o pedido, no qual será repassado ao setor de finanças, respeitando a estrutura organizacional e administrativa do IPEN/CNEN-SP e a hierarquia de funções apresentada nas figuras 19 e 20. A figura 21 a seguir sintetiza a proposta de organização e responsabilidade no gerenciamento das tarefas para os pacotes de trabalho.

Figura-21: Síntese da Proposta de Organização e Responsabilidades no Gerenciamento de Tarefas para os pacotes de trabalho.

8.4.4-Cultura de Segurança

Na fase operacional da instalação já está estabelecida uma cultura de segurança amparada basicamente por treinamentos ministrados, o RAS [8], normas CNEN, Plano de Radioproteção [89] e Plano de Gerenciamento de Rejeitos Radioativos [92] que pode ser mantida na transição para a fase de descomissionamento.

Este plano preliminar foi baseado na documentação existente em fase operacional, normas CNEN e recomendações AIEA na qual incorpora os requerimentos de segurança vigentes. Como medida adicional para manutenção da cultura de segurança na transição para a fase de descomissionamento, recomenda-se que os treinamentos sejam inseridos nas atividades diárias dos técnicos da instalação e profissionais do IPEN/CNEN-SP que podem participar do projeto de descomissionamento.

8.4.5-Treinamento

Para a realização das atividades de descomissionamento, principalmente para as atividades de campo, deverá ser ministrado treinamento. O Programa de Treinamento de Pessoal vigente no IPEN/CNEN-SP [97] tem como foco a proteção radiológica dos trabalhadores e técnicos que atuam na instituição, tendo como objetivo instruir estes profissionais sobre os procedimentos a serem adotados de tal forma que minimizem os riscos associados à exposição a radiação. Propõe-se que o programa de treinamento para as atividades de descomissionamento seja elaborado tendo como base este programa citado [97] e que o mesmo seja adaptado em termos de duração e tempo para o projeto de descomissionamento. Informações detalhadas sobre o Programa de Treinamento do IPEN/CNEN-SP são encontradas em [97].

Para garantir que os procedimentos de treinamento para descomissionamento foram assimilados pelos técnicos da instalação, profissionais do IPEN/CNEN-SP e trabalhadores contratados, um sistema de avaliação deve ser elaborado pelos responsáveis pelo treinamento ministrado.

8.4.6-Contratos de Suporte

Neste plano preliminar é prevista a realização de atividades de descomissionamento por uma empresa contratada. Esta será incumbida de executar as atividades do pacote de trabalho 2, especificamente, o desmonte do conjunto crítico, com exceção da atividade de retirada dos elementos combustíveis e de controle. Em função dos baixos níveis de dose e por não apresentar contaminação, as atividades a serem realizadas se enquadram na categoria de desmonte industrial. Sendo assim, existem várias empresas em âmbito nacional que possuem experiência na área.

Dessa forma, o gerente de projeto e técnicos das áreas relacionadas ao descomissionamento do IPEN-CNEN-SP, juntamente com o auxílio do setor de aquisição

e contratos, constante na descrição da hierarquia organizacional referente às atividades de administrativas e de campo do item 8.4.3, estabelecerão os critérios para contratação da empresa.

A empresa contratada estará sujeita à organização e hierarquia estabelecida na figura 19 do item 8.4.2. Haverá um coordenador da empresa contratada que se enquadrará as atribuições de um supervisor de atividades de campo estabelecido no item 8.4.2 estando subordinado ao gerente de projeto de descomissionamento. Esta coordenação da empresa contratada se restringirá apenas as atividades delegadas a ela. Qualquer mudança nos procedimentos realizados pela empresa contratada deve ser reportada ao gerente de projeto antes de ser implementada.

Portanto, quando previsto o início dos trabalhos, todas as ações da empresa contratada devem estar de acordo com os procedimentos estabelecidos pela proteção radiológica, Garantia de Qualidade, Segurança do Trabalho e treinamentos presentes no plano de descomissionamento.

8.5-Atividades de Descomissionamento

Com base na estratégia de descomissionamento recomendada no item 8.3, foram elencadas as atividades para o descomissionamento do conjunto crítico. A escolha destas atividades justifica-se pelo fato de contemplar as estruturas mais importantes da instalação em termos de presença de material radioativo e por permitir a aplicação das estratégias de descomissionamento tanto para material radioativo como para material não radioativo. Conforme discussão apresentada no item 8.4, as atividades foram divididas em 4 pacotes de trabalho baseados em [107] e [22]. Cada pacote de trabalho é composto pelas seguintes atividades:

Pacote de Trabalho 1: Pré-Atividades de Descomissionamento:

- Elaboração dos planos de Garantia de Qualidade, Saúde e Segurança, Gerenciamento de Rejeitos Radioativos, Avaliação de Segurança, Avaliação Ambiental, Salvaguardas, Vigilância e Manutenção, Treinamentos e Plano de Emergência.
- Obtenção de cascos ou embalagens para armazenamento e disposição de rejeitos radioativos e não radioativos.
- Elaboração de documentação associada ao licenciamento de cascos ou embalagens para rejeitos radioativos.
- Realização de treinamento.
- Finalização do plano de descomissionamento e submissão a CNEN para avaliação

Pacote de Trabalho 2- Atividades de Campo: Desmantelamento do Conjunto Crítico

- Remoção e armazenamento dos elementos combustíveis nas covas da célula crítica.
- Remoção de toda instrumentação, fiação, detectores e dos tubos que os contêm.
- Desmontagem do mecanismo de acionamento.
- Remoção das varetas de controle/segurança
- Desmontagem das placas espaçadoras do núcleo
- Desmontagem da plataforma superior do conjunto crítico,
- Remoção do tanque moderador.
- Desmontagem da estrutura suporte do núcleo.

Pacote de Trabalho 3: Gerenciamento de Rejeitos Radioativos

- Acondicionamento e transporte dos rejeitos oriundos do conjunto crítico.
- Acondicionamento de materiais não radioativos e destinação final.

Pacote de Trabalho 4- Trabalhos Finais.

- Levantamento e monitoração final de radiação na área do conjunto crítico.
- Finalização de registros e relatórios.

As atividades pertinentes ao pacote 1 serão executadas por profissionais do IPEN/CNEN-SP e da própria instalação. Para o pacote 2, com exceção da remoção dos elementos combustíveis no qual o pessoal do IPEN/CNEN-SP e técnicos do reator serão responsáveis, as atividades serão realizadas por uma empresa contratada com experiência comprovada na área de desmonte industrial sob supervisão do gerente de projeto conforme hierarquia estabelecida nas figuras 18 e 19 do item 8.4.2. Com relação ao pacote 3 é recomendado que contratados e profissionais do IPEN/CNEN-SP atuem e para o pacote 4, a responsabilidade de cumprimento das atividades pode ser desempenhada por profissionais IPEN/CNEN-SP e do reator.

Especificamente para a atividade de remoção dos elementos combustíveis, existe um procedimento estabelecido na rotina operacional da instalação. A movimentação das varetas combustíveis para carregamento e descarregamento do núcleo é realizada com o auxílio de uma ferramenta projetada de tal forma que a retirada das varetas seja de forma individual e segura com o intuito de minimizar a exposição a doses de radiação. Esta ferramenta permite que o operador se mantenha o mais afastado

possível da vareta combustível [8]. No reator existem duas ferramentas idênticas com esta finalidade. A figura 21 apresenta a ferramenta para remoção de varetas combustíveis.

Figura 21 – Ferramenta para remoção de varetas combustíveis.

Ao lado do tanque moderador, existe um engradado blindado, com capacidade de armazenar 170 varetas combustíveis, que corresponde a 1 quadrante do núcleo do reator, onde a vareta, após ser removida do núcleo, é colocada. O engradado foi projetado de maneira que sua capacidade máxima não promova situações de criticalidade [8]. Com auxílio de uma ponte rolante, este engradado é levado às covas de armazenamento que também são blindadas. Mesmo em uma situação de inundamento, é mantida a condição de subcriticalidade na região das covas. Além disso, as covas são isoladas neutronicamente e seguras com relação à blindagem radiológica, pois a atividade do combustível novo estocado é desprezível assim como do combustível usado, pelo fato da queima deste ser baixa devido a potência de operação atingir o patamar máximo de 100W. Qualquer situação anormal é indicada por monitores de radiação [8].

Toda atividade de carregamento e descarregamento das varetas combustíveis é segura, pois os níveis de exposição à radiação dos técnicos que executam tal tarefa estão de acordo com o regulamento [79]

Portanto, todas as etapas desta operação possuem seus riscos radiológicos controlados.

Esse procedimento é sempre acompanhado e monitorado pela proteção radiológica da instalação e o mesmo deve ocorrer durante a fase de descomissionamento.

Quando previsto o desligamento da instalação e o início dos procedimentos de descomissionamento, propõe-se que seja elaborada uma programação que inclua estimativas de doses nos trabalhadores que irão remover os combustíveis, doses na

região das covas e em todo o ambiente de trabalho. Além disso, recomenda-se que seja elaborado um conjunto de procedimentos de trabalho específicos pela equipe de radioproteção no intuito de verificar se as doses estão compatíveis com [79] e os princípios ALARA.

Para todas as atividades devem ser feitas estimativas pelos profissionais do IPEN/CNEN-SP e da instalação do tempo necessário para conclusão de cada atividade definida nos pacotes de trabalho e dos recursos que demandarão as tarefas por meio da elaboração de uma programação específica [6]. As tarefas poderão ser avaliadas por acompanhamento indireto do gerente de projeto e direto dos supervisores de atividade conforme discutido no item 8.4. A ferramenta de gerenciamento de projeto ACCESS que será apresentada no capítulo 9 auxiliará na elaboração da programação de atividades mencionada e também na sua manutenção, revisão, atualização e conclusão.

8.6-Vigilância e Manutenção

Durante as atividades de descomissionamento é necessário estabelecer procedimentos no intuito de garantir o perfeito funcionamento dos equipamentos e ferramentas utilizadas para implementar a estratégia proposta. Dessa forma, um conjunto de atividades de vigilância e manutenção devem ser planejadas. Um plano específico deve ser elaborado por profissionais do IPEN/CNEN-SP e técnicos do reator quando for definido o momento do desligamento da instalação. Como forma de orientar e subsidiar a elaboração do Plano de Vigilância e Manutenção, serão apresentadas as recomendações do documento [6] e a recomendação complementar que destaca as principais ações adotadas no Plano de Vigilância e Manutenção do OAK Ridge National Laboratory [109] que consta no APÊNDICE A deste trabalho.

8.6.1-Recomendações do Safety Report Series nº 45

O documento [6] recomenda que o documento referente à vigilância e manutenção no descomissionamento contenha itens sobre os equipamentos e sistemas que requerem inspeção e manutenção e a programação para vigilância e manutenção. As informações a serem contempladas nestes itens são elencadas a seguir:

Equipamentos e Sistemas que Requerem Inspeção e Manutenção

- Levantamento dos principais equipamentos e sistemas que demandarão inspeção, manutenção e programação específicas.
- Descrição do uso e localização de cada peça que compõe o equipamento ou sistema incluindo as peças de reposição e onde as mesmas deverão ser armazenadas.
- Determinação dos requisitos de inspeção para sistemas e edificações abordando os métodos, frequência e os critérios utilizados.

- Estimativa de itens necessários para as peças importantes do equipamento a fim de auxiliar sua manutenção.
- Identificação de áreas que requerem monitoração devido à alta possibilidade de mudança de condições.
- Descrição das ações a serem implementadas em virtude de situações anormais durante as inspeções e as medidas corretivas necessárias para mitigação.

Programação para Vigilância e Manutenção

- Realização de estimativa do número de profissionais e tipo de funções requeridas para a execução das tarefas de vigilância e manutenção.
- Apresentar os mecanismos e procedimentos que serão adotados para revisão e atualização periódica da programação estabelecida em função das inspeções realizadas.

8.7-Gestão de Rejeitos Radioativos

O projeto de descomissionamento demanda um plano detalhado para o gerenciamento dos rejeitos radioativos e não radioativos gerados a fim de possibilitar a destinação adequada dos mesmos e garantir a segurança dos trabalhadores, público geral e meio ambiente. Neste item serão apresentadas um conjunto de ações e estratégias propostas para o gerenciamento dos rejeitos a serem gerados nas atividades previstas no pacote P2 (desmantelamento do conjunto crítico) e recomendações para a elaboração de um plano de gestão de rejeitos radioativos para descomissionamento. Os procedimentos de gerenciamento de rejeitos propostos foram baseados em [56], [75], [92], [110] e a implementação dos mesmos deverá ser supervisionada pela proteção radiológica.

8.7.1-Estratégia de Gestão de Rejeitos Radioativos

Para facilitar a implementação das ações associadas à gestão de rejeitos gerados no descomissionamento do conjunto crítico, foram propostas estratégias específicas para os rejeitos radioativos e não radioativos. Os fluxogramas abaixo apresentam tais estratégias:

Figura 23- Fluxograma da estratégia para materiais radioativos [110]

Figura 24-Fluxograma de estratégia para os materiais não radioativos.

A seguir será apresentado o inventário radioisotópico dos principais componentes do conjunto crítico no qual os fluxogramas das figuras 23 e 24 serão aplicados para fins de gerenciamento de rejeitos.

8.7.2- Inventário Radioisotópico dos Componentes do Conjunto Crítico

As estimativas a serem apresentadas constam em [8], sendo utilizados os dados referentes aos componentes metálicos que estão sujeitos diretamente ao fluxo de nêutrons e as varetas combustíveis. Existem estimativas sobre os radionuclídeos e atividades existentes no ar da célula crítica e na água de moderação. Entretanto, segundo o capítulo 11 do documento [8], durante toda a existência da instalação, o ar após tratamento pelo Sistema de Ar e Ventilação da Célula Crítica, é liberado pela chaminé e a água do moderador, após análise de amostra pelo Departamento de Monitoração Ambiental, é liberada na rede de esgoto comum. Nos dois casos, os níveis de concentração de atividade são compatíveis com os limites de dispensa estabelecidos em [75] conforme dados constantes no capítulo 12 do documento [8].

O inventário radioisotópico dos principais componentes metálicos e da vareta combustível foi estimado considerando uma potência de operação de 100W com duração de 24 horas. As tabelas abaixo apresentam os resultados obtidos:

Tabela 10- Atividade do Aço AISI-340 (Estrutural do Núcleo) [8]

Isótopo	Atividade (Bq/kg)		
	Suporte inferior do Núcleo	Tubo Guia	Revestimento da vareta combustível
^{14}C	6,29E-06	4,15E+01	2,84E-05
^{59}Fe	1,86E+05	5,28E+11	3,99E+05
^{56}Mn	1,70E+08	3,74E+15	2,85E+09
^{31}Si	7,40E+04	4,36E+11	3,31E+05
^{32}P	9,58E+03	5,74E+04	4,34E+04
^{35}S	4,71E+01	2,80E+02	2,13E+02
^{61}Cr	8,10E+06	4,86E-03	3,68E+07
^{59}Ni	1,76E+01	8,05E+01	8,00E+01
^{60}Co	2,90E+04	1,70E+05	1,31E+05
^{63}Ni	2,76E+03	1,65E+04	1,25E+04

Tabela 11-Atividade do Aço do Tanque Moderador [8]

Isótopo	A (Bq/kg)
^{59}Fe	3,66E+04
^{14}C	4,95E-05
^{56}Mn	6,66E+07
^{31}Si	1,63E+04
^{32}P	6,94E+03
^{35}S	4,10E+01
^{51}Cr	8,38E+07
^{59}Ni	6,94E+00
^{182}Ta	4,06E+04
^{60}Co	1,38E+04

Os dados apresentados nas tabelas 10 e 11 apontam que as atividades apresentadas são consideradas baixas e a maioria dos radionuclídeos presentes possuem meia-vida menor que 100 dias, decaindo rapidamente. Dos radionuclídeos com meia-vida superior a 100 dias ^{14}C , ^{59}Ni , ^{60}Co , ^{63}Ni e ^{182}Ta , o ^{60}Co contribui significativamente para a atividade dos componentes. O tubo guia e o revestimento da vareta combustível apresentaram atividades superiores aos demais componentes, pois estão mais próximos da região ativa do núcleo. A placa espaçadora intermediária também se encontra nessa região e deve possuir um inventário radioisotópico semelhante. O inventário deste componente deverá ser realizado no intuito de determinar adequadamente o seu procedimento de gestão, assim como para as varetas de controle e segurança que não deve possuir um inventário de radioisotópico muito discrepante com relação aos outros componentes inventariados.

De acordo com a estratégia de gerenciamento de rejeitos radioativos presente na figura 23 e considerando as informações das estimativas apresentadas nas tabelas 10 e 11, o tanque moderador, no geral, se enquadra como rejeito que está de classe 2.1 em função da presença do ^{60}Co e de acordo com a classificação existente em [75]. Conforme o próprio regulamento [75] que apresenta níveis de dispensa diferentes para massas superiores e inferiores ou iguais a 1000kg, considerando também o fato do tanque moderador possuir uma concentração de atividade baixa quando comparado aos outros

componentes apresentados na tabela 10 e sua massa estimada pela equipe técnica da instalação ser da ordem de 1000kg(aproximadamente 1003kg), o tanque moderador pode ser armazenado, até os radionuclídeos existentes decaírem até alcançar os limites de dispensa estabelecidos em [75]. Estima-se que o tempo aproximado de armazenamento para os radionuclídeos existentes no tanque moderador atingir os níveis de dispensa presentes em [75] seja de aproximadamente 2,5 anos. Ao alcançar este nível, poderão ser aplicados os procedimentos descritos na figura 24.

A placa suporte inferior é também classificada como rejeito de classe 2.1 [75] e possui concentrações de atividade um pouco superiores as existentes no tanque moderador. Em razão da massa da placa suporte inferior estimada pela equipe técnica da instalação ser inferior a 1000 kg (aproximadamente 41kg), este componente possui condições de ser armazenado, conforme o fluxograma da figura 23, até as suas concentrações de atividades decaírem para níveis de dispensa estabelecidos em [75]. Entretanto, técnicas de descontaminação podem ser aplicadas. Estima-se que sejam necessários aproximadamente 8 anos de armazenamento para esse material atender os limites de dispensa presentes em [75].

