

UMA PROPOSTA INICIAL DE UM PLANO PARA O PERÍODO DE TRANSIÇÃO DO  
DESLIGAMENTO PERMANENTE DA USINA NUCLEAR ANGRA 1 ATÉ A  
CONDIÇÃO DE *SAFE STORAGE*

Bruno Estanqueira Pinho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Nuclear.

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Rio de Janeiro  
Março de 2018

UMA PROPOSTA INICIAL DE UM PLANO PARA O PERÍODO DE TRANSIÇÃO DO  
DESLIGAMENTO PERMANENTE DA USINA NUCLEAR ANGRA 1 ATÉ A  
CONDIÇÃO DE *SAFE STORAGE*

Bruno Estanqueira Pinho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Examinada por:

---

Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D.Sc.

---

Prof. José de Jesús Rivero Oliva, D.Sc.

---

Prof. Pedro Luiz da Cruz Saldanha, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
MARÇO DE 2018

Pinho, Bruno Estanqueira

Uma Proposta inicial de um Plano para o Período de Transição do Desligamento Permanente da Usina Nuclear Angra 1 até a condição de *Safe Storage* / Bruno Estanqueira Pinho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XVI, 143 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 122-128.

1. Período de Transição. 2. Usina Nuclear Angra 1. 3. Descomissionamento de Usinas Nucleares. I. Melo, Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar e me aprimorar sempre.

À minha esposa, Mariana Teixeira de Campos, que me apoiou e incentivou em todos os momentos difíceis na minha trajetória neste curso de Mestrado. Sem ela este trabalho não seria possível. À minha enteada Luiza Campos, que me auxiliou em algumas traduções necessárias de literaturas deste trabalho quando meu tempo foi escasso.

Aos companheiros de trabalho da Eletronuclear: Flávia Vieira, Guilherme Pinto e Renato Koga pelo apoio essencial durante todo o curso; ao Edson Kuramoto, Mário Alves e João Calixto, que em nome da Eletronuclear, disponibilizaram o meu tempo para a realização das matérias do curso e desta dissertação; ao Anselmo Miranda por dividir seus conhecimentos sobre a Usina Nuclear Angra 1 comigo, à Daniela Maiolino e Claudia Siqueira por me auxiliarem com literatura para realização de algumas disciplinas do curso.

Aos especialistas na área de Descomissionamento de Usinas Nucleares, Dennis Reisenweaver e Michael Snyder da Enercon Federal Services e ao Christian Glorennec da IAEA, pela indicação de literatura e apoio sempre que solicitados.

Ao meu orientador, Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo pela paciência e orientação na confecção deste trabalho, mesmo acumulando a função de Coordenador do Programa de Engenharia Nuclear da COPPE, além das suas tarefas como pesquisador e professor.

Aos Professores do Programa de Engenharia Nuclear pela excelência nas disciplinas ministradas professores do programa.

Aos vários companheiros de curso, que me ajudaram nas disciplinas ministradas, em especial ao Pedro Vinhas, André Viana, Rubens Oliveira e Olívio Napolitano.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROPOSTA INICIAL DE UM PLANO PARA O PERÍODO DE TRANSIÇÃO DO  
DESLIGAMENTO PERMANENTE DA USINA NUCLEAR ANGRA 1 ATÉ A  
CONDIÇÃO DE *SAFE STORAGE*

Bruno Estanqueira Pinho

Março / 2018

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Programa: Engenharia Nuclear

Este trabalho investiga as questões relevantes para um planejamento bem sucedido do período de transição da usina nuclear Angra 1, do desligamento permanente do seu reator nuclear até a condição de *safe storage* com segurança e eficiência, baseado em documentos e normas do *Electric Power Research Institute*, *United States Nuclear Regulatory Commission* e *International Atomic Energy Agency* e experiências internacionais, buscando a melhor forma de se preparar para esta fase importante na vida útil de uma usina nuclear. A proposta contempla um conjunto de atividades essenciais, documentos necessários para o licenciamento, gerenciamento de comunicação do projeto, mudanças necessárias na estrutura organizacional e recursos humanos, análise de segurança nuclear, avaliação do histórico do sítio e sua caracterização, descontaminação química dos sistemas, condições para *cool and dim* e *cold and dark*, transição para brigada de incêndio incipiente, gerenciamento de combustível usado, remoção de pontos quentes, desmantelamento e liberação de sistemas e prédios não radioativos, modificações necessárias nos sistemas, análise de segurança nuclear, estimativa de custos e plano de gestão da qualidade e controles administrativos, com base na estratégia de descomissionamento hoje prevista para Angra 1 que terá seu Desmantelamento protelado, até anos antes ao desligamento da usina nuclear Angra 3, definindo uma proposta de plano Inicial para esta fase posterior ao seu desligamento.

Abstract of Dissertation presented to COPPE / UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

PROPOSAL FOR AN INITIAL PLAN FOR THE TRANSITION PERIOD FROM  
PERMANENT SHUTDOWN OF ANGRA 1 NUCLEAR POWER PLANT UNTIL THE  
CONDITION OF SAFE STORAGE

Bruno Estanqueira Pinho

March / 2018

Advisor: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Department: Nuclear Engineering

This work investigates the relevant issues for a successful planning of the transition period of Angra 1 nuclear power plant, from the permanent shutdown of its nuclear reactor to safe storage condition with safety and efficiency, based on guides and standards of the Electric Power Research Institute, United States Nuclear Regulatory Commission and International Atomic Energy Agency and international experiences, looking for the best way to prepare for this important phase in the life of a nuclear power plant. The proposal includes a set of essential activities, necessary licensing documents, project communication management, necessary changes in the organizational structure and human resources, nuclear safety analysis, evaluation of historical site assessment and characterization, chemical decontamination of the systems, conditions for cool and dim and cold and dark, transition to incipient fire brigade, spent fuel management, hot spot removal, dismantling and release of nonradioactive systems and buildings, necessary systems modifications, nuclear safety analysis, cost estimation, quality management plan and administrative controls, based on the decommissioning strategy currently foreseen for Angra 1, which will have its decommissioning deferred until years before the permanently shutdown of the Angra 3 nuclear power plant, defining a proposal for an initial plan for this phase after its permanent shutdown.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução.....  | 1  |
| 1.1. Contextualização.....  | 1  |
| 1.2. Objetivo do estudo .....   | 1  |
| 1.3. Justificativa e uso dos resultados .....   | 2  |
| 1.4. Estrutura do Trabalho.....   | 3  |
| 2. Descomissionamento de Usinas Nucleares.....  | 5  |
| 2.1. Estratégias de Descomissionamento.....   | 5  |
| 2.1.1. Desmantelamento imediato.....  | 6  |
| 2.1.2. Desmantelamento protelado.....   | 7  |
| 2.1.3 Estado Final do sítio.....  | 8  |
| 2.2. Planejamento das atividades do Descomissionamento.....   | 8  |
| 2.2. Avaliação de segurança no Descomissionamento.....  | 9  |
| 2.3. Período de Transição (PT) do término da operação ao Desmantelamento<br>Imediato ou ao estado de “ <i>Safe Storage</i> ”..... | 13 |
| 3. Estratégia de Descomissionamento e descrição da Central Nuclear Almirante<br>Álvaro Alberto (CNAAA).....                       | 16 |
| 3.1. Descrição do sítio da CNAAA.....   | 16 |
| 3.1.1 Descrição da Usina Nuclear Angra 1.....   | 18 |
| 3.2. Estratégia de Descomissionamento da CNAAA.....   | 21 |
| 4. Questões importantes e método para preparação de plano para o Período de<br>Transição de uma Usina Nuclear.....                | 24 |
| 4.1. Estados Unidos (EPRI + NRC).....   | 25 |
| 4.1.1 Licenciamento segundo a NRC.....  | 27 |
| 4.1.2 Gerenciamento de Comunicação do Projeto.....  | 32 |
| 4.1.3 Estrutura organizacional e Recursos Humanos.....  | 34 |
| 4.1.4 Avaliação do Histórico do Sítio (HSA) e sua Caracterização Inicial.....   | 37 |
| 4.1.4.1 Avaliação do Histórico do Sítio (HSA).....  | 37 |
| 4.1.4.2 Caracterização Inicial do Sítio.....  | 38 |
| 4.1.5 Descontaminação Química dos Sistemas.....   | 39 |
| 4.1.6. Condições para “ <i>Cool and Dim</i> ” ou “ <i>Cold and Dark</i> ”.....  | 41 |
| 4.1.7. Remoção de Materiais Inflamáveis e Transição para uma Brigada de Incêndio<br>“Incipiente” (IFB).....                       | 42 |
| 4.1.8. Gerenciamento de Combustível Usado.....  | 42 |
| 4.1.9 Remoção / Redução de Pontos Quentes ( <i>Hot Spot</i> ).....  | 44 |
| 4.1.10 Remoção de isolamento de amianto (quando aplicável).....   | 45 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.11. Desmantelamento e/ou Liberação de Sistemas e prédios não radioativos ..   | 45 |
| 4.1.12 Atividades do Período de Transição segundo a U.S.NRC e experiências de algumas usinas americanas semelhantes a Angra 1 ..... | 46 |
| 4.1.12.1 Usina Nuclear de Kewaunee .....  | 48 |
| 4.1.12.1.1 Modificações nas Especificações Técnicas após o desligamento permanente - Kewaunee .....                                 | 48 |
| 4.1.12.2 Usina de Crystal River 3 (Duke Energy, 2013) .....   | 50 |
| 4.1.12.2.1 Modificações nas Especificações Técnicas após o desligamento permanente – Crystal River 3 (Duke Energy, 2013) .....      | 50 |
| 4.1.12.3 Usinas nucleares de Zion 1 e 2 (ZionSolutions, 2008) .....   | 51 |
| 4.1.13. Lições aprendidas – U.S.NRC + EPRI .....  | 53 |
| 4.1.13.1. Lições aprendidas – U.S.NRC .....   | 53 |
| 4.1.13.2 Lições aprendidas – EPRI .....   | 55 |
| 4.1.1.14 Conclusões.....  | 63 |
| 4.1.1.14.1 Experiência e organização do PT nos EUA .....  | 63 |
| 4.1.1.14.1 Resumo das lições aprendidas nos EUA.....  | 65 |
| 4.1.2. IAEA + Experiência Europeia .....  | 67 |
| 4.1.2.1 Planejamento do Período de Transição .....  | 67 |
| 4.1.2.2 Principais mudanças durante o período de transição .....  | 70 |
| 4.1.2.3. Considerações sobre segurança no Período de Transição.....   | 72 |
| 4.1.2.3.1. Controles administrativos .....  | 73 |
| 4.1.2.3.2. Aspectos Econômicos e Sociais .....  | 74 |
| 4.1.2.3.3. Manuseio e Armazenamento Temporário de Combustível Nuclear .....   | 74 |
| 4.1.2.3.4. Drenagem dos Sistemas .....  | 77 |
| 4.1.2.3.5. Limpeza e Descontaminação.....   | 78 |
| 4.1.2.3.6. Estimativa de inventário de material radioativo .....  | 78 |
| 4.1.2.3.7. Acondicionamento e Remoção de Rejeito Operacional .....  | 79 |
| 4.1.2.3.8. Retirada, Reconfiguração e Planejamento de novos Sistemas.....   | 79 |
| 4.1.2.3.9. Mudanças nas barreiras de confinamento .....   | 80 |
| 4.1.2.4. Alemanha .....   | 83 |
| 4.1.2.4.1 Licenciamento .....   | 83 |
| 4.1.2.4.2 Estratégia de Descomissionamento.....   | 84 |
| 4.1.2.4.3 O período pós-operacional (período de transição).....   | 84 |
| 4.1.2.5 França .....  | 85 |
| 4.1.2.5.1 Licenciamento .....   | 86 |
| 4.1.2.5.2 Descrição do período de transição .....   | 87 |



|  |     |
|--|-----|
| 4.1.2.6. Conclusões.....   | 88  |
| 4.1.2.6.1 Período de Transição pela IAEA e Experiência Européia .....  | 88  |
| 4.1.2.6.2 Segurança aplicada ao PT segundo a IAEA .....  | 89  |
| 4.1.2.6.3 Período de Transição na Alemanha.....  | 90  |
| 4.1.2.6.4 Período de Transição na França .....   | 91  |
| 5. Plano inicial proposto para o PTA1 até a condição de <i>Safe Storage</i> .....  | 92  |
| 5.1. Atividades propostas para o Período de Transição de Angra 1 .....   | 93  |
| 5.2. Licenciamento .....   | 96  |
| 5.3. Estrutura organizacional e Recursos Humanos .....   | 98  |
| 5.4. Gerenciamento da Comunicação .....  | 104 |
| 5.5. Avaliação do Histórico Sítio (HSA) e sua Caracterização Inicial. ....   | 108 |
| 5.6. Descontaminação Química dos Sistemas .....  | 108 |
| 5.7. Condições para <i>Cool and Dim</i> ou <i>Cold and Dark</i> .....  | 109 |
| 5.8. Remoção de Materiais Inflamáveis e Transição para uma Brigada de Incêndio<br><i>Incipiente</i> (IFB).....   | 109 |
| 5.9. Gerenciamento de Combustível Usado .....  | 109 |
| 5.10. Remoção / Redução de Ponto Quentes de Radiação.....  | 111 |
| 5.11. Remoção de isolamento de Amianto .....   | 112 |
| 5.12. Desmantelamento e/ou Liberação de Sistemas e prédios não radioativos ...   | 112 |
| 5.13. Mudanças propostas para remoção ou manutenção de sistemas e<br>especificações técnicas.....  | 112 |
| 5.14. Análise de Segurança no Período de Transição.....  | 114 |
| 5.15. Estimativa de custos preliminar considerando EPRI (2016).....  | 116 |
| 5.16. Plano de gestão da qualidade, controles administrativos e documentos .....   | 117 |
| 6. Conclusões e recomendações.....   | 118 |
| Referências .....  | 122 |
| Apêndice A – Lista de Reatores Desligados no mundo.....  | 129 |
| Apêndice B – Lista de sistemas de Angra 1 que serão mantidos e retirados após a<br>retirada do combustível do reator, transferidos para Piscina de Combustível. .... | 133 |
| Apêndice C – Lista de acidentes relacionados às atividades do PT e<br>descomissionamento em usinas tipo PWR. ....  | 136 |
| Apêndice D – Lista de atividades do Período de Transição segundo a IAEA (2004). ....   | 140 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 - Possíveis estados finais para uso da área, em função da estratégia escolhida (IAEA, 2007) .....                          | 8   |
| Figura 2 - Principais passos para análise de segurança no descomissionamento (IAEA, 2016). .....                                    | 11  |
| Figura 3 - Localização da CNAAA - Distâncias aproximadas (Eletronuclear, 2017) ....   | 17  |
| Figura 4 - Arranjo esquemático simplificado de Angra 1. Adaptado de (Eletronuclear, 2011) .....                                     | 19  |
| Figura 5 - Vista esquemática Edifício do Reator da Usina Angra 1. Adaptado de (Eletronuclear, 2011) .....                           | 20  |
| Figura 6 - Cronograma Simplificado do Planejamento do Descomissionamento da CNAAA. (Eletronuclear, 2014) .....                      | 22  |
| Figura 7 - estrutura genérica para o período de transição (IAEA, 2004).....   | 36  |
| Figura 8 - Gráfico genérico da variação de pessoal período de transição, “Safe Storage” e desmantelamento (IAEA, 2004).....         | 37  |
| Figura 9 - Atividades relacionadas ao descomissionamento durante o ciclo de vida de uma usina nuclear - adaptada (IAEA, 2004) ..... | 69  |
| Figura 10 - Nível de perigos ao longo do ciclo de vida de uma usina nuclear (IAEA, 2004) .....                                      | 73  |
| Figura 11 – Estrutura Organizacional da Eletronuclear (Eletronuclear, 2017) .....   | 99  |
| Figura 12 - Fases da Estrutura organizacional do final da operação ao Safe Storage .....  | 100 |
| Figura 13 – Estrutura simplificada apenas com as UO mais impactadas no Período de Transição.....                                    | 102 |
| Figura 14 - Visão Geral do Gerenciamento das Comunicações do Projeto (PMI, 2015) .....  | 105 |
| Figura 15 - desenho esquemático resumido desta atividade de transferência que será realizada no PTA1. (Eletronuclear, 2016) .....   | 110 |
| Figura 16 - Localização da UAS dentro da CNAAA (Eletronuclear, 2016).....   | 111 |
| Figura 17 - Rota de Transferência de Angra 1 e Angra 2 para o UAS (Eletronuclear, 2016) .....                                       | 111 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Principais características e diferenças do entre a operação e descomissionamento do ponto de vista dos perigos associados (IAEA, 2016). .....  | 12  |
| Tabela 2 - Reatores Desligados no Mundo (excluídos os desligados por acidentes) consolidada do Apêndice A.....  | 25  |
| Tabela 3 - Situação de Descomissionamento dos reatores desligados licenciados pela NRC (U.S.NRC, 2018).....   | 47  |
| Tabela 4 - Resumo das seções das TS que foram removidos e das que permaneceram após o desligamento permanente da usina de Kewaunee (Kewaunee, 2014). .....  | 49  |
| Tabela 5 - Resumo das seções da TS que foram removidos e das que permaneceram após a transferência total dos elementos combustíveis usados para o ISFSI da usina de Kewaunee (Kewaunee, 2014).....                        | 49  |
| Tabela 6 - Resumo das seções da TS que foram removidos e das que permaneceram após o desligamento permanente da usina de Crystal River (Duke Energy, 2013). ....  | 50  |
| Tabela 7 - Consequências de não ter documentação necessária no período de transição (IAEA, 2002).....   | 68  |
| Tabela 8 - Comparação do regime de operação e de descomissionamento (IAEA, 2000).....   | 71  |
| Tabela 9 - Documentos propostos para serem submetidos à CNEN e tempos (meses) associados de preparação e de resposta - baseado em informações das usinas de SONGS 2&3, Crystal River 3 e Vermont Yankee (EPRI, 2016)..... | 97  |
| Tabela 10 - Partes Interessadas no Projeto - Internas a Empresa .....   | 105 |
| Tabela 11 - Partes Interessadas no Projeto - Externas a Empresa.....  | 107 |
| Tabela 12 - Modelo de controle de comunicação (Eletronuclear, 2014).....  | 107 |
| Tabela 13 - Resumo dos sistemas que necessitarão permanecer operacionais após o Desligamento Permanente (Resultado do Apêndice B). .....  | 113 |
| Tabela 14 - Reatores desligados que cumpriram seu propósito ou que deixaram de ser economicamente viáveis (WNA, 2018) .....   | 129 |
| Tabela 15 - Reatores Desligados prematuramente por razões políticas - 36 (WNA, 2018).....   | 131 |
| Tabela 16 - Reatores desligados após danos provenientes de acidentes ou incidentes graves - 12 (WNA, 2018) .....  | 132 |
| Tabela 17 - Lista de sistemas de Angra 1 que serão mantidos e retirados após a retirada do combustível do reator, transferidos para Piscina de Combustível .....  | 133 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 18 - Acidentes relacionados ao combustível nuclear. Adaptado U.S.NRC (2002)                                | 136 |
| Tabela 19 - Acidentes envolvendo materiais radioativos - não relacionados ao combustível. Adaptado U.S.NRC (2002) | 137 |
| Tabela 20 - Acidentes iniciados por Eventos Externos ou outros. Adaptado USNRC (2002)                             | 139 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|        |  |
|--------|--|
| ALARA  | <i>As Low As Reasonably Achievable</i> (tão baixo quanto razoavelmente exequível)  |
| ANDRA  | <i>Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs</i> (Agência Nacional de Rejeitos Radioativos)   |
| APS    | Análise Probabilística de Segurança  |
| AtVfV  | <i>Atomrechtliche Verfahrensverordnung</i> (Portaria de Procedimentos de Licenciamento Nuclear)  |
| BMU    | <i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit</i> (Ministério Federal do Ambiente, da Conservação da Natureza e da Segurança Nuclear) |
| BNI    | <i>Basic Nuclear Installation</i> (Instalações Nucleares Básicas)  |
| CAP    | <i>Community. Advisory Panel</i> (Painel Consultivo Comunitário)   |
| CEA    | Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (Comissariado de energia atômica e energias alternativas)                                   |
| CFH    | Certified Fuel Handler (Programa de Treinamento e Certificação de Manuseio de Combustível)   |
| CFR    | <i>Code Federal Regulations</i> (Códigos de Regulamentos Federais)   |
| CNAAA  | Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto   |
| CNEN   | Comissão Nacional de Energia Nuclear   |
| Cogéma | <i>Compagnie générale des matières nucléaires</i> (Companhia de Geração de Materiais Nucleares da França)  |
| CR-3   | Usina Nuclear Crystal River 3  |
| D & D  | Atividades de Descontaminação e Desmantelamento  |
| DBA    | <i>Design Basis Accident</i> (Acidente de Base de Projeto)   |
| DECON  | <i>Immediate Dismantling</i> (Desmantelamento Imediato)  |
| DGSNR  | <i>Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection</i> (Diretoria Geral de Segurança Nuclear e Proteção Radiológica)                    |
| DOC    | <i>Decommissioning Operations Contractor</i> (Empresa contratada responsável pela operação e atividades do Descomissionamento)                             |
| DSAR   | <i>Defueled Safety Analysis Report</i> (Relatório de Análise de Segurança sem Combustível)   |

|       |   |
|-------|---|
| DTF   | Decommissioning Trust Fund (Fundo de Descomissionamento)  |
| EAL   | Emergency Action Level (Nível de Ação de Emergência)  |
| EdF   | <i>Électricité de France</i> (Empresa de Eletricidade da França)  |
| EP    | <i>Emergency Plan</i> (Plano de Emergência)   |
| EPRI  | Electrical Power Research Institute (Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica)   |
| ER    | <i>Exemption Request</i> (Pedido de Exceção)  |
| ETN   | Eletronuclear   |
| FHA   | <i>Fuel Handling Accident</i> (Acidente de Manuseio de Combustível)   |
| FSAR  | <i>Final Safety Analysis Report</i> (Relatório Final de Análise de Segurança)   |
| HLW   | <i>High Level Waste</i> (Rejeitos de Alto Nível de Atividade)   |
| HSA   | <i>Historical Site Assessment</i> (Avaliação do Histórico Sítio)  |
| HVAC  | Heating, Ventilation, and Air Conditioning (Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)                          |
| IAEA  | International Atomic Energy Agency (Agência Internacional de Energia Atômica)   |
| IFB   | <i>Incipient Fire Brigade</i> (Brigada de Incêndio Incipiente)  |
| IFMP  | <i>Irradiated Fuel Management Plan</i> (Plano de Gerenciamento do Combustível Irrradiado)                                   |
| INPO  | Institute of Nuclear Power Operation (Instituto de Operação de Energia Nuclear)   |
| ISFSI | <i>Independent spent fuel storage installation</i> (Instalação Independente de Armazenamento de Combustível Usado)          |
| KPS   | <i>Kewaunee Power Station</i> (Central Elétrica de Kewaunee)  |
| LAR   | <i>License Amendment Request</i> (Pedidos de Alteração de Licença)  |
| LCO   | <i>Limiting condition for operation</i> (Condições Limite de Operação)  |
| LLW   | Low Level Waste (Rejeitos de Baixo Nível de Atividade)  |
| LTDCE | <i>Licence Termination Decommissioning Cost Estimate</i> (Estimativa de Custos de Descomissionamento da Licença de Término) |
| LTP   | <i>Licence Termination Plan</i> (Plano para o Término da Licença)   |
| MLW   | Medium Level Waste (Rejeitos de Médio Nível de Atividade)   |