O tubo guia e possivelmente a placa espaçadora intermediária podem seguir o caminho para radionuclídeos com meia-vida maior que 100 dias do fluxograma da figura 23. Estes materiais possuem concentrações de atividade compatíveis com os rejeitos de classe 2.1, conforme classificação existente em [75]. Como o tubo guia e provavelmente a placa espaçadora intermediária possuem concentrações de atividades superiores às encontradas no tanque moderador e na placa espaçadora inferior é recomendado que este componente siga o caminho destacado acima. Se após a realização de tratamento, estes materiais alcançarem níveis de dispensa os mesmos podem ser liberados, reciclados ou reusados se viável.

Para todos os materiais inventariados recomenda-se analisar a viabilidade da aplicação dos procedimentos de gerenciamento de rejeitos propostos em termos econômicos e de demais recursos disponíveis, pois em algumas situações pode ser mais adequado e vantajoso tratar determinado rejeito do que armazená-lo diretamente.

Caso seja necessário corte de algum componente, como os mesmos são constituídos de aço-inox, as técnicas térmicas de corte com arco de plasma, corte de metais com arco de contato e a técnica mecânica de arco de serra são as mais adequadas [56].

As varetas combustíveis são classificadas como materiais nucleares segundo [85] e cabe a CNEN estabelecer a destinação final deste tipo de material [111].

A instrumentação e demais materiais existentes no conjunto crítico, após serem monitorados e inventariados se submeterão as estratégias de gerenciamento de

rejeitos definidas nos fluxogramas das figuras 23 e 24 de acordo com os radionuclídeos e concentração de atividade encontrados.

Todos estes componentes, com exceção das varetas combustíveis são classificados como rejeitos sólidos não compactáveis de acordo com [92].

Os procedimentos adotados para gerenciamento dos rejeitos deverão obedecer os regulamentos [75], [77],[78],[79],[82] e [92].

Ao longo da existência da instalação, inventários radioisotópicos de atividade dos materiais devem ser realizados, considerando a rotina operacional da instalação e principalmente quando ocorrerem mudanças significativas no núcleo do reator, pois essa caracterização definirá a estratégia e destinação do rejeito a ser gerado.

8.7.3-Destinação dos Rejeitos Radioativos

O local adequado para recebimento dos rejeitos metálicos oriundos do desmantelamento do conjunto crítico é o repositório de baixo e médio nível de atividade, pois tais rejeitos se enquadram nos critérios de aceitação para recebimento de materiais descritos no item 8.3.4.

Caso ocorra algum imprevisto, a segunda alternativa é enviar os rejeitos metálicos para a GRR.

Como não há disponível um local para disposição de combustível usado, as varetas combustíveis permanecerão armazenadas a seco nas covas existentes no prédio da célula crítica até o país definir uma política para a destinação final para elementos combustíveis usados. As covas foram projetadas de tal forma que permitem o armazenamento seguro em função do procedimento de inserção das varetas combustíveis, condição de subcriticalidade e controle de níveis de dose [8].

Com relação ao volume dos materiais das tabelas 10 e 11, com exceção das varetas combustíveis, os mesmos também foram estimados pela equipe técnica da instalação e para fins de gerenciamento e destinação de rejeitos radioativos, o volume destes materiais ao todo pode ser considerado baixo. A tabela 12 apresenta o volume estimado dos materiais que podem ser considerados rejeito radioativo.

Tabela-12: Volume estimado dos materiais considerados rejeitos radioativos

Material	Volume (m ³)
Tanque moderador	1,25E-1
Tubo guia	1,45E-5
Placa suporte inferior	5,24E-3
Placa suporte intermediária	5,24E-3
Placa suporte superior	5,24E-3
Total	1,41E-1

O volume total dos rejeitos decorrentes do descomissionamento conjunto crítico deverá ser estimado ao longo da existência da instalação, cabendo esta tarefa aos responsáveis do IPEN/CNEN-SP pelo futuro projeto de descomissionamento do reator. Entretanto, para o projeto do Repositório de Rejeitos de Baixo e Médio Nível de Radiação foram feitas estimativas da capacidade do volume de rejeito de operações de desmantelamento e descomissionamento de instalações nucleares que o mesmo comportará. Para esta estimativa foram consideradas todas as instalações nucleares existentes e projetadas no Brasil, no qual o inclui o reator IPENMB-01[105]. Comparado a outras instalações brasileiras, o volume de rejeito a ser gerado no descomissionamento conjunto crítico é baixo.

8.7.4-Registros

A norma CNEN 8.01 [75] determina que qualquer instalação mantenha registros atualizados de todos os rejeitos contendo as seguintes informações:

- Identificação do rejeito e localização do recipiente que o contém
- Procedência e Destino;
- Data do ingresso do volume no depósito;
- Taxa de dose máxima em contato com a superfície
- Data estimada para que se alcance o nível de dispensa, se aplicável
- As dispensas de rejeitos realizadas, detalhando as atividades diárias liberadas
- Transferências externas e internas;
- Outras informações relacionadas à segurança

Esse procedimento de controle também será adotado nos rejeitos gerados no descomissionamento com aplicação de medidas de controle de qualidade. A ferramenta computacional de gerenciamento de rejeitos ACCESS a ser apresentada no capítulo 9 irá armazenar a documentação gerada.

8.7.5-Recomendações para o Plano de Gestão de Rejeitos

O documento guia [6] propõe um conjunto de itens de forma a estruturar a elaboração de um plano de gerenciamento de rejeitos. Este deve conter informações detalhadas sobre:

- A identificação do fluxo de rejeitos a serem gerados;
- As suas características físicas e radiológicas;

- Volume esperado;
- Procedimentos de tratamento, acondicionamento, transporte e armazenamento;
- Local onde será enviado para disposição, caso definido;
- Fluxo de rejeitos que não possuem rota de disposição definida e como serão gerenciados até existir uma rota estabelecida;
- Procedimentos de monitoramento, avaliação e caracterização; e
- Procedimentos para gerar um apropriado sistema de rastreamento do rejeito

A norma presente em [75] apresenta um roteiro para elaboração de um plano de gerência de rejeitos radioativos que deve conter as seguintes informações:

- Descrição dos rejeitos radioativos gerados e sua composição química;
- Classificação dos rejeitos radioativos conforme estabelecida no próprio documento [75];
- Procedimentos de coleta, segregação, acondicionamento e identificação de rejeitos radioativos;
- Armazenamento em depósito inicial;
- Tratamento a ser realizado;
- Apresentação dos critérios e procedimentos adotados para a dispensa dos rejeitos radioativos [75].

Existem uma série de documentos adicionais da AIEA que discutem diversas questões referentes ao gerenciamento de rejeitos radioativos no descomissionamento. Para auxiliar a elaboração do plano de gerência de rejeitos, recomenda-se as publicações [56],[112],[113],[114],[115],[116],[117] e [118].

8.8-Estimativa de Custo e Mecanismos de Financiamento

Um dos fatores fundamentais para o sucesso do projeto de descomissionamento é a realização de uma estimativa de custo e de financiamento compatível com as atividades a serem executadas. Dessa forma é necessária uma estimativa precisa, que leve em consideração as peculiaridades da instalação, partes interessadas, requisitos legais, recomendações internacionais, previsões de situação de risco e questões políticas [88]. Este trabalho não contempla a estimativa de custo para o reator IPENMB-01, pois não há previsão de desligamento da instalação, sendo pertinente tal estimativa quando anunciado o encerramento das atividades do reator. Assim, como

subsídio para a elaboração de uma estimativa de custos e previsão de mecanismos de financiamento para este projeto de descomissionamento, será apresentada um conjunto de recomendações presentes em [6], [38], [42] e [88].

8.8.1-Estimativa de Custo

Segundo o documento [6] a estimativa de custo deve contemplar as seguintes informações:

- Processo que será usado para a elaboração da estimativa de custo para todo o projeto de descomissionamento, destacando a abordagem utilizada (unidade de fatores de custo, software);
- Descrição dos setores da instalação que serão incluídos na estimativa de custo;
- Levantamento e realização de cálculos que envolverão custos como, por exemplo, custos laborais, custos de deposição, horas de trabalho e distância até o local de deposição;
- Detalhada itemização dos custos por fase ou principais tarefas, homem-hora por tarefa e estimativa de volume de rejeitos, discutindo as incertezas associadas das estimativas realizadas;
- Descrição detalhada sobre a metodologia utilizada para a estimativa de custo, na qual permita a revisão independente da mesma.

8.8.2-Mecanismos de Financiamento

De acordo com [6], as informações referentes aos mecanismos de financiamento devem contemplar:

- Descrição dos mecanismos de financiamento a serem implantados no intuito dos fundos recebidos ou a serem recebidos atenderem todo o projeto de descomissionamento de forma compatível com o tempo estimado para o término do mesmo.
- Descrição das medidas que serão empregadas para gerenciar os riscos pertinentes ao projeto e evitar custos desnecessários.

8.8.3-Recomendações do Documento Financial Aspects of Decommissioning

Este documento [88] apresenta procedimentos específicos para a elaboração da estimativa de custo e previsão de mecanismos de financiamento, destacando as ações necessárias para cada fator relacionado ao custo, além de relatar a experiências de práticas para obtenção de fundos utilizadas por alguns países membros da AIEA. Desta referência destacam-se os itens de Identificação de Custos no Descomissionamento, Fatores que afetam a redução de custos e as Recomendações Específicas para estimativa de custo, coleta, gerenciamento de fundos e redução de

custos. A seguir serão apresentadas as informações mais relevantes de cada um desses itens que serão úteis para auxiliar na elaboração da estimativa de custo e previsão de mecanismos de financiamento para o descomissionamento da instalação.

8.8.3.1-Identificação de Custos no Descomissionamento

Os custos associados a diversas atividades de descomissionamento são identificados baseado na Lista Padrão de Itens para Propósitos de Custo no Descomissionamento de Instalações Nucleares [38] elaborado por grupos da OECD/NEA, AIEA e EC(Europe Communitie). Assim, as principais tarefas que originam custos são:

- Ações de Pré-descomissionamento
- Atividades de Desligamento da Instalação
- Aquisição de Materiais e Equipamentos gerais
- Atividades de Desmantelamento
- Processamento, Armazenamento e deposição de Rejeitos
- Segurança do Local, Manutenção e Vigilância
- Restauração do Local, Limpeza e paisagismo
- Gerenciamento de Projeto, Engenharia e Suporte do local
- Pesquisa e Desenvolvimento
- Combustível e Material Nuclear
- Outros Custos

Além destes custos, pode-se incluir os custos laborais, materiais e equipamentos essenciais, despesas gerais e despesas eventuais para situações imprevistas que podem ocorrer durante a execução das atividades previstas no projeto de descomissionamento.

Muitos destes itens podem estar presentes na estimativa de custo do projeto de descomissionamento da instalação devendo ser consideradas as particularidades da mesma.

8.8.3.1.1-Técnicas de Estimativa de Custo

Identificados os custos, existem técnicas para estimá-los e a aplicação das mesmas variam de acordo do grau de definição e estágio atual do projeto de

descomissionamento, disponibilidade de base de dados, tempo de duração do projeto e nível de dados de engenharia disponíveis. As técnicas usuais para realização de estimativa de custos são [88]:

Técnica Bottom-up: Baseia-se em um estudo, onde por meio de um levantamento de informações, busca-se obter as quantidades de materiais necessários para execução de uma determinada tarefa individual de acordo com uma dada atividade.

Técnica Analógica Específica: Consiste na estimativa o custo de um determinado item baseada em uma estimativa conhecida de outro item similar. Ajustes devem ser realizados no intuito de adequar a estimativa as características do item a ser estimado.

Técnica Paramétrica: Esta técnica proporciona a elaboração de equações e estimativa de custos relacionadas por meio de dados e análises estatísticas no intuito de se encontrar correlações entre itens e tarefas condutoras de custo e outros parâmetros. As equações obtidas permitem ser inseridas em modelos para a realização de estimativa de custos.

Técnica de Atualização e Revisão de Custos: Estimativa completa de custos baseada em estimativas de projetos similares.

Técnica de Opinião de Especialistas: Utilizada em situações onde inexitem dados e técnicas disponíveis para estimar custos. Especialistas são indicados para discutir e elaborar a técnica mais adequada para estimativa de custo do projeto de descomissionamento.

8.8.3.1.2-Definição de Elementos de Custo

A definição de elementos de custo contribui para facilitar a identificação de custos, escolha da técnica adequada para estima-los e na compreensão global de fatores que afetam sua estimativa. Os principais elementos de custo presentes em uma estimativa são apresentados na tabela abaixo [88]:

Tabela-13: Elementos de Custo [88]

Elemento de Custo	Descrição
<i>Custo Atividade</i>	Todo custo relacionado a atividades de descomissionamento. Ex: Descontaminação, remoção de Equipamento, etc..
<i>Custo Período</i>	Custo relacionado a pré-atividades de descomissionamento: Elaboração de planos individuais, gerência de projeto estimativas, despesas gerais para cada tarefa, etc..
<i>Custo de Itens Especiais</i>	Envolve custos associados a desmantelamento de equipamentos, preparação de sítio, processamento de rejeitos radioativos líquidos, etc..
<i>Contingência</i>	Todo custo relacionado a situações imprevistas durante o descomissionamento.
<i>Materiais reusados e reciclados</i>	Estimativas de custo relacionada a possibilidade de reciclagem, reuso e revenda de materiais de livre dispensa conforme define a legislação.
<i>Estrutura de Divisão de Trabalho</i>	Usada para categorizar os elementos de custo, agrupando-os de acordo com as relações existentes entre os mesmos. Uma hierarquia de elementos de custos pode ser estabelecida.

8.8.3.1.3-Processo de Estimativa de Custo

A experiência internacional [88] recomenda uma série de procedimentos a serem adotados no intuito de promover o desenvolvimento de uma estimativa de custo precisa. Para que isso ocorra, devem ser contemplados com detalhes uma série de itens, que conjuntamente, compõem o processo de estimativa de custo. Tais itens são:

- Planejamento do projeto de descomissionamento
- Estratégias de Descomissionamento
- Coleta de Informações sobre a instalação

-Preparação da Estimativa de Custo

-Preparação da Programação de atividades

Todos os itens citados são dependentes entre si e uma modificação em qualquer um dos mesmos afeta a estimativa de custos. Por exemplo, mudanças na programação de atividades afetará a estimativa de custo e vice-versa, pois pode alterar a duração de cada tarefa a ser realizada, demandar outros tipos de ferramentas e modificar a estratégia adotada. Tanto a programação de atividades como a estimativa de custo constituem elementos importantes para o planejamento do projeto de descomissionamento [88].

8.8.3.2-Fatores que propiciam a redução de custos

Para fins de gerenciamento de custo, existem diversos fatores que se bem analisados com relação as peculiaridades do projeto de descomissionamento, podem propiciar a economia de recursos financeiros. Os principais fatores são listados a seguir:

-Uso da experiência internacional e tecnologias disponíveis

-Reuso de sistemas e estruturas

-Gestão de despesas

-Tipo de contrato celebrado com empresas

-Cronograma e controle de custos do projeto

Uma discussão detalhada destes fatores encontra-se no item 5 da referência [88].

8.8.3.3-Recomendações Específicas

Como síntese das discussões apresentadas em [88], serão listadas um conjunto de recomendações para estimativa de custos, coleta e gerenciamento de fundos e redução de custos.

8.8.3.3.1- Recomendações para estimativa de custo

- Elaborar uma estimativa de custo baseada nas especificidades da instalação

- Revisar e adaptar a referência [38] para o desenvolvimento da estimativa de custo da instalação.

-Organizar uma estrutura de divisão do trabalho [25] para as atividades a serem realizadas no descomissionamento.

- Identificar se os custos relacionados a armazenamento de combustível usado e disposição estão incluídos nos fundos e custos de descomissionamento.
- Basear a estimativa de custo na avaliação do histórico da instalação.
- Verificar como os rejeitos serão transportados e dispostos e identificar as instalações de disposição disponíveis.
- Avaliar se o próprio detentor da licença da instalação ou contratados irá gerenciar e implementar as atividades previstas no projeto de descomissionamento.
- Identificar as atividades necessárias para o desligamento e preparação da instalação para o descomissionamento.
- Estimar o custo para aquisição de materiais, equipamentos gerais e de atividade de desmantelamento da instalação.
- Determinar o custo de disposição dos rejeitos, incluindo outras alternativas adequadas.
- Estimar os custos de segurança, vigilância e manutenção.
- Incluir custos de recuperação do sítio e para gerenciamento de projeto.
- Incluir contingência na estimativa para custos inesperados.
- Avaliar o nível de detalhe necessário para a estimativa de custo.

8.8.3.3.2-Recomendações para coleta e gerenciamento de fundos

- É necessário uma legislação que defina como serão estabelecidos os mecanismos de financiamento para descomissionamento de instalações nucleares.
- Contribuições para fundos são determinadas pelo detentor da licença da instalação. Caso seja uma instalação onde a licença pertença ao estado, o mesmo é responsável pelos fundos.
- Recursos financeiros relacionados ao descomissionamento levam em conta todos os gastos associados ao projeto de descomissionamento.
- De acordo com os princípios de transparência, os fundos necessitam ser revisados e gerenciados periodicamente com todas informações abertas ao público.
- Fundos não devem ser destinados para fins alheios aos estabelecidos.
- Avaliar as alternativas de recebimento de fundos para descomissionamento no intuito de encontrar mais adequada.

- Definir os responsáveis e as responsabilidades para o gerenciamento dos fundos.
- Monitorar a adequação do balanço dos fundos.
- Promover ações que viabilizem a disponibilidade dos recursos financeiros quando necessários.

8.8.3.3.3- Recomendações para redução de custos

- Estabelecer os princípios e responsabilidades do proprietário/detentor da licença e as medidas a serem adotadas para a proteção dos trabalhadores, público geral e meio ambiente.
- Revisar e incluir no planejamento para descomissionamento as lições aprendidas em outros projetos de descomissionamento implementados.
- Usar tecnologias recomendadas pela experiência internacional.
- Considerar o reuso de sistemas e estruturas como alternativa para reduzir custos.
- Avaliar a melhor opção para gerenciamento de fundos (serviço contratado ou o próprio gerente de projeto de descomissionamento)
- Analisar, caso seja celebrado, o tipo de contrato mais adequado as especificidades do projeto de descomissionamento a ser implementado.
- Verificar se há coerência entre o planejamento do projeto, os custos e o cronograma estabelecido de atividades.
- Elaborar um sistema de controle de projeto de custo e de programação para controlar custos.

Informações detalhadas referentes à estimativa de custo e mecanismo de financiamento são encontradas em [88].

8.8.4-Cerrex

O CERREX (Cost Estimative Research Reactor in Excel), por meio do programa Excel, é composto por um conjunto de itens que visa auxiliar a realização de estimativa de custo tendo como foco os reatores de pesquisa. Recomenda-se que esse programa seja utilizado para orientar a estimativa de custo do projeto de descomissionamento do reator IPENMB-01. O CERREX é parte integrante da ferramenta de gerenciamento de projeto ACCESS que será apresentada no capítulo 9 deste trabalho. Informações relativas a esse programa encontram-se no item 3.1 deste trabalho e em [42].

8.9-Avaliação de Segurança

A análise e levantamento dos principais perigos associados a implementação das atividades de descomissionamento e suas potenciais consequências devem estar presentes no Plano de Avaliação de Segurança. Ao longo da fase operacional até o anúncio do efetivo desligamento da instalação, este documento deve ser elaborado, revisado e atualizado por profissionais do IPEN/CNEN-SP dos setores de Serviço de Engenharia e Segurança do Trabalho e Serviço de Radioproteção. Como subsidio para o desenvolvimento do plano de avaliação de segurança, serão apresentadas recomendações presentes nas referências [6] e [22].

8.9.1- Recomendações do documento Safety Report Series Nº 45

A referência [6] propõe que o documento referente à avaliação de segurança seja estruturado em 9 itens:

- Identificação de critérios de segurança relevantes
- Condições e limites operacionais
- Análise de perigos em atividades normais de descomissionamento
- Análise de perigos em incidentes e eventos anormais
- Avaliação de potenciais consequências
- Medidas de mitigação e prevenção
- Avaliação de risco
- Comparação de análise de resultados com os critérios relevantes de segurança
- Conclusões

Uma descrição sobre cada um destes itens é encontrada No item 3.9 do documento [6].

8.9.2-Recomendações do documento Safety Assessment for Decommissioning

A referência [22] aborda detalhadamente diversos aspectos associados à avaliação de segurança reunindo informações que permitem o desenvolvimento e aprimoramento de todos os procedimentos a serem adotados para garantir a saúde dos trabalhadores, público geral e meio ambiente no decorrer das atividades de descomissionamento. Dos itens presentes nesta publicação destacam-se. Os Objetivos da Avaliação de Segurança, Etapas da Avaliação de Segurança, Abordagem Gradual,

Revisão e Atualização da Avaliação de Segurança no Processo de Descomissionamento, Lições Aprendidas e as informações presentes nos apêndices 9,11 e 13. A seguir serão descritas as principais contribuições destes itens no intuito de orientar o desenvolvimento de um documento de avaliação de segurança.

8.9.2.1-Objetivos da Avaliação de Segurança

Um documento para avaliação de segurança deve atender os seguintes objetivos [22]:

- Atuar como suporte na definição da estratégia de descomissionamento.
- Fornecer uma sistemática avaliação dos fatores e situações que podem afetar à segurança das atividades de descomissionamento planejadas.
- Comprovar que as atividades planejadas podem ser executadas com segurança e atendendo os requisitos estabelecidos pelo controle regulatório e legislação.
- Servir de base para a avaliação pelo corpo regulatório com relação à segurança do projeto de descomissionamento.
- Identificar todas as condições e limites a serem aplicados no intuito de garantir que os trabalhos transcorram de maneira segura e estejam com os padrões de segurança pré-estabelecidos.

8.9.2.2-Etapas na Avaliação de Segurança

A elaboração de um estudo com o objetivo de avaliar a segurança na implementação de atividades de descomissionamento é um processo estabelecido em etapas. Estas tem a função de orientar corretamente a seleção das informações a serem inseridas e o conjunto de procedimentos a serem adotados. As principais etapas presentes na avaliação de segurança são:

- Descrição detalhada da instalação e das atividades de descomissionamento
- Análise de risco: Identificação de riscos e avaliação dos mesmos
- Avaliação de medidas de controle de segurança a serem adotadas
- Avaliação dos resultados
- Aplicação da metodologia de avaliação de segurança.

8.9.2.3-Abordagem Gradual

O termo abordagem gradual é definido como o nível de detalhamento requerido na avaliação de segurança de acordo com o risco apresentando nas atividades

planejadas e os cenários de acidentes identificados [22]. O objetivo deste tipo de abordagem é a seleção de procedimentos a serem aplicados na avaliação de segurança que sejam proporcionais aos riscos determinados preliminarmente. A abordagem gradual pode ser aplicada em diversos procedimentos presentes no desenvolvimento da avaliação de segurança e também pode auxiliar na definição do grau de profundidade das informações apresentadas. Dessa forma, tal abordagem pode ser utilizada no nível de detalhe da avaliação de segurança, na aquisição de dados e caracterização radiológica da instalação, desempenho da avaliação de segurança e no processo de revisão independente. Uma descrição detalhada da aplicação da abordagem gradual em cada um destes itens citados consta no item 4 do documento [22].

8.9.2.4-lições Aprendidas

Baseado nas experiências adquiridas em reuniões, oficinas e grupos de trabalho da AIEA, serão elencados um conjunto de lições aprendidas para o desenvolvimento da metodologia de avaliação de segurança [22]:

- Para se alcançar resultados satisfatórios na avaliação de segurança é necessário a definição de uma metodologia onde todas as suas etapas são estabelecidas de forma clara e concisa.

- Ações em descomissionamento que contribuem para reforçar as medidas adotadas para garantir a segurança dos trabalhadores, público geral e meio ambiente são baseadas em uma abordagem determinística¹ na avaliação de segurança e na identificação de medidas de controle de segurança.

- É importante que o documento de avaliação de segurança seja conhecido por todas as partes interessadas e que seus procedimentos sejam adotados em conformidade com os critérios de segurança estabelecidos previamente no projeto de descomissionamento.

- A utilização da abordagem gradual é recomendada para especificar os diferentes requerimentos de avaliação de segurança em possíveis situações de acidentes, atividades a serem desempenhadas e nos sistemas de engenharia necessários.

- Para garantir que a avaliação de segurança atenda os critérios de segurança previamente estabelecidos e facilite a identificação de cenários de acidente, recomenda-se que a mesma, já em fase preliminar, o uso de cálculos simples e delimitadores para

¹A abordagem determinística é constituída por um conjunto de medidas de defesa a serem adotadas em função de eventos previstos que podem afetar a segurança das atividades de descomissionamento. Normalmente tal abordagem foca em medidas preventivas relacionadas aos aspectos termohidráulicos, radiológicos, neutrônicos e estruturais de uma instalação. Esta abordagem permite também apontar possíveis falhas na avaliação de segurança. [22]

determinação dos potenciais cenários de acidente e as doses no qual os trabalhadores poderão estar expostos.

-É fundamental que o processo de revisão das medidas de controle de segurança seja realizada sempre que necessário, pois instalações em fase de descomissionamento são suscetíveis à remoção de barreiras de segurança estabelecidas na fase operacional. Dessa forma, demanda-se atenção especial na revisão com o intuito de promover a manutenção da segurança.

-Uma avaliação de segurança com um abrangente número de fases é adequada para o descomissionamento de grandes instalações. Isso permite a elaboração de procedimentos de avaliação de segurança individuais focados em cada etapa do projeto a ser implementado.

-As medidas de segurança determinadas em fase operacional para diversos sistemas, estruturas e componentes poderão ser diferentes para o descomissionamento, demandando sobre as mesmas, mudanças significativas ou adaptações. Assim, é necessário que os requerimentos de segurança adotados para sistemas, estruturas e componentes sejam classificados e identificados conforme seu grau de importância para alcançar a máxima segurança e o risco inerente a cada cenário de acidente na qual as medidas irão atuar.

8.9.2.5-Exemplos de Aplicação de Procedimentos de Avaliação de Segurança

A seguir serão apresentadas tabelas e informações presentes no documento [22] que exemplificam a adoção de procedimentos de avaliação de segurança

Tabela-14: Lista de perigos e riscos associados a atividades comuns de descomissionamento :Atividades planejadas de descontaminação[22]

<i>Perigos</i>	<i>Risco</i>	<i>Medida de Controle</i>
-Solução de descontaminação radioativa usada e líquidos de livre liberação.	-Doses e contaminação interna nos trabalhadores.	-Organização do trabalho, uso de blindagem, monitoramento de efluentes e uso de equipamentos de proteção individual(EPI)
-Coleta de partículas de poeira contaminadas em filtros extratores de poeira	-Doses e contaminação interna nos trabalhadores	-Organização do trabalho, uso de blindagem e de equipamentos de proteção individual.
-Aerossóis liberados de líquidos ou poeira no local do trabalho.	-Exposição interna para trabalhadores decorrente de inalação	-Uso de EPI e monitoração.

Tabela-15: Lista de perigos e riscos associados a atividades comuns de descomissionamento: Atividades planejadas de descomissionamento[22]

<i>Perigo</i>	<i>Risco</i>	<i>Medida de Controle</i>
-Partes radioativas de equipamento desmantelado	-Exposição externa para trabalhadores.	-Organização do trabalho e uso de blindagem
-Desmantelamento de componentes com traços residuais de produtos inflamáveis	-Incêndio	-Drenagem adequada e disponibilidade de extintores de incêndio no local
-Materiais com baixa contaminação, descontaminados e desmantelados	-Exposição externa a radiação e contaminação interna para trabalhadores. Exposição para o público em função da liberação de materiais.	-Organização do trabalho, uso de blindagens e adoção de critérios para liberação de materiais.
-Tratamento de líquidos, poeira e rejeitos radioativos sólidos.	-Exposição e contaminação para trabalhadores.	-Organização do trabalho, uso de blindagem. EPIs e monitoramento dos rejeitos.

Tabela-16: Lista de perigos e riscos associados a atividades comuns de descomissionamento : Incidentes e acidentes em atividades de descontaminação [22]

<i>Perigo</i>	<i>Risco</i>	<i>Controle</i>
Derramamento e fluido de descontaminação	Exposição interna e externa de trabalhadores a radiação durante a realização de medidas de mitigação	Organização do trabalho e uso de EPIs.
Incêndios e espalhamento de aerossóis oriundos de materiais radioativos e químicos	Liberação acidental de componentes químicos e radioativos no ar, exposição externa e inalação de substâncias químicas e radioativas.	Implantação de sistema de tratamento de ar adequado, monitoração e uso de EPIs
Falha no sistema de ventilação	Inalação de substâncias radioativas pelos trabalhadores	Monitoramento de ventilação e uso de máscaras adequadas
Inundação por soluções radioativas	Liberação de líquidas em águas superficiais e subterrâneas, exposição externa e interna a radiação para os trabalhadores durante aplicação de medidas de mitigação.	Medidas de controle de mitigação: Aplicação de teste de contaminação de água subterrânea e monitoramento da radiação.
Queda de equipamento ou peça radioativa	Exposição de trabalhadores a radiação.	Monitoramento e uso de EPIs e uso de blindagem
Vazamento no reservatório de rejeitos radioativos líquidos	Liberação de material radioativo em águas subterrâneas e meio ambiente em geral; Exposição interna e externa dos trabalhadores a radiação.	Controle periódico da integridade e dos materiais, Teste de águas subterrâneas para contaminação radioativa, EPIs e blindagens.

8.9.2.5.1-Consequências de Acidentes e Classificação de Risco

O sistema de classificação de cenários de acidente é baseado em classes de risco. Nele analisa-se a probabilidade de ocorrer consequências associadas a um dado acidente e as doses que indivíduos no interior e exterior da instalação podem estar sujeitos. Além disso, este sistema apresenta as medidas de segurança que devem constar no relatório de análise de segurança para cada nível de consequência de acidente atrelado a determinada classe de risco. Assim, são definidas quatro classes de risco e os requerimentos de segurança para cada uma. Estas são:

Risco de classe I: Baseia-se em eventos que podem afetar significativamente a segurança fora da instalação. Dessa forma, indivíduos do público e o meio ambiente, por exemplo, estão sujeitos as consequências desta classe risco. Sendo assim, medidas de segurança administrativas e de engenharia devem ser implementadas para evitar qualquer possibilidade de exposição ou contaminação por material radioativo que gere impactos negativos a saúde do público em geral e no meio ambiente.

Risco de classe II: É constituída por eventos cujas as consequências possuem impactos maiores no interior da instalação do que fora da mesma. Assim como para classe I, medidas administrativas e de engenharia devem ser implementadas para garantir a segurança. Qualquer controle das medidas a serem aplicadas deve ser baseado na efetividade e viabilidade das mesmas e deve atender os princípios ALARA.

Risco de classe III: Consiste em eventos com consequências bem definidas e pontuais, não sendo normalmente necessário uma avaliação de segurança formal, ao menos que o corpo regulatório exija.

Risco de classe IV: Todos eventos que não demandam medidas de segurança adicionais devido as baixas consequências oriundas dos mesmos. Entretanto, um conjunto de medidas de proteção devem ser definidas. Porém, não é usualmente requerido um documento de avaliação de segurança.

A tabela 16 apresenta um modelo de sistema de classificação de risco que compara a consequência do acidente com a frequência que o mesmo ocorre, apresentando sucintamente as medidas a serem adotadas de acordo com a probabilidade de ocorrer tal acidente.

Tabela-17: Consequência do acidente versus frequência: Situação de alta consequência [22]

Nível de Consequência	Além do extremamente improvável($<10^{-6}/a$)	Extremamente improvável (10^{-4} a $10^{-6}/a$)	Improvável (10^{-2} a $10^{-4}/a$)	Antecipado (10^{-1} a $10^{-2}/a$)
Alta consequência(Classess de risco-CR)	CR III	CR II	CRI	CRI
Público fora do local da instalação (>100 a $1000mSv$)	Nenhuma medida recomendada	Deve constar no relatório de avaliação de segurança medidas de controle	Adoção de medidas de controle de segurança para o público	Adoção de medidas de controle de segurança para o público
Interior da instalação($>1000mSv$)	Nenhuma medida recomendada	Nenhuma medida recomendada	Adoção de medidas de controle de segurança para os trabalhadores	Nenhuma medida recomendada

a: acidente

Considerando a tabela acima, no caso do reator IPENMB-01, a probabilidade de ocorrência de acidente radiológico de grandes proporções é baixíssima. Entretanto, como este trabalho pode servir de referência para outras instalações nucleares brasileiras, ficam o exposto na tabela 16 e as demais recomendações presentes neste capítulo como orientações a serem levadas em consideração e adaptadas para a finalidade e projeto as quais poderão ser utilizadas.

8.10-Avaliação Ambiental

Atualmente, as preocupações com os impactos ambientais relacionadas ao projeto de descomissionamento são de grande relevância para muitos países membros da AIEA. Conforme já mencionado no item 3.1, órgãos reguladores estão cada vez mais exigentes referente ao estabelecimento de critérios para avaliação ambiental [11], resultando em análise rigorosas, que tem como foco na justificativa e metodologia adotadas para monitorar e mitigar consequências radiológicas ao público e meio ambiente. Dessa forma, o documento de Avaliação Ambiental deve ser elaborado em detalhes buscando atender os requisitos definidos pela agência reguladora e legislação vigente, pois o mesmo será um fator de peso significativo para a aprovação do projeto de

descomissionamento. Assim, nos próximos subitens, para o plano preliminar de descomissionamento do reator IPENMB-01, serão apresentadas recomendações baseadas na publicação [6], determinações presentes em [119] e [120] e nos programas estabelecidos no IPEN/CNEN-SP [89], [94] e [95] que visam subsidiar a elaboração do documento de avaliação ambiental. Este deverá ser elaborado por profissionais do IPEN/CNEN-SP do Departamento de Monitoração Ambiental, Serviço de Radioproteção e Centro de Química e Meio ambiente.

8.10.1-Recomendações do Documento Safety Report Series nº45

A publicação [6] recomenda que o documento de avaliação ambiental seja estruturado contemplando os seguintes itens:

- Apresentação do Projeto de Descomissionamento
- Descrição da Programação do Projeto de Descomissionamento
- Programa de Proteção Ambiental
- Programa de Monitoração de Efluentes
- Programa de Controle de Efluentes

Informações específicas referente aos itens mencionados acima se encontram detalhadas em [6].

8.10.2-Determinações das Posições Regulatórias 3.01/008:2011 e 3.01/009:2011

8.10.2.1-Posição Regulatória CNEN 3.01/008:2011

Esse regulamento, complemento da norma [79], estabelece que um Programa de Monitoração Radiológica Ambiental (PMRA) deve ser elaborado afim de suplementar os programas de controle da fonte e liberação de efluentes radioativos [119]. Esta posição regulatória apresenta os objetivos de um programa de monitoração ambiental em cada fase do ciclo de vida da instalação nuclear, incluindo o descomissionamento, e um guia para a sua concepção.