|         |   |
|---------|---|
| NEA     | Nuclear Energy Agency (Agência de Energia Nuclear) da OCDE  |
| NMSS    | <i>Nuclear Material Safety and Safeguards</i> (Escritório de Segurança e Salvaguardas de Materiais Nucleares)             |
| NPP     | Nuclear Power Plant (Usina Nuclear)   |
| NRR     | <i>Nuclear Reactor Regulation</i> (Escritório de Regulação de Reatores Nucleares)   |
| NUMARC  | Nuclear Management and Resources Council (Conselho de Gerenciamento de Recursos Nucleares)                                |
| OCDE    | <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) |
| PCB     | <i>Biphenyl Polychlorinated</i> (Bifenil Policlorado)   |
| pDCE    | <i>Preliminary Decommissioning Cost Estimate</i> (Estimativa de Custos Preliminar de Descomissionamento)                  |
| PDEP    | <i>Permanently Defueled Emergency Plan</i> (Plano de Emergência sem Combustível Permanente)                               |
| PDTS    | <i>Permanently Defueled Technical Specifications</i> (Especificações Técnicas sem Combustível Permanente)                 |
| PMBOK   | Project Management Body of Knowledge (Guia de Conhecimento de Gerenciamento de Projetos)                                  |
| PPD     | Plano Preliminar de Descomissionamento  |
| PSDAR   | Post-shutdown Decommissioning Activities Report (Relatório de Atividades de Descomissionamento Pós-desligamento)          |
| PSEP    | Post-shutdown Emergency Planning (Plano de Emergência após o desligamento permanente)                                     |
| PT      | Período de Transição  |
| PTA1    | Período de Transição de Angra 1   |
| PWR     | Pressurized Water Reactor (Reator a Água Pressurizada)  |
| SAFSTOR | <i>Safe Storage</i> (Armazenamento Seguro)  |
| SCE     | Southern California Edison  |
| SENUF   | Safety of Eastern European type Nuclear Facilities  |
| SFP     | Spent Fuel Pool (Piscina de Combustível Irrradiado)   |
| SFPI    | Spent Fuel Pool Island (“Ilha” da piscina de Elemento combustível Usado)  |

|          |  |
|----------|--|
| SONGS    | Estação de Geração de Energia de San Onofre  |
| SR       | Surveillance Requirements (Requisitos de Vigilância)   |
| SSDCE    | <i>Site Specific Decommissioning Cost Estimate</i> (Estimativa de custos de descomissionamento específica da Planta) |
| StrlSchV | <i>Die Strahlenschutzverordnung</i> (Decreto de proteção radiológica da Alemanha)                                    |
| TS       | <i>Technical Specification</i> (Especificação Técnica)   |
| UO       | Unidade Organizacional   |
| U.S. NRC | <i>United States Nuclear Regulatory Commission</i> (Comissão Regulatória Nuclear dos Estados Unidos)                 |
| VLLW     | <i>Very Low Level Waste</i> (Rejeitos de Muito Baixo Nível de Atividade)   |
| VY       | Vermont Yankee   |
| WWER     | Water-Water Energy Reactor (Tipo de reator PWR de origem soviética, refrigerado e moderado a água)                   |



## 1. Introdução

### 1.1. Contextualização

Todas as usinas de geração de energia, com geração através de carvão, gás natural, e nuclear, têm uma determinada vida útil a partir da qual não é mais economicamente viável a sua operação. De uma forma geral, antigamente, as plantas nucleares eram projetadas para uma vida útil de 30 anos, e algumas, mediante alterações e atualizações, conseguiram seguir operando por muito mais tempo. Os novos projetos de usinas são para 40 a 60 anos de vida útil. Ao final deste período, a usina precisa ser descomissionada, limpa e demolida de forma a deixar o “*site*” disponível para outro uso.

Especificamente para usinas nucleares, o termo descomissionamento inclui a descontaminação radiológica e o seu desmantelamento. De forma prática, e pela NRC, o Descomissionamento de uma usina apenas se inicia quando o combustível nuclear já foi retirado da usina e os sistemas de refrigeração foram drenados, e termina quando se tem uma verificação da descontaminação da usina e de que todo o rejeito foi removido, quando sua licença pode ser terminada.

Até março de 2017, mais de 105 reatores comerciais, 48 experimentais ou protótipos, mais de 250 de pesquisa e unidades de ciclo de combustível foram desligadas e algumas já desmanteladas.

Grande parte de uma usina nuclear não fica com contaminação radioativa, ou fica com níveis muito baixos de contaminação. A maior parte do metal pode ser reciclada.

Dos mais de 150 reatores de potência comercial, incluindo os experimentais, pelo menos 17 já foram completamente desmantelados, mais de 50 estão sendo desmantelados, mais de 50 estão em *Safe Storage*, 3 ficaram como sarcófagos (“*entombed*”), e para os outros, ainda não foram definidas as estratégias. (WNA, 2017)

### 1.2. Objetivo do estudo

O presente estudo tem o objetivo de determinar com base em referências internacionais, um plano das atividades necessárias para a Usina Angra 1 passar pelo Período de Transição (PTA1) do Desligamento Permanente do seu reator até a condição de Armazenamento Seguro “*Safe Storage*” e as principais questões envolvidas nesta fase importante da vida útil de uma usina nuclear.

Este estudo servirá como plano inicial e será aprofundado conforme haja um maior detalhamento de suas atividades e com a aproximação da data do desligamento permanente de Angra 1.

### **1.3. Justificativa e uso dos resultados**

É de grande importância e valor se iniciar o planejamento do descomissionamento e suas atividades preparatórias durante o seu projeto e que este seja revisado periodicamente durante a vida operacional da usina. Segundo a IAEA, a experiência internacional mostra que muitos projetos de Período de Transição e Descomissionamento sofrem atrasos e outros problemas que resultam em custos extras, devido aos seguintes fatores (IAEA, 2004):

- I. A indisponibilidade de fundos quando necessário;
- II. Desligamento antecipado, não planejado e permanente de uma planta (por exemplo, por razões políticas, reguladoras ou econômicas);
- III. Falta de uma estratégia de descomissionamento ou a incapacidade de decidir sobre uma;
- IV. Falta de infraestrutura (como instalações de armazenamento de resíduos ou sites de disposição) ou tecnologia;
- V. Falta de regulamentação para o descomissionamento;
- VI. Perda ou desmotivação de pessoas chave e incapacidade do pessoal em adaptar-se às mudanças culturais;
- VII. Pouco ou nenhum planejamento para o descomissionamento feito durante a operação da planta.

O planejamento antecipado do descomissionamento de uma instalação é realizado para se minimizar os efeitos destes fatores. Isso obriga que a instalação faça um planejamento o mais detalhado possível muito antes do desligamento da planta, desta forma sendo possível aperfeiçoar o plano de descomissionamento, com maior probabilidade de uma execução bem-sucedida e com segurança.

Os resultados obtidos neste estudo servirão de guia para o planejamento das atividades relativas ao Período de Transição que Angra 1 irá atravessar após o término permanente da operação do seu reator nuclear. Este plano deverá constar de diversos subprojetos de apoio, com um grande plano de mudanças, de recursos humanos, gerenciamento de rejeitos, atualização de análise de segurança, plano de emergência, especificações técnicas e um grande controle de atividades e custos de forma a manter o projeto dentro do prazo e orçamento. Ele também servirá de guia para a preparação de documentos propostos que deverão ser entregues à CNEN antes,

durante e depois deste Período de Transição conforme pesquisa de regulação praticada internacionalmente.

Além disso, é de grande importância ter minimamente planejado um plano de transição do desligamento de um reator nuclear até o seu descomissionamento ou *Safe Storage*, pois em casos de desligamentos antecipados não previstos, esta preparação economizará muito dinheiro e tempo para a execução das atividades necessárias. Estes desligamentos não previstos têm ocorrido em diversas partes do mundo, como na Alemanha, que decidiu desligar suas usinas por motivos políticos, por motivos econômicos como na Suécia, em Ringhals 1 e 2 ou em casos extremos de acidentes severos como no caso de Fukushima. Da mesma forma, a Eletronuclear deve estar sempre preparada para situações não previstas, principalmente econômicas e políticas com a proximidade do final da licença de operação de Angra 1, mesmo com a previsão de pedido de extensão de vida útil por mais 20 anos (10+10).

Atualmente a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) possui um Plano Preliminar de Descomissionamento (PPD) que tem como premissa que o Período de Transição não faz parte do seu escopo, sendo parte de um trabalho operacional, também excluindo de seu cálculo de custos de Descomissionamento as atividades pertinentes a este Período de Transição, sendo necessário este planejamento à parte e possivelmente integrá-lo no PPD da CNAAA como complemento do planejamento, que hoje é regulado pela norma CNEN NN 9.01 (CNEN, 2012), que se aplica às atividades técnicas e administrativas executadas para a retirada parcial ou total do controle regulador de usinas nucleoeletrônicas, abrangendo o local, prédios e equipamentos associados, que se consolidam em um Plano Integrado de Descomissionamento das Usinas Nucleares da CNAAA [composta pelas usinas nucleares Angra 1, Angra 2 e Angra 3 (em construção)].

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

De forma a alcançar os objetivos expostos, o trabalho está estruturado da forma descrita a seguir:

O Capítulo 2 contempla uma revisão bibliográfica sobre Descomissionamento de Usinas Nucleares, estratégias de descomissionamento, Estado final do sítio, Avaliação de Segurança no Descomissionamento e Planejamento do descomissionamento, e Período de Transição.

O Capítulo 3 tem o objetivo de descrever a estratégia de Descomissionamento da CNAAA e de Angra 1, para contextualizar o estudo.

O Capítulo 4 apresenta guias e metodologia baseados em referências internacionais, principalmente do EPRI, U.S. NRC e IAEA, sobre as principais questões que devem ser consideradas quando uma usina está planejando o seu Desligamento Permanente, sucedido de um Período de Transição até o seu *Safe Storage* e/ou Desmantelamento. Neste capítulo são discutidos os aspectos de licenciamento nos EUA, França e Alemanha, Gerenciamento de comunicações, Estrutura de Recursos Humanos, Avaliação do Histórico de Sítio e sua caracterização, Descontaminação química dos sistemas, Condições para *Cool and Dim* e *Cold and Dark*, Transição para Brigada de incêndio incipiente, Gerenciamento de Combustível usado, Remoção e redução de pontos quentes, remoção de isolamento de amianto, Desmantelamento e/ou liberação de sistemas e prédios não radioativos, conjunto de atividades do período de transição, modificações nas especificações técnicas e sistemas após o desligamento permanente, Lições aprendidas no período de transição, planejamento, acondicionamento e remoção de rejeito operacional, e análise de segurança.

O Capítulo 5 apresenta uma proposta de um plano inicial para o Período de Transição do Desligamento do reator da Usina Angra 1 até sua condição de *Safe Storage* com base na experiência internacional apresentada no capítulo 4 aplicada ao caso de Angra 1, definindo um conjunto de atividades essenciais, documentos propostos para o licenciamento, alterações na estrutura organizacional, Avaliação do histórico do sítio e sua caracterização, avaliação sobre a descontaminação química dos sistemas, avaliação das condições de *Cool and Dim* e *Cold and Dark*, transição para uma brigada de incêndio incipiente, gerenciamento de combustível usado, remoção / redução de pontos quentes e amianto, desmantelamento e/ou liberação de sistemas e prédios não radioativos, mudanças propostas para sistemas que serão mantidos no período, análise de segurança, estimativa de custos e plano de gestão da qualidade e controles administrativos .

Finalmente, o Capítulo 6 contempla as principais conclusões e críticas baseadas nos resultados obtidos e aponta possíveis rumos e desenvolvimentos futuros deste trabalho.

## **2. Descomissionamento de Usinas Nucleares**

A Definição de Descomissionamento, segundo o glossário de segurança da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), significa: “o conjunto de ações técnicas e administrativas destinadas à liberação de uma instalação do controle regulatório” (CNEN, 2015).

O Descomissionamento é uma etapa importante do tempo de vida de uma usina nuclear, que em muitos casos é desprezado. A IAEA recomenda que o descomissionamento deve se iniciar no desenvolvimento do planejamento e projeto de uma instalação e não quando ela está para ser desativada, de forma que se possa coletar as informações de projeto mais facilmente. O principal objetivo do descomissionamento de uma usina nuclear é o de proteger o público e o meio ambiente quando os serviços da planta não são mais necessários. (IAEA, 2002).

### **2.1. Estratégias de Descomissionamento**

A empresa detentora da licença da usina nuclear deverá selecionar uma estratégia de descomissionamento que servirá de base para o planejamento inicial das atividades de descomissionamento, e esta escolha deverá ser justificada perante o órgão regulador do país, mostrando que é a opção mais segura para a execução das atividades (CNEN, 2012).

A estratégia preferida para o descomissionamento é a de desmantelamento imediato, entretanto esta opção nem sempre é a escolhida devido a outros fatores relevantes como a existência de múltiplas plantas, escassez de recursos financeiros, entre outros. Se houver um desligamento da unidade de forma não planejada, a estratégia do descomissionamento deve ser revista em função da situação em que ocorreu o desligamento. Se ocorrer devido a um acidente, a usina deve ser trazida para a condição de segurança antes que se execute um plano de descomissionamento, mesmo que este já tenha sido aprovado. Para sites com mais de uma usina nuclear, uma estratégia diferenciada deve ser desenvolvida para garantir que as interdependências das usinas estão sendo consideradas no planejamento individual de descomissionamento de cada unidade que se consolidará no plano de descomissionamento do site. (IAEA, 2014)

A seleção da estratégia de descomissionamento de uma unidade com material radioativo tem um impacto significativo em quase todas as fases do planejamento e na implantação do processo de descomissionamento. Esta escolha poderá influenciar na segurança, quantidade de rejeitos gerados, custos, recursos humanos e problemas

sociais da região de onde a unidade está sendo descomissionada. Escolher a melhor estratégia pode ser uma tarefa muito complexa se todos os fatores pertinentes forem analisados.

Abaixo são listados alguns fatores que devem ser levados em consideração na escolha da estratégia:

- Atendimento às leis e regulamentação;
- Condição radiológica do *site*;
- Avaliação de segurança;
- Estado físico da usina;
- Gerenciamento de rejeitos;
- Gestão do combustível usado remanescente na planta;
- Disponibilidade de recursos financeiros;
- Disponibilidade de recursos humanos treinados;
- Análise de impactos ambientais;
- Fatores socioeconômicos na região;
- Propostas de reutilização do *site*;
- Lições aprendidas de descomissionamento de usinas de projetos similares (IAEA, 2007).

Segundo a norma CNEN NN 9.01, são definidas três estratégias de descomissionamento, desmantelamento imediato, desmantelamento protelado e confinamento (CNEN, 2012).

Esta dissertação não tem por objetivo analisar a estratégia de descomissionamento adotada pela CNAEA, mas somente descrever as etapas de forma sucinta para que haja um entendimento da estratégia que hoje é adotada pela CNAEA e que terá como uma de suas etapas, a transição da operação para o período em estado de “*safe storage*” (ou abreviadamente “*Safstor*”, ambos mais usados nos EUA) ou “*safe enclosure*” (termo mais usado na Europa) ou Armazenamento Seguro, que é parte do objetivo deste trabalho.

### **2.1.1. Desmantelamento imediato**

Nesta estratégia, equipamentos, estruturas e partes da usina contendo contaminantes radioativos são removidos ou descontaminados até níveis que permitam que o local seja liberado para uso irrestrito ou restrito, conforme critérios definidos ou aceitos pela CNEN. Esta estratégia implica em concluir o descomissionamento em um curto espaço de tempo e envolve a transferência do

material e do rejeito radioativo para uma instalação licenciada, para seu processamento ou armazenamento ou deposição final, conforme aplicável. (CNEN NN 9.01, 2012).

O desmantelamento imediato é a escolha preferencial, exceto quando há justificativa para outra estratégia. Nesta estratégia, a usina é desmantelada de 2 a 5 anos após o desligamento do reator (IAEA, 2007).

### **2.1.2. Desmantelamento protelado**

Nesta estratégia, a usina é monitorada e mantida intacta por um período tal que permita o decaimento radioativo de itens contaminados ou ativados. Os materiais radioativos inicialmente presentes são processados ou colocados em condição tal que possam ser armazenados e mantidos em segurança durante esse período. Findo este, a usina será submetida a um desmantelamento, da mesma forma que na estratégia de desmantelamento imediato (CNEN NN 9.01,2012).

Esta estratégia tem por principal vantagem o decaimento radioativo dos radionuclídeos de meia-vida curta (os de meia-vida longa não se beneficiam tanto deste período de decaimento). Ela também pode ser a mais vantajosa quando existe um site com mais de uma usina nuclear, quando as unidades mais antigas são colocadas em desmantelamento protelado até que se aproxime o período do desligamento da última unidade. Isto vai permitir que os trabalhadores do descomissionamento de uma unidade passem para a usina seguinte até o final do processo, permitindo maior eficácia no descomissionamento, uso de recursos humanos e custos (IAEA, 2007).

Nesta estratégia a usina é desligada e colocada em estado de *safe storage* até o seu período de início de desmantelamento. Recomenda-se que o período máximo seja de 60 anos após o término da operação da unidade. Em situações em que não exista um repositório final de rejeitos, esta pode ser a única opção. No desmantelamento protelado, geralmente se assume que todo o combustível nuclear já foi removido da usina, e todos os líquidos radioativos foram drenados dos sistemas e componentes e já foram processados e enviados para disposição final. A unidade é colocada em condição de segurança e estável (*Safe Storage*) e mantida nesse estado até ser descontaminada e desmantelada aos níveis permitidos na licença para término da operação e descomissionamento (IAEA, 2007).

Existe ainda o “Confinamento”, que apesar de estar referenciado na Norma CNEN NN 9.01 de 2012, não mais é considerado como uma estratégia, e apenas

considerada em caso de acidentes severos, quando não for possível o desmantelamento protelado ou imediato (IAEA, 2014).

Neste caso de Confinamento “*Entombed*” os contaminantes radioativos são contidos em uma estrutura de material suficientemente resistente até que a radioatividade decaia para níveis que permitam que o local seja liberado para uso irrestrito ou restrito (CNEN NN 9.01,2012).

### 2.1.3 Estado Final do sítio

Na estratégia, uma consideração muito importante é a do estado final a que se deseja chegar ao sítio após o descomissionamento.

O estado final preferido para se alcançar é o de uso irrestrito para outras atividades ou de forma que possa ser utilizado de forma restrita em função de critérios de liberação. Na Figura 1 estão as possibilidades de estado final do sítio para cada estratégia.



Figura 1 - Possíveis estados finais para uso da área, em função da estratégia escolhida (IAEA, 2007)

### 2.2. Planejamento das atividades do Descomissionamento.

De acordo com (Kirkland & Weisband, 2001), o planejamento o descomissionamento de uma usina nuclear, costuma consumir de 30.000 a 40.000 horas de trabalho, e necessita de alguns anos para ser concluído.

As chaves para o sucesso de um projeto de descomissionamento são uma criteriosa e completa avaliação de segurança de suas atividades, e um planejamento bem estruturado e gerenciado, com base nas melhores práticas internacionais. Deve ser feito de forma preliminar no início da operação e ser atualizado conforme haja alterações de projeto, mudanças de configuração da planta ou conforme sejam mais detalhadas as atividades relativas ao descomissionamento. (IAEA, 1999).

Devido ao tamanho, complexidade e importância de um projeto de descomissionamento, é recomendado que seja seguida uma metodologia consolidada de gerenciamento de projetos, como o PMBOK (Guia de conhecimento em gerenciamento de projetos) (PMI, 2015) que é o mais utilizado no mundo. Existem outras metodologias utilizadas, mas esta é a mais difundida mundialmente. Todas têm



o mesmo objetivo de estruturar um planejamento e gerenciamento do projeto de forma sistemática e segundo as melhores práticas.

As seguintes áreas são tratadas na metodologia do PMBOK e devem ser estruturadas e executadas para todo o projeto do descomissionamento: Gerenciamento da integração do Projeto; Gerenciamento do escopo; Gerenciamento do Tempo; Gerenciamento dos custos; Gerenciamento da qualidade; Gerenciamento dos Recursos Humanos; Gerenciamento das Comunicações; Gerenciamento dos Riscos; Gerenciamento das Aquisições; Gerenciamento das partes interessadas (*stakeholders*) (PMI, 2015)

A aplicação de forma estruturada das boas práticas em gerenciamento de projetos é essencial para o sucesso do plano de descomissionamento. Uma lista padronizada de atividades do período de descomissionamento pode ser encontrada em (NEA, 2012) utilizada no planejamento inicial de planos de descomissionamento e cálculos de estimativa de custos (DCE).

## **2.2. Avaliação de segurança no Descomissionamento**

A avaliação de segurança das instalações em operação na indústria nuclear é bem compreendida e metodologias foram desenvolvidas e aperfeiçoadas há muitos anos. Há, no entanto, menos experiência quando nos referimos à avaliação de segurança aplicada ao descomissionamento de instalações ao redor do mundo, e por consequência, menos literatura sobre o assunto no mundo.

Uma exigência de um plano de descomissionamento é o desenvolvimento de uma avaliação de potenciais consequências radiológicas para o público e para os trabalhadores durante as atividades que envolvem o seu planejamento, com resultados de acidentes possíveis. A abordagem da avaliação de segurança nos projetos de descomissionamento é reconhecidamente diferente da forma que abordamos as instalações em operação por vários motivos. Isso ocorre porque no descomissionamento tem-se a quebra da contenção e de outras barreiras que são fundamentais para a segurança durante a fase operacional de uma instalação, e porque as condições da unidade e a sua configuração sofrem constantes mudanças durante o processo de descomissionamento. O processo de avaliação de segurança do descomissionamento garante base para a segurança dos trabalhadores e do público através da avaliação de consequências dos potenciais perigos e da identificação das formas de mitigação dos mesmos, de modo que os riscos residuais associados sejam ALARA (tão baixo quanto razoavelmente exequíveis). (IAEA, 2016)

Avaliações de segurança são necessárias para dar suporte ao plano de descomissionamento, portanto, devem ser incorporadas ao mesmo ou estar inseridas em documentos de apoio. Para projetos maiores que consistam de várias fases, é recomendado que exista uma avaliação para cada fase, mas consolidadas e complementares ao Plano Preliminar de Descomissionamento (PPD), que deve ter um capítulo de avaliação de segurança.

O processo de descomissionamento é a continuação da fase operacional de uma instalação, e é normal que haja uma fase de transição em que se executem as atividades preparatórias para o descomissionamento, que também estão sujeitos a uma avaliação da segurança. As fases operacionais, de transição e de desmantelamento de uma instalação têm características e interdependências.

O objetivo principal é de uma avaliação de segurança capaz de identificar perigos durante condições normais de operação e de potenciais acidentes e, em seguida, identificar medidas de controle técnico e administrativo para prevenir, eliminar ou mitigar os perigos e suas consequências. Como parte desse processo, deve ser demonstrado que os riscos residuais foram reduzidos para ALARA e dentro dos critérios de segurança prescritos nacionalmente. É importante demonstrar ao órgão regulador e a outras partes interessadas que a segurança do descomissionamento está em conformidade com os critérios regulamentados. (IAEA, 2016)

Os perigos de natureza industrial e química são geralmente mais significativos nas atividades de descomissionamento do que os riscos radiológicos. Os principais passos de uma metodologia geral para o controle integrado da avaliação de segurança para todos os perigos são apresentados na Fig. 2.

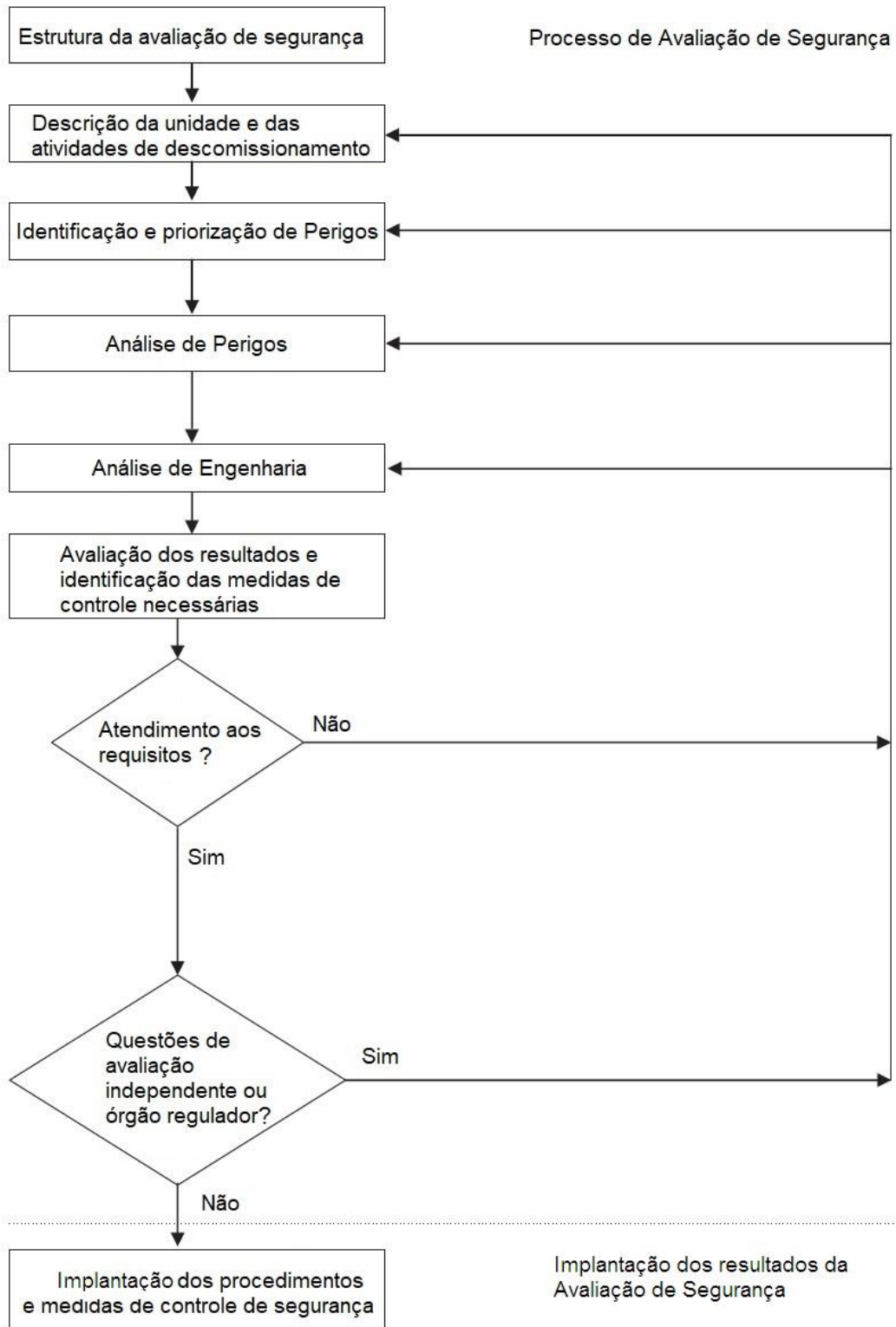


Figura 2 - Principais passos para análise de segurança no descomissionamento (IAEA, 2016).

Uma abordagem determinística baseada em normas, experiência operacional e melhores práticas deve ser realizada, pois permite a identificação de medidas de

controle de segurança para proporcionar defesa em profundidade de acordo com o nível de perigos presente. No entanto, a abordagem probabilística de segurança também deve ser realizada de forma complementar. Existem vários métodos de categorização de risco e identificação de perigos, e a escolha deles depende do grau de complexidade das atividades analisadas no descomissionamento. Técnicas de agrupamento e triagem de perigos e acidentes devem ser aplicadas para permitir a otimização da aplicação da avaliação de segurança. Neste processo, é muito importante se definir o marco final em cada fase do descomissionamento.

Uma vez que os perigos e eventos iniciadores dos cenários em operação normal e de acidente, que necessitam de avaliação sejam identificados, eles podem ser avaliados por métodos diversos, desde simples cálculos matemáticos até a utilização de códigos complexos para sua execução. Também é normal se calcular consequências radiológicas em função de não termos medidas e controle da segurança em nível adequado. Existem algumas particularidades quando realizamos uma avaliação de segurança na operação e no descomissionamento de uma usina nuclear devido a diferentes características, filosofia de cada fase, e natureza de seus perigos associados conforme a Tabela 1. (IAEA, 2016).

Tabela 1 - Principais características e diferenças do entre a operação e descomissionamento do ponto de vista dos perigos associados (IAEA, 2016).

| Tópico                              | Operação  | Descomissionamento   |
|-------------------------------------|---|--|
| Perfil do Perigo                    | Estável; bem caracterizado; riscos radiológicos dominantes; potencial para significativo efeitos fora do sítio; ambiente de trabalho bem conhecido. | Frequentemente mudando; muitas vezes mal caracterizados; questões de segurança industriais tornam-se mais dominantes; menor risco radiológico; efeitos fora do sítio devido à remoção de inventário radioativo; ambiente de trabalho mudando constantemente. |
| Planejamento e controle do trabalho | Tarefas operacionais rotineiras; foco na operação e manutenção; tarefas geralmente de curta duração.  | Trabalho por tarefa ou projeto; atividades únicas ou inéditas; planejamento do trabalho e dos locais críticos para a segurança.  |
| Análise de Perigos                  | Geralmente estável; orientado para operação.  | Dinâmico; orientado por tarefas; mutável.  |
| Experiência operacional             | Familiarizado com a operação da planta e trabalho de rotina de acordo com o projeto.  | Novas missões; experiência limitada; subcontratados podem não ter conhecimento das operações das instalações; o conhecimento pode precisar ser arquivado/mantido por longos períodos.  |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Gerenciamento de contratos                           | Gerido e operado pelo contratante.                        | Frequentemente contratados de curto prazo; alto nível de dependência no desempenho do contratado; necessidade de um forte gerenciamento de projetos. |
| Recursos Humanos                                     | Permanente e/ou orientado por tarefas.                    | Mutável de acordo com as tarefas ou fase do descomissionamento.  |
| Dependência de estruturas permanentes                | Constantes com manutenção regular.                        | Instalações provisórias e degradação das estruturas.   |
| Inspeções do Órgão Regulador                         | De rotina; requisições de melhorias para o licenciamento. | Inspeções focadas; demandas de aprovações com rapidez.   |
| <i>Stakeholders</i> (Partes interessadas do projeto) | Comunicação de rotina com os " <i>stakeholders</i> ".     | Mudanças de " <i>stakeholders</i> " dinâmica e frequente.  |

### 2.3. Período de Transição (PT) do término da operação ao Desmantelamento Imediato ou ao estado de “*Safe Storage*”.

O período de transição de uma instalação em operação até a usina estar pronta para o descomissionamento é de extrema importância, e deve ser gerenciado de forma cuidadosa para o melhor aproveitamento possível do conhecimento dos recursos humanos presentes na instalação e sua experiência (IAEA, 2000).

Ainda segundo a IAEA, os principais objetivos do período de transição são o de deixar a instalação em condição segura, eliminar ou mitigar perigos, e o de transferir a responsabilidade da operação para a estrutura/organização que estará encarregada do descomissionamento. Durante este período, após forte planejamento, modificações são executadas para que a planta esteja adequada aos seus novos objetivos e requisitos. As atividades de transição são executadas entre a operação e a colocação da usina em um estado seguro e estável (*Safe Storage*) ou preparada para o desmantelamento imediato. Tipicamente, estas atividades incluem a retirada do combustível da usina, “aposentadoria” de equipamentos e sistemas, caracterização radiológica da planta e de seus rejeitos gerados, tratamento de rejeitos operacionais e remoção de componentes menores. Geralmente, a remoção e desmantelamento de grandes componentes ficam excluídos nesta fase, sendo executada posteriormente. Entretanto, as atividades do período de transição também podem ser influenciadas pelo tipo de usina e pelo órgão regulador. (IAEA, 2000)

Uma mudança cultural também é necessária, pois haverá uma forma diferente de gerenciamento e de trabalho. É essencial que este planejamento se inicie durante a operação e que as atividades sejam executadas o mais rápido possível após o

desligamento da usina, de forma a assegurar o seu sucesso e ter um melhor uso dos recursos humanos presentes na planta.

O Período de Transição requer atividades de suporte como caracterização radiológica e de rejeitos, tratamento e disposição de rejeitos operacionais, limpeza de sistemas e remoção de alguns equipamentos, desligando e desativando os sistemas e equipamentos que não serão mais utilizados, e estabelecendo novos limites para as áreas e salas enquanto aguarda para o descomissionamento. Algumas atividades típicas do período de transição são (SZILAGYI & BRIN, 2000):

- a) Venda reprocessamento ou desmontagem de combustível usado ou novo;
- b) Remoção de combustível irradiado e outros materiais físseis/férteis da planta;
- c) Remoção de combustível irradiado e outros materiais físseis/férteis do Sítio (se aplicável);
- d) Estabilização, tratamento e/ou remoção de materiais/rejeitos quimicamente instáveis;
- e) Redução ou eliminação do potencial de incêndio ou explosão proveniente de reações químicas violentas ou criticalidade nuclear;
- f) Conclusão das operações de limpeza dos sistemas, linhas e outros equipamentos desnecessários para o futuro que possuam potencial radioativo significativo;
- g) Neutralização e eliminação de produtos químicos perigosos e óleo armazenado;
- h) Revisão, usando a avaliação de segurança, de mudanças na configuração e status de sistemas e estruturas como resultado de atividades de transição, reduzindo redundâncias desnecessárias;
- i) Revisão dos requisitos e controles operacionais, de acordo com as mudanças realizadas, incluindo o número de pessoas necessárias para manter os padrões de segurança apropriados;
- j) Instalação e/ou verificação de barreiras suficientes para evitar o espalhamento de contaminação;
- k) Adequação do programa de salvaguardas e proteção física;
- l) Atualização dos desenhos relevantes da instalação e outros documentos para refletir as mudanças que foram feitas durante o período operacional e/ou o período de transição;

m) Treinamento e conscientização do pessoal da instalação para seus futuros trabalhos e funções.

### **3. Estratégia de Descomissionamento e descrição da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA)**

Para analisar as atividades relativas ao período de transição de uma instalação nuclear, é necessário que se defina antecipadamente a estratégia para o descomissionamento do sítio em que está inserida, assim como a descrição de suas principais características (EPRI, 2016).

O objetivo deste capítulo é o de descrever de forma resumida a estratégia que é considerada hoje no Plano Preliminar de Descomissionamento (PPD) da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), com a apresentação das usinas nucleares Angra 1 (objeto deste estudo), Angra 2 e Angra 3 (construção paralisada em 2015, ainda sem previsão de retomada) e a estratégia de descomissionamento, de forma a situar o estudo em questão.

Atualmente o PPD da CNAAA segue o formato proposto em (IAEA, 2005), com os seguintes tópicos: Introdução; Descrição da Instalação; Estratégia de Descomissionamento; Gerenciamento de Projetos; Atividades do Descomissionamento; Vigilância e Manutenção; Gerenciamento de Rejeitos; Estimativa de Custos e Mecanismos de Financiamento; Avaliação de Segurança; Avaliação Ambiental; Proteção Radiológica; Qualidade; Plano de Emergência; Proteção Física e Salvaguardas; Inspeção Radiológica Final.

#### **3.1. Descrição do sítio da CNAAA**

A Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto é formada pelo conjunto das usinas nucleares Angra 1, Angra 2 e Angra 3 (em construção), de propriedade da Eletronuclear, subsidiária das Centrais Elétricas Brasileiras - Eletrobrás.

A CNAAA, com área aproximada de 12,5 km<sup>2</sup> situa-se no distrito de Cunhambebe, município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro, a cerca de 133 km da cidade do Rio de Janeiro, 216 km da cidade de São Paulo e 343 km de Belo Horizonte (Figura 3).





Figura 3 - Localização da CNAAA - Distâncias aproximadas (Eletronuclear, 2017)

Angra 1 teve sua construção iniciada em 1972, tendo recebido licença para operação comercial da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN em dezembro de 1984. É uma usina do tipo PWR (Pressurized Water Reactor) onde o núcleo é resfriado por água leve, desmineralizada. Foi fabricada pela Westinghouse e é operada pela Eletronuclear.

Angra 2 é a segunda das usinas nucleares que formam a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. Situada na Praia de Itaorna, em Angra dos Reis, entrou em operação comercial no ano de 2001. É uma usina do tipo PWR, com o núcleo resfriado a água leve desmineralizada. Foi fornecida pela Siemens - KWU da Alemanha, no âmbito do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha. Com potência nominal de 1300 MW (aproximadamente 50% do consumo do Estado do Rio de Janeiro), produziu no ano de 2008 um total de 10.448.289 MWh.

Para o site da CNAAA o descomissionamento englobará os edifícios ou sistemas com possibilidade de contaminação conforme a seguir (Eletronuclear, 2014).

- a. Angra 1 – Incluirá o Edifício do Reator (ERE), Edifício Auxiliar Norte (EAN), Edifício Auxiliar Sul (EAS), Edifício do Combustível (ECB), Edifício de Segurança (ESE) e Edifício da Turbina (ETG);
- b. Angra 2 e 3 – incluirá o Edifício do Reator, Edifício Auxiliar, Chaminé de Descarga de Gases, compartimento de válvulas do vapor principal e água de alimentação e o Edifício da Turbina;

- c. Laboratório de Monitoração e Calibração;
- d. Depósitos de Rejeitos 1, 2, e 3;
- e. Prédio de Monitoração;
- f. Depósito Inicial do Gerador de Vapor de Angra 1 (DIGV); e
- g. Laboratório de Monitoração Ambiental
- h. Unidade de Armazenamento a Seco dos Elementos Combustíveis Irrradiados (UAS)

Os edifícios da turbina estão incluídos devido à sua ligação aos prédios auxiliares e para permitir o acesso a áreas que contenham material ativado ou contaminado (Eletronuclear, 2014).

### **3.1.1 Descrição da Usina Nuclear Angra 1**

A Usina de Angra 1 possui um reator do tipo PWR, com dois loops de refrigeração do núcleo, composto por 121 elementos combustíveis e 33 barras de controle. Cada elemento combustível possui um arranjo quadricular de 256 posições (16x16) para alocar a vareta, sendo 235 posições ocupadas por varetas combustíveis, 20 por tubos guia e um tubo de instrumentação. O moderador do reator é água com adição de ácido bórico. Este fluido também cumpre função de refrigerante do reator (Eletronuclear, 2011).

A Figura 4 demonstra o arranjo dos edifícios principais da Usina Angra 1. Os principais edifícios a serem descomissionados são: o Edifício do Reator, Edifícios Auxiliares do Reator, o Edifício do Combustível e o Edifício de Segurança.

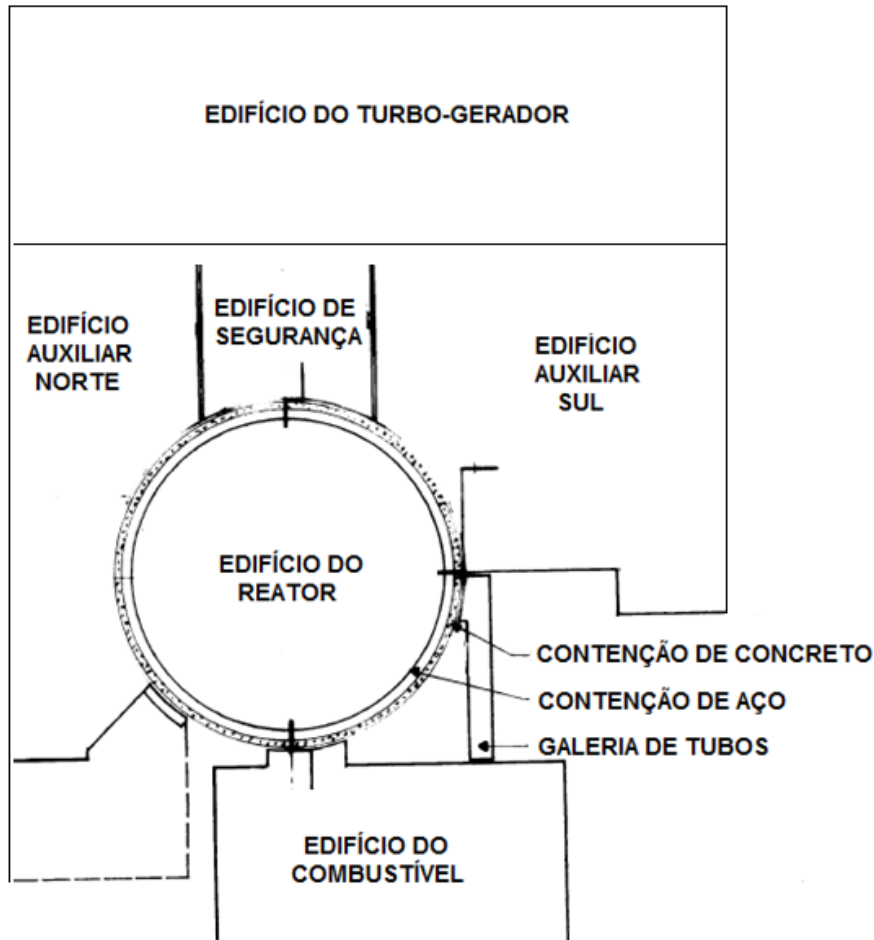


Figura 4 - Arranjo esquemático simplificado de Angra 1. Adaptado de (Eletronuclear, 2011)

O Edifício do Reator (Figura 5) é uma estrutura cilíndrica com diâmetro interno aproximadamente de 35,16 m e no topo possui um domo raso. As paredes possuem uma espessura de aproximadamente de 0,76 m e o domo possui 0,61 m de espessura. Dentro dela, há uma estrutura de contenção de aço também com estrutura cilíndrica, possuindo um domo esférico no topo e uma parte inferior esférica/elipsoidal. O diâmetro interno e a altura são de aproximadamente 32 m e 42 m, respectivamente, sendo a maior espessura da contenção de 3,82 cm. O espaço entre as duas estruturas citadas é de aproximadamente 1,5 m. Dentro do edifício está o reator e outros componentes do circuito primário: bombas, gerador de vapor, pressurizador e tubulações (Eletronuclear, 2011).

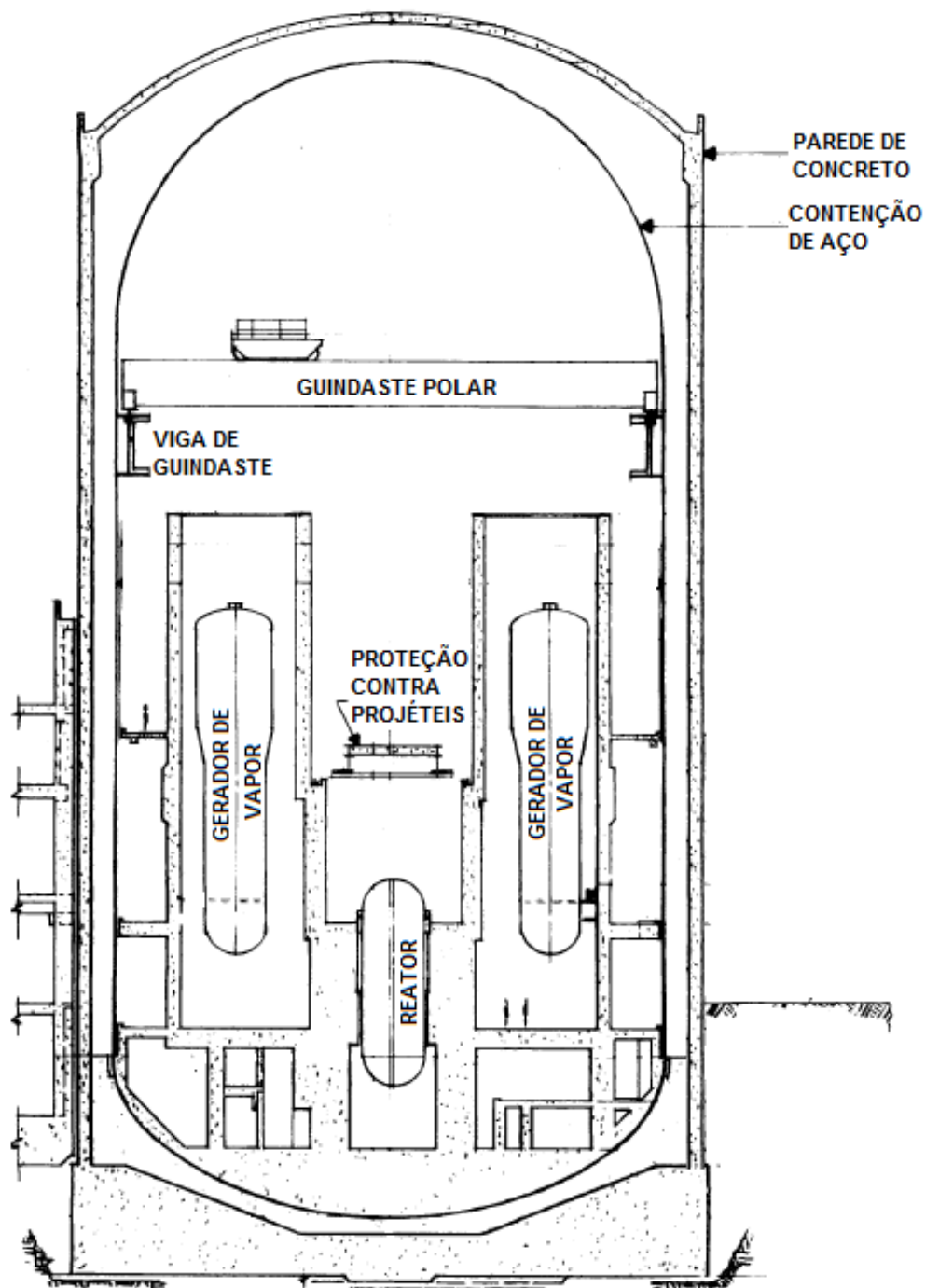


Figura 5 - Vista esquemática Edifício do Reator da Usina Angra 1. Adaptado de (Eletronuclear, 2011)

O Edifício do Combustível é uma estrutura de concreto reforçado, adjacente ao Edifício do Reator, para possibilitar o deslocamento dos combustíveis. Todas as partes da estrutura são isoladas.