Com relação à fase de descomissionamento, os objetivos são semelhantes à fase operacional, com atenção as devidas adaptações a serem realizadas em função das características da instalação e a natureza das atividades de descomissionamento implementadas [119]. Assim, os objetivos do programa de monitoração ambiental para esta fase são [119]:

- Comprovar as condições previstas de isolamento da fonte e de controle da liberação de efluentes;
- Prover meios para demonstração ao público de que a fonte e a liberação de efluentes

se encontram sob controle;

- Avaliar os incrementos detectados nos níveis de radioatividade ou concentrações de atividades de radionuclídeos, em relação à fase pré operacional, às áreas de controle e aos níveis medidos nos anos anteriores;
- Estimar o impacto devido aos incrementos detectados, e se necessário, propor e implementar programa de monitoração complementar e outras ações corretivas que levem ao retorno das condições operacionais impostas;
- Avaliar as tendências em relação às medidas de níveis de radioatividade ou das concentrações de radionuclídeos em áreas sujeitas ao impacto radiológico da prática e fora destas (áreas de controle), que permitam distinguir a contribuição da prática avaliada daquela de outras fontes;
- Demonstrar a conformidade com os níveis previamente estabelecidos;
- Realizar a supervisão da região de modo a identificar modificações em parâmetros que indiquem a necessidade de revisão do programa; e
- Manter registros continuados das medidas efetuadas que permitam os processos de acompanhamento e auditoria da prática.

Um PMRA, no qual agrega medidas de radiação, radioatividade e outros parâmetros ambientais, deve conter basicamente as seguintes informações [119]:

- Identificação cartográfica dos pontos que formam a rede de monitoração;
- Especificação, em função das diferentes vias de exposição, dos meios e bio-indicadores a serem monitorados;
- Tipos e frequências das medições, amostragens e subsequentes análises laboratoriais;
- Limites mínimos de detecção, com base nos níveis operacionais, para cada radionuclídeo em função do meio monitorado;
- Métodos de medidas, amostragem e análise;
- Especificação dos equipamentos e sistemas de medição e de detecção necessários, em função dos tipos de medidas e dos limites mínimos de detecção requeridos;
- Metodologia para análise crítica e tratamento dos dados;
- Critérios e metodologia para avaliação dos resultados;
- Definição da equipe técnica necessária à implantação e à manutenção do PMRA e de um programa de qualificação e de treinamento adequados;
- Ações a serem implementadas quando os níveis de referência forem atingidos;
- Programa de supervisão da região, de modo a identificar modificações significativas nas condições de dispersão dos efluentes, de ocupação do local, do uso das terras e dos recursos hídricos que indiquem a necessidade de reavaliação do PMRA; e
- Periodicidade para reavaliação da adequação do PMRA.

8.10.2.2-Posição Regulatória CNEN 3.01/009:2011

Este documento versa, especificamente, sobre o Modelo de Elaboração de Relatórios de Monitoração Radiológica Ambiental (RMRA), pois a CNEN determina a realização de relatórios de rotina com o intuito de monitorar a exposição do público e do meio ambiente a radiação [120]. Para fins de descomissionamento, este tipo de relatório pode ser exigido pela CNEN para acompanhamento dos procedimentos implementados no intuito de verificar se os requisitos de segurança radiológica estão sendo aplicados corretamente e cumpridos. Assim, um RMRA é estruturado pelos seguintes itens:

- Introdução
- Sumário
- Apresentação de Resultados
- Análise e Discussão
- Conclusão
- Referencias

Detalhes referentes à composição destes itens se encontram em [120]

8.10.2.3-Programa de Monitoração Radiológica Ambiental do IPEN/CNEN-SP.

O objetivo deste programa é avaliar o impacto radiológico decorrente da operação e liberação de efluentes das instalações nucleares e radiativas em funcionamento no IPEN/CNEN-SP. Estruturado conforme as determinações presentes em [79], este PMRA avalia a exposição a radiação pelo público em geral baseado em análise de águas subterrâneas, ar e águas oriundas de precipitação pluviométrica e a exposição no meio ambiente por meio de medições com dosímetros termoluminescentes [94]. Assim, toda a liberação de efluentes é controlada de tal forma que os níveis de dose e atividade sejam correspondentes aos valores estabelecidos em [79] e [75]. Existem diversos pontos de monitoração definidos em função da localização das instalações nucleares e radiativas. As figuras 25 mostra os pontos de coleta e monitoração existentes no IPEN/CNEN-SP.

Figura-25: Unidades do IPEN/CNEN-SP com os pontos de coleta do PMRA [94]

Recomenda-se que os procedimentos estabelecidos neste programa sejam adaptados para as atividades de descomissionamento do reator IPEN /CNEN-SP, incorporando, além das informações presentes em [6], o Programa de Monitoração Químico Ambiental [95].

8.10.3-Demais Recomendações

No intuito de realizar uma avaliação ambiental que considere, além do parâmetro radiológico, outros fatores de impacto ambiental, podem ser utilizadas para o desenvolvimento do documento de avaliação ambiental as informações presentes em [121], levando em consideração as adaptações necessárias. O relatório de avaliação de impacto ambiental no descomissionamento presentes em [122] e o guia para elaboração para a avaliação de impacto ambiental no descomissionamento de instalações nucleares do Reino Unido [123], são referências que podem contribuir para o desenvolvimento do documento proposto.

8.11-Saúde e Segurança

Para o descomissionamento, o documento relacionado a Saúde e Segurança é composto pelo Plano de Proteção Radiológica e Programa de Saúde e Segurança que envolve a descrição de procedimentos pertinentes a segurança do trabalho[6]. As recomendações a serem apresentadas neste item tem como objetivo auxiliar a elaboração do documento de Saúde e Segurança para o projeto de descomissionamento da instalação e foram baseadas principalmente nas informações constantes em [6] e [89]. Profissionais do Serviço de Radioproteção e Serviço de Engenharia e Segurança do Trabalho, são responsáveis pelo desenvolvimento, atualização e revisão,

respectivamente dos procedimentos relativos a proteção radiológica e segurança do trabalho que devem ser incorporados no plano de descomissionamento.

8.11.1-Recomendações do Documento Safety Report Series nº45

Esta publicação propõe, respectivamente, que o documento de Saúde e Segurança para descomissionamento seja constituído por um conjunto de itens nos quais incluem o plano de proteção radiológica e o plano de segurança e saúde industrial. As informações a serem contempladas são apresentadas a seguir:

Plano de Proteção Radiológica:

- Procedimentos e metodologia para coleta de amostras de ar no local de trabalho
- Programa de proteção respiratória
- Monitoração de exposição interna e externa
- Programa de controle de contaminação
- Instrumentação a ser utilizada

Demais itens do Documento de Saúde e Segurança:

- Plano de Segurança e Saúde Industrial
- Auditorias e Inspeções
- Programa de manutenção de registros
- Programa e análises de otimização
- Estimativa de dose e otimização para as principais tarefas
- Critérios de liberação
- Critério de liberação final

Detalhes sobre o documento de saúde e segurança e dos itens que o compõem estão presentes em [6].

8.11.2-Plano Geral de Radioproteção do IPEN/CNEN-SP

Pelo fato do IPEN/CNEN-SP possuir instalações que trabalham com material radiativo como reatores nucleares e centros de pesquisa e visando atender os requisitos estabelecidos em [79], foi instituído um plano geral de radioproteção. Este objetiva estabelecer procedimentos que proporcionem o controle radiológico de todas as instalações nucleares e radiativas existentes no instituto de tal forma a garantir níveis

seguros de exposição a radiação para os trabalhadores, público geral e meio ambiente [89]. A fim de organizar e facilitar a implementação das ações relacionadas à radioproteção, este plano é composto por uma série de itens que tratam desde a descrição da instalação até os procedimentos de proteção radiológica e estratégias adotadas. A seguir serão destacadas as principais informações referentes aos itens constantes neste documento de radioproteção no intuito de subsidiar a elaboração de um plano de proteção radiológica para descomissionamento.

8.11.2.1-Atribuições, Competências e Responsabilidades

Para organização dos trabalhos e cumprimento das determinações relacionadas à proteção radiológica, são delegadas funções e responsabilidades aos membros com formação específica na área de radioproteção do quadro do IPEN/CNEN-SP. As funções, competências e responsabilidades que estruturam as equipes de radioproteção do IPEN/CNEN-SP são [89]:

Supervisor de Radioproteção:

Este é responsável por:

- Fazer cumprir os procedimentos de radioproteção relacionados com a operação de cada instalação;
- Elaborar os procedimentos de radioproteção e revisá-los;
- Efetuar o treinamento dos técnicos de radioproteção e de todos os indivíduos ocupacionalmente expostos;
- Manter o arquivo de documentos de radioproteção da instalação;
- Coordenar as ações de radioproteção nas operações de manutenção e descontaminação;
- Coordenar as ações de radioproteção na colheita de rejeitos radioativos;
- Testar periodicamente os equipamentos de radioproteção

Técnicos de Radioproteção

- É responsabilidade dos técnicos de radioproteção:
- Verificar o cumprimento dos procedimentos de radioproteção;
- Verificar o controle de acesso de pessoal nas áreas restritas;
- Dar apoio de radioproteção a todas as atividades envolvendo o uso de material radioativo na instalação;
- Participar das ações de radioproteção nas operações de manutenção, descontaminação e coleta de rejeitos;
- Verificar o controle de acesso de cargas na instalação, quando se tratar de material radioativo.

8.11.2.2-Procedimentos de Radioproteção

O plano de radioproteção estabelece um conjunto de procedimentos visando à segurança radiológica das instalações radiativas e nucleares. Estes são:

Classificação e sinalização das áreas de trabalho e segurança física: As áreas são divididas e sinalizadas considerando os riscos de exposição a doses de radiação e contaminação. A divisão é composta por áreas livres, áreas controladas e áreas supervisionadas, nas quais são determinados os níveis de doses máximos para as mesmas.

Regras gerais para trabalhos e controle de acesso de cargas e de pessoal: Consiste na adoção aplicação de princípios e práticas de radioproteção, controle de visitantes por meio de portaria e estabelecimento do controle de acesso de cargas, evitando cruzamentos com a rota de circulação de pessoal.

Medidas de controle para liberação de materiais radioativos: Essas medidas são baseadas no programa existente de liberação de efluentes e rejeitos radioativos do IPEN/CNEN-SP. Identificação e Monitoração de rejeitos radioativos e coleta e análise de amostras de efluentes são realizadas para garantir que os mesmos, caso liberados, não apresentem concentrações de atividade superiores aos limites de dispensa constantes em [75]. Caso esses limites sejam ultrapassados, apresentando doses e concentração de atividade que possam afetar a saúde dos trabalhadores, público em geral e meio ambiente, os rejeitos e efluentes são coletados. O primeiro é armazenado temporariamente em tambores de 200L, de acordo com os critérios estabelecidos pela GRR. O segundo é coletado em locais apropriados e transferidos para a GRR.

Monitoração da contaminação e regras para descontaminação: Neste procedimento são aplicadas medidas frequentes de controle de contaminação por meio de coleta de amostras para análise, limpeza de locais e monitoração de níveis de contaminação do ar, superfície e monitoração de contaminação individual utilizando instrumentação fixa ou semi-portátil.

Monitoração dos níveis de radiação: São implementados medidas de monitoração do local de trabalho para os indivíduos ocupacionalmente expostos utilizando instrumentação para medição de dose de corpo inteiro e para monitoração individual, dosímetros termoluminescentes. É realizado também o controle de exposição dos indivíduos do público com o monitoramento de áreas livres.

Controle de instrumentos e registros: Toda instrumentação é vistoriada periodicamente pela equipe de radioproteção e está inserida no programa de ensaios e manutenção estabelecido em cada instalação a fim de garantir o funcionamento correto dos equipamentos utilizados. Compõe a instrumentação de radioproteção os monitores portáteis, dosímetros individuais, monitores de pés, mão e roupas, instrumentação para

monitoração de ar, equipamento para amostragem de ar com filtro e monitores de nêutrons. Com relação aos registros, dados, resultados e pareceres associados as doses em atividades rotineiras são conservados e mantidos nas instalações por 3 anos. Os documentos que são conservados são referentes aos procedimentos de trabalho, relatórios de monitorações individuais, resultados de monitorações realizadas, avaliação de níveis de contaminação, pareceres técnicos, certificados de calibração, movimentação de material radioativo e treinamentos de radioproteção [89].

Instruções de serviço para trabalho com material radioativo: Os técnicos que trabalham nas instalações radiativas e nucleares recebem cópias dos procedimentos de segurança vigentes e participam de cursos e treinamentos de radioproteção.

Questões específicas sobre os limites de dose adotados e demais informações são encontradas em [89].

Recomenda-se que este plano de radioproteção seja adaptado para as atividades de descomissionamento do reator IPENMB-01 pelos profissionais do Serviço de Radioproteção.

8.11.3-Plano de Segurança do Trabalho

É recomendado que um plano de segurança do trabalho para as atividades de descomissionamento seja parte integrante do documento de saúde e segurança. Como esse documento abrange as medidas de segurança a serem implementadas para prevenir e mitigar os perigos radiológicos, o plano proposto poderia ter como foco os perigos não radiológicos, principalmente os presentes nas atividades de desmantelamento do conjunto crítico. Propõe-se que o plano de segurança do trabalho seja elaborado por profissionais do Serviço de Engenharia e Segurança do Trabalho.

8.12-Garantia de Qualidade

Conforme o fluxograma da figura 19 e a discussão presente no item 8.4, a implementação de procedimentos de garantia de qualidade tem um papel fundamental no projeto de descomissionamento. Normalmente, o Programa de Garantia de Qualidade (PGQ) é um documento a parte, sendo que muitos dos itens estabelecidos na fase operacional podem ser aplicados para o descomissionamento se atendo as modificações necessárias [6]. Um PGQ para as atividades de descomissionamento do reator IPENMB-01 deverá ser elaborado por profissionais do IPEN/CNEN-SP do setor de gestão de qualidade do Centro de Engenharia Nuclear (CEN). Como forma de auxiliar o desenvolvimento deste programa, serão apresentadas principalmente as recomendações presentes em [6] e as determinações estabelecidas em [124]. Esta norma estrutura o próprio PGQ do reator descrito no capítulo 17 do RAS [8]. Demais referências de experiências internacionais de garantia de qualidade no descomissionamento de

instalações nucleares serão citadas de forma complementar, visando também contribuir para a confecção do PGQ.

8.12.1-Recomendações do Documento Safety Report Series nº45

O documento guia [6] elenca uma série de itens que devem ser contemplados a fim de atender os requisitos inerentes aos procedimentos de controle de qualidade. Dessa forma, propõe-se que um documento de garantia de qualidade seja estruturado pelos seguintes itens:€

- Organização
- Programa de garantia de qualidade
- Controle de documentos
- Teste de equipamentos e medidas de controle
- Ações corretivas
- Gerenciamento e manutenção de registros de garantia de qualidade
- Vigilância e auditorias
- Lições aprendidas

A descrição detalhada das informações presentes nos itens acima citados é encontrada em [6].

8.12.2-Determinações da norma CNEN-NN-1.16

Todas as atividades de garantia de qualidade a serem implementadas em instalações que trabalham com material radioativo devem seguir as exigências constantes em [124]. Este regulamento apresenta todos os requisitos para o estabelecimento do sistema e programa de garantia de qualidade, sendo a base para a elaboração de qualquer documento relacionado a procedimentos de garantia de qualidade de instalações nucleares. Assim, as determinações presentes em [124] foram incorporadas no conjunto de ações estabelecidas no Programa de Garantia de Qualidade do IPEN/CNEN-SP [93] e do Reator IPENMB-01 constante no capítulo 17 do documento [8]. Este último segue a mesma itemização do regulamento citado. Os itens e principais informações constituintes desta norma que devem compor um documento de garantia de qualidade são destacadas a seguir [124]:

Sistemas de Garantia de Qualidade: Aponta sobre as obrigações e responsabilidades delegadas para a implementação do sistema de garantia de qualidade nas instalações que trabalham com material radioativo e as diretrizes básicas para o

desenvolvimento do mesmo. Além disso, destaca também a necessidade dos documentos associados a garantia de qualidade constarem os procedimentos, instruções e desenhos que visam demonstrar o cumprimento satisfatório das tarefas programadas e as ações corretivas pertinentes a avaliação da gerência desse sistema.

Programa de Garantia de Qualidade: Este item aborda sobre a obrigatoriedade de submissão, por parte do detentor da autorização de operação da instalação (requerente), do programa de garantia de qualidade a CNEN e as características do mesmo com relação ao formato, conteúdo e idioma.

Organização: Estabelece a necessidade de identificar as responsabilidades, autoridades e as formas de comunicação entre os gerentes, executores e inspetores do PGQ, a sua estrutura organizacional e atribuição funcional do pessoal envolvido no programa. Destaca também os requisitos a serem cumpridos nas interfaces entre organizações e grupos organizacionais que atuam em atividades que influem na qualidade e sobre e as determinações associadas à seleção e treinamento de pessoal.

Controle de Documentos: Apresenta as medidas de controle de documentos nas fases de preparação, análise e aprovação e também para sua liberação, distribuição e alteração.

Controle de Projeto: Trata sobre os requisitos gerais relacionados as medidas de controle de projeto a serem aplicadas na própria documentação de projeto, na seleção e análise de aplicabilidade do uso de materiais, peças, equipamentos e processos, nos procedimentos de radioproteção, na acessibilidade e estabelecimentos de critérios para inspeções, testes e reparos, entre outras aplicações. Dispõe também sobre as considerações e diretrizes que devem ser incorporadas para a interface, verificação e alteração de projeto.

Controle de Aquisições: Envolve as determinações relacionadas a avaliação e seleção de fornecedores e o controle de itens e serviços adquiridos.

Controle de Materiais: Consiste nas medidas que devem ser adotadas para identificação de peças e componentes e controle, manuseio, armazenagem e embarque de materiais.

Controle de Processo: Abrange os controles dos processos onde a inspeção de itens não é suficiente para garantir a qualidade requerida nas tarefas desempenhadas e nos recursos materiais utilizados.

Controle de Inspeção e Testes: Destaca os procedimentos que irão estruturar o controle de inspeção e testes sendo estes compostos pelo programa de inspeção, programa de

testes, calibração e controle de equipamentos de teste e medição e as ações relacionadas às situações de inspeções, testes e estado operacional de itens.