Os Edifícios Auxiliares Norte e Sul, são estruturas independentes e reforçadas de concreto e isoladas das estruturas adjacentes. Os dois edifícios são separados pelo Edifício de Segurança.

O Edifício de Segurança é uma estrutura de concreto reforçado com isolamento para assegurar a segurança da interface de separação. O edifício é projetado para resistir possíveis projéteis internos ou externos.

A Usina Angra 1 foi construída entre 1972 e 1982 e tem potência elétrica nominal de 640 MW. A primeira criticalidade foi estabelecida às 20h23 do dia 13/03/1982. A primeira sincronização na rede ocorreu às 15h26 do dia 01/04/1982 e a operação comercial começou em 01/01/1985. O fator de disponibilidade da usina é de 97% e a média de geração em relação ao seu potencial máximo, desde o início da operação comercial até 31/03/2013, é de 48,51% (UFABC, 2014).

Desde o início da operação, já foram realizados 21 recarregamentos de combustível em Angra 1 até 2017. Nos primeiros anos de sua operação, Angra 1 enfrentou problemas com alguns equipamentos: os 48.000 tubos dos condensadores foram trocados por outros de titânio; alguns transformadores e os inversores estáticos tiveram de ser substituídos, e dois novos geradores de emergência a diesel precisaram ser instalados. Em 2009, houve a troca dos geradores de vapor entre o final de janeiro e o início de junho, ficando a Usina fora do Sistema Elétrico Nacional. Em março de 2013, ocorreu a troca da tampa do vaso do reator. Os geradores de vapor e a tampa do vaso do reator, retirados da Usina Angra 1, foram armazenados no depósito inicial dos Geradores de Vapor (DIGV) (UFABC, 2014).

### **3.2. Estratégia de Descomissionamento da CNAAA**

Conforme descrito na Seção 2.2, existem 2 tipos de estratégia para o descomissionamento de centrais nucleares, o desmantelamento Imediato (logo após o período de transição) e o protelado (onde, após o período de transição, temos uma espera de até 60 anos até o início do desmantelamento). Em casos de acidentes severos onde as estratégias acima não são aplicáveis, pode-se optar pela estratégia de confinamento, onde a unidade se transforma no próprio depósito.

Para o estudo do período de transição de uma usina ou central nuclear é importante além de se caracterizar a (s) usina (s), descrever a estratégia prevista para o seu descomissionamento.

A estratégia hoje considerada pela Eletronuclear para o descomissionamento da CNAAA é uma combinação de desmantelamento protelado (Angra 1 e 2) e Angra 3(Imediato).

A Figura 6 apresenta o cronograma previsto para o descomissionamento da CNAAA com a estratégia selecionada pela CNAAA com o desligamento permanente e o Período de Transição de Angra 1 destacados em vermelho.

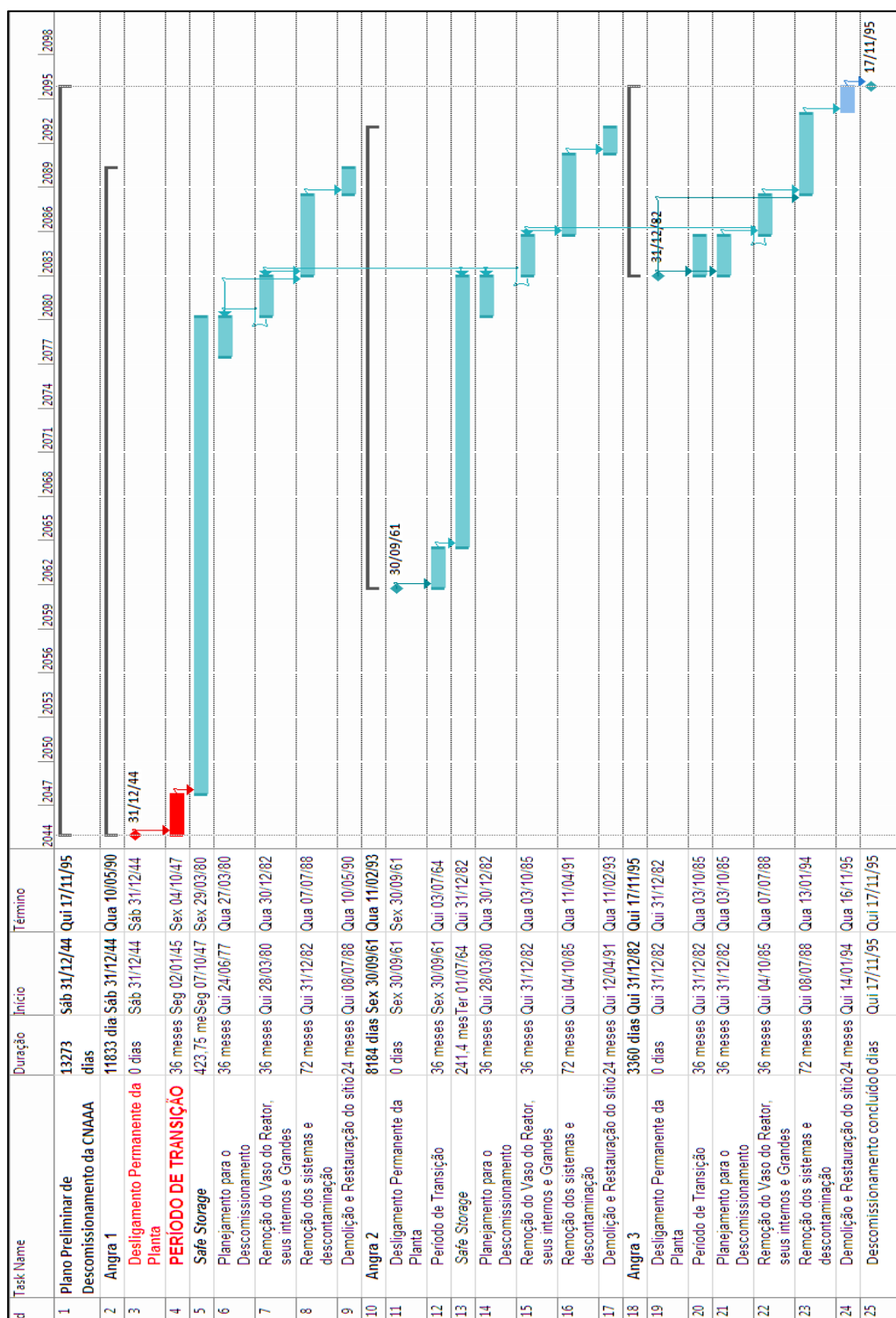


Figura 6 - Cronograma Simplificado do Planejamento do Descomissionamento da CNAAA. (Eletronuclear, 2014)

A estratégia escolhida reduz os riscos radiológicos permitindo um maior decaimento radioativo de Angra 1 e Angra 2, enquanto aguarda o final da operação de Angra 3, para o descomissionamento completo da CNAAA. Além disso, permite que haja uma estabilidade de mão de obra por um período maior de tempo (havendo menos impacto na economia após o desligamento da última usina), uma vez que as atividades de descontaminação e desmantelamento (D & D) acontecem de forma sequencial. Estas atividades também requerem grande número de pessoal e uma equipe especial qualificada para o trabalho, e a contratação deste serviço para as 3 unidades terá um menor custo para o site. Também permite um maior tempo para a arrecadação do fundo financeiro para o descomissionamento e a utilização dos juros do fundo existente ao longo do tempo, e suficiente tempo para a construção do depósito final de rejeitos radioativos a ser construído pela CNEN, e sem o qual o descomissionamento não pode começar.

Nesta estratégia os desmantelamentos de Angra 1 e 2 serão protelados, e ficarão em “*Safe Storage*” até alguns anos antes do desligamento de Angra 3. Os sistemas que não forem necessários para a ventilação, sistemas de segurança ou segurança do site serão drenados, desenergizados e protegidos ou desmantelados. É realizada uma limpeza / remoção mínima de contaminação removível e fixa. A abordagem para Angra 3 consistirá em implantar a estratégia de desmantelamento imediato após o seu desligamento permanente.

A atividade crítica para o desmantelamento dos três reatores é a remoção do vaso do reator e seus internos. Será necessária uma equipe especializada com equipamentos especializados para realizar essas atividades. As atividades durante o “*Safe Storage*” incluirão a manutenção de segurança física, manutenção preventiva e corretiva em sistemas de segurança, iluminação de área, manutenção geral de edifícios, ventilação, inspeções radiológicas de rotina, manutenção de integridade estrutural, proteção contra incêndio e monitoramento ambiental e de radiação.

Após a descontaminação e liberação dos edifícios, serão realizadas atividades de demolição e restauração do local.

#### **4. Questões importantes e método para preparação de plano para o Período de Transição de uma Usina Nuclear**

Para se analisar o período de transição é essencial e de grande importância a execução de um planejamento estruturado de suas atividades, no processo de descomissionamento de uma usina nuclear, pois nele estão contidas as atividades operacionais remanescentes como remoção do combustível nuclear da usina, esvaziamento dos sistemas e preparação para as atividades de desmantelamento ou para ficar em modo de armazenamento seguro pelo período pretendido em sua estratégia definida para posterior descomissionamento.

Para propor um plano inicial de ações e atividades necessárias para o período de transição de Angra 1, serão descritas as experiências internacionais do EPRI com usinas americanas que optaram pelo desmantelamento protelado e da IAEA com foco na experiência europeia.

A maior parte da experiência internacional em descomissionamento de instalações nucleares vem dos Estados Unidos, Europa, Rússia e Japão.

Vários foram os motivos para os desligamentos dos reatores conforme Apêndice A coletado do site da *World Nuclear Association* (WNA, 2017) onde 3 tabelas (Apêndice A) consolidam uma lista completa dos reatores desligados até o final de 2017, separados em:

1. Reatores desligados que cumpriram seu propósito ou que deixaram de ser economicamente viáveis – 115 reatores;
2. Reatores desligados prematuramente por razões políticas – 36 reatores;
3. Reatores desligados após danos provenientes de acidentes ou incidentes graves – 12 reatores.

Neste estudo serão desconsiderados os dados referentes a desligamentos provenientes de acidentes, pois possuem uma abordagem dependente da gravidade do acidente e da condição posterior da usina.

Portanto, analisando e consolidando os dados destas tabelas, tem-se a Tabela 2.



Tabela 2 - Reatores Desligados no Mundo (excluídos os desligados por acidentes) consolidada do Apêndice A

| Motivos de Desligamento dos Reatores                                  | Região / País | EUROPA       | EUA          | Rússia      | Japão       | Canadá      | Total |
|---|---------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| Cumpriram seu propósito ou que deixaram de ser economicamente viáveis | Nº reatores   | 61           | 32           | 7           | 11          | 4           | 115   |
|   | %             | 53,0%        | 27,8%        | 6,1%        | 9,6%        | 3,5%        | 100%  |
| Prematuramente por razões políticas ou outros                         | Nº reatores   | 33           | 1            | 0           | 2           | 0           | 36    |
|   | %             | 91,7%        | 2,8%         | 0,0%        | 5,6%        | 0,0%        | 100%  |
| Total   | Nº reatores   | <b>94</b>    | <b>33</b>    | <b>7</b>    | <b>13</b>   | <b>4</b>    | 151   |
|   | %             | <b>62,3%</b> | <b>21,9%</b> | <b>4,6%</b> | <b>8,6%</b> | <b>2,6%</b> | 100%  |

Da Tabela 2, percebe-se que a grande experiência na área de descomissionamento está centralizada na Europa e Estados Unidos com 127 reatores desligados, equivalentes a 84,2% do número de reatores comerciais desligados (excetuando-se os por motivo de acidente).

Por este motivo e pelo fato de Angra 1 ser de tecnologia americana e de Angra 2 e 3 possuírem projeto alemão, este estudo se aprofundará nas experiências internacionais dos EUA (através de guias do EPRI e NRC) e da Europa, através de documentos da IAEA.

A itemização principal seguirá o Guia do EPRI para planejamento de Períodos de Transição de Usinas Nucleares (EPRI, 2016) com suplementação da visão da IAEA e seu Relatório Técnico de 2004 como complementação (IAEA, 2004)

#### 4.1. Estados Unidos (EPRI + NRC)

A experiência dos Estados Unidos é diversificada, e até setembro de 2017, dos reatores descomissionados, 13 estão utilizando a estratégia de descomissionamento protelado (com *SAFSTOR*) e 16 o descomissionamento imediato (*DECON*). (WNA, 2018)

Em 2016, segundo apresentação realizada por Michael Snyder, em evento sobre a experiência americana em Períodos de Transição, tínhamos o seguinte cenário nos EUA de plantas em Período de Transição e suas datas de desligamento (Snyder M., 2016):

• **Reatores desligados de forma não planejadas:**

- Central nuclear de Crystal River Unit 3 - Crystal River, Florida (2013)
- Central nuclear de Kewaunee – Kewaunee, Wisconsin (2013)
- Central nuclear de San Onofre, Units 2 & 3 - San Clemente, California (2013)
- Vermont Yankee Nuclear Power Station - Vermont, Vermont (2014)

• **Reatores desligados conforme planejado**

- Central nuclear de Fort Calhoun – Fort Calhoun, Nebraska (2016)
- Central nuclear de Clinton – Clinton, Illinois (2017)
- Central nuclear de Fitzpatrick - Oswego, Nova York (2017)
- Central nuclear de Quad Cities – Cordova, Illinois (previsto para 2018)
- Central Nuclear de Oyster Creek - Forked River, Nova Jérsei (previsto para 2019)
- Central nuclear de Pilgrim Nuclear - Plymouth, MA (previsto para 2019)
- Central Nuclear de Diablo Canyon – Avila Beach, CA (previsto para 2024/2025).

Recentemente, o EPRI emitiu um guia sobre o Período de Transição de 2016 (EPRI, 2016) com o intuito de difundir a experiência as questões e atividades que devem ser consideradas para a implantação desta fase tão importante deste projeto. Segundo este Guia, o planejamento do período de transição depende da estratégia de descomissionamento escolhida e pode ser dividido nos seguintes cenários:

- Transição para Desmantelamento Imediato planejado;
- **Transição para Desmantelamento Protelado planejado;**
- Transição para Desmantelamento Imediato não planejado;
- Transição para Desmantelamento Protelado não planejado.

Dentro da estratégia planejada para a CNAAA, Angra 1 estará no grupo de usinas com transição para o período de "safe storage" com um desmantelamento protelado planejado.

#### **4.1.1 Licenciamento segundo a NRC**

Os EUA não têm regulação específica para o período de transição, pois a NRC (Comissão Reguladora dos EUA) tem uma regulação específica para o processo de descomissionamento, que regulamenta a entrega de diversos documentos, onde vários afetam o Período de Transição, onde os principais são descritos em seguida (EPRI, 2016).

##### **4.1.1.1.1 Certificados de Término Permanente da Operação e remoção do Combustível**

Após a decisão da planta de uma data para desligamento permanente, esta deve submeter um certificado de Término Permanente de operação de acordo com a 10 CFR 50.82(a)(1)(i) e a 10 CFR 50.4 (b)(8). Da mesma forma, deve ser preparado um documento informando a retirada dos elementos combustíveis do reator. Estes certificados têm o objetivo de informar que a planta não mais operará o seu reator nuclear e nem seus internos e instrumentação.

##### **4.1.1.1.2 Relatório de Atividades de Descomissionamento pós-desligamento (PSDAR)**

Para a autorização do início das grandes atividades de descomissionamento, a planta deve fornecer informações ao público e ao órgão regulador descrevendo o plano de atividades para a descontaminação e desmantelamento que é chamado PSDAR. De acordo com a 10 CFR 50.82 (a) (4) (i) (U.S.NRC, 2017), o PSDAR deve ser emitido em até 2 anos após o desligamento do reator e deve seguir o formato do guia RG 1.185 (U.S.NRC, 2013), incluindo uma descrição das atividades de planejadas para o descomissionamento, incluindo a estratégia, um cronograma detalhado, o DCE (Estimativa de custos de Descomissionamento) revisado e uma avaliação do impacto ambiental.

##### **4.1.1.1.3 Estimativa de Custos de Descomissionamento (DCE) específica**

Várias estimativas de custo são enviadas à NRC durante o período operacional da usina e durante o descomissionamento conforme abaixo:

- Estimativa de Custos Preliminar (pDCE)

Esta estimativa de custos revisada periodicamente precisa ter uma versão atualizada 5 anos antes do desligamento da unidade, indicando os fatores de maior risco financeiro que possam impactar o descomissionamento.

- Estimativa de custos associados às atividades de descomissionamento conforme o PSDAR

Esta estimativa de custos é parte essencial do PSDAR e é necessária para a liberação pela NRC do primeiro montante financeiro para o início do descomissionamento. Até a emissão do PSDAR, apenas 3% do valor mínimo para descomissionamento é liberado. Quando o PSDAR é aprovado, a empresa tem direito a mais 20% do fundo, segundo a NRC.

As usinas nucleares americanas são obrigadas a ter um fundo de descomissionamento (DTF) que é coletado ao longo da sua vida operacional. O acesso a este fundo de descomissionamento nos EUA é governado pela 10 CFR 50.2 (U.S.NRC, 2017) e é liberado em percentuais do valor mínimo para o descomissionamento em função da entrega de documentos específicos como PSDAR, DCE, etc.

Através da regulação CFR 50.75 (U.S.NRC 50.75), é requerido que as plantas demonstrem que o fundo financeiro que elas estão coletando durante o período operacional será suficiente para o seu descomissionamento, e ainda apresentem uma metodologia para calcular um valor mínimo para o descomissionamento de uma usina em função do tipo (PWR ou BWR) e em função da capacidade térmica.

Utilizando-se desta metodologia de cálculos, segundo cálculos específicos para a CNAAA realizados pela Enercon Federal Services, para Angra 1 teríamos o valor mínimo de US\$ 432,600,000 e para Angra 2 e 3 US\$ 531,600,000 respectivamente (Eletronuclear, 2014). Recentemente, a estimativa de custos do descomissionamento da CNAAA foi recalculada com base em dados específicos da CNAAA, com valores atualizados de US\$ 601,211,984 para Angra 1, US\$708,292,836 para Angra 2 e US\$665,913,404 para Angra 3 (Enercon, 2017).

- Estimativa de custos de descomissionamento específica da planta (SSDCE)

A planta é obrigada a entregar 2 anos antes uma estimativa de custos com dados específicos da planta, incluindo os dados de projeto, desenhos, modificações e custos específicos para o seu desmantelamento, descontaminação e destinação.

- Estimativa de custos de descomissionamento da licença de término (LTDCE)

Esta estimativa é parte do plano de licença para o término de operação (LTP) e é uma atualização do DCE.

Os EUA possuem dois documentos que auxiliam e normatizam a preparação do DCE, que são a RG 1.202(U.S.NRC, 2001) e o NUREG -1713 (U.S.NRC, 2004).

#### **4.1.1.1.4 Revisão de documentos de projeto da planta**

Após o término das operações, as plantas devem continuar as suas atividades de vigilância e procedimentos requeridos pelas Especificações Técnicas (TS). Como muitos sistemas não são mais necessários para o descomissionamento, e a sua manutenção implica em muitos custos de pessoal, material, manutenção, entre outros, é essencial se revisar os documentos de projeto da unidade, incluindo as especificações técnicas e o Relatório Final de Análise de Segurança (FSAR), para refletir o novo status da usina. Este processo engloba a identificação dos acidentes que ainda são relevantes em um cenário sem combustível, reclassificação das estruturas e sistemas que não são mais importantes para a segurança, revisão de procedimentos, etc. Após a remoção do combustível do reator, com a revisão dos documentos, teremos as Especificações Técnicas sem combustível permanente (PDTS) e o Relatório de Análise de Segurança sem combustível (DSAR).

Nesta nova configuração da usina, é necessário se criar um procedimento para se reavaliar os sistemas da usina, com o objetivo de determinar se o sistema será necessário, se precisa ser modificado e quando não será mais necessário durante o descomissionamento. Neste processo, todos os sistemas precisam ser novamente categorizados e classificados, para saber quais precisarão de manutenção e vigilância.

#### **4.1.1.1.5 Outros documentos a serem submetidos ao Órgão Regulador**

Existem outros documentos que devem ser entregues ao Órgão Regulador, entretanto não são requisitos para o descomissionamento, mas devem ser preparados durante o período de transição e devem ser executados o mais rápido possível para se eliminar requisitos do órgão regulador que não são mais aplicáveis ao descomissionamento. Estes documentos são descritos a seguir.

#### **4.2.1.5.1 Exceções ao Plano de Emergência (EP)**

É importante se revisar o plano de Emergência de forma a adequar o mesmo à redução significativa de riscos após o término da operação da planta.

Durante o descomissionamento, os requisitos e recursos humanos ligados ao EP podem ser significativamente reduzidos em algumas fases, após os marcos abaixo:

- Após o Desligamento Permanente e remoção do Combustível do Reator (PSEP);
- Após o decaimento do combustível
- Após o Elemento Combustível usado ser enviado ao seu repositório intermediário
- Após a remoção dos Elementos Combustíveis da Central.

Após o desligamento permanente de um reator, as usinas americanas podem tipicamente reduzir seu pessoal de resposta a emergência em aproximadamente 50% baseado na redução de riscos. Para esta redução, é necessária uma solicitação para a licença de acordo com a 10CFR 50.90, revisando o EP identificando os recursos humanos que não são mais necessários.

O plano de emergência revisado, considerando o desligamento permanente da planta e a remoção do combustível, é chamado de Plano de Emergência de Desligamento Permanente (PSEP). As usinas americanas, de forma usual, reduzem ainda os requisitos do seu EP quando o combustível decai a níveis em que as consequências dos acidentes analisados fiquem abaixo dos limites permitidos, precisando submeter ao órgão regulador uma nova versão do EP, chamado de plano de emergência sem combustível permanente (PDEP).

Nesta revisão devem ser analisados os acidentes de base de projeto (DBA) que não mais serão aplicáveis. Tipicamente, os DBA ainda aplicáveis são: acidentes de manuseio de combustível (FHA), o de manuseio de casco de combustível e acidente de liberação radioativa de rejeito líquido ou aerossol. Também devem ser analisados acidentes além das bases de projeto (BDBA) em que haja perda de refrigerante.

De forma análoga aos casos acima, são feitas análises para a situação da transferência de combustível para um depósito externo e para quando sair da central nuclear, para o depósito final, conforme o NUREG-1738 (U.S NRC, 2001).

#### **4.2.1.5.2 Proteção Física e Salvaguardas**

Também existem mudanças em relação à proteção física que atenderá à 10 CFR 73.55 (U.S.NRC, 2017) enquanto houver combustível na piscina de combustível irradiado (SFP) e quando este for removido para uma instalação independente de

armazenamento de combustível usado (ISFSI), esta deve atender aos requisitos da 10 CFR 72.180 (U.S.NRC, 2017) e 10CFR72.210 (U.S.NRC, 2017).

#### **4.2.1.5.3 Exclusões da apólice de seguro nuclear**

É necessário se revisar a apólice de seguros da usina, visto que existe uma grande redução do risco nuclear, e o seguro pode ser reduzido significativamente, e deve ser requisitado ao órgão regulador da mesma forma que no plano de emergência. Esta redução deve seguir a 10 CFR 50.54 (w) (1) (U.S.NRC, 2017) e a 10 CFR 140.11 (a) (4) (U.S.NRC, 2017).

#### **4.2.1.5.4 Isenção do Fundo de Descomissionamento**

Caso seja necessário se utilizar o fundo de descomissionamento para alguma atividade não prevista para ser realizada com o fundo, como o gerenciamento de combustível usado, deve ser requerido uma isenção/exceção a este requisito da 10 CFR 50.75 (h) (2) (U.S.NRC, 2017) e 10 CFR 50.82 (a) (8) (i) (A) (U.S.NRC, 2017), provando que haverá suficiente fundo para o descomissionamento com o dinheiro que permanecer no mesmo.

#### **4.2.1.5.5 Programa de Requalificação para operadores / Programa de treinamento e Certificação de Manuseio de Combustível (CFH)**

Após o desligamento da planta, é obrigatória a implantação de um programa de treinamento certificado (CFH) para o manuseio de combustível usado. Estes operadores treinados deverão ter conhecimento e experiência para assegurar as atividades de manuseio, transferência e armazenamento do combustível usado na planta. Este programa deve estar alinhado com a 10 CFR 50.120 (U.S.NRC, 2017) sobre treinamento e qualificação de pessoal em usinas nucleares.

#### **4.2.1.5.6 Plano de Gerenciamento do Combustível Irradiado (IFMP)**

As usinas são obrigadas a emitir um plano de gerenciamento de combustível irradiado (IFMP) segundo a 10 CFR 50.54 (bb) (U.S.NRC), que devem ser entregues até 5 anos antes do final da licença de operação. Este plano deve apresentar as atividades relativas ao gerenciamento do combustível usado, mostrando sua conformidade com a norma.

#### **4.2.1.5.7 Plano de Qualidade para o Descomissionamento**

Antes do descomissionamento, é necessário se ter um plano de garantia da qualidade para a sua implantação, que deve ser atualizado com as normas relativas ao descomissionamento e operação de ISFSI.

#### **4.2.1.5.8 Solicitação de isenção de requisitos para guarda de informações**

Pode ser solicitada, ao órgão regulador uma permissão para desobrigar a empresa de guardar informações de sistemas que não existam mais ou que sejam desnecessários para a segurança.

#### **4.2.1.5.9 Plano para o Término da Licença (LTP)**

Deve ser submetida ao órgão regulador 2 anos antes da previsão de término da licença, um LTP que deve conter uma descrição da caracterização da planta, das atividades de desmantelamento que ainda precisam ser executadas, da remediação do sítio, o planejamento da inspeção radiológica final do sítio, uma estimativa específica dos custos de descomissionamento remanescentes, e um relatório ambiental, descrevendo qualquer informação relevante relativa às atividades restantes. Este LTP deve seguir a RG 1.179 (U.S.NRC, 2016), a NUREG 1700 (U.S. NRC, 2016) e a NUREG 1757 (U.S.NRC, 2016).

O período de transição para a NRC é concluído com a transferência da responsabilidade reguladora da organização responsável pela operação do reator, Escritório de Regulação de Reatores Nucleares (NRR), para a Organização responsável pelo programa de materiais nucleares, o Escritório de Segurança e Salvaguardas de Materiais Nucleares (NMSS).

#### **4.1.2 Gerenciamento de Comunicação do Projeto**

É essencial um plano de comunicação efetiva durante o Período de Transição, pois haverá muitas frentes de atividade e em função da novidade nos tipos de tarefas e trabalho, se faz necessária uma constante e eficaz comunicação dentre as diferentes partes interessadas “*Stakeholders*” no projeto, como os subcontratados, funcionários, órgão reguladores, comunidades da vizinhança etc.

Segundo o Guia do EPRI sobre o Período de Transição (EPRI, 2016), a ineficiência na comunicação pode causar impactos financeiros e no cronograma substancial durante o descomissionamento. Portanto, é fundamental manter uma boa comunicação com os funcionários, com as comunidades vizinhas e com o regulador durante o processo de descomissionamento. No início do processo de planejamento do descomissionamento e do Período de Transição, um plano de comunicação específico deve ser preparado e desenvolvido, com os seguintes objetivos principais:

- Aumentar a compreensão das comunidades locais dos planos para o Período de Transição e descomissionamento minimizando preocupações desnecessárias e obtendo apoio;



- Estabelecer uma boa relação de trabalho com o órgão regulador;
- Aumentar a compreensão dos funcionários sobre o programa de descomissionamento para obter o seu apoio ativo no atendimento das metas e objetivos da empresa;
- Fornecer suporte de comunicação aos diferentes grupos que planejam e fazem parte do projeto do Período de Transição e Descomissionamento.

As melhores práticas para melhorar a eficiência de um Plano de Comunicação durante o Período de Transição estão resumidas a seguir.

- Um painel consultivo comunitário (CAP) deve ser estabelecido. O CAP deve incluir representantes do sítio, cidadãos da comunidade, representantes do governo local, especialistas em descomissionamento da indústria, representantes do sindicato de trabalhadores da planta, e outras pessoas experientes afiliadas a outros grupos de interesse. O CAP deve se encontrar com uma frequência regular (por exemplo, trimestral). Além disso, o CAP deve se encontrar após grande marcos do descomissionamento que afetem a comunidade (exemplos estão listados no final desta seção). Se possível, essas reuniões devem ser transmitidas em uma estação de TV local.

- Um site deve ser criado e dedicado ao descomissionamento e suas fases, com os seguintes recursos sugeridos:

- Incluir uma página dedicada a todos os documentos públicos relacionados ao Período de Transição e Descomissionamento. Esta página deve incluir o acesso a apresentações e atas das reuniões da CAP, apresentações e atas de reunião de outras reuniões (por exemplo, reuniões com a NRC, etc.), documentos importantes submetidos ao regulador e documentos submetidos ao governo local.

- O site deve incluir uma página que permita que as pessoas se inscrevam para atualizações por e-mail e passeios a pé da planta. Esta página também deve permitir que as pessoas enviem mensagens e perguntas para o CAP.

- Dependendo da natureza da comunidade que envolve a planta, pode ser benéfico incluir algumas informações em vários idiomas no site.

Existem algumas típicas atividades / tópicos sobre o descomissionamento pelos quais a comunidade local se interessa. Recomenda-se que a planta comunique claramente os planos relativos a essas atividades / tópicos (e outras atividades

importantes) no início do processo de descomissionamento para minimizar atrasos e promover o apoio comunitário das abordagens planejadas. Essas atividades / tópicos podem incluir:

- Construção e colocação do ISFSI;
- Término final da licença e processo regulador da rescisão da licença;
- Planos para o futuro uso do site;
- Redução dos requisitos do EP;
- Isenções do fundo de descomissionamento;
- Isenções da apólice de seguros.

#### **4.1.3 Estrutura organizacional e Recursos Humanos**

No início do processo de planejamento do descomissionamento, as plantas devem realizar um estudo de pessoal para determinar quantos funcionários serão necessários ao longo das diferentes fases do descomissionamento e após os seus principais marcos (por exemplo, redução no escopo do EP). Além disso, neste momento, a gestão da planta também deve avaliar se quer gerenciar o descomissionamento ou contratar uma empresa responsável pela operação do descomissionamento (DOC). (EPRI, 2016)

Após o anúncio de desligamento permanente da planta, é comum aumentar o desânimo dos funcionários. No entanto, para um desligamento planejado, é necessário manter empregados suficientes para se operar com segurança a planta até a data do desligamento permanente. A melhor prática para minimizar as perdas de pessoal é criar um plano de retenção de funcionários. As características comuns dos planos de retenção de funcionários utilizados por plantas recentemente encerradas incluem bônus de retenção, aconselhamento de carreira e pacotes de aposentadoria antecipada para os funcionários que permanecem no site até o último dia de operação (ou até mais tarde, no Período de Transição e/ou desmantelamento). Além disso, as plantas geralmente ofereceram treinamento, oficinas sobre gerenciamento de carreira e aposentadoria e relocação para outros sítios operacionais de propriedade do dono da planta. Conforme descrito na seção anterior, as plantas devem se comunicar de forma clara e frequente com seus funcionários para assegurar uma transição suave para o desmantelamento.

Uma vez que o foco e os objetivos do trabalho durante o descomissionamento são diferentes do normal durante a operação, a planta deve planejar uma mudança cultural de uma cultura de segurança nuclear apropriada para uma planta operacional que seja mais focada no gerenciamento de riscos de segurança industrial e na exposição do trabalhador durante atividades de limpeza do site. Ou seja, embora alguns dos aspectos típicos da segurança nuclear ainda sejam relevantes durante o desmantelamento (isto é, ALARA e proteção radiológica), há uma maior ênfase na proteção contra acidentes mais típicos de obras e industriais. Portanto, o treinamento dos trabalhadores nesta nova missão / responsabilidades da planta e sua mudança cultural é necessária para auxiliar na retenção de funcionários, prevenção de acidentes e manutenção de boa eficiência das atividades. Para se preparar e implantar essa mudança cultural deve-se discutir as estratégias utilizadas para implantar mudanças culturais em outras plantas e desenvolver programas customizados para motivar os funcionários existentes para a nova missão a estarem prontos para as mudanças culturais necessárias que surgirão.

Para o êxito do projeto de descomissionamento, é de grande importância a definição de um grupo de funcionários para planejar o período de transição e descomissionamento o mais cedo possível antes do desligamento permanente da planta. Inicialmente, os integrantes deste grupo precisam apenas de dedicação parcial, podendo, em algumas empresas, constituir uma organização independente da parte operacional, com objetivos específicos, como é feito hoje na Suécia, com a criação de uma unidade específica de negócios dentro da empresa Vattenfall que será responsável pelo plano e implantação do descomissionamento de suas usinas nucleares (Vattenfall, 2017).

Na Vattenfall, este grupo de trabalho se reporta à alta direção da empresa, e é responsável pela atualização do plano de descomissionamento de acordo com a estratégia selecionada, com os seguintes objetivos: Desenvolvimento do projeto (tempo, custo e qualidade), Verificação das estimativas de custos, Avaliação dos riscos do projeto, Reconfiguração e seleção dos sistemas que serão desativados, Gestão do combustível usado, Gestão de resíduos, Preparação da documentação de segurança, Interação com as partes interessadas, Planos de pessoal, Especificação dos marcos/metasp do período de transição, Gestão de documentos, Implantação da estratégia de gestão de mudanças, etc.

Segundo a IAEA, é essencial a indicação de um gerente de projetos sênior com as qualificações e autoridade delegada necessárias para a gestão do mesmo, ficando

responsável pela sua liderança. Durante o período de transição, muitas tarefas operacionais são executadas, como, por exemplo, a remoção/manuseio de combustível usado, drenagem dos sistemas, remoção de rejeitos, etc., e este fato vai se refletir na necessidade de uma estrutura híbrida durante o período de transição, com a manutenção da estrutura operacional e de uma modificada durante o descomissionamento. É muito importante a definição da nova estrutura com as responsabilidades de cada função que será criada. A Figura 7 sugere uma estrutura genérica para o período de transição (IAEA,2004) que poderá ser ajustada à realidade da empresa quando da execução do projeto e será simplificada após o período de transição e início do período de “safe storage” ou descomissionamento.



Figura 7 - estrutura genérica para o período de transição (IAEA, 2004).

O impacto no número de empregados e contratados será inevitável, e até o final do período de transição, o número de empregados pode não ter grandes alterações devido ao grande número de atividades operacionais que precisam ser executadas neste período. A Figura 8 (IAEA, 2004) ilustra um gráfico genérico da variação de pessoal durante o período de transição, “Safe Storage” e desmantelamento.

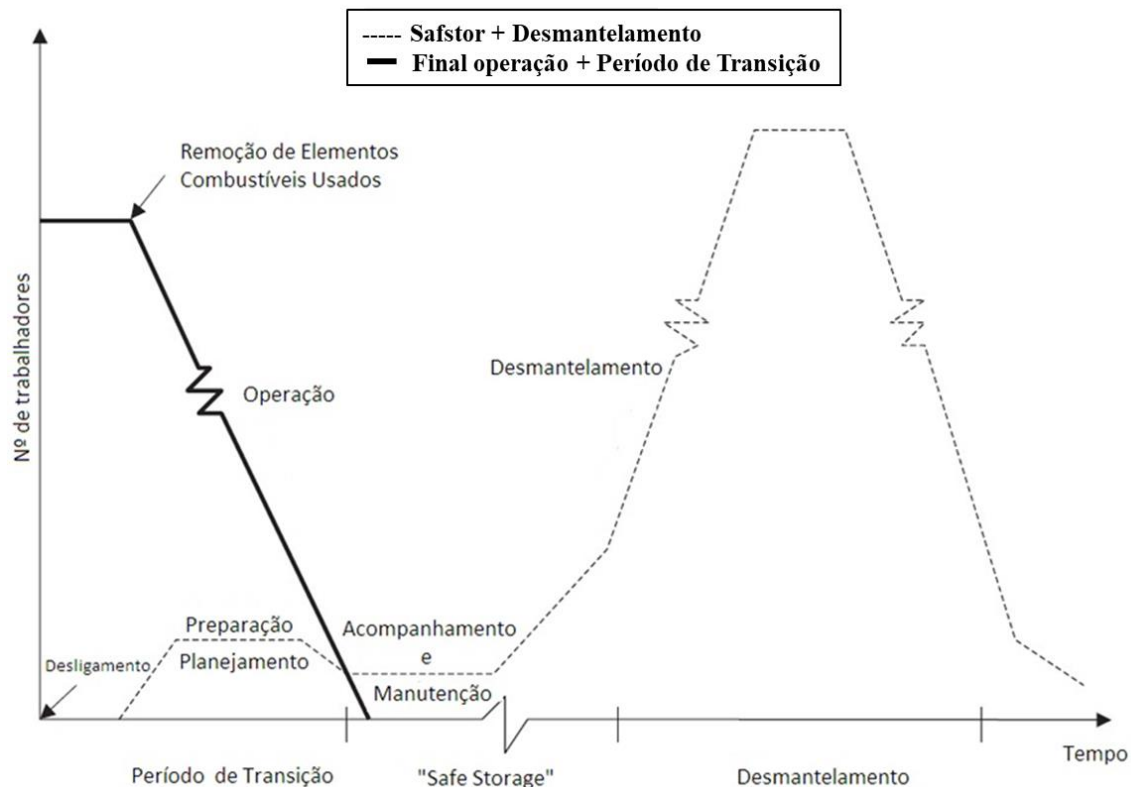


Figura 8 - Gráfico genérico da variação de pessoal período de transição, "Safe Storage" e desmantelamento (IAEA, 2004).

A redução do número de funcionários dependerá diretamente da estratégia de execução das tarefas do período de transição e descomissionamento pela própria equipe ou por empresa terceirizada. Muitas vezes, para se diminuir o número de demissões, opta-se pelo treinamento do próprio pessoal para realizar o máximo de atividades possíveis após o desligamento permanente.

Também deve ser analisada a transferência de pessoal para outras unidades e/ou funções para assegurar a motivação e retenção da equipe.

O período de transição é de grande importância e essencial para que as atividades que serão executadas no período de *safe storage* e/ou descomissionamento sejam executadas da maneira mais eficiente possível, atendendo às metas estabelecidas de custo, prazo e segurança.

#### 4.1.4 Avaliação do Histórico do Sítio (HSA) e sua Caracterização Inicial.

##### 4.1.4.1 Avaliação do Histórico do Sítio (HSA)

A HSA é um resumo e avaliação da contaminação existente e de derramamentos de materiais com contaminação radiológica e perigosos, com a caracterização do local e outros levantamentos radiológicos que ocorreram ao longo

da vida útil da planta. O objetivo do documento é resumir a extensão e a natureza da contaminação na planta para facilitar esforços de caracterização do local mais completo e eficiente durante o desmantelamento. A abordagem para obter as informações necessárias, os principais resultados e as lições aprendidas com a preparação da HSA para oito plantas nos EUA são descritas em detalhes em (EPRI, 2004):

Uma grande lição aprendida de sites desmantelados anteriores é que todos os registros de eventos de contaminação [requeridos de acordo com 10 CRF 50.75 (g) (U.S.NRC, 2017) devem ser mantidos em um arquivo abrangente e organizado durante a operação normal para minimizar o esforço necessário para completar a HSA para o desmantelamento.

Uma vez que o objetivo da HSA é facilitar esforços de caracterização de sites mais completos e eficientes (e uma vez que a caracterização do site deve ser realizada otimamente, logo após o encerramento permanente ou durante o ciclo antes do encerramento permanente), é importante realizar a HSA no início do planejamento do processo de descomissionamento. Além disso, o desenvolvimento precoce da HSA ajudará a garantir o trabalho de pessoas mais experientes da planta na construção da HSA e no processo de coleta de informações. Portanto, na medida do possível, recomenda-se que a HSA seja completada com cerca de um ciclo antes da data do desligamento permanente. Desta forma, se necessário, o documento precisará apenas de uma pequena atualização após o desligamento permanente considerar quaisquer eventos do último ciclo operacional.

Uma referência do formato do documento pode ser encontrada em (EPRI, 2004). O HSA em geral contém as seguintes informações: Metodologia de Avaliação do HSA, Limites do Sítio, Documentos revistos, inspeções do sítio, entrevistas com pessoal, histórico do sítio, História da planta com os anos de operação, tipo de instalação, descrição das operações, envolvimento regulador; Licenças e permissões, procedimentos de tratamento de rejeitos, prováveis fontes de radiação, descrição de derrames ou liberações radioativas, manifestos de rejeitos, inventário de radionuclídeos, ações de emergência e descrição da área no entorno do sítio, e áreas contaminadas, com probabilidade de contaminação, mapeamento de áreas que poderão ser contaminadas ou afetadas, e outras preocupações ambientais.

#### **4.1.4.2 Caracterização Inicial do Sítio**

A caracterização inicial do site é uma sequência de medidas que realizam ações corretivas e de levantamento final do site. Alguns dos objetivos da caracterização inicial do site são fornecer uma avaliação de riscos preliminar, avaliar a segurança das operações durante o desmantelamento, determinar o tipo e extensão da atividade radiológica, estimar a variabilidade da contaminação, identificar áreas não impactadas e verificar hipóteses de modelagem de dose. Semelhante à HSA é sugerida a caracterização inicial do site no início do processo de planejamento do desmantelamento para guiar os processos de descontaminação e desmantelamento no futuro. Portanto, é recomendável que a caracterização inicial do sítio seja conduzida enquanto a planta ainda estiver em operação durante o último ciclo operacional aproximadamente de 3 a 6 meses antes da data do desligamento permanente. Depois, após o desligamento permanente, apenas será necessário se verificar se alguma contaminação adicional ocorreu e se avaliar possíveis áreas que não tinham o seu acesso possível durante a operação (EPRI, 2016).

Além da HSA e da caracterização inicial radiológica do sítio, as plantas também devem realizar esforços semelhantes para completar uma HSA não radiológica e caracterização inicial do site para identificar materiais perigosos na planta, como amianto, chumbo, etc. A remediação desses materiais requer controles de trabalho adicionais, manuseio e embalagem de materiais especiais e treinamento especial para os trabalhadores. As experiências passadas de descomissionamento mostraram que a identificação tardia de materiais perigosos aumentou significativamente os custos com o descomissionamento e resultou em atrasos significativos (EPRI, 2000). Portanto, recomenda-se que a HSA não radiológica e os esforços de caracterização do site inicial sejam conduzidos em paralelo com o HSA radiológico e os esforços iniciais de caracterização do sítio.

#### **4.1.5 Descontaminação Química dos Sistemas**

A maioria das plantas que optaram pelo desmantelamento imediato, realizou uma descontaminação química completa do sistema de refrigeração do reator (RCS) e sistemas relacionados. O objetivo deste tipo de descontaminação é reduzir significativamente as taxas de dose na planta para minimizar a exposição dos trabalhadores durante as atividades de desmantelamento. Tipicamente, para determinar se a planta deve realizar uma descontaminação química do sistema completo, as plantas realizam uma avaliação para determinar a exposição total do trabalhador com e sem a descontaminação. Para uma planta que opte pelo Desmantelamento imediato, a descontaminação normalmente economizará uma dose

significativa do trabalhador e, portanto, a planta deverá realizar a operação por recomendação ALARA.

Outra forma de uma planta nos EUA determinar se uma descontaminação química do sistema completo deve ser realizada é comparar a exposição total prevista do trabalhador para o desmantelamento com a exposição total do trabalhador apresentada em (U.S.NRC, 2002) para o desmantelamento. Se a exposição total projetada do trabalhador para o desmantelamento for maior do que o valor em (U.S.NRC, 2002) para o desmantelamento, geralmente deve ser realizada uma aplicação de descontaminação. Caso contrário, a planta deve justificar por que a NRC deve permitir que a exposição total do trabalhador para o desmantelamento exceda o valor em (U.S.NRC, 2002). O conceito ALARA (tão baixo quanto razoavelmente exequível) e da justificativa da dose a que o trabalhador será exposto devem ser aplicados nesta avaliação.