Controle de Itens Não-Conformes: Este item deve contemplar as medidas para identificar e documentar os itens não conformes de tal forma a evitar seu uso inadequado. As medidas de avaliação e destinação de itens não conformes devem ser estabelecidas.

Ações Corretivas: Engloba as ações a serem implementadas no intuito de identificar e corrigir qualquer falha apresentada nos procedimentos adotados e nos recursos utilizados para a realização de tarefas.

Registros de Garantia de Qualidade: Deve conter informações sobre como os registros devem ser preparados, coletados, arquivados e preservados amparado sob um sistema de registros.

Auditorias: Item no qual são estabelecidas as diretrizes para a realização de auditorias internas e externas no intuito de verificar se o sistema de garantia de qualidade implantado foi devidamente aplicado, documentado e implementado. Deve constar também a organização e programação das auditorias a serem realizadas.

Maiores detalhes referente a descrição de cada item são encontrados em [124]. Conforme mencionado, existe um PGQ voltado para a fase operacional do reator IPENMB-01 [8], onde existem procedimentos estabelecidos, sendo que muito de seus itens se aplicam para fins de descomissionamento, devendo ser realizadas as devidas adaptações em função da natureza diversa das atividades desempenhadas na fase operacional e na fase de descomissionamento.

8.12.3-Recomendações Complementares

A fim de contribuir para a elaboração do documento de garantia de qualidade, podem ser incorporadas as informações existentes o programa de garantia de qualidade do IPEN/CNEN-SP [93], as recomendações da AIEA presentes em [125] e no programa de garantia de qualidade das instalações nucleares de Savannah [126].

8.13-Plano de Emergência

Um plano de emergência para descomissionamento envolve os procedimentos adotados para mitigar principalmente os impactos decorrentes de acidentes de natureza radiológica, controlando a exposição a doses de radioação, e combater incêndios. Na fase operacional do reator IPENMB-01 são vigentes o plano de proteção contra incêndio [91], os procedimentos de combate a incêndio [98] e o plano de emergência radiológica [90] que abrange todas as instalações radiativas e nucleares do IPEN/CNEN-SP. Propõe-se que estes documentos sejam adaptados para o desenvolvimento de um plano de emergência para descomissionamento, devendo ser os mesmos elaborados, atualizados

e revisados pelos profissionais lotados na instalação. A seguir, serão apresentadas recomendações baseadas em [6] e as determinações presentes nos planos citados, que são baseadas na norma [84], a fim de auxiliar no desenvolvimento do plano de emergência para descomissionamento.

8.13.1-Recomendações do documento Safety Report Series nº45

A publicação [6] orienta que um documento de emergência para a fase de descomissionamento apresente informações que definam:

- A organização e as responsabilidades no planejamento de emergências
- Os procedimentos de resposta a serem implementados em situações de emergência e como os mesmos são mantidos no período do descomissionamento.
- Como serão elaborados, controlados e mantidos os registros relacionados a emergências.

Maiores informações sobre o exposto acima são encontradas em [6].

8.13.2-Plano de Proteção contra Incêndio do Reator IPENMB-01

O objetivo deste plano é estabelecer os procedimentos básicos para prevenir e combater incêndios no reator com rapidez e segurança por meio de ações executadas por pessoal devidamente treinado e pelo uso de equipamentos adequados. Este documento é organizado contemplando os itens a seguir:

- Noções básicas de proteção contra incêndio
- Medidas de detecção e combate a incêndio no Reator IPENMB-01
- Procedimentos para operação, manutenção e fiscalização.
- Determinação de áreas de incêndio e zonas de avaliação
- Estudo de análise de incêndio nos setores do reator
- Estabelecimento, funções e responsabilidades da brigada de incêndio no reator.
- Referências.

Uma discussão sobre os procedimentos presentes em cada item consta em [99]. O documento de combate a incêndio do reator [98] complementa as medidas de detecção e combate a incêndio vigentes descrevendo os procedimentos detalhados a serem executados para acionamento de alarmes e da brigada de incêndio, caso haja uma situação de emergência.

8.13.3-Plano de Emergência Radiológica do IPEN/CNEN-SP

Esse plano foi concebido no intuito de regular, padronizar e coordenar as medidas a serem adotadas para a proteção dos trabalhadores, público geral e meio ambiente em situações de acidente radiológico nas instalações nucleares e radiativas existentes no IPEN/CNEN-SP. Neste documento [90], são definidos a estrutura e as atribuições dos responsáveis pela implementação do plano de emergência radiológica e o sistema de comunicação utilizado. A estrutura do plano é organizada conforme a figura 26 abaixo:

Figura-26: Estrutura do plano de emergência radiológica do IPEN/CNEN-SP em que: GRP:Gerência de Radioproteção; GAM: Gerência de Atendimento Médico; GPF: Gerencia de Proteção Física; GEL:Grupo de Emergência Local [90].

Todas atribuições dos profissionais e grupos envolvidos estão descritas neste plano.

8.13.4-Conclusão

De acordo com as informações apresentadas, é possível utilizar a estrutura e os itens estabelecidos nos planos vigentes no IPEN/CNEN-SP para compor o documento de planejamento de emergência para descomissionamento se atendo as modificações e atualizações necessárias conforme a natureza do acidente e das atividades a serem desempenhadas.

8.14-Segurança Física e Salvaguardas

As recomendações para a elaboração do plano de segurança física e salvaguardas para o projeto de descomissionamento do reator IPENMB-01 foram baseadas nos documentos [6], regulamentos [83], [85] e nos procedimentos

estabelecidos no reator presentes em [100] e [101]. É proposto que estes procedimentos vigentes na fase operacional sejam utilizados na fase de descomissionamento se atendo as devidas modificações. Um plano específico de segurança física e salvaguardas para descomissionamento deve ser desenvolvido, revisado e atualizado por profissionais dos setores de proteção física e salvaguardas do IPEN/CNEN-SP e da própria instalação. Nas próximas linhas serão apresentadas as informações presentes nas recomendações e regulamentos acima citados a fim de fornecer suporte à elaboração do referido plano.

8.14.1-Recomendações do documento Safety Report Series nº45

O documento [6] apresenta uma proposta para composição do plano de segurança física e salvaguardas baseada no atendimento dos seguintes itens:

- Organização e responsabilidades nos procedimentos a serem adotados
- Medidas e programação de segurança física
- Medidas e programação de salvaguardas

Informações adicionais relacionadas aos itens expostos acima estão presentes em [6].

8.14.2-Determinações da norma CNEN-NE-2.01

Este regulamento define as diretrizes, procedimentos, e responsabilidades que devem nortear a aplicação de medidas de proteção física em unidades operacionais da área nuclear e no transporte de materiais de uma instalação a outra fora da área vigiada [83]. Conforme as determinações constantes em [83], toda instalação deve submeter a CNEN um plano de proteção física particular, sendo um preliminar para obtenção de licença de construção e outro final para a concessão de autorização para operação inicial. Dessa forma, um plano preliminar e um plano final de proteção física devem ser concebidos contendo as seguintes informações:

Plano preliminar de proteção física:

- Critérios básicos de proteção física;
- Plantas e desenhos identificando: a localização detalhada das edificações, aspectos específicos do terreno que possam apresentar problemas; áreas de segurança; áreas para armazenamento de materiais; área de estacionamento e estradas de acesso; zonas de isolamento; barreiras físicas; locais de controle de acesso; dispositivos de monitoração e alarmes; estradas utilizadas para vigilância; localização da coordenação geral do Serviço de Proteção Física (SPF) e da força de apoio e suas jurisdições.
- Características das barreiras físicas;
- Relação dos tipos de dispositivos de alarme e detecção de intrusos;
- Diretrizes da Direção da *instalação nuclear* relativas à *proteção física*;
- Descrição das comunicações de segurança
- Critérios de proteção física para a triagem e admissão de qualquer empregado nos

trabalhos de construção, inclusive das firmas contratadas e subcontratadas;

- Constituição do *SPF*, com identificação de pessoas com autoridades e responsabilidades;
- Critérios para elaboração de procedimentos aplicáveis no *SPF* relativos a: seleção e contratação de pessoal; treinamento e retreinamento de pessoal; avaliação de desempenho de pessoal; vigilância; controle de acesso; identificação de pessoas; inspeção de materiais de interesse; vistorias; exercícios e ensaios; manutenção de registros;relatórios; difusão dos procedimentos; manutenção de sigilo; comunicações de segurança; tentativa de sabotagem; situações de emergência.

Plano final de proteção física:

- Critérios de proteção física para a admissão de pessoal para trabalhar na fase de operação da instalação nuclear;
- Plantas e desenhos identificando a localização de equipamentos vitais e materiais nucleares;
- Descrição dos dispositivos de alarme e dos dispositivos de detecção de intrusão;
- Descrição dos sistemas de proteção de painéis, fiações, comunicações de segurança e demais sistemas de proteção física;
- Descrição da construção de barreiras físicas.

É estabelecido que o plano de proteção física seja atualizado a cada dois anos.

O documento [83] também dispõe sobre a implantação, atribuições e responsabilidades do serviço de proteção física e destaca as informações essenciais que deverão constar no plano de proteção física para unidades de transporte. Referente a este último, as informações a serem contempladas são:

- Itinerário planejado;
- Itinerários opcionais;
- Modo de transporte;
- Duração, datas e horários de partida e chegada do transporte;
- Pontos de parada, com respectivos horários e duração de cada parada;
- Identificação dos integrantes e das chefias da Unidade de Transporte e do Centro de Coordenação Geral do *SPF*;
- Organização da força de segurança;
- Comunicações de segurança;
- Procedimentos relativos à atuação da força de segurança e demais elementos da Unidade de Transporte, abrangendo os seguintes tópicos: transporte;transbordos; pontos de parada;pernoites;notificações e comunicações de segurança;vistorias; sigilo das comunicações de segurança; situações de emergência em conformidade com as normas

gerais estabelecidas pelo órgão central do SIPRON(Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro).

8.14.3-Determinações da Norma CNEN-NN-2.02

Esta norma trata sobre as medidas a serem adotadas para o controle de materiais nucleares sendo estruturada pelo conjunto de itens a seguir:

Utilização de Material Nuclear: Aborda basicamente sobre os requisitos gerais e restrições para a utilização de material nuclear.

Transferência de Material Nuclear: Aponta os requisitos gerais, restrições e as condições e procedimentos para transferência em território nacional, exportação e importação de material nuclear.

Sistema de Controle: Estabelece as condições para início, término e isenção de controle dos materiais radioativos e como deve ser determinado o inventário físico. Além disso, também dispõe sobre a implantação de um sistema de medidas para o cálculo de inventário de material nuclear, incluindo as modificações que possam ocorrer com o mesmo, manutenção de registros, elaboração de relatórios, responsabilidades, dispositivos de contenção e vigilância e procedimentos especiais.

Inspeções: Destaca sobre a permissão de acesso de inspetores da CNEN nas instalações

Penalidades: O não cumprimento das disposições da norma implica penalidades previstas em lei e cassação das autorizações adquiridas [85].

8.14.4-Procedimentos de proteção física e controle de materiais no reator IPENMB-01.

A proteção física implementada no reator IPENMB-01 consiste no controle de acesso, comunicação de segurança, vigilância e no sistema de detecção de intrusos. O controle do material nuclear é aplicado às varetas combustíveis, regulando sobre o volume máximo a ser transportado e manuseado, recebimento, armazenamento nas covas e contabilidade. A apresentação dos procedimentos específicos associados a proteção física e para o controle de materiais do reator IPENMB-01 é encontrada respectivamente em [100] e [101].

8.14.5-Recomendações Complementares

A fim de subsidiar o desenvolvimento de um plano de segurança física e salvaguardas para o reator IPENMB-01, pode ser utilizado o regulamento 10 da USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission) presente em [127] que trata dos requisitos inerentes a proteção física de instalações e materiais nucleares.

8.15-Levantamento Final de Radiação

Este item baseia-se nas atividades de verificação radiológica da área da instalação descomissionada a fim de comprovar se os níveis de doses apresentam valores seguros, compatíveis com os requerimentos estabelecidos em legislação e valores previstos em projeto. Para o descomissionamento do conjunto crítico do reator IPENMB-01, propõe-se que o planejamento e execução das atividades relacionadas ao levantamento radiológico da área descomissionada e a elaboração de um relatório final apontando os resultados e conclusões dos trabalhos realizados sejam de responsabilidade dos profissionais do serviço de radioproteção do IPEN/CNEN-SP. A publicação [6] recomenda que este levantamento final contemple as seguintes informações:

- Identificação por meio de mapas ou desenhos das áreas a serem incluídas no levantamento final de radiação.
- Descrição das áreas ou materiais que serão usados para determinar as condições de fundo e a justificativa de seu uso.
- Apresentação dos procedimentos a serem utilizados para a realização do levantamento radiológico.
- Identificação e procedimentos de uso, calibração, checagem operacional, a cobertura e sensibilidade de detecção para cada tipo de radionuclídeo para os instrumentos de campo e de laboratório a serem utilizados para o levantamento radiológico e análise de dados.
- Considerações e procedimentos sobre a coleta, controle e manuseamento de amostras a serem analisadas em laboratório.
- Descrição das metodologias empregadas para coleta, análise de dados e obtenção de resultados oriundos das atividades relacionadas ao levantamento radiológico final.
- Elaboração de relatório conclusivo sobre o levantamento radiológico final descrevendo em detalhes os procedimentos e metodologia adotados para coleta, análise de dados e obtenção de resultados, comparando se os mesmos são compatíveis com os critérios de atividade residuais estabelecidos previamente.

9-FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO DE PROJETO

Os procedimentos de descomissionamento geram uma grande quantidade de informação que deve ser documentada e armazenada como relatórios e planos individuais. Estes registros devem ser mantidos na instalação para consulta de partes interessadas como órgãos ambientais e reguladores. O próprio documento guia [6], aponta a necessidade de uma ferramenta ou software para auxiliar o gerenciamento do projeto de descomissionamento e a manutenção de registros. Dessa forma, está em desenvolvimento uma ferramenta de gerenciamento de projeto piloto utilizando o programa computacional de banco de dados Access 2007. Devido sua praticidade e por ser um programa mundialmente conhecido, o mesmo permite com suas funcionalidades auxiliar o acompanhamento e gestão das atividades a serem executadas e realizar a manutenção de registros de maneira eficaz. Neste último caso, este programa ganha relevância, pois simplifica a atualização de dados da instalação, permitindo que os mesmos sejam mantidos ao longo do tempo de vida útil do reator até o encerramento de suas atividades e início de seu descomissionamento. Nos próximos subitens, será apresentada uma aplicação modelo da ferramenta piloto de gerenciamento de projeto em uma atividade de descomissionamento do conjunto crítico que consiste no desmonte, gerenciamento e destinação final do tubo guia.

9.1-Aplicação da Ferramenta: Desmonte do tubo guia

Para a organização, planejamento, gerenciamento e manutenção de registros referente à atividade de desmonte do tubo guia, a ferramenta de gerenciamento de projeto foi desenvolvida por meio de uma série de janelas. Estas possuem botões que permitem a mudança de uma janela para outra e levam a tabelas onde é possível inserir informações referentes aos procedimentos de descomissionamento que devem ser adotados. Foram elaboradas 7 janelas, sendo a primeira a página inicial do programa, a segunda até a sexta são janelas transitórias que buscam organizar as etapas até chegar na atividade específica a ser realizada e a última janela contempla as informações e procedimentos específicos necessários para o acompanhamento e implementação da atividade de desmonte do tubo guia. O fluxograma da figura 27 apresenta o caminho organizado por janelas até chegar à janela correspondente a atividade de desmonte do tubo guia.

Figura-27: Caminho para a atividade de desmonte do tubo guia

A seguir será apresentado em detalhes as informações presentes na janela 7 da ferramenta de gerenciamento de projeto que corresponde a organização da tarefa de desmonte do tubo guia.

9.1.1-Janela 7: Desmonte do tubo guia

Todas as informações constantes nesta janela visam facilitar e dar suporte as ações de descomissionamento a serem implementadas no desmonte do tubo guia. Baseado nos procedimentos de descomissionamento recomendados neste plano preliminar, que tem como referencia base o documento [6], foi elaborada uma estrutura de organização de informações por meio de botões que levam a tabelas. Estas são compostas por campos onde é possível armazenar a informação relacionada ao procedimento de descomissionamento a ser realizado, anexar documentos, imagens e armazenar dados pessoais. Além disso, possui botões que permitem a impressão e navegação de registros, retorno a janela principal de organização da tarefa e retorno a janela inicial da ferramenta. A janela 7 tem como principal objetivo organizar e facilitar o acompanhamento, manutenção de registros e a implementação da atividade de desmonte do tubo guia. Os itens que compõem essa janela são apresentados na figura 28:

Figura-28: Itens que compõem a janela 7-Organização da tarefa

Conforme exposto na figura 28, nota-se a presença de itens relacionados à força de trabalho (corpo de trabalho e supervisores de atividades), custo, itens de suporte a tarefas de descomissionamento (treinamento, manutenção e Vigilância, gestão de Rejeitos, Avaliação Ambiental, Saúde e Segurança e demais presentes no capítulo 8 deste trabalho conforme recomendações do documento [6]), registros e relatórios e o desenvolvimento da tarefa. A fim de demonstrar a funcionalidade da ferramenta para aplicação em atividades de descomissionamento, serão destacados os itens corpo de trabalho, custo e desenvolvimento da tarefa. Essa escolha justifica-se pelo fato de destes itens selecionados terem a mesma estrutura dos demais e permitirem apresentar de forma eficaz a ferramenta de gerenciamento de projeto.

9.1.2-Corpo de Trabalho

Esse item é composto por informações referente aos trabalhadores e técnicos que irão atuar direta ou indiretamente nas atividades de desmonte do tubo guia. Ele agrega informações pessoais, formação, tarefa que desempenhará, exames médicos, previsão de início e fim da tarefa, email para contato e o cargo que assumirá os profissionais que atuarão na tarefa conforme a estrutura hierárquica estabelecida na figura 20 do item 8.4.2. A figura 29 apresenta a janela da ferramenta de gerenciamento de projeto referente a este item.