As informações sobre vários processos completos de descontaminação química do sistema e as experiências e lições aprendidas durante os processos de descontaminação química durante o descomissionamento podem ser encontradas em (EPRI,1999). Abaixo seguem benefícios em ao executarmos uma descontaminação química completa dos sistemas logo após o seu desligamento permanente (EPRI, 1999):

- Realizar a descontaminação utilizando equipamentos da planta, em vez de equipamentos fornecidos pelo contratante (para economizar custos, reduzir o tempo de instalação e desmobilização e aumentar a eficácia da descontaminação). Este equipamento da planta estará em um estado operacional, logo após o desligamento permanente, enquanto que se a atividade de descontaminação química for atrasada por muitos meses ou até anos após o desligamento permanente, um esforço significativo poderá ser necessário para manter a operabilidade do equipamento ou para assegurar que a condição do equipamento seja aceitável (EPRI, 2016).

- Maior probabilidade de aproveitamento e disponibilidade da experiência de pessoal logo após o desligamento permanente do que no desmantelamento. Esses funcionários da planta podem ajudar a planejar e executar a descontaminação.

- A descontaminação resultará em uma maior redução na exposição à dose de pessoal se realizada antes do desmantelamento.



#### 4.1.6. Condições para "Cool and Dim" ou "Cold and Dark"

Estabelecer condições para um estado de "Cool and Dim" refere-se à desenergização, despressurização, drenagem e isolamento de todos os sistemas da planta que não são mais necessários para o desmantelamento e com a instalação de uma nova fonte de energia temporária para os sistemas da planta necessários e que também deverá ser usada durante o desmantelamento. Outras tarefas tipicamente envolvidas no estabelecimento de condições "Cool and Dim" incluem (EPRI, 2016):

- Remoção de todos os resíduos operacionais;
- Mudança de sala de controle;
- Modificação dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) de vários edifícios para garantir o controle de contaminação radioativa e assegurar a habitabilidade.

Os principais objetivos de estabelecer "Cool and Dim" são preparar o sítio para o desmantelamento é minimizar o risco de que um sistema de energia energizado possa ser desmantelado e causar acidentes com descargas elétricas aos trabalhadores. As atividades para o estabelecimento do "Cool and Dim" constituem um pacote importante que deve ser concluído antes do início das principais atividades de desmantelamento. Por isso, no desmantelamento imediato, é esperado que seja um caminho crítico durante o período de transição. Para minimizar a duração do período de transição, recomenda-se que o planejamento para estabelecer as condições de "Cool and Dim" comece 1 a 2 anos antes da data do encerramento permanente e que suas atividades sejam iniciadas logo após o desligamento permanente.

Os termos "Cold and Dark" e "Cool and Dim" são frequentemente usados indistintamente na literatura. As verdadeiras condições de "Cold and Dark" geralmente se referem a uma planta completamente desenergizada. No entanto, o encerramento das plantas nos EUA nos últimos 20 anos não estabeleceu condições verdadeiras de "Cold and Dark" devido a problemas com a desenergização total de todos os sistemas de plantas (geralmente envolvendo condensação no interior, resultando em condições de trabalho inseguras). Por isso, a maioria das plantas estabeleceu condições "Cool and Dim" ou condições limitadas de "Cold and Dark". Estabelecendo as condições de "Cool and Dim" envolve as mesmas atividades necessárias para estabelecer condições de "Cold and Dark", mas também incluem a reenergização e a modificação de certos sistemas que são necessários para o descomissionamento (por exemplo, o

sistema de ventilação e outros sistemas necessários para assegurar boas condições de trabalho) (EPRI, 2016).

#### **4.1.7. Remoção de Materiais Inflamáveis e Transição para uma Brigada de Incêndio “Incipiente” (IFB)**

Depois de enviar a Certificação de Desligamento Permanente e Certificação de Remoção Permanente de Combustível do Reator, as usinas dos EUA podem mudar de uma brigada de incêndios para o sítio “*on-site*” (tipicamente de cinco pessoas) para uma brigada de bombeiros incipiente IFB (normalmente três pessoas) conforme permitido pela 10 CFR 50.48(f) (U.S.NRC, 2017). Normalmente, para justificar essa mudança, as plantas devem remover quantidades suficientes de materiais inflamáveis da planta. Portanto, recomenda-se que a remoção de materiais inflamáveis comece logo após o desligamento permanente para facilitar essa mudança.

Durante o descomissionamento, os membros da IFB realizam tarefas normais da planta até receber um alarme de incêndio, sobre o qual suas responsabilidades mudam para as funções de resposta ao fogo. O IFB apenas tentará extinguir um incêndio se for descoberto na fase inicial. Se um incêndio for descoberto após a fase inicial, fontes externas fornecerão suporte de resposta ao fogo. Para suportar a redução de uma brigada de incêndio de um sítio para a IFB, as plantas geralmente entram em acordo com o corpo de bombeiros local para fornecer esse suporte complementar.

#### **4.1.8. Gerenciamento de Combustível Usado**

OS EUA e muitos outros países não possuem um repositório final de combustível usado (e não reprocessam o combustível usado). Nestes países, instalações são necessárias para armazenar o combustível gasto até um repositório final estar disponível. Nos Estados Unidos, as plantas tipicamente escolheram transferir o combustível irradiado para uma instalação de armazenamento a seco no local (ISFSI), em vez de armazenar o combustível irradiado na SFP com base em avaliações econômicas e facilitar o desmantelamento do edifício do combustível e sistemas de suporte associados. Para as instalações que já possuem um ISFSI é necessário que se avalie o tamanho da mesma de forma a comportar todo o combustível presente na SFP. Quando uma instalação centralizada para receber todo este combustível usado estiver construída, as ISFSI não serão mais necessárias, da mesma forma, nos países onde o combustível gasto é reprocessado. Durante o início da fase de planejamento do desmantelamento (2 a 3 anos antes da data do

desligamento permanente), as plantas devem avaliar as opções de disposição de combustível usado disponíveis.

Nos EUA, as plantas podem começar a dismantelar sistemas e estruturas fora do edifício do combustível antes do combustível irradiado ter sido transferido para o armazenamento a seco (por exemplo, atualizando o SFP e os sistemas de suporte para um SFPI). Com isso a duração do período de transição pode não estar diretamente relacionada à transferência do combustível irradiado para o ISFSI. No entanto, prevê-se que transferir o combustível irradiado para o ISFSI o mais cedo possível reduzirá os custos de dismantelamento (por exemplo, facilitando reduções em EP, TS e requisitos de segurança). Uma vez que o combustível gasto deve decair no SFP por vários anos antes de poder ser transferido com segurança para o armazenamento a seco, geralmente de 3 a 5 anos após a data do desligamento permanente. Portanto, existe alguma flexibilidade quando o ISFSI deve ser concluído ou ampliado, sendo que sua construção deve começar dentro de ~ 1,5 anos após a data do desligamento permanente (e de preferência antes) para não atrasar a transferência do combustível irradiado para o ISFSI. Conseqüentemente, o projeto do ISFSI, licenciamento e permissão deve começar mais cedo (EPRI, 2016).

As seguintes considerações podem ser feitas com base na experiência americana:

- A construção do ISFSI deverá demorar 2 anos;
- A transferência do combustível irradiado para o ISFSI deverá levar ~ 1,5 anos.

Portanto, durante o planejamento, recomenda-se que as plantas avaliem (1) o tempo necessário para projetar, permitir e construir o ISFSI, (2) o tempo necessário para transferir o combustível irradiado para o ISFSI e (3) a quantidade de tempo de decaimento requerido antes que o combustível usado mais quente possa ser transferido para armazenamento seco.

### **Modificações no Edifício do Combustível**

Nos EUA, as plantas podem começar a dismantelar sistemas e estruturas fora do edifício do combustível irradiado antes do combustível irradiado ter sido transferido para o armazenamento a seco. Para facilitar isso, muitas plantas de dismantelamento modificaram o SFP e os sistemas de suporte para serem independentes de outros sistemas de plantas. Isso geralmente é referido como modificar ou atualizar o SFP em

uma “Ilha” com a SFP (chamada SFPI). O objetivo das modificações é eliminar o risco de que um sistema de suporte SFP possa ser danificado através de operações de desmantelamento fora do edifício do combustível. Para determinar se o SFP e os sistemas de suporte devem ser modificados para um SFPI, as plantas devem realizar uma análise de custo-benefício, considerando os fatores abaixo (EPRI, 2016):

- O custo da implantação da SFPI;
- Tempo para que a SFPI esteja operacional, levando em consideração quando será possível se transferir os últimos SFA retirados do último núcleo do reator;
- Impacto no cronograma e nos riscos das atividades do período de transição e de descomissionamento.

#### **4.1.9 Remoção / Redução de Pontos Quentes (*Hot Spot*)**

A remoção e/ou redução de pontos quentes consiste em identificação e remoção de pontos com alta radioatividade/contaminação. É vantajoso remover pontos quentes tão cedo quanto possível durante o descomissionamento para minimizar a dose do trabalhador. No entanto, normalmente, o processo de remoção de um ponto quente envolve a remoção dos componentes ou partes dos componentes que contêm pontos quentes e por isso, às vezes, a remoção do *hot spot* terá que ser adiada até que algumas ou todas as seguintes atividades tenham sido concluídas (EPRI, 2016):

- Descontaminação química total do sistema (se realizada): esta atividade exige que o RCS e sistemas de suporte estejam intactos. (Além disso, a descontaminação química do sistema completo pode remover / reduzir alguns pontos quentes e pode mover outros).

- *Cool and Dim*: Dependendo da técnica de remoção / redução de ponto quente utilizada, pode ser necessário estabelecer condições de *Cold and Dark* do componente antes da remoção / redução de pontos quentes. Por exemplo, se o componente ou as partes do componente que contenham pontos quentes serão removidos (por exemplo, abrindo o componente, cortando o componente, etc.), esses componentes devem ser desenergizados, despressurizados, drenados e retirados do serviço antes da remoção, para que a remoção possa ser conduzida com segurança.

- Implantação de SFPI / Transferência de combustível usado para um ISFSI: os hot spots localizados no equipamento de suporte SFP não podem ser removidos até que o combustível seja removido do SFP ou até que o equipamento de suporte da SFP não seja mais necessário.

Portanto, recomenda-se que as plantas iniciem o processo de identificação e remoção de ponto quente em duas etapas. A primeira etapa deve ser realizada em paralelo, ou antes, da descontaminação química completa do sistema (se realizada). Nesta primeira etapa, os pontos quentes devem ser identificados e removidos nas áreas fora do caminho de fluxo de contaminação. Em seguida, após a descontaminação química do sistema completo (se realizada), a segunda etapa da remoção de pontos quentes deve ser realizada com o objetivo de identificar e remover pontos quentes que estavam no caminho de fluxo de descontaminação. Em ambos os estágios, recomenda-se que as atividades de remoção / redução de ponto quente comecem paralelamente com as atividades para estabelecer condições *Cold and Dim*. Por exemplo, logo após condições de *Cold and Dim* serem estabelecidas para um equipamento específico, os pontos quentes devem ser removidos desse equipamento.

#### **4.1.10 Remoção de isolamento de amianto (quando aplicável)**

Antigamente, em projetos de descomissionamento, a remoção do amianto era uma grande atividade que requeria muita mão de obra. Experiências anteriores indicaram que é melhor se executar a remoção do amianto no início do projeto de descomissionamento pelos seguintes motivos:

- A remoção de amianto, geralmente, requer o isolamento da área;
- A remoção de amianto de um componente ou sistema não pode ser conduzida ao mesmo tempo que o desmantelamento do componente/sistema;
- A remoção de amianto limpa o caminho para remover os sistemas mais tarde;
- A remoção de amianto, normalmente, não exige suporte de proteção radiológica, o que é tipicamente utilizado em várias outras tarefas logo após o desligamento permanente;

A remoção de amianto pode ser dividida em vários subprojetos menores se necessário. Sendo assim, podem ser adicionados ou removidos recursos humanos, com base na necessidade de mão de obra de outras atividades de transição. Baseado nisso, é recomendado que o projeto de remoção de amianto comece logo após o desligamento permanente e que o projeto seja estruturado com muitos marcos intermediários para facilitação do trabalho.

#### **4.1.11. Desmantelamento e/ou Liberação de Sistemas e prédios não radioativos**

A planta deve considerar o desmantelamento e/ou a liberação de sistemas e prédios não radioativos durante o período de transição. Essas atividades são

relativamente de baixo custo e são benéficas no início do processo de descomissionamento para liberar espaço no local para as atividades seguintes de desmantelamento, para reduzir o potencial de contaminação dessas áreas não radioativas, e minimizar as necessidades de monitoramento dessas áreas ao longo do descomissionamento. No entanto, antes de desmantelar os edifícios/instalações (prédios de escritórios, estacionamentos, etc.), uma análise deve ser executada para estimar as necessidades de construções/instalações ao longo do descomissionamento. No passado, já foram demolidos prédios que poderiam ser úteis para armazenamento em momentos posteriores.

De forma similar à remoção de amianto, esse projeto pode ser dividido em variados subprojetos, se necessário (ex., desmantelando um sistema único, andar ou prédio). Portanto, o pessoal pode ser adicionado ou removido desta tarefa baseado na necessidade de mão-de-obra em outra atividade de transição de desmantelamento. Baseado nesses fatos é recomendado que o desmantelamento dos sistemas / prédios não radioativos comece logo após o desligamento permanente e que o projeto seja estruturado com vários marcos intermediários de forma a facilitar a organização do trabalho com maior eficiência e flexibilidade de utilização de pessoal

#### **4.1.12 Atividades do Período de Transição segundo a U.S.NRC e experiências de algumas usinas americanas semelhantes a Angra 1**

A Tabela 3 lista a situação do descomissionamento das usinas licenciadas pela NRC nos Estados Unidos. Serão analisadas algumas das experiências destas plantas de forma a se comparar com a experiência europeia para listar as atividades propostas para o período de transição de Angra 1.

Segundo o guia regulador da NRC 1.185 (U.S.NRC, 2013), as seguintes atividades devem constar nas atividades pós-desligamento permanente, no planejamento de uma usina para o *safe storage*:

- a. Drenagem dos sistemas e remoção das resinas dos filtros de troca iônica;
- b. Descontaminação de áreas específicas de alta dose;
- c. Remoção de rejeitos de baixa e média atividade e envio e disposição para o repositório final;
- d. Remoção/Destinação, envio ou processamento de SFA;
- e. Reenergização ou desenergização de sistemas selecionados;

f. Reconfiguração do Sistema de ventilação e de proteção contra incêndio para uso no período de *safe storage*;

g. Preparação de Planos de Inspeção e monitoração para o *safe storage*;

h. Manutenção de quaisquer sistemas críticos para o desmantelamento durante o período de *safe storage*;

i. Gerenciamento dos sistemas que possam permanecer conectados a unidades ainda operacionais no site;

j. Reestruturação organizacional da planta e de pessoal.

Tabela 3 - Situação de Descomissionamento dos reatores desligados licenciados pela NRC (U.S.NRC, 2018)

| <b>Situação de de Descomissionamento dos reatores desligados licenciados pela NRC</b> |             |                    |                     |                   |                             |
|---|-------------|--------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| <b>Reator</b>   | <b>Tipo</b> | <b>Localização</b> | <b>Desligamento</b> | <b>Situação</b>   | <b>Combustível no sítio</b> |
| Big Rock Point  | BWR         | Charlevoix, MI     | 1997                | ISFSI apenas      | SIM                         |
| Crystal River 3   | PWR         | Crystal River, FL  | 2013                | SAFSTOR           | SIM                         |
| Dresden 1   | BWR         | Morris, IL         | 1978                | SAFSTOR           | SIM                         |
| Fermi 1   | FBR         | Monroe Co., MI     | 1972                | SAFSTOR           | NÃO                         |
| Fort St. Vrain  | HTGR        | Platteville, CO    | 1989                | ISFSI apenas      | SIM                         |
| GE VBWR   | BWR         | Alameda Co., CA    | 1905                | SAFSTOR           | NÃO                         |
| Haddam Neck   | PWR         | Haddam Neck, CT    | 1996                | ISFSI apenas      | Yes                         |
| Humboldt Bay 3  | BWR         | Eureka, CA         | 1976                | DECON             | SIM                         |
| Indian Point 1  | PWR         | Buchanan, NY       | 1974                | SAFSTOR           | SIM                         |
| Kewaunee  | PWR         | Carlton, WI        | 2013                | SAFSTOR           | SIM                         |
| LaCrosse  | BWR         | LaCrosse, WI       | 1987                | DECON             | SIM                         |
| Maine Yankee  | PWR         | Wiscasset, ME      | 1996                | ISFSI apenas      | SIM                         |
| Millstone 1   | BWR         | Waterford, CT      | 1988                | SAFSTOR           | SIM                         |
| N.S. Savannah   | PWR         | Norfolk, VA        | 1970                | SAFSTOR           | NÃO                         |
| Pathfinder  | BWR         | Sioux Falls, SD    | 1967                | Licença Terminada | NÃO                         |
| Peach Bottom 1  | HTGR        | York Co., PA       | 1974                | SAFSTOR           | NÃO                         |
| Rancho Seco   | PWR         | Sacramento, CA     | 1989                | ISFSI apenas*     | SIM                         |
| San Onofre 1  | PWR         | San Clemente, CA   | 1992                | SAFSTOR           | SIM                         |
| Saxton  | PWR         | Saxton, PA         | 1972                | Licença Terminada | NÃO                         |
| Shippingport  | PWR         | Shippingport, PA   | 1982                | Licença Terminada | NÃO                         |
| Shoreham  | BWR         | Suffolk Co., NY    | 1989                | Licença Terminada | NÃO                         |
| Three Mile Island 2   | PWR         | Middletown, PA     | 1979                | SAFSTOR**         | NÃO                         |
| Trojan  | PWR         | Portland, OR       | 1992                | ISFSI apenas      | SIM                         |
| Vermont Yankee  | BWR         | Vernon, VT         | 2015                | SAFSTOR           | SIM                         |
| Yankee Rowe   | PWR         | Franklin Co., MA   | 1991                | ISFSI apenas      | SIM                         |
| Zion 1  | PWR         | Zion, IL           | 1997                | DECON             | SIM                         |
| Zion 2  |             |                    | 1996                |                   |                             |

 Descomissionamento finalizado

\* Além da ISFSI, Rancho Seco possui um depósito de baixo nível de atividade

\*\* Armazenamento de combustível na própria piscina de combustível monitorado

Serão analisadas as atividades e experiências das usinas americanas abaixo e suas particularidades por apresentarem similaridades em relação a Angra 1. As usinas são as de Kewaunee, Crystal River e Zion.

#### **4.1.12.1 Usina Nuclear de Kewaunee**

A usina nuclear de Kewaunee é do tipo PWR, que iniciou sua operação em 1974, com potencia de 590 MWe. A decisão do seu desligamento permanente ocorreu em outubro de 2012, e ela desligou em maio de 2013. Em fevereiro de 2013 (3 meses antes do seu desligamento), foi encaminhado à U.S.NRC o seu PSDAR, indicando que a mesma ficaria em período de Safstor por 50 anos até o início do seu desmantelamento. O seu período de transição teve o seu término no final de 2014 com uma duração de 1,6 anos.

As seguintes atividades, de forma resumida foram executadas durante o período de transição:

- Transferência completa do combustível usado para a sua ISFSI;
- Drenagem da SFP e de rejeitos líquidos provenientes da sua descontaminação;
- Limpeza e drenagem dos sistemas que não serão utilizados no desmantelamento, e desnecessários com a desativação da ISFSI;
- Remoção e disposição das resinas e filtros de troca iônica usados;
- Planejamento da segurança física do site para o período de *safe storage*.

Pode-se consultar com mais detalhes alguns modelos de PDTS de algumas usinas americanas no site da NRC, como no caso da usina nuclear de Kewaunee (Kewaunee, 2014).

##### **4.1.12.1.1 Modificações nas Especificações Técnicas após o desligamento permanente - Kewaunee**

Logo após o desligamento permanente, a planta solicitou uma revisão das especificações técnica (PDTS) à NRC conforme a Tabela 4.



Tabela 4 - Resumo das seções das TS que foram removidos e das que permaneceram após o desligamento permanente da usina de Kewaunee (Kewaunee, 2014).

| Seções Removidas  | Seções mantidas parcialmente             |
|---|--|
| 2.0 – Limites de Segurança                                    | 1.0 – Uso e Aplicação                    |
| 3.1 – Sistemas de Controle de Reatividade                     | 3.0 – Condições Limite de Operação (LCO) |
| 3.2 – Limites de Distribuição de Potência                     | 3.0 – Requisitos de vigilância (SR)      |
| 3.3 – Instrumentação  | 3.7.13 – Nível da água da SFP            |
| 3.4 – Sistemas de Refrigeração do Reator                      | 3.7.14 – Concentração de Boro na SFP     |
| 3.5 – Sistemas de Refrigeração de Emergência do Núcleo (ECCS) | 3.7.15 e 4.3 – Armazenamento de SFA      |
| 3.6 – Sistemas da Contenção                                   | 4.1 – Sítio                              |
| 3.7 – Outros sistemas da planta (3.7.1 a 3.7.12 e 3.7.16)     |  |
| 3.8 – Sistemas Elétricos de Potência                          | 5.0 – Controles Administrativos          |
| 3.9 – Operações de recarga                                    |  |
| 4.2 – Núcleo do Reator  |  |

Quando foram transferidos todos os elementos combustíveis usados para a ISFSI houve uma nova revisão das especificações técnicas conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo das seções da TS que foram removidos e das que permaneceram após a transferência total dos elementos combustíveis usados para o ISFSI da usina de Kewaunee (Kewaunee, 2014).

| Seções Removidas                                      | Seções mantidas parcialmente                |
|---|---|
| 1.0 –Uso e Aplicação                                  | 4.1 – Site                                  |
| 3.0 – Referente às Condições Limite de Operação (LCO) | 4.3 – Armazenamento de Elemento Combustível |
| 3.0 – Referente aos Requisitos de Vigilância (SR)     | 5.7 – Área de alta radiação                 |
| 3.7.13 – Nível da água da SFP                         |   |
| 3.7.14 – Concentração de Boro na SFP                  |   |
| 3.7.15 Armazenamento de SFA                           |   |
| 5.1 – Responsabilidades                               |   |

|   |  |
|---|--|
| 5.2 – Organização                           |  |
| 5.3 – Qualificação de pessoal da Unidade    |  |
| 5.4 – Procedimentos                         |  |
| 5.5 – Programas e manuais                   |  |
| 5.6 – Relatórios de atendimento à regulação |  |

#### 4.1.12.2 Usina de Crystal River 3 (Duke Energy, 2013)

É uma usina de 2 loops da Babcock and Wilcox que iniciou sua operação comercial em 1977, com 860MWe. Em fevereiro de 2013, teve a decisão de desligamento, após estar desativada desde 2009, após 3 incidentes ocorridos durante a troca do seu gerador de vapor. A usina decidiu pela estratégia de *safe storage* por um período de 50 anos.