Figura-29: Ferramenta de gerenciamento de projeto: janela corpo de trabalho

9.1.3-Custo

A janela correspondente a este item contempla todas as informações que buscam orientar a realização da estimativa de custo e prestação de contas relacionadas à atividade de desmonte do tubo guia. Esta janela foi organizada baseada em [88] e principalmente, no programa CERREX. Este programa foi incorporado em um dos campos da janela associada ao item custo. O conjunto de campos desta janela foram concebidos de tal forma a facilitar a gestão e acompanhamento dos custos gerados na atividade proposta. Há dois campos que compõem este item: estimativa de custo e prestação de contas. A figura 30 mostra a janela associada ao item custo.

Figura-30: Janela de estimativa de custo da atividade

No campo estimativa de custo foram anexados, além do programa CERREX, apresentado no item 3.1 e 8.8.4 deste trabalho e descrito com detalhes no documento [42], uma planilha modelo, em Excel, da estimativa de custo voltada a atividade de

desmonte do tubo guia. No campo prestação de contas consta um modelo de planilha de prestação de contas associada ao gasto da atividade proposta. As figuras 31 e 32 apresentam, respectivamente, a planilha de estimativa de custo e a planilha modelo de prestação de contas da atividade.

Desmonte do tubo guia	Custo(R\$)	Força de Trabalho (Homem/hora)
Retirada e armazenamento dos elementos combustíveis nas covas	R\$ 4.000,00	8
Inventário radiométrico do tubo guia	R\$ 500,00	
Monitoração Radiológica	R\$ 10.000,00	
Armazenamento	R\$ 20.000,00	
Tratamento	R\$ 1.000,00	
Transporte	R\$ 2.000,00	
Destinação final	R\$ 8.000,00	
Serviços contratados	R\$ 25.000,00	
Materiais e equipamentos comprados	R\$ 30.000,00	
Autorizações	R\$ 600,00	
Estudos sobre impactos na saúde, segurança e meio ambiente	R\$ 5.000,00	
Segurança e Monitoramento	R\$ 10.000,00	
Força de trabalho	R\$ 40.000,00	
Planejamento da atividade	R\$ 6.000,00	
Gerenciamento da atividade	R\$ 6.000,00	
Contingências	R\$ 15.000,00	
Treinamento	R\$ 5.000,00	
Custo total	R\$ 188.100,00	

Figura-31: Planilha modelo de estimativa de custo da atividade

CUSTO REAL		VALOR DISPONIBILIZADO	CUSTO REAL TOTAL	TOTAL A DEVOLVER
Retirada e armazenamento dos elementos combustíveis nas covas	R\$ 4.500,00	R\$ 210.000,00	R\$ 203.700,00	R\$ 6.300,00
Inventário radiométrico do tubo guia	R\$ 600,00			
Monitoração Radiológica	R\$ 10.500,00			
Armazenamento	R\$ 21.000,00			
Tratamento	R\$ 1.800,00			
Transporte	R\$ 2.400,00			
Destinação final	R\$ 8.000,00			
Serviços contratados	R\$ 27.000,00			
Materiais e equipamentos comprados	R\$ 35.000,00			
Autorizações	R\$ 900,00			
Estudos sobre impactos na saúde, segurança e meio ambiente	R\$ 5.200,00			
Segurança e Monitoramento	R\$ 8.000,00			
Força de trabalho	R\$ 40.000,00			
Planejamento da atividade	R\$ 6.000,00			
Gerenciamento da atividade	R\$ 6.000,00			
Contingências	R\$ 19.000,00			
Treinamento	R\$ 7.800,00			

Figura-32: Planilha modelo de prestação de contas

9.1.4-Desenvolvimento da tarefa

A concepção da janela referente a este item teve como intuito organizar e acompanhar todas as etapas diretamente relacionadas com a realização do desmonte do tubo guia, desde a seleção da força de trabalho necessária até a destinação final deste material. Os campos que compõem esta janela apresentam as ações propostas, os recursos humanos e etapas gerais necessárias para a execução da tarefa selecionada. Referente aos recursos humanos, os campos correspondentes aos mesmos foram preenchidos com nomes fictícios a fim de exemplificar a aplicação da ferramenta de

gerenciamento de projeto para atividade proposta de desmonte do tubo guia. Os campos que constituem a janela de desenvolvimento da tarefa são elencados e explicitados a seguir:

Código: Refere-se ao número do formulário correspondente a atividade.

Componente: Identifica qual componente será descomissionado. No caso, o tubo guia.

Setor: Aponta o setor onde a tarefa será realizada. Na tarefa proposta, o setor onde se encontra o tubo guia é a célula crítica.

Atividade a ser desempenhada: Campo que identifica qual atividade deverá ser realizada. Esta é o desmonte do tubo guia e o gerenciamento do rejeito gerado.

Início: Indica a data que inicia a tarefa.

Técnicos em descomissionamento: Identifica quais profissionais irão atuar diretamente no desmonte do tubo guia. Para esta tarefa foram indicados três: Hugo, Paulo e Cláudio.

Supervisor de segurança de trabalho: Indica o profissional que será responsável pela segurança do trabalho durante a execução da tarefa. Como exemplo, foi selecionado o supervisor Reynaldo Serra.

Supervisor de Radioproteção: Campo correspondente ao responsável pela supervisão de radioproteção. Como exemplo, foi indicado o supervisor José Luiz.

Equipe de Radioproteção: Identifica os técnicos de proteção radiológica que irão atuar na atividade proposta. Para esta foram indicados dois: Linda Caldas e Eduardo Toyoda.

Supervisor de Garantia de Qualidade: O supervisor (a) selecionado para a atividade proposta foi Laura de Oliveira.

Responsável pela empresa contratada: Foi indicado um profissional da empresa contratada responsável pelo desmonte do conjunto crítico: Jonas Trevisan.

Responsável pela prevenção e combate a incêndio: O profissional designado a ocupar a função de prevenção e combate a incêndios na atividade proposta é o bombeiro Marcus Vinicius Abrantes.

Inventário Radioisotópico: Neste campo consta em anexo o inventário radioisotópico estimado, durante a atividade e após o tratamento do tubo guia pela equipe de proteção radiológica.

Quadro de doses: Reúne informações incorporadas em anexo sobre o quadro de doses no tubo guia, na célula crítica e em cada profissional que atua nesta atividade.

Procedimento de Gerenciamento de Rejeitos: Apresenta o procedimento de gerenciamento de rejeitos a ser implementado. Nesta atividade foi proposto o desmonte, armazenamento para envio a GRR, tratamento, armazenamento em cascos e destinação final para o repositório de rejeitos de baixo e médio nível de radiação.

Recursos Necessários: Campo que trata de informações relativas aos recursos utilizados na tarefa. Estes constam em planilha em excel anexada no próprio campo.

Estratégia de Gerenciamento de Rejeitos: Possui, em anexo, os fluxogramas das figuras 23 e 24 que apresentam as estratégias de gerenciamento de rejeitos propostas.

Situação: Indica o andamento da tarefa, sendo possível selecionar as opções não iniciado, em andamento e concluído.

Percentual concluído: Permite indicar em percentuais o quanto a atividade foi concluída.

Destinação provisória: Define o local provisório que será enviado o tubo guia. Nesta atividade proposta o tubo guia será destinado a GRR.

Destinação final: Local definitivo que será enviado o tubo guia. Nesta atividade proposta o tubo guia será destinado para o repositório de rejeitos de baixo e médio nível de radiação

Responsável pelo envio: Profissional que cuidará da documentação e despacho do material a ser enviado. Para essa atividade foi indicado o técnico Ricardo Alberto.

Responsável pelo armazenamento: Profissional responsável pelo armazenamento do material. Para essa atividade foi indicado o técnico Claudemir Dias.

Via de transporte: Define a forma que o material será transportado. No caso, foi selecionado a via terrestre.

Responsável pelo transporte: Responsável pela condução do veículo que transportará o tubo guia até o seu destino final. Para essa atividade foi indicado o técnico João da Cunha.

Monitoração no transporte: Técnico de radioproteção designado a monitorar o material a ser transportado. Para essa atividade foi indicado o técnico João Claudio Santana.

Responsável pelos registros e documentos: Profissional responsável pelo gerenciamento e armazenamento de registros. Para essa atividade foi indicado o técnico Gabriel Alencar.

Equipe de inventário radioisotópico final: Apontam os técnicos que realizarão o inventário radioisotópico final. Para essa atividade foram indicados o técnico Eduardo Toyoda e a técnica Linda Caldas.

Término: Data prevista para o término da atividade.

Relatório de proteção radiológica: Campo que permite inserir, em forma de anexo, o relatório de proteção radiológica.

Relatório diário: Campo que permite inserir, em forma de anexo, o relatório diário radiológica.

Relatório final: Campo que permite inserir, em forma de anexo, o relatório final.

Responsável pela elaboração do relatório de proteção radiológica: Destaca o profissional que irá desenvolver o relatório de proteção radiológica. Para essa atividade foi indicado o técnico José Luiz.

Responsável pela elaboração dos demais relatórios finais: Aponta o profissional que irá elaborar o relatório os demais relatórios. Para essa atividade foi indicado o técnico Reynaldo Serra.

Considerando os campos destacados acima, esta atividade foi estruturada da seguinte forma: Para o desmonte do tubo guia e gerenciamento do rejeito gerado, foi estabelecido antecipadamente que os procedimentos a serem implementados para esta atividade foram analisados e aprovados pela CNEN e que os elementos combustíveis foram removidos. A atividade será supervisionada por profissionais da garantia de qualidade, proteção radiológica, segurança do trabalho e terá a participação de um coordenador dos técnicos de descomissionamento e um técnico de prevenção e combate a incêndios. A seguir, a equipe de técnicos de descomissionamento realiza o desmonte do tubo guia com acompanhamento dos profissionais da proteção radiológica. Após o desmonte, é analisado o inventário radioisotópico estimado do tubo guia apresentado na tabela 10 e adota-se este como o inventário obtido durante a atividade. Pelo fato do tubo guia apresentar um inventário radioisotópico com radionuclídeos com concentração de atividade alta quando comparado aos outros componentes, o fluxograma da figura 23 é aplicado, adotando-se o caminho do lado esquerdo do mesmo. Este indica que o material deve passar por uma descontaminação e depois tratamento. Dessa forma, foi proposto

que o tubo guia seja armazenado e enviado para GRR para a realização da descontaminação e posterior tratamento. Um profissional foi indicado tratar da documentação para envio do tubo guia a GRR e armazenamento deste material. Com esses procedimentos finalizados, um novo inventário radioisotópico do material é elaborado pela equipe de radioproteção (inventário radiológico final) e foi constatado que as concentrações de atividade diminuiram, mas não permitem o reuso e descarte como lixo comum. Assim, o tubo guia é acondicionado, armazenado e enviado para o repositório de rejeitos de baixo e médio nível de radiação. O transporte do rejeito até o repositório será realizado por via terrestre, utilizando um caminhão, onde um técnico de radioproteção foi designado para acompanhar e monitorar o rejeito durante o traslado.

A etapa posterior é a elaboração dos relatórios diários e finais de proteção radiológica e da atividade como um todo. Para estas tarefas, foram selecionados, respectivamente, um supervisor da proteção radiológica, para os relatórios de proteção radiológica e um supervisor da segurança do trabalho para os demais relatórios. Recomenda-se que toda esta documentação seja analisada pelo gerente de projeto e enviada para o setor de registros e documentos, onde um profissional se responsabilizará pela organização e armazenamento adequado destes relatórios.

A figura 33 apresenta a janela de desenvolvimento da tarefa elaborado no programa ACCESS 2007 com os campos que representam as etapas gerais da organização da tarefa.

Setor:	Célula Crítica	Responsável pelo envio:	Ricardo Alberto
Atividade a ser desempenhada:	Desmonte do tubo guia e gerenciamento do rejeito gerado.	Responsável pelo armazenamento:	Claudemir Dias
Início:	25/04/2014	Responsável pelo transporte:	João da Cunha
Técnicos em descomissionamento:	Hugo, Paulo e Cláudio	Monitoração no transporte	José Claudio Santana
Supervisor de Segurança do Trabalho:		Responsável pelos registros e documentos:	Gabriel Alencar Simões
Supervisor de Radioproteção:		Via de transporte:	Terrestre
Equipe de Radioproteção :	Eduardo Toyoda e Linda Caldas	Equipe de levantamento radiológico final do tubo guia:	Eduardo Toyoda e Linda Caldas
Supervisor de Garantia de Qualidade		Destinação Final:	Repositório de Rejeitos de Baixo e médio Nível de Radiação
Responsável da empresa contratada:	Jonas Trevisan	Término:	15/06/2014
Responsável prevenção e combate a			

Figura-33: Janela do item desenvolvimento da tarefa com principais campos

10-CONCLUSÕES

Os procedimentos de descomissionamento propostos neste trabalho tem como objetivo orientar a realização de atividades de descomissionamento do reator IPEN/MB-01 quando anunciado o seu desligamento permanente. Pelo fato de reunir o que existe de mais atual referente às ações e experiências em descomissionamento baseadas na experiência internacional das recomendações da AIEA, onde também foram incorporados os regulamentos da CNEN, este plano preliminar pode ser utilizado como diretriz norteadora para implementação de atividades de descomissionamento de outras instalações nucleares brasileiras. Conforme mencionado no capítulo 1 deste trabalho, a AIEA recomenda que toda instalação possua um plano de descomissionamento sendo que esta recomendação vem sendo incorporada por boa parte da legislação relacionada ao tema da maioria dos países membros da AIEA. Como nenhuma das instalações brasileiras, até o presente momento, não possui um plano, mesmo de natureza preliminar, a dissertação proposta certamente poderá ser utilizada como subsidio no qual possibilitará auxiliar o corpo regulatório nacional no processo de adequação aos padrões estabelecidos internacionalmente referente a importância das instalações possuírem um plano de descomissionamento.

A ferramenta piloto de gerenciamento de projeto proposta tem um papel importante neste plano preliminar, pois complementa as recomendações presente neste documento, permitindo acompanhar, gerenciar e facilitar a manutenção e atualização de registros gerados durante as atividades de descomissionamento. A aplicação da ferramenta na atividade de desmonte do tubo guia e gerenciamento do rejeito gerado apresentada no capítulo 9 demonstra a funcionalidade da mesma, podendo ser utilizada em todos os procedimentos a serem adotados durante as atividades de descomissionamento.

Portanto, as recomendações presentes neste trabalho visa servir como um instrumento para auxiliar a tomada de decisão do corpo regulatório quando previsto o encerramento das atividades do reator IPEN/MB-01 e bem como atender a um possível requisito regulatório da CNEN referente ao licenciamento da instalação.

11-CONTRIBUIÇÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Este trabalho visa contribuir na elaboração do plano final de descomissionamento do reator, propondo ações e procedimentos amparados nas normas CNEN, recomendações internacionais da AIEA e o documento guia referente a instalação RAS. Além disso, o plano preliminar proposto nesta dissertação busca atender ao regulamento da própria CNEN [2] referente ao descomissionamento de instalações nucleoeletricas que pode se estender aos reatores de pesquisa e fomentar a pesquisa na área de descomissionamento de instalações nucleares. Existem poucos trabalhos na área de descomissionamento de reatores de pesquisa podendo-se citar os trabalhos [128] e [129].

Recomenda-se que este guia de procedimentos apresentado nesta dissertação seja revisado e atualizado durante toda a vida útil do reator agregando todos os setores da instalação.

A ferramenta de gerenciamento de projeto em desenvolvimento também deve ser aperfeiçoada de tal forma a contemplar todos os procedimentos previstos ou que possam surgir durante a implementação das atividades de descomissionamento do reator.

Atenção especial deve ser dada para mudanças significativas que possam ocorrer no núcleo do reator, sua rotina operacional e finalidade, pois demandará a realização de um novo inventário radiológico dos componentes próximos à região ativa e das doses existentes. Os resultados destes inventários podem modificar a estratégia de descomissionamento selecionada. Portanto, recomenda-se que sejam feitos inventários de dose e de atividade de materiais sempre que ocorrerem modificações estruturais no núcleo do conjunto crítico.

Conforme discutido no item 8,7.3, o volume total dos rejeitos decorrentes do descomissionamento conjunto crítico, assim como o custo, deverá ser estimado ao longo da existência da instalação, cabendo esta tarefa aos responsáveis do IPEN/CNEN-SP pelo futuro projeto de descomissionamento do reator.

Com relação ao custo, conforme mencionado neste trabalho, uma estimativa de custo detalhada é pertinente quando prevista a data de desligamento da instalação. Dessa forma, ao longo da vida operacional da instalação, recomenda-se que uma estimativa de custo seja elaborada, atualizada e revisada pelos profissionais do IPEN/CNEN-SP que atuarão nas atividades de descomissionamento.