Abaixo seguem suas principais atividades:

- Completar a transferência de SFA para o ISFSI;
- Reconfiguração dos sistemas de segurança nuclear e de vigilância (após o final da transferência dos SFA);
- Drenagem da SFP e processamento do seu rejeito líquido;
- Limpeza e drenagem dos sistemas que não mais serão utilizados;
- Remoção e disposição das resinas e filtros de troca iônica usados;
- Planejamento da segurança física do site para o período de *safe storage*.

##### 4.1.12.2.1 Modificações nas Especificações Técnicas após o desligamento permanente – Crystal River 3 (Duke Energy, 2013)

Logo após o desligamento permanente, a planta solicitou uma revisão das especificações técnica (PDTS) a NRC conforme a Tabela 6:

Tabela 6 - Resumo das seções da TS que foram removidos e das que permaneceram após o desligamento permanente da usina de Crystal River (Duke Energy, 2013).

| Seções Removidas                          | Seções mantidas parcialmente                          |
|---|---|
| 2.0 – Limites de Segurança                | 1.0 –Uso e Aplicação                                  |
| 3.1 – Sistemas de Controle de Reatividade | 3.0 – Referente as Condições Limite de Operação (LCO) |
| 3.2 – Limites de Distribuição de Potência | 3.0 – Referente aos Requisitos de Vigilância (SR)     |

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 3.3 – Instrumentação  | 3.7.13 – Nível da água da SFP        |
| 3.4 – Sistemas de Refrigeração do Reator                      | 3.7.14 – Concentração de Boro na SFP |
| 3.5 – Sistemas de Refrigeração de Emergência do Núcleo (ECCS) | 3.7.15 Armazenamento de SFA          |
| 3.6 – Sistemas da Contenção                                   | 4.0 – Características do Projeto     |
| 3.7 – Outros sistemas da planta (3.7.1 a 3.7.12 e 3.7.16)     | 5.0 – Controles Administrativos      |
| 3.8 – Sistemas Elétricos de Potência                          |                                      |
| 3.9 – Operações de recarga                                    |                                      |

#### 4.1.12.3 Usinas nucleares de Zion 1 e 2 (ZionSolutions, 2008)

As usinas nucleares de Zion 1 e 2 são de projeto da Westinghouse, PWR e de 1040 MWe cada. Iniciaram sua operação em 1973 e 1974, respectivamente, e as duas foram desligadas em 1998 por razões econômicas e a estratégia de descomissionamento protelado foi adotada. O ISFSI foi de armazenamento molhado. O período de transição foi finalizado em 2000.

Abaixo apresenta-se a lista sumarizada de atividades.

- Preparação de documentação reguladora (certificado de desligamento permanente e remoção de combustível; PSDAR; IFMP; DCE específico; PSEP; EP / PDEP; Requerimento de mudança na Segurança física e cibernética / Plano de segurança para usina sem combustível / Apólice de seguro / DTF / PDTS / DSAR / Programa de gestão da qualidade / CFH / requalificação de operadores e programa de RH / Revisão de documentação para situação com apenas o ISFSI, segurança, etc.
  - Revisão dos procedimentos e programas da planta;
  - Implantação de novos programas / procedimentos / DSAR / PDTS após aprovação da NRC;
  - Finalização do histórico da usina;
  - Caracterização inicial do sítio;
  - Implantação da condição *cool and dim*;
    - Desenergização, limpeza e drenagem dos sistemas da planta;
    - Remoção do rejeito operacional;
    - Instalação temporária de uma fonte de energia para energizar os sistemas necessários para o descomissionamento e para energizar equipamentos específicos para algumas atividades do desmantelamento;
  - Gerenciamento do combustível nuclear usado;

- Projeto, construção e permissão para o ISFSI;
- Compra dos cascos de armazenamento para os combustíveis usados;
- Transferência do Combustível para o ISFSI;
- Modificação do edifício do combustível para suportar o armazenamento intermediário molhado do combustível:
  - Atualização da SFP para SFPI (“Ilha” da piscina do combustível usado);
  - Atualização das pontes rolantes para o combustível e para o casco de transferência para a prova de falha simples;
- Relocação da sala de controle;
- Atualização da ferrovia que passa pela planta para facilitar a remoção de rejeitos de grande volume do descomissionamento;
- Descontaminação química completa dos sistemas;
- Remoção de “pontos quentes” de contaminação/radiação;
- Remoção de isolamento de amianto e outros materiais perigosos;
- Remoção de materiais inflamáveis e redução da brigada de incêndio;
- Preparação de um plano de comunicação:
  - Painel de comunicação para a comunidade e governo;
  - Estreitamento da comunicação com o órgão regulador aumentando-se a frequência de reuniões de acompanhamento;
- Planejamento da organização e RH necessário para a transição para o descomissionamento:
  - Comunicação clara e adiantada aos funcionários;
  - Estabelecimento de um plano de retenção de funcionários;
  - Relocação de funcionários para plantas operacionais (quando possível);
  - Workshops sobre gestão de carreira e aposentadoria;
  - Retreinamento;
  - Mudança cultural/missão dos funcionários da planta;
- Consultoria com especialistas da área e revisão de experiências passadas:
  - Manter apoio de especialistas com experiência em descomissionamento;
  - Visitar plantas em descomissionamento e coletar lições aprendidas;
  - Participar de fóruns para facilitar a troca de experiências sobre descomissionamento e período de transição entre as instalações parecidas;
- Planejamento para os maiores desafios do descomissionamento:
  - Segmentação dos internos do Vaso do Reator;

- Remoção dos componentes grandes e/ou segmentação dos mesmos.

#### **4.1.13.Lições aprendidas – U.S.NRC + EPRI**

##### **4.1.13.1. Lições aprendidas – U.S.NRC**

As lições aprendidas no período de transição são de grande importância para se aproveitar experiências passadas e se evitar a reincidência de incidentes e acidentes e se beneficiar da experiência internacional.

A U.S.NRC publicou em 2016 um relatório (U.S.NRC, 2016) que consolida as lições aprendidas do período de transição da operação ao descomissionamento com base nas últimas experiências dos Estados Unidos. O estudo inclui as usinas nucleares de Kewaunee (KPS), Crystal River 3 (CR-3), San Onofre 2 e 3 (SONGS), e de Vermont Yankee (VY), conforme discutido abaixo.

(1) O desligamento permanente prematuro de um reator de energia, sem pré-planejamento suficiente, pode limitar a habilidade da equipe da NRC para planejar e alocar recursos e avaliar os pedidos de licença dos licenciados. Os licenciados durante o desmantelamento, geralmente solicitaram avaliações rápidas de seus documentos de licenciamento para minimizar os níveis de pessoal das instalações e reduzir os gastos do fundo financeiro para o descomissionamento. Os desligamentos não planejados prematuros também afetam outras partes interessadas (*stakeholders*) principais, como o Estado, Governo local e as comunidades no entorno. A submissão antecipada planejada de ações/documentos/planos de licenciamento do período de transição e desmantelamento, como demonstrado pela VY, pode aumentar a eficiência do processo de transição. A NRC completou o processo de transição de VY, quase um ano antes dos outros reatores de desmantelamento recentes, em parte devido à submissão de VY de várias ações de licenciamento enquanto ainda estava em operação.

(2) Conforme vivenciado com os reatores desmantelados antes da década de 1990, os recentes descomissionamentos de reatores apresentaram um grande número de pedidos de exceção (ER) e pedidos de alteração de licença (LAR) para modificar suas bases de licenciamento. De acordo com a redução dos riscos durante o desmantelamento, mais de 70 ações de licenciamento relacionadas ao desmantelamento foram recebidas e processadas pela equipe do NRC em menos de 3 anos. Onde é possível, o pessoal com experiência anterior de licenciamento de transição de desmantelamento foi envolvido no processo de revisão para essas ações de licenciamento.

(3) Devido ao intervalo de 15 anos desde a realização de revisões anteriores da transição de desmantelamento, existiu uma curva de aprendizado tanto para o NRC quanto para os licenciados para processar efetivamente as ações de licenciamento relacionadas ao período de transição. Além disso, a existência limitada de guias, em alguns casos desatualizados, estavam disponíveis no processamento de ações de licenciamento neste processo. Por exemplo, o NRR 01 COM-101 não é revisado desde 2002. Embora ainda fosse geralmente útil e aplicável, ele está desatualizado em muitas áreas, incluindo processamento de documentos e estrutura organizacional da NRC. Além disso, embora o principal documento de orientação regulamentar do desmantelamento RG 1.184 (U.S.NRC, 2013) tenha sido revisado em 2013, a experiência adquirida nas recentes transições de desmantelamento poderia ser usada para aprimorar ainda mais este documento de orientação.

(4) A equipe da NRC ganhou uma experiência considerável na avaliação do desmantelamento de pedidos de isenção de EP que resultaram no desenvolvimento do guia de pedido de exceção no EP, NSIR / DPR-ISG-02 (U.S.NRC, 2015). O pessoal está estudando propor futuras mudanças neste processo à Comissão para melhorar a sua eficiência, melhorando o andamento do projeto de uma forma geral.

(5) Vários pedidos de isenção de descomissionamento não foram adequadamente justificados pela documentação fornecida pelo licenciado. A equipe do NRC não exigiu uma revisão de aceitação sobre as ações de desmantelamento, uma vez que o alcance da aplicabilidade da NRR 01 LIC-109, "Procedimentos de Revisão de Aceitação", exclui especificamente o descomissionamento de reatores. Realizar uma revisão no processo de aprovação levará os licenciados a complementar suas solicitações de forma a poupar tempo de revisão destes documentos. Em alguns casos, a equipe do NRC gastou recursos na avaliação de pedidos de licenciamento que foram rejeitados.

(6) O NMSS tem diferentes práticas em relação à distribuição de documentos. O NRR usa distribuição eletrônica, enquanto o NMSS usa papel. A continuação da distribuição eletrônica de documentos proporcionaria continuidade para alcançar as partes interessadas do público na vizinhança do local dos reatores que estão se preparando para o período de transição.

(7) Os recursos gastos na gestão de projetos das atividades de licenciamento foram diretamente relacionados ao interesse das partes interessadas externas e ao envolvimento no processo. Os recursos de pessoal utilizados para abordar as petições das partes interessadas, as preocupações do estado e as questões do congresso

relacionadas à VY superaram as atividades similares para outros reatores de desmantelamento.

(8) Em certos casos, os licenciados podem determinar, através de uma avaliação baseada na 10 CFR 50.59 (U.S.NRC, 2004), que sistemas, equipamentos ou instrumentos de plantas podem não ser mais necessários após o fim da operação. No entanto, no passado, alguns licenciados utilizaram de forma inadequada o processo da 10 CFR 50.59 para determinar se existe uma redução na efetividade no plano de emergência sem avaliar adequadamente o impacto nas EAL (Nível de ação de Emergência) com base na 10 CFR 50.54 (q) (U.S.NRC, 2017). Embora vários EAL estejam ligados a modos operacionais, que podem não ser mais aplicáveis a um desligamento permanente e um reator sem combustível, o licenciado deve enviar uma proposta de alteração do esquema dos EAL para a aprovação prévia do NRC conforme exigido no Apêndice E da 10 CFR Part. 50 (U.S.NRC, 2017).

(9) Muitas avaliações da equipe da NRC dependem dos tipos de acidentes. Normalmente, os acidentes podem incluir acidentes de movimentação de combustível, acidentes de queda de casco, liberação radioativa devido a um incêndio, liberação radioativa devido a um acidente no armazenamento de rejeitos radioativos ou outros acidentes específicos do site. Esses acidentes são citados em muitas das ações de licenciamento de transição para o desmantelamento / *safstor* e são avaliados pela equipe para determinar o potencial de liberação para fora do sítio de exceder os limites do PAG (Guia de ação para proteção) da EPA (Agencia de Proteção ao Meio ambiente dos EUA). Algumas das revisões anteriores de períodos de transição não foram bem comunicadas internamente, resultando nos mesmos acidentes avaliados várias vezes por diferentes revisores. É necessária uma melhor coordenação para garantir que as revisões técnicas do pessoal não sejam duplicadas ou redundantes.

O guia do EPRI sobre o Período de Transição (EPRI, 2016) também apresenta algumas lições aprendidas de alguns sítios que já passaram pelo período de transição, conforme abaixo discutido a seguir:

#### **4.1.13.2 Lições aprendidas – EPRI**

##### **➤ Central Nuclear de Kewaunee e de Vermont Yankee (EPRI, 2016)**

A decisão de desligar permanentemente Kewaunee foi feita 7 meses antes da data real do seu encerramento. Durante esses 7 meses, foram elaboradas diversas declarações reguladoras e submetidas à NRC. A preparação precoce e a apresentação desses documentos reduziram a duração da transição para o SAFSTOR

(com armazenamento de combustível molhado). Além disso, a apresentação antecipada desses documentos ajudou a minimizar a duração da implantação de medidas de redução de custos (por exemplo, implantação de requisitos do EP reduzidos).

Igual experiência foi relatada no período de transição da Central Nuclear de Vermont, que teve sua decisão de desligamento permanente tomada 16 meses antes do encerramento das operações, e neste caso, tendo a duração total do seu período de transição de 16 meses (tempo também possível devido a conversão de sua SFP em uma ISFPI).

➤ **Sítio de Geração Nuclear de Oyster Creek (EPRI, 2016)**

**Lições de Planejamento**

- O planejamento do descomissionamento deve começar bem antes do encerramento final da planta. Com este plano pronto antes do desligamento, há oportunidade de economias consideráveis para o custo total do projeto. Dois a três anos é um período satisfatório para preparar a planta para a transição para o modo de desmantelar.

- Deve ser criada uma equipe dedicada para gerenciar e executar o planejamento das atividades. Inicialmente, em Oyster Creek, um pequeno grupo de 8-10 pessoas foi organizado como um grupo separado que se reportava ao vice-presidente de Engenharia. A organização separada assegura que o descomissionamento não interfira com a prioridade da organização da planta, que é a operação segura e confiável. À medida que o processo de planejamento avançava, a equipe de desmantelamento mantinha o pessoal da usina informado sobre as atividades de planejamento e obteve a contribuição da Operação, conforme necessário, sem conflito com as prioridades da planta.

- Para Oyster Creek, o compromisso de usar o pessoal interno para o planejamento do desmantelamento proporcionou oportunidades de carreira de longo prazo para os empregados. Isso permitiu à empresa manter o pessoal necessário para a manutenção da planta em operação.

- É importante manter o foco nas "questões de pessoal" na preparação para o descomissionamento. Quando um anúncio de plano para desligamento final for feito, o desgaste com pessoal será acentuado e aumentará à medida que os funcionários comecem a buscar oportunidades em outros lugares. Se a saída de pessoal é



excessiva, a capacidade de execução necessária da planta para o desligamento pode ser prejudicada. A chave para manter o pessoal para o encerramento é um programa de retenção de pessoal. Este programa precisa estar pronto quando o anúncio de encerramento for feito ou logo depois disso. Em Oyster Creek, o anúncio foi feito em abril de 1997 e o plano de retenção foi lançado em julho. Durante esse período, aproximadamente 70 funcionários deixaram a empresa. Após a disseminação do plano de retenção, o desgaste voltou ao normal e permaneceu baixo durante todo o período de planejamento.

- O planejamento inicial para a mudança cultural necessária para passar de uma planta operacional para uma em descomissionamento é importante. Para ser bem-sucedido, as atividades de desmantelamento requerem grandes mudanças nas habilidades necessárias e mudanças culturais em relação ao ciclo operacional.

- O descomissionamento de um grande reator comercial é um processo longo que abrange de 6 a 10 anos de atividades. Para estar preparado para mudanças que possam afetar o cronograma, a contingência do projeto deve ser parte obrigatória no planejamento e atualizada durante todo o processo. Isto é particularmente necessário para circunstâncias como encerramento de instalações LLRW, disposição de combustível gasto e condições que não foram assumidos na estimativa de custo.

### **Lições do Licenciamento**

- Alguns documentos do descomissionamento, embora exijam tempo de preparação por meio de licenciamento, são diretos e têm um impacto mínimo em outros departamentos. O PSDAR, Certificado de desligamento Permanente e Remoção Permanente de Combustível, Programa de CFH, Isenções de Seguro e Solicitações de Exceção do EP / PDEP se enquadram nesta categoria. Oito a doze meses antes do encerramento permanente são suficientes para preparar esses documentos.

- O PDTs, o DSAR, o Plano de Gestão da Qualidade, os pedidos de isenção do EP / PDEP e os pedidos de isenção do plano de segurança física / plano de segurança sem combustível devem estar rascunhados antes que as principais atividades de descomissionamento ou as modificações da planta sejam iniciadas. Esses documentos são pré-requisitos para modificações de descomissionamento. A preparação desses compromissos reguladores deve começar 30 meses antes do desligamento final. O objetivo deve ser ter um "rascunho final" pronto no momento em que o trabalho de modificação for iniciado.

- Comunicar-se com frequência com os órgãos reguladores federais e estaduais, manter relações efetivas com agências reguladoras federais e estaduais é essencial para o bom andamento do projeto.

- Estabelecer um cronograma para os trabalhos que assegurem que os documentos de licenciamento para descomissionamento estejam válidos e aprovados no momento do desligamento final.

- Solicitar o máximo de margem possível dos requisitos regulamentares. Isso permite gerenciar a flexibilidade para revisar programas, planos e procedimentos durante as condições de mudança não previstas no descomissionamento.

- Na medida do possível, incorporar uma avaliação de riscos das ações propostas nos registros de licenciamento.

- Realizar um projeto integrado para garantir que todas as entregas de importância e documentos reguladores serão cumpridas e que o planejamento esteja consistente.

- Utilizar ao máximo experiências recentes e lições aprendidas.

#### **Lições das atividades de engenharia**

- As bases de projeto para o trabalho no processo de descomissionamento (por exemplo, análise de ativação, análise de acidentes, gerenciamento de rejeitos, etc.) podem ser efetivamente realizadas com um pequeno grupo de funcionários, complementado por contratados de uma empresa terceirizada.

- O projeto conceitual das modificações da planta para suportar o descomissionamento pode ser efetivamente realizado pelo pessoal interno normalmente designado para desenvolver modificações no ciclo operacional. Este grupo pode ser montado após a última recarga (assumindo um ciclo de 2 anos).

- Redesenho dos processos de engenharia não teve efeito nas atividades de descomissionamento realizadas antes do desligamento. Novos processos não estavam disponíveis no período necessário para suportar a engenharia de pré-desligamento, e decidido não usar processos "duplicados" antes do encerramento.

#### **Lições da Liberação do sítio**

- A avaliação do histórico da planta (HSA) é necessária para identificar contaminantes radiológicos e industriais em torno da instalação. A HSA deve estar em

curso durante as operações, juntamente com registros de derrames conforme exigido pelo 10 CFR 50.75 (g) (U.S.NRC, 2017). Se não estiver bem catalogada, a HSA deve ser iniciada no início do processo de planejamento.

- Avaliar o potencial de liberação abaixo de edifícios e estruturas utilizando informações ambientais do local, tais como hidrogeologia, estratigrafia e construção civil.

### **Elementos Combustíveis Usados**

- Avaliar problemas dos cascos relacionados à capacidade do guindaste e a resistência de carga do piso. Os fornecedores oferecem uma variedade de projetos, capacidades e pesos. A instalação deve comparar a economia de atualizar a capacidade de elevação do guindaste versus a utilização de um casco mais leve.

- A seleção do sítio e a aprovação da comunidade são essenciais. Sem o apoio da comunidade local, haverá atrasos na transferência de combustível.

### **Comunicação**

- Se não estiver funcionando durante a operação, deve ser estabelecida uma central de comunicação com o cidadão, pois embora os cidadãos locais possam estar acostumados com a planta operacional, o desmantelamento não é familiar e representará preocupações importantes para a comunidade local, incluindo impacto em empresas locais, aumento do tráfego de caminhões, lançamento de grandes quantidades de material da planta, etc. O estabelecimento de uma central de informação para os cidadãos permite que também contribuam para o processo de planejamento.

#### **➤ Sítio de Geração Nuclear de San Onofre Nuclear (SONGS) unidade 1 (EPRI, 2008):**

- O estabelecimento de comitês de supervisão, como os Comitês de Supervisão Nuclear e Assuntos Reguladores (NORAD) e de Controle Nuclear e Avaliação de Riscos (NO & RA), beneficiou o projeto. Esses comitês de supervisão faziam parte de uma estrutura de planejamento formal e estavam envolvidos em todo o projeto de descomissionamento.

- A estrutura formal de avaliação de riscos criada pela SCE (*Southern Califórnia Edison*) permitiu que ele classificasse cada risco associado ao descomissionamento e priorizasse os projetos em relação à supervisão e planejamento necessários.

- O planejamento detalhado foi importante para todos os projetos e tarefas individuais. Cada projeto foi planejado com 12 a 18 meses de antecedência.

- É importante incluir o departamento de proteção radiológica no início do planejamento dos projetos de descomissionamento. No do projeto, várias atividades foram adiadas devido a problemas de proteção radiológica que não foram abordados e previstos durante o planejamento. Uma vez que isso foi reconhecido, o planejamento da SONGS incluiu o departamento de proteção radiológica para todos os projetos.

- A SCE apenas contratou um trabalho que poderia ser definido 100% pela equipe da SCE. Se houvesse alguma incerteza envolvida nos parâmetros do projeto, a SCE realizava o projeto. Um exemplo foi qualquer trabalho envolvendo escavação e instalações subterrâneas. Este também foi o caso das atividades envolvendo remoção de pontos quentes, remoção de amianto, varredura gama, etc.

- Ao contratar empresas terceirizadas, a SCE valorizou as experiências anteriores dos empreiteiros com as tarefas a serem executadas.

- Os rejeitos não puderam ser embalados e enviados de forma otimizada devido à falta de espaço para armazenar/arrumar resíduos no local durante o descomissionamento. Devido às limitações do espaço, os rejeitos foram enviados à medida que eram gerados. Como tal, a SONGS 1 não conseguiu tirar proveito de espaços vazios da embalagem em seus rejeitos provenientes das suas diferentes geometrias e tamanhos.

- Compreender o layout das utilidades subterrâneas foi importante. As utilidades subterrâneas não marcadas, desconhecidas ou incompreendidas (por exemplo, drenagens de tempestade ou linhas de esgoto) causaram atrasos em projetos de remediação e restauração do sítio.