12-REFERÊNCIAS

- [1] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Licenciamento de Instalações Nucleares*. Rio de Janeiro. CNEN,2002.(CNEN-NE-1.04).
- [2] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Descomissionamento de Instalações Nucleoelétricas*. Rio de Janeiro. CNEN, 2012. (CNEN-NN-9.01)
- [3] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *What Are the Lessons Learned from Fukushima?* United States Nuclear Regulatory Commission. USA, 2013. Disponível em:
<<http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/japan-dashboard/priorities.html>>
Acesso em: 25/04/2014.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of facilities using radioactive material*, (SAFETY STANDARDS SERIES WS R5).Vienna, 2006.
- [5] G. Toth: *Initial Decommissioning Planning for the Budapest Research Reactor*. Nuclear Technology & Radiation Protection: Year 2011, Vol. 26, No. 1, pp. 00-00.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Standard Format and Content for Safety Related Decommissioning Documents*, (SAFETY REPORT SERIES No 45), Vienna, 2005.
- [7] IPEN- INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Reator de Pesquisa IPENMB-01*. Brasil, São Paulo. Available in: <https://www.ipen.br/sitio/?idm=248>
Access in: 18/11/2012.
- [8] IPEN – INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Relatório de Análise de Segurança*, (RAS). Brasil, São Paulo, 2006.
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors*, (TECHNICAL REPORT SERIES W S G 2.1), Vienna, 1999.
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Age Distribution of Research Reactors*. Research Reactors Data Base (RRDB). Disponível em:
< <http://nucleus.iaea.org/RRDB/Content/Cat/AgeHigh.aspx>>. Acesso em: 02/03/2014.
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of research reactors: Evolution, State of the art, Open issues* (TECHNICAL REPORT SERIES 446), VIENNA, 2006.
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Research Reactor Data Base: Operational Status of Research Reactor*. Disponível em:
<<http://nucleus.iaea.org/RRDB/Reports/Container.aspx?Id=A1>> . Acesso em: 04/02/2014
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *An Overview of Stakeholder Involvement in Decommissioning*. Vienna, 2009. Disponível em:
<http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1341_web.pdf>. Acesso em: 04/02/2014.
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Selection of Decommissioning Strategies: Issues and Factors*(IAEA-TECDOC-1478).Pg 3 - Pg8. Vienna, 2005. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1478_web.pdf> Acesso em: 05/02/2014.

- [15] LARAIA, M., *Decommissioning: Strategies and programmes at the International Atomic Energy Agency (IAEA)*, Decommissioning Challenges: An Industrial Reality? (Proc. Int. Conf. Avignon, 2003), French Nuclear Energy Society, Paris (2003). In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of research reactors: Evolution, State of the art, Open issues*, (TECHNICAL REPORT SERIES 446), Vienna, 2006.
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning techniques for research reactors*, (TECDOC-1273), Vienna, 2002.
- [17] NUCLEAR DECOMMISSIONING AGENCY. *Energy Act 2004*. Capítulo 20, Parte 1, A Indústria Nuclear Cível, Capítulo 1. Reino Unido, 2004. Disponível em: <<http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2004/20/part/1>> Acesso em: 05/02/2014.
- [18] HELBRECHT, R.A., *Whiteshell Laboratories Detailed Decommissioning Plan*, Vol. 1 — Program Overview, RC-2143-1, Rev. 4, Atomic Energy of Canada Ltd, Ottawa (1999). In: *Decommissioning of research reactors: Evolution, State of the art, Open issues*, (TECHNICAL REPORT SERIES 446), Vienna, 2006.
- [19] MANNING, Roy; GLIMOUR, J. *Decommissioning Cost Estimating The Price Approach*. WM'02 Conference, February 24-28, 2002, Tucson, AZ. Disponível em: <<http://www.wmsym.org/archives/2002/Proceedings/32/1.pdf>> Acesso em: 05/02/2014.
- [20] BAYLISS, C., LANGLEY, K., *Nuclear Decommissioning, Waste Management and Environmental Site Remediation*. Elsevier 2003. Disponível em: <<http://paya-tabesh.com/downloads/mja/14%20-%20paya-tabesh-41772646-68.pdf>> Acesso em: 06/02/2014.
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning Research Reactors and other Small facilities by making optimal use of available resources*, (TECHNICAL REPORT SERIES No 463). Vienna, 2008.
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Safety Assessment for Decommissioning (SRS N°77)*. IAEA, Vienna, 2013.
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*, (IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7) Vienna (2004). Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1202_web.pdf> Acesso em: 06/02/2014.
- [24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities*. (IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.2,) Vienna, 1999. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P078_scr.pdf> Acesso em: 06/02/2014.
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Planning, Managing and Organizing the Decommissioning of Nuclear Facilities: Lessons Learned*. Vienna, 2004. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1394_web.pdf> Acesso em: 06/02/2014.
- [26] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Planning, Management and Organizational Aspects of Decommissioning of the Nuclear Facilities*. Vienna, 2013. Disponível em: <www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1702_web.pdf> Acesso em: 07/02/2014.

- [27] VERMEERSCH, F. *Dose Assessment and Dose Optimization in Decommissioning Using the VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool*. Disponível em: www.visiplan.be/~media/Files/Visiplan/Literature/bvs15may.pdf Acesso em: 07/02/2014.
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radiological Characterization of Shutdown Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes*. Disponível em: www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS389_scr.pdf Acesso em: 07/02/2014.
- [29] KELSEY, A.P., MANDRY, G.J., HAGHIGHI, M.H., *Site characterization of ORNL D&D facilities*. Decontamination and Decommissioning (Proc. US DOE Int. Symp. Knoxville, 1994), CONF-940406, US Department of Energy, Washington, DC (1994). In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Radiological Characterization of Shutdown Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes*. Disponível em: www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS389_scr.pdf Acesso em: 07/02/2014.
- [30] ADSLEY, I. *Gamma assay measurement techniques for nuclear decommissioning*. RWE NUKEM. Reino Unido, 2003. Disponível em: www.npl.co.uk/.../gamma-assay-measurement-techniques-for-nuclear-de. Acesso em: 07/02/2014.
- [31] IDAHO NATIONAL ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL LABORATORY, *Discovery on Wheels*. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of research reactors: Evolution, State of the art, Open issues, (TECHNICAL REPORT SERIES 446)*, VIENNA, 2006.
- [32] DEPARTMENT OF ENERGY. *In Situ Object Counting System*. Rep. DOE/EM-0477, USDOE, Washington, DC (1999). Disponível em: <https://www.dndkm.org/DOEKMDocuments/.../In%20Situ%20Object%2> Acesso em: 07/02/2014.
- [33] DEPARTMENT OF ENERGY, *ISOCS for Free Release*. Rep. DOE/EM-0618, USDOE, Washington, DC (2001). Disponível em: <https://www.dndkm.org/DOEKMDocuments/.../ISOCS%20for%20Free%2> Acesso em: 07/02/2014.
- [34] DEPARTMENT OF ENERGY, *Mobile Automated Characterization System*. Rep. DOE/EM-0413, USDOE, Washington, DC (1999). Disponível em: <https://www.dndkm.org/DOEKMDocuments/.../Mobile%20Automated%2> Acesso em: 08/02/2014.
- [35] DEPARTMENT OF ENERGY, *In Situ Underwater Gamma Spectroscopy*. Rep. DOE/EM-0588, USDOE, Washington, DC, 2001. Disponível em: <https://www.dndkm.org/DOEKMDocuments/.../In%20Situ%20Underwat> Acesso em: 08/02/2014.
- [36] ESM EBERLINE INSTRUMENTS GmbH, *CCM Cobalt Coincidence Monitoring Basic Principles*. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of research reactors: Evolution, State of the art, Open issues, (TECHNICAL REPORT SERIES 446)*, VIENNA, 2006.
- [37] GIBB ENVIRONMENTAL LTD, Royal Naval College Greenwich Land Quality Assessment (Phase 1 and 2), Interpretive Report, Gibb Environmental Ltd, Reading, UK (1997). In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of Research Reactors: Evolution, State of the art, Open Issues, (TECHNICAL REPORT SERIES 446)*, VIENNA, 2006.

- [38] OECDNEA; IAEA ;EC. *A Proposed Standardised List of Items for Costing Purposes in the Decommissioning of Nuclear Installations*, 1999. Disponível em: <<http://www.oecd-nea.org/rwm/reports/1999/costlist.pdf>> Acesso em: 08/02/2014.
- [39] ANDERSON, INGA. et.al. *Cost Calculations for Decommissioning and Dismantling of Nuclear Research Facilities-Phase 1*. Nordic Nuclear Safety Research, 2006. Pg 48-55. Disponível em: < www.nks.org/scripts/getdocument.php?file=111010111120039> Acesso em: 08/02/2014.
- [40] RISØ NATIONAL LABORATORY. *Revised Cost Estimate for the Decommissioning of the Reactor DR 3*. November, 2001. Disponível em: < orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:88153/datastreams/file.../content, > Acesso em: 08/02/2014.
- [41] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning Costs of WWER-440 Nuclear Power Plants*, IAEA-TECDOC-1322, Vienna , 2002. Disponível em: <www-pub.iaea.org/MTCD/.../PDF/te_1322_web.pdf> Acesso em: 09/02/2014.
- [42] DANISKA, V; ZACHAR,M.A *Standardised Listing of Cost Items for Decommissioning Costing & CERREX Software*. IAEA Group Scientific Visit. Disponível em: <http://www.iaea.org/OurWork/NE/NEFW/WTN-Networks/IDN/idnfiles/GSV-Slovakia/Presentation_of_ISDC_and_CERREX.pdf> Acesso em: 09/02/2014.
- [43] RADSAFETY&CONTROL SERVICES. *DeCAT Pro (Decommissioning Cost Analysis Tool)*. Strahtam, USA, 2013. Disponível em: < <http://www.radsafety.com/decommissioning-cost-estimation-software.php>> Acesso em: 09/02/2014.
- [44] EUROPEAN COMMISSION. *The Use of Financial Resources Earmarked for the Decommissioning of Nuclear Installations, Spent Fuel and Radioactive Waste*. Bruxelas, 2013. Pg 34-36. Disponível em: < eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=S> Acesso em: 10/02/2014.
- [45] SELLERS, R.M., WARNER, D.R.T., *The management of nuclear liabilities*, NUCLEAR DECOM 2001: Ensuring Safe, Secure, and Successful Decommissioning (Proc. Int. IMechE Conf. London, 2001), Professional Engineering Publishing Ltd, London (2001) 41–48. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of Research Reactors: Evolution, State of the Art, Open Issues*, (TECHNICAL REPORT SERIES 446), VIENNA, 2006.
- [46] ALBA,H.et.al. *Innovative Cutting Procedures for the Dismantling of Two German Nuclear Power Plants*. WM'99 Conference, February 28 – March 4, 1999, Tucson, Arizona. Disponível em: <www.wmsym.org/archives/1999/63/63-2.pdf> Acesso em: 10/02/2014.
- [47] BACH, Fr. et. al. *CAMX –A High Performance Cutting Technique for Underwater Use*. WM'03 Conference, February 23-27, 2003, Tucson, AZ. Disponível em: <www.wmsym.org/archives/2003/pdfs/639.pdf> Acesso em: 10/02/2014.
- [48] REDEKER, C., et AL. *Development of New Dismantling and Decontamination Techniques for the Decommissioning of Research Reactors from the Viewpoint of Cost Minimization*. in Proc. Conf. Hannover, 2000, University of Hannover (2000).In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of Research Reactors:*

Evolution, State of the Art, Open Issues, (TECHNICAL REPORT SERIES 446), VIENNA, 2006.

[49] FUJII,S;et.al. *Study on Efficient Methods for Removal and Treatment of Graphite Blocks in a Gas Cooled Reactor*. IAEA, 1999. Disponível em:

< [www-pub.iaea.org/...cd/.../paper%208%20\(Fuji\).pdf](http://www-pub.iaea.org/...cd/.../paper%208%20(Fuji).pdf) > Acesso em: 10/02/2014.

[50] BACH, FR.et.al. *Fractionalization of Graphitic Reactor Components*. WM'01 Conference, February 25-March 1, 2001, Tucson, AZ. Disponível em:

<www.wmsym.org/archives/2001/10A/10A-3.pdf> . Acesso em: 11/02/2014

[51] WEIGL,M *Decommissioning of German Research Reactors Under the Governance of the Federal*. (Ministry of Education and Research). WM2012 Conference, February 26 – March 1, 2012, Phoenix, Arizona, USA. Disponível em:

<www.wmsym.org/archives/2012/papers/12154.pdf > Acesso em: 11/02/2014.

[52] WEIGL,M *Decommissioning of German Research Reactors Under the Governance of the Federal*. (Ministry of Education and Research). WM2008 Conference, February 26 – 28, 2008,Phoenix, AZ, USA. Disponível em:

<www.wmsym.org/archives/2008/pdfs/8059.pdf > Acesso em: 11/02/2014.

[53] DADOUMONT,J.et.al . *Decommissioning of a small reactor (BR3 reactor, Belgium)*. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning Techniques for Research Reactors*, (TECDOC-1273), Vienna, 2002.

[54] EUROPEAN COMMISSION. *Large Scale Demonstration of Dismantling Techniques Under Realistic Conditions on the LIDO Biological Shield, Rep.EUR-17888*. EC, Brussels (1998). Disponível em:< bookshop.europa.eu/.../large-scale-demonstration-of > Acesso em: 11/02/2014.

[55] EUROPEAN COMMISSION. *Dismantling Techniques, Decontamination Techniques, Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how*. Co-Ordination Network on Decommissioning, Final Report, 2009. Disponível em:

<[ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/tp6-euratom/docs/cnd-wp7-decontamination-dismantling-techniques-finalreport.pdf](http://ftp.cordis.europa.eu/pub/tp6-euratom/docs/cnd-wp7-decontamination-dismantling-techniques-finalreport.pdf) > Acesso em: 11/02/2014.

[56] INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.*Methods for the Minimization of Radioactive Waste from Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities*,(TECHNICAL REPORT SERIES 401).Pg 73-112. Vienna, 2001. Disponível em:

< http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS401_scr.pdf > Acesso em:

11/02/2014.

[57] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *State of Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities*(TECHNICAL REPORT SERIES No.395). Vienna, 1999. Disponível em:

<http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/trs395_scr/d395_part1_scr.pdf > Acesso em: 11/02/2014.

[58] BOING, LAWRENCE. *Decommissioning of Nuclear Facilities: Decontamination Technologies*. IAEA. Manila, Philippines, October, 2006. Disponível em:

<<http://www.ns.iaea.org/downloads/rw/projects/r2d2/workshop2/lectures/decontamination-technologies.pdf> > Acesso em: 12/02/2014.

[59] WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *Radioactive Waste Management*.United Kingdom, November, 2013. Disponível em:

<<http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Radioactive-Waste-Management/>> Acesso: 12/02/2014.

[60] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Multipurpose Containers Technologies for Spent Fuel Management* (TEC-DOC 1192). Vienna, 2000. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1192_prn.pdf> Acesso em: 12/02/2014.

[61] CONNECTICUT YANKEE. *Fuel Storage*. USA. Disponível em: <http://www.connyankee.com/html/fuel_storage.html> Acesso em: 12/02/2014.

[62] ABRAMENKOV, A. *Upgrading of Radon's-Type Surface Repository in Latvia*. Topseal Olkiluoto, 2006. Disponível em: <<http://www.euronuclear.org/events/topseal/transactions/Paper-Poster-Abramenkovs.pdf>> Acesso em: 12/02/2014.

[63] MARCFARLANE, A. *It's 2050 – Do you know where your nuclear waste is?* Bulletin of the Atomic Scientists, 2011.

[64] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Lessons Learned from the Decommissioning of Nuclear Facilities and the Safe Termination of Nuclear Activities*. Pg 497-551. Vienna, 2007. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1299_web.pdf> Acesso em: 13/02/2014.

[65] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Innovative and Adaptive Technologies in Decommissioning of Nuclear Facilities* (TEC-DOC 1602). Vienna, 2008. Pg 29-189. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1602_web.pdf> Acesso em: 13/02/2014.

[66] SCK-CEN. *Belgian Reactor 3 - BR3*. Disponível em: <science.sckcen.be/en/Facilities/BR3> Acesso em: 13/02/2014.

[67] ENGLAND, M.R; McCOOL, T.M. *Operational Experience of Decommissioning Techniques for Research Reactors in the United Kingdom: Case 1: Decommissioning of Reactor ICI Triga Mk1*. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning techniques for research reactors*, (TECDOC-1273), Vienna, 2002.

[68] ENGLAND, M.R; McCOOL, T.M. *Operational Experience of Decommissioning Techniques for Research Reactors in the United Kingdom: Case 2: Decommissioning of the Scottish Research Reactor*. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning techniques for research reactors*, (TECDOC-1273), Vienna, 2002.

[69] SCHOOL OF GEOSCIENCE. *Scottish Universities Environmental Research Centre*. 2013. Disponível em: <<http://www.scottish-places.info/features/featurefirst18770.html>> Acesso em: 13/02/2014.

[70] CROFF, A.G., ORIGEN-2: *A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristics of Nuclear Materials*. Nuclear Technology 62 (1983) 335. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning techniques for research reactors*, (TECDOC-1273), Vienna, 2002.

[71] VAN HEUSDEN, R., PONTI, C., SABINE-3 – *An Improved Version of the Shielding Code*. SABINE. Commission of the European Communities Technical Report EUR- 5152 1974. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning techniques for research reactors*, (TECDOC-1273), Vienna, 2002.

[72] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *International Benchmark Calculations of Radioactive Inventory for Fission Reactor Decommissioning*. Ed. By KOCHEROV, N.P., Report INDC(NDS)-335, IAEA, Vienna (1996). In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning techniques for research reactors*, (TECDOC-1273), Vienna, 2002.

[73] RAHMAN, F. *Legislative Framework for Regulation of the Decommissioning at Egypt*. IAEA-National Progress Report, 2012. Disponível em:

<<http://gnssn.iaea.org/RTWS/r2d2/Shared%20Documents/Workshop%2011/National%20Progress%20Reports/Egypt.pdf>> Acesso em: 13/02/2014.

[74] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Planning and Management for the Decommissioning of Research Reactors and Other Smaller Nuclear Facilities* (TECHNICAL REPORT SERIES No.351). Vienna, 1993. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Innovative and Adaptive Technologies in decommissioning of Nuclear Facilities* (TECDOC-1602). Vienna, 2008. Disponível em: <<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8017/Innovative-and-Adaptive-Technologies-in-Decommissioning-of-Nuclear-Facilities>> Acesso em: 13/02/2014.

[75] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação*. Rio de Janeiro. CNEN, 2014. (CNEN-NN-8.01). Disponível em:

<www.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm801.pdf> Acesso em: 15/08/2014.

[76] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Seleção e Escolha de Locais para Depósitos de Rejeitos Radioativos*. Rio de Janeiro. CNEN, 1989. (CNEN-NN-6.06). Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=606>. Acesso em: 15/02/2014.

[77] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Critérios de Aceitação para Deposição de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Nível de Radiação*. Rio de Janeiro. CNEN, 2002. (CNEN-NN-6.09). Disponível em:

<<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=609>> Acesso em: 15/02/2014.

[78] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Transporte de Materiais Radioativos*. Rio de Janeiro. CNEN, 1988. (CNEN-NE-5.01). Disponível em:

<<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=501>> Acesso em: 15/02/2014.

[79] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica*. Rio de Janeiro. CNEN, 2005. (CNEN-NN-3.01). Disponível em:

<<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=301>> Acesso em: 15/02/2014.

[80] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Serviços de Radioproteção*. Rio de Janeiro. CNEN, 1988. (CNEN-NN-3.02). Disponível em:

<<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=302>> Acesso em: 16/02/2014.

[81] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Critérios de Exclusão, Isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radiológica*. Rio de Janeiro. CNEN, 2011. (CNEN-POSIÇÃO REGULATÓRIA 3.01 / 001:2011). Disponível em:

<www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-posreg.asp?op=301&np=01> Acesso em: 16/02/2014.

- [82] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Transporte, Recebimento, Armazenagem e Manuseio de Elementos Combustíveis de Usinas Nucleoelétricas*. Rio de Janeiro. CNEN, 1986. (CNEN-NE-5.02). Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=502>> Acesso em: 16/02/2014.
- [83] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear*. Rio de Janeiro. CNEN, 1981. (CNEN-NE-2.01), Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=201>>. Acesso em: 16/02/2014.
- [84] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Proteção contra Incêndio em Instalações Nucleares do Ciclo Combustível*. Rio de Janeiro. CNEN, 1997. (CNEN-NE-2.04). Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=204>> Acesso em: 16/02/2014.
- [85] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Controle de Materiais Nucleares*. Rio de Janeiro. CNEN, 1999. (CNEN-NE-2.02). Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=202>> Acesso em: 16/02/2014.
- [86] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors*, (TECHNICAL REPORT SERIES W S G 2.1), 1999. Disponível em: <www.pub.iaea.org/MTCD/publications/.../P079_scr> Acesso em: 17/02/2014.
- [87] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Managing Low Radioactivity Material from the Decommissioning of Nuclear Facilities* (TECHNICAL REPORTS SERIES No. 462). Vienna, 2008. Disponível em: <http://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs462_web.pdf> Acesso em: 17/02/2014.
- [88] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Financial Aspects of Decommissioning*. Vienna: IAEA, 2005. Disponível em: <www.pub.iaea.org/MTCD/.../PDF/te_1476_web.pdf> Acesso em: 17/02/2014.
- [89] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Plano de Radioproteção*. IPEN, São Paulo, 2002. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 07/01/2014.
- [90] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Plano de Emergência Radiológica*. IPEN, São Paulo, 2007. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 08/01/2014.
- [91] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Plano de Proteção Contra Incêndio*. IPEN, São Paulo, 2009. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 08/01/2014.
- [92] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos*. IPEN, São Paulo, 2012. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 09/01/2014.

- [93] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Programa de Garantia de Qualidade*. IPEN, São Paulo, 2011. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 09/01/2014.
- [94] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Programa de Monitoração Radiológica Ambiental*. IPEN, São Paulo, 2013. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 12/01/2014.
- [95] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Programa de Monitoração Químico Ambiental*. IPEN, São Paulo, 2012. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 12/01/2014.
- [96] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Gerenciamento de Resíduos Químicos Não Radioativos* IPEN, São Paulo, 2012. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 12/01/2014.(CONFERIR)
- [97] INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Programa de Treinamento de Pessoal*. IPEN, São Paulo, 2012. Disponível em: <intranet.ipen.br> Acesso em: 14/01/2014.
- [98] REATOR IPENMB-01. *Combate a Incêndios no Reator IPENMB-01*. IPEN-SP, 2011. (Acesso Restrito).
- [99] REATOR IPENMB-01. *Plano de Proteção Contra Incêndio (PPI)*. IPEN-SP, 2006. (Acesso Restrito).
- [100] REATOR IPENMB-01. *Proteção Física no Reator IPENMB-01*. IPEN-SP, 2011. (Acesso Restrito).
- [101] REATOR IPENMB-01. *Controle de Material Nuclear no Reator IPENMB-01*. IPEN-SP, 2011. (Acesso Restrito).
- [102] REATOR IPENMB-01. *Deteção de Intrusos no Reator IPENMB-01*. IPEN-SP, 2011. (Acesso Restrito).
- [103] REATOR IPENMB-01. *Treinamento e Retreinamento de Pessoal em Geral do reator IPENMB-01*. IPEN-SP, 2011. (Acesso Restrito).
- [104] IPEN-CNEN/SP. DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES. *Relatório de Concepção do Projeto do Reator IPEN/MB-01*. São Paulo, Março 1983. In: IPEN – INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Relatório de Análise de Segurança*, (RAS). Brasil, São Paulo, 2006.
- [105] MOURÃO,R;FREIRE,C. *Conceptual Design of the Brazilian Near Surface Repository*. International Nuclear Atlantic Conference. Recife-PE. Brasil, 2013.
- [106] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Decommissioning of Small Medical, Industrial and Research Facilities: A Simplified Stepwise Approach*(IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES No. NW-T-2.3). Vienna, 2011. Disponível em: <www-pub.iaea.org/MTCD/.../Pub1517_Web.pdf> Acesso em: 02/03/2014.
- [107] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Planning, Managing and Organizing the Decommissioning of Nuclear Facilities: Lessons Learned*. IAEA, Vienna, 2004.
- [108] LAWRENCE, BOING. *Decommissioning Nuclear Facilities: Management of Decommissioning Projects*. IAEA, Manila, Phillipines, 2006. Disponível em: <www-ns.iaea.org/.../rw/projects/.../decommissioning-management.pdf> Acesso em: 21/12/2013.

[109] OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY. *Surveillance and Maintenance Plan for the ORNL Decontamination and Decommissioning Program FY 1993-2002*. Disponível em: <www.ornl.gov/info/reports/1992/3445603654793.pdf> Acesso em: 28/05/2014.

[110] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Minimization and Segregation of Radioactive Waste*. (TECDOC-652). IAEA, Vienna, 1992. Disponível em: <http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_652_web.pdf> Acesso em: 02/12/2013.

[111] BRASIL. Lei nº10.308, 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*. Presidência da República. Brasília, DF, art 2º, Novembro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10308.htm>. Acesso em: 15/02/2014.

[112] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Regulatory of control radioactive discharges to the environment* (SAFETY GUIDE No.WS-G-2.3). Vienna, 2000. Disponível em:<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/p088_scr.pdf>. Acesso em: 29/05/2014.

[113] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Disposal of Radioactive Waste*. (IAEA SPECIFIC SAFETY REQUIREMENTS No. SSR-5). Vienna 2011. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1449_web.pdf> Acesso em: 29/05/2014.

[114] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Disposal Aspects of Low and Intermediate Level Decommissioning Waste: Results of a coordinated research project 2002–2006*, (TECDOC-1572).Vienna, 2007. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1572_web.pdf>. Acesso em: 29/05/2014.

[115] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Security in the Transport of Radioactive Material* (NUCLEAR SECURITY SERIES No. 9). Vienna, 2008. Disponível em:<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1348_web.pdf> Acesso em: 30/05/2014.

[116] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Identification of Radioactive Sources and Devices* (NUCLEAR SECURITY SERIES No. 5). Vienna, 2007. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1278_web.pdf>Acesso em: 30/05/2014.

[117] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Managing low Radioactivity Material from Decommissioning of Nuclear Facilities*. (TRS-462). Vienna, 2008. Disponível em: <www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/trs462_web.pdf>Acesso em: 30/05/2014.

[118] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Classification of Radioactive Waste* (IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No. GSG-1).Vienna, 2009. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1419_web.pdf>Acesso em: 30/05/2014.

[119] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Programa de Monitoração Radiológica Ambiental*. Rio de Janeiro. CNEN, 2011. (CNEN-POSIÇÃO REGULATÓRIA 3.01 / 008:2011). Disponível em:
<<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-posreg.asp?op=301&np=08>> Acesso em: 02/06/2014.

[120] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Modelo para Elaboração de Relatórios de Monitoração Radiológica Ambiental*. Rio de Janeiro. CNEN, 2011. (CNEN-POSIÇÃO REGULATÓRIA 3.01 / 009:2011). Disponível em:
<<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-posreg.asp?op=301&np=09>> Acesso em: 02/06/2014.

[121] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Relatório de Impacto no Meio Ambiente: Reator Multipropósito*. Rio de Janeiro. CNEN, 2013.

[122] FRANKE, Bernd; VOGT, Regine. *Assessment of the Environmental Impacts of Decontamination and Decommissioning Activities for Research Reactors at the Brookhaven National Laboratory*. Estados Unidos, 2004. Disponível em:
<http://www.clarku.edu/mtafund/prodlib/star/Brookhaven_Assessment.pdf> Acesso em: 02/06/2014.

[123] HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. *Guidance of Nuclear Reactors(Environmental Impact Assessment for Decommissioning)Regulations*. Reino Unido, 2007. Disponível em:< <http://www.onr.org.uk/eiadrguidance.pdf>>. Acesso em: 02/06/2014.

[124] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e outras Instalações*. Rio de Janeiro. CNEN, 2000. (CNEN-NN-1.16). Disponível em:
<<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=116> >. Acesso em: 03/06/2014

[125] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities* (TRS No. 399). Vienna, 2000. Disponível em:
<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS399_scr.pdf>. Acesso em:03/06/2014.

[126] U.S.NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Decommissioning Quality Assurance Plan, Revision for the Nuclear Ship Savannah (NSS)*. Washington, USA, 2006. Disponível em:
<<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0631/ML063130346.pdf>> Acesso em:03/06/2014.

[127] USNRC. *Physical Protection of Plants and Materials*.(NRC Regulations nº10). EUA, 2008. Disponível em:
<<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part073/full-text.html#part073-0040>> Acesso em: 03/07/2014.

[128] TELLO, C. C. O; GROSSI, P. A; MESQUITA, A. Z., “*Ip-r1 triga research reactor decommissioning: preliminary plan*”. In: International Nuclear Atlantic Conference, 2005. Anais. Santos: INAC 2007.

[129] GROSSI, P. Et.al. *Cost estimation for Decommissioning of Research Reactors*. International Nuclear Atlantic Conference. Recife-PE. Brasil, 2013. Disponível em: <[http://www.inac2013.com.br/admin/m2brupload/arquivos_trabalhos_arquivos/5109/Abstract%20-%20COST%20ESTIMATION%20FOR%20RESEARCH%20REACTORS%20DECOMMISSIONING%20-%20INAC%202013%20\(final\).pdf](http://www.inac2013.com.br/admin/m2brupload/arquivos_trabalhos_arquivos/5109/Abstract%20-%20COST%20ESTIMATION%20FOR%20RESEARCH%20REACTORS%20DECOMMISSIONING%20-%20INAC%202013%20(final).pdf)> Acesso em: 17/06/2014.

APENDICE A- Recomendação complementar: Principais ações do Plano de Vigilância e Manutenção para o Descomissionamento do Oak Ridge National Laboratory.

O conjunto de ações adotadas em [109] buscam garantir que as instalações, equipamentos e sistemas sempre estejam em condições seguras. No Oak Ridge National Laboratory foram definidos dois grupos a serem contempladas no plano de vigilância e manutenção que são os Requerimentos de Vigilância composto pelos itens: Vigilância da instalação, Vigilância Radiológica, Inspeções de Segurança, Segurança e Proteção e os Requerimentos de Manutenção contemplados com informações sobre a Rotina de Manutenção e Principais Reparos. A seguir serão destacados os principais procedimentos implementados para cada um dos grupos citados.

Vigilância da instalação

Este item estabelece que as inspeções devem ser periódicas e como o Oak Ridge National Laboratory é composto para várias instalações, a frequência de inspeções é determinada pelo tipo de instalação, sendo realizada geralmente pelo gerente da instalação. A rotina estabelecida é composta pelos seguintes procedimentos [109]:

- Inspeções visuais da instalação no intuito de detectar falhas estruturais, degradação de materiais, vazamento de líquidos, odores de queima e equipamentos que possam estar danificados;
- Checagem nos sistemas de ventilação e contenção;
- Verificação da água nas áreas de reservatório, tanques de armazenamento e locais de armazenamento de combustíveis gastos;
- Checagem e teste de equipamentos em geral.
- Vigilância em áreas externas do prédio, telhado, etc..
- Testes dos filtros de ar particulado com alta eficiência (HEPA)
- Vistoria de outros sistemas específicos da instalação.

Vigilância Radiológica

Para facilitar a aplicação dos requerimentos de vigilância radiológica, as ações no Oak Ridge National Laboratory foram divididas em Levantamento de Contaminação/Radiação; e Monitoração Ambiental e de Fluxo de Rejeitos Radioativos.

Tais ações foram realizadas pela equipe de radioproteção da instalação. Esta estabelece a programação e as medidas a serem tomadas. A frequência de verificação do fluxo de rejeitos radioativos e a monitoração ambiental são variáveis podendo ser monitorado tanto continuamente como mensalmente. Os procedimentos rotineiros de levantamento radiológico são [109]:

- Leituras diretas ou por teste de esfregaço de superfícies ocupadas em áreas de contaminação.
- Monitoração individual em todas as operações em áreas que existem contaminação e radiação.
- Levantamento semanal tanto com esfregaço como com medição direta de radiação de áreas acessadas frequentemente próximas de locais contaminados.
- Levantamentos mensais, semi-anual ou anual de áreas radiologicamente afetadas que possuem controle de acesso de rotina.
- Vigilância de todos os equipamentos ou materiais removidos de instalações.
- Inspeção e calibração em uma rotina programada de instrumentação de saúde física, abrangendo monitores de mãos e pés e monitores de ar contínuos.

Levantamentos e vigilância adicionais são requisitados pelo gerente da instalação.

A monitoração ambiental e de fluxo de rejeitos radioativos possui uma rotina na qual há um acompanhamento e vigilância dos efluentes líquidos e gasosos liberados em todas as operações dos laboratórios. Um centro de controle de operações com rejeito composto por computadores é utilizado como ferramenta suporte para a monitoração de efluentes tendo como principal função alertar qualquer situação atípica na atividade de rejeitos liberados, possibilitando a intervenção e tomada de decisão pelos profissionais da instalação em tempo adequado [109].

O centro de controle de operações com rejeitos tem a função de monitorar:

- Dutos de exaustão de efluentes radioativos gasosos;
- Situação da célula quente;
- Processo de taxa de fluxo de resíduos na água e radioatividade;
- Inventário do tanque de coleta de rejeitos líquidos de baixa atividade;

-Situação do combustível, da monitoração pessoal de radiação e verificação da integridade do sistema de ventilação das instalações.

-Controle do armazenamento de elementos combustíveis.

Inspeções de Segurança

No intuito de identificar potenciais perigos na utilização de equipamentos e para a saúde os trabalhadores, rotinas de inspeções são realizadas por equipes especializadas tendo como foco o gerenciamento de rejeitos radioativos. Tais equipes inspecionam as condições do prédio com o objetivo de identificar práticas de trabalho inseguras, perigos de incêndio, vazamentos, incluindo inspeções e testes com frequência regular de sistemas de emergência. Além disso, revisões e auditorias referentes aos procedimentos adotados foram instituídas com o objetivo de avaliar a efetividade do plano de vigilância e manutenção para descomissionamento na proteção dos trabalhadores e técnicos das instalações, orientando as ações corretivas a serem implementadas [109].

Segurança e Proteção

No ORNL (Oak Ridge National Laboratory) as ações estabelecidas no âmbito da segurança e proteção de suas instalações são basicamente a aplicação de um sistema de proteção que consiste no isolamento de área restrita com vigilância de guardas que realizam patrulhamento e controlam o acesso de pessoas nas instalações. Essas medidas já eram adotadas na fase operacional e foram mantidas durante o descomissionamento [109].

Requisitos de Manutenção

As principais medidas tomadas para os requisitos de manutenção são divididas em três grupos: Atividades de manutenção de rotina, necessidades para os principais reparos de estruturas ou equipamentos e disposição de rejeitos radioativos. Os procedimentos relevantes adotados serão apresentados a seguir.

Rotina de Manutenção

O objetivo principal do programa de manutenção é identificar equipamentos ou sistemas, estabelecendo a frequência de manutenções que devem ser realizadas nos mesmos. Inclui também atividades de inspeções, ajustes, lubrificação, recondicionamento, entre outras ações que visam prevenir falhas estruturais e aumentar o tempo de uso de materiais e equipamentos.

Em situações de funcionamento inadequado, dano ou iminente falha de equipamentos, ações corretivas são aplicadas, sobretudo para aqueles de uso contínuo durante determinadas tarefas, garantindo sua operabilidade a longo prazo. A responsabilidade de detectar problemas nos equipamentos é dos próprios usuários que os relatam ao gerente da instalação que tomará as devidas providências. Estes

procedimentos baseados na rotina operacional da instalação não sofreram modificações significativas para as atividades de descomissionamento [109].

Principais Reparos

Nas instalações do ORNL, os principais reparos têm a função de minimizar o risco de acidentes e permitir o andamento adequado e seguro dos trabalhos a serem realizados. Geralmente, as atividades de reparo podem inicialmente se basear em tarefas simples de reformas ou consertos até complexas tarefas que demandam projetos de engenharia, equipes especializadas e revisões nos procedimentos de segurança. As atividades de reparo incluem [109]:

- Correção de problemas de degradação de material.
- Reformas para reforço na contenção de radionuclídeos
- Reparo em vazamentos que possam ocorrer em qualquer local da instalação
- Remoção de equipamento em deterioração
- Descontaminação de área
- Construção temporária de barreiras.

Nas ocasiões onde são necessários reparos, a requisição para realização destes serviços é feita pelo Gerente do projeto de descomissionamento. Uma programação que envolva as atividades previstas de reparo juntamente com o orçamento deve ser desenvolvida [109].