- A segurança industrial foi muito importante para o projeto de desmantelamento. A segurança foi escrita em procedimentos e implantada e aplicada em todas as atividades de todos os envolvidos no projeto. Todas as reuniões começaram com uma discussão sobre segurança. A SCE empregou dois especialistas em segurança industrial em tempo integral em seus funcionários e exigiu que seus principais contratados oferecessem dois especialistas adicionais em segurança em tempo integral. Todos os outros contratados foram obrigados a trazer seus próprios funcionários de segurança durante a execução do projeto. Essa ênfase na segurança levou a longos períodos de execução do projeto sem acidentes ou feridos.

- Principais Marcos e Progresso do Projeto - Um dos desafios que a SONGS encontrou no início do projeto foi avaliar o andamento das atividades. Medir o progresso de certos projetos foi muito subjetivo. Por exemplo, durante a demolição da Esfera de Contenção, o relatório de progresso dos contratados que realizam o trabalho não parece corresponder ao estado físico da esfera. Para melhor definir o progresso da atividade, a SCE elaborou uma descrição da esfera e rastreou e publicou o trabalho com base na porcentagem da esfera removida.

- A SONGS 1 removeu e vendeu os geradores diesel SONGS 1. No entanto, no final deste projeto, foi determinado que o esforço e os custos necessários para remover outros componentes em condições de revenda não foram justificados em relação ao retorno da venda. Com base nessa avaliação, todos os sistemas, estruturas e componentes foram removidos para eliminação. No entanto, quaisquer materiais recuperáveis foram revendidos.

- A estimativa inicial da SCE dos volumes de resíduos foi desenvolvida com base em desenhos de plantas. Isso provou ser uma subestimação bruta dos volumes de resíduos reais.

- A caracterização da SONGS 1 foi realizada pelo menos 30 anos antes da liberação do site. O programa de caracterização da SONGS 1 estabeleceu uma abordagem muito conservadora para medições e documentação de dados a serem usados como justificativa e potencialmente atender aos requisitos de pesquisa de status final no momento de lançamento do site.

- Os rejeitos não puderam ser embalados e enviados de forma otimizada devido à falta de espaço para armazenar/arrumar resíduos no local durante o descomissionamento. Devido às limitações do espaço, os rejeitos foram enviados à medida que eram gerados. Como tal, a SONGS 1 não conseguiu tirar proveito de espaços vazios da embalagem em seus rejeitos provenientes das suas diferentes geometrias e tamanhos.

- Compreender o layout das utilidades subterrâneas foi importante. As utilidades subterrâneas não marcadas, desconhecidas ou incompreendidas (por exemplo, drenagens de tempestade ou linhas de esgoto) causaram atrasos em projetos de remediação e restauração do sítio.

- A segurança industrial foi muito importante e foi descrita em procedimentos e implementada em todas as atividades. Todas as atividades começaram com uma discussão sobre segurança. Foram empregados dois especialistas em segurança

industrial em tempo integral e exigiu que seus principais contratados disponibilizassem também especialistas adicionais. Essa ênfase na segurança levou a longos períodos de execução do projeto sem acidentes ou feridos.

- Principais Marcos e Progresso do Projeto - Um dos desafios que a SONGS 1 encontrou no início do projeto foi o de avaliar o andamento das atividades e a medição do progresso realizado.

- A SONGS 1 removeu e vendeu os geradores diesel. No entanto, no final do projeto, foi determinado que o esforço e os custos necessários para remover outros componentes em condições de revenda não foram justificados pelo retorno da venda. Com base nessa avaliação, todos os sistemas, estruturas e componentes foram removidos para descarte. No entanto, materiais recuperáveis foram revendidos.

- A estimativa inicial dos volumes de rejeitos foi desenvolvida com base em desenhos de plantas e ficou abaixo do volume real de rejeitos.

- A estimativa inicial da SCE dos volumes de resíduos foi desenvolvida com base em desenhos e plantas. Este valor calculado foi bem abaixo dos valores reais de rejeitos.

- A caracterização da SONGS 1 foi realizada pelo menos 30 anos antes da liberação do site. O programa de caracterização da SONGS 1 estabeleceu uma abordagem muito conservadora para medições e documentação de dados a serem usadas como justificativa e potencialmente atender aos requisitos de inspeção final de status do sítio para sua liberação.

➤ **Sítio de Geração Nuclear de San Onofre Nuclear (SONGS) unidade 2 e 3 (EPRI, 2016):**

- Durante as operações normais da planta, as plantas são obrigadas a ter certo número de operadores licenciados seniores e operadores licenciados no site ou de plantão em todos os momentos de acordo com 10 CFR 50.54 (m) (U.S.NRC, 2017). A SONGS solicitou uma isenção deste requisito. No entanto, em resposta a este pedido de isenção, o NRC dos EUA indicou que a 10 CFR 50.54 (m) (U.S.NRC, 2017) relativo a operadores licenciados não é aplicável a instalações permanentemente desligadas e sem combustível no reator e que não foi necessária nenhuma isenção para eliminar o requisito de equipe do site com operadores licenciados.

- A SONGS apresentou revisões parciais do TS e do FSAR antes que o PDTS e o DSAR fossem submetidos. Essas revisões parciais que foram submetidas

antecipadamente das revisões completas diminuíram o tempo de avaliação da NRC desses documentos e outros documentos reguladores que puderam ser beneficiados de por informações nestes documentos parciais. Espera-se que esta estratégia seja eficaz para reduzir a duração requerida da revisão do NRC.

- O aumento do envolvimento público através de visitas à planta e palestrantes para reuniões com comunidade local ajudou a aumentar o conhecimento da comunidade local e criando uma relação de confiança entre a planta e os membros do público. Funcionários informaram que conseguiram dirimir muitas dúvidas e maus entendimentos com as visitas e palestras.

#### **4.1.1.14 Conclusões**

##### **4.1.1.14.1 Experiência e organização do PT nos EUA**

O Período de transição nos EUA tem uma estrutura muito bem definida e com muitos documentos de licenciamento para atendimento o que auxilia na sua estruturação e entendimento.

Em relação às questões mais importantes ressaltadas no processo de planejamento para o PT, conclui-se que:

Regulação – Deve ser iniciada a sua preparação alguns anos antes do desligamento permanente, em torno de 3 a 5 anos é o recomendável devido à quantidade de documentos e dos tempos para análise do órgão regulador.

Plano de Comunicação – De extrema importância no PT e deve ser considerado para Angra 1.

Estrutura Organizacional e Recursos Humanos – Uma atenção especial é necessária nesta questão humano-social, pois os impactos do PT e do descomissionamento são grandes para os funcionários da empresa.

Avaliação do sítio – Também deverá ser contemplada, mas é de menor preocupação, pois atualmente o sítio da CNAAA já é monitorado e neste caso, seria apenas uma ampliação e maior detalhamento da avaliação de forma a fomentar o PT e descomissionamento de informações necessárias do ponto de vista radiológico.

Descontaminação Química dos sistemas – É uma questão que deverá ser aprofundada no sentido do custo-benefício desta descontaminação. A estratégia do descomissionamento impacta diretamente nesta atividade, pois caso haja um período

grande de *Safe Storage*, esta atividade poderá ser protelada para se aproveitar os benefícios do decaimento radioativo.

Remoção de Materiais inflamáveis – Apesar de sua importância, não carece de conhecimentos específicos ou especiais para esta atividade que apenas trata de um mapeamento dos materiais inflamáveis e sua remoção para mitigação de riscos de incêndio com o intuito de reduzir a brigada de incêndio e, com isso, minimizar custos.

Condições para “*Cool and Dim*” - Atividade de seleção de grande importância, pois a sua definição de forma equivocada poderá acarretar num aumento de riscos de acidentes industriais e de segurança e deverá ser considerado e estudado em mais detalhes.

Gerenciamento do Combustível Usado – Muito importante a sua correta gestão, principalmente no referente ao dimensionamento correto da ISFSI (UAS para a CNAAA) de forma a não ficar dependente de um Depósito Final de Rejeitos de Alta atividade e combustível nuclear, o que poderia atrasar o Descomissionamento da usina acarretando custos não previstos.

Remoção / Redução de pontos quentes – atrelado à decisão de descontaminação química dos sistemas, devem ser avaliados os pontos com cautela para a sua remoção e as tecnologias aplicadas a esta atividade.

Remoção de isolamento de amianto – Atividade não aplicável à CNAAA, pois não foi utilizado amianto na construção das usinas.

Desmantelamento de prédios não radioativos – Esta decisão é de grande importância, entretanto propõe-se que seja tomada apenas após uma decisão final sobre uma possível utilização do sítio para outros usos industriais e após análise criteriosa sobre a possível utilização das unidades não contaminadas durante o processo de desmantelamento, como almoxarifados, unidades de tratamento de rejeitos, escritórios temporários, etc.

No guia do EPRI (EPRI, 2016) sobre o PT não existe um capítulo específico sobre análise de segurança, apenas algumas menções superficiais sobre o assunto, e acredita-se ser de grande importância a existência de uma menção mais aprofundada no tema neste estudo, o que será feito com base em referências da IAEA que possui publicações específicas sobre o assunto relacionados ao Período de Transição, como em (IAEA, 2004; 2013).



#### **4.1.1.14.1 Resumo das lições aprendidas nos EUA**

É de grande importância levar em consideração as lições aprendidas relatadas pela U.S.NRC e EPRI relatadas nas seções 4.1.13.1 e 4.1.13.2. Seguem as lições uniformizadas, resumidas e aplicáveis ao planejamento do PT:

1. Importância na redução do tempo de análise NRC do planejamento adiantado do PT preparado pela usina nuclear conforme relatado em VY;
2. Importância dos Pedidos de Exceção (ER) e de Alteração de Licença (LAR) para modificar as bases de licenciamento, e necessidade da execução destes pedidos de forma adequada;
3. Necessidade de avaliação criteriosa de quais sistemas e dos níveis de emergência que serão mantidos e alterados;
4. Avaliação de acidentes redundantes dentro da mesma empresa por falta de comunicação interna dos funcionários, resultando em retrabalho;
5. Relatados em VY, KPS e Oyster Creek ganhos de tempo na execução do projeto com planejamento e entrega de documentação reguladora antecipada;
6. Necessidade de criar uma equipe dedicada para a execução do planejamento das atividades;
7. Importância de utilização de pessoal interno no projeto de forma a manter a equipe motivada para o término da operação, seguido de um plano de retenção (Oyster Creek);
8. É essencial incluir no planejamento uma preparação para a mudança cultural que a companhia sofrerá.
9. Necessidade do uso de contingência no projeto pela sua complexidade e dos imprevistos que ocorrerão;
10. Necessidade de preparação de um “rascunho” dos documentos mais complexos como o PDTS, DSAR, Plano de Gestão da qualidade e pedidos de isenção de EP/proteção física e segurança, cerca de 30 meses antes do desligamento permanente;
11. Importância da frequência da comunicação com os órgãos reguladores federais e estaduais;
12. Adicionar os marcos de documentos necessários de regulação ao planejamento, realizando um plano integrado;
13. Quando viável, incorporar uma avaliação de riscos das ações propostas no licenciamento;
14. Utilizar ao máximo as lições aprendidas de outras usinas;

15. Utilização de pessoal interno com o auxílio de consultoria externa para o planejamento em Oyster Creek e apenas pessoal interno para as análises das modificações necessárias na planta;
16. Necessidade da HSA estar em curso durante as operações, juntamente com registros de derrames e contaminação;
17. Importância da avaliação de capacidade da ponte rolante e carga de piso quando da movimentação de cascos com SFA;
18. É essencial a aprovação da comunidade local para evitar atrasos na transferência de combustível;
19. Importância de criação de uma central de comunicação com o cidadão;
20. O estabelecimento de comitês de supervisão foi benéfico ao sítio de SONGS;
21. Importância do planejamento e avaliação de riscos associados;
22. Importância da participação do Departamento de Proteção Radiológica no planejamento poupa tempo durante a execução, evitando imprevistos associados a riscos radiológicos;
23. Relatados pela SCE benefícios das experiências dos empreiteiros contratados para a realização de algumas tarefas;
24. A falta de espaço para o armazenamento e tratamento dos rejeitos radioativos pode gerar dificuldades na otimização dos espaços vazios durante a sua embalagem;
25. Dificuldades relatadas em SONGS na definição de marcos principais no planejamento e de mensuração do progresso de algumas atividades;
26. A venda dos geradores diesel de SONGS 1 não gerou benefícios esperados, sendo que a revenda de outros equipamentos menores foi analisada como inviável em vários casos, salvo os de mais fácil desmontagem;
27. A entrega parcial das revisões de TS e FSAR da SONGS agilizou a avaliação da U.S.NRC;
28. Palestras ministradas para o público em geral para dirimir dúvidas foram benéficas.

Os itens referentes à necessidade da NRC de revisar suas normas e processos internos de distribuição de documentos não foram considerados, por não serem aplicáveis ao planejamento por parte da usina.

#### **4.1.2. IAEA + Experiência Europeia**

A IAEA possui uma documentação técnica que servirá para complementar o Guia do EPRI utilizado para o levantamento das questões mencionadas na seção 4.1.1. Também será utilizado um documento específico da IAEA para se analisar a questão da segurança da usina durante o PTA1 através de IAEA (2004).

Quando falamos sobre regulação na Europa, cada país tem a sua particularidade e neste estudo, foram analisadas as regulamentações alemã e francesa, em função da proximidade das duas culturas da Eletronuclear, que possui Angra 2 com tecnologia alemã e agora, em função da AREVA ser uma empresa francesa, também tem muita influência deste país. Fora isso, a experiência de ambos os países é vasta, principalmente a francesa, que detém a grande maioria de sua matriz energética proveniente da geração nuclear.

##### **4.1.2.1 Planejamento do Período de Transição**

Segundo a IAEA (IAEA, 2004), assim como no descomissionamento, o período de transição precisa ser planejado durante a operação da usina e de forma antecipada ao desligamento permanente da planta para assegurar que:

- a) Um fundo financeiro seja alocado para o projeto de forma adequada e coletada durante o período operacional;
- b) Os fundos serão gastos de forma apropriada, de forma segura e no tempo correto durante a transição para o desmantelamento;
- c) Economia de tempo e dinheiro, com planejamentos bem executados e otimizados;
- d) O planejamento é realizado de forma sistemática e com menos pressão de um cronograma “apertado”;
- e) Informações e documentos necessários disponíveis são encontrados com maior facilidade enquanto a planta está operacional. Informação disponível e confiável acelera o planejamento e reduzir incertezas e riscos das tarefas, aumentando sua eficiência (A Tabela 7 mostra as consequências de falta de documentação no período de transição);
- f) Recursos humanos (experiência operacional) estão mais facilmente disponíveis enquanto a planta está operacional, visto que quando é anunciado o desligamento da planta, muitas pessoas deixam a empresa, principalmente os funcionários mais experientes e os mais novos, procurando novas oportunidades. Esta saída pode ser mitigada com um plano adequado de aposentadoria para os mais velhos, com benefícios, e para os mais novos, a criação de um plano de

desenvolvimento na área de descomissionamento, com foco em trabalhar na área em outras empresas no futuro;

g) Assegurar o emprego por um período maior de tempo, aumentando o moral da equipe, pois os empregados já saberão quais serão suas atividades após o desligamento da unidade;

h) Áreas sensíveis e problemáticas, como a geração, caracterização e o gerenciamento de rejeitos terão suas dificuldades identificadas e seus impactos mitigados e tratados com antecipação evitando problemas e atrasos após o desligamento;

i) O planejamento seja feito com menos pressão e mais tempo;

j) Haja menor tempo entre o desligamento permanente e as atividades de transição e descomissionamento;

k) Redução do impacto causado por um desligamento antecipado não planejado, que tem grande impacto se não tiver um pré-planejamento preparado.

Tabela 7 - Consequências de não ter documentação necessária no período de transição (IAEA, 2002)

| <b>Informações de projeto e suas modificações</b>  |  |
|--|--|
| <b>Informação</b>  | <b>Consequências</b>   |
| Caracterização do site, geológica e histórico de dados radiológicos.                         | Mais tempo, recursos e equipamentos requeridos; Trabalho extra devido a informações insuficientes; Exigência extra do órgão regulador nas questões relativas ao meio ambiente e proteção radiológica.  |
| Desenhos, descrições técnicas e cálculos atualizados da planta                               | Gastos adicionais de tempo e dinheiro para refazer as informações necessárias; atraso no cronograma do descomissionamento; impossibilidade de seguir com o projeto até que as informações sejam reconstruídas.   |
| Informações de compras e composições dos materiais usados durante a construção e a operação. | Dificuldade na avaliação da ativação de materiais, e na estimativa de custos dos rejeitos, levando a um aumento de amostragem necessária na planta; pode afetar a estratégia devido ao impacto na caracterização dos rejeitos; dificulta o cálculo de dose estimado, levando a um aumento de conservadorismos na estratégia de descomissionamento. |
| <b>Informações de operação e pós-desligamento</b>  |  |
| Liberações para o meio ambiente (durante a vida operacional da planta)                       | Incertezas adicionais relativas à contaminação no site; Dificuldades na liberação do site para outros usos pela incerteza de contaminação e das áreas afetadas.  |
| Relatório de ocorrência de anormalidades   | A necessidade de lidar com o desconhecido pode aumentar os riscos de eventos não esperados e diminuição de confiança pelo órgão regulador; o público e dos trabalhadores envolvidos com o descomissionamento; Tempo, custos e recursos podem impactar a liberação do sítio.  |
| Informações sobre tubulação/cabos/vasos  | Aumentos de riscos inesperados; Interferência no planejamento das atividades, sendo necessária maior contingência; rejeitos adicionais podem ser gerados   |

A chave para o sucesso do período de transição está na preparação e treinamento dos recursos humanos e do melhor aproveitamento possível do conhecimento operacional dos trabalhadores da planta.

A Figura 9 demonstra um fluxo das atividades durante a vida útil de uma usina nuclear.

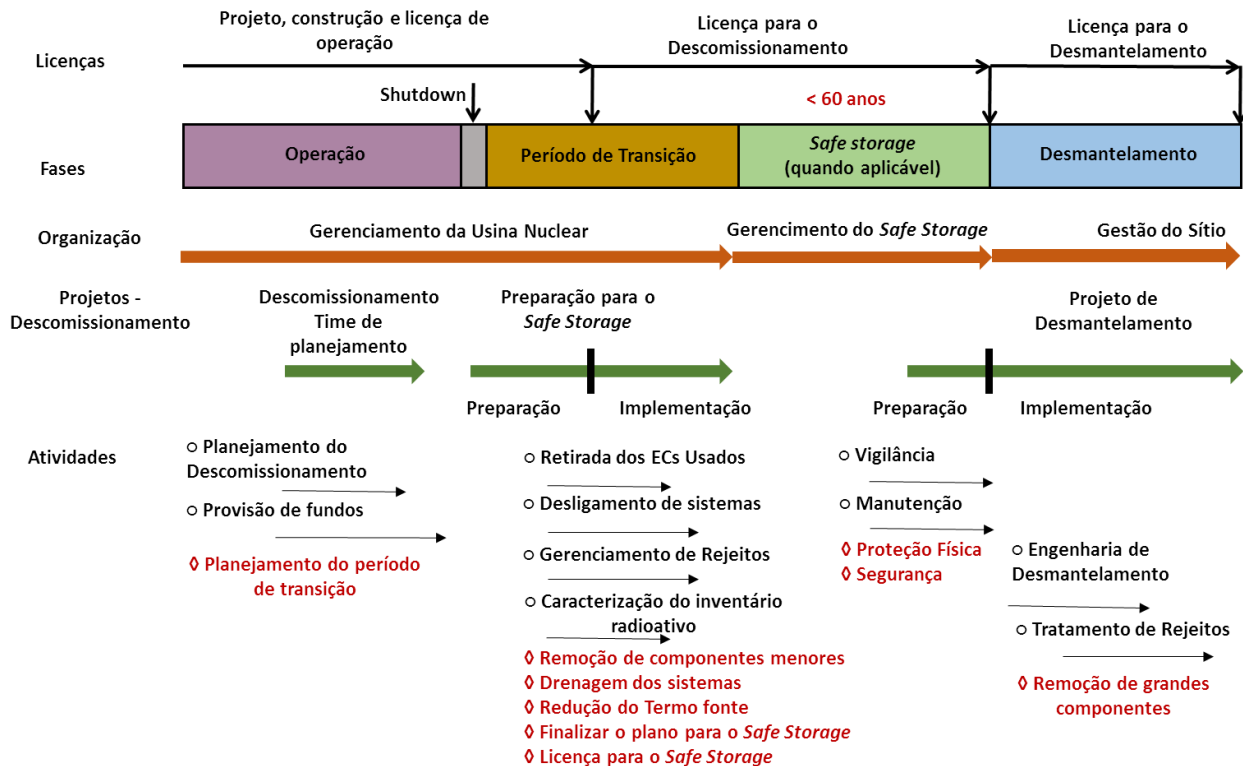


Figura 9 - Atividades relacionadas ao descomissionamento durante o ciclo de vida de uma usina nuclear - adaptada (IAEA, 2004)

O período de transição tem os seguintes objetivos, em geral:

- ✓ Conversão eficiente da instalação de sua missão original para uma em que as operações, vigilância e manutenção são reduzidas, em função da diminuição do risco nuclear;
- ✓ Estabelecer estados finais que se pretende atingir em cada tarefa em função da estratégia selecionada de descomissionamento e realizar um planejamento de forma a atingir estas metas;
- ✓ Maximizar a eficiência da utilização da gestão de conhecimento operacional, de pessoal e dos sistemas com o objetivo de identificar e mitigar perigos;
- ✓ Finalizar a caracterização radiológica da planta para fomentar a última revisão do plano final de descomissionamento, diminuindo ao máximo as premissas consideradas;

- ✓ Interagir com os diferentes envolvidos no processo de descomissionamento, como contratados, órgão regulador, prefeitura, governo e sociedade;
- ✓ Preparar a empresa para o processo de descomissionamento da planta, mitigando impactos sociais e organizacionais;
- ✓ Reduzir o custo de manutenção e segurança física e de outras atividades do período de transição;
- ✓ Identificar os requisitos para tratamento, armazenamento, transporte e disposição dos rejeitos radioativos e comuns;
- ✓ Remover os elementos combustíveis do reator, encaminhando-os para um depósito intermediário ou final;
- ✓ Revisar o orçamento e custos planejados para o projeto de descomissionamento;
- ✓ Programar a mudança cultural na empresa, com implantação de novos métodos de trabalho e filosofia;
- ✓ Mitigar os impactos sociais provenientes do desligamento da usina (IAEA, 2004).

#### **4.1.2.2 Principais mudanças durante o período de transição**

O processo de descomissionamento é composto de uma grande mudança organizacional, que será implantada já no período de transição. O planejamento da nova estrutura organizacional é essencial e deve ser organizado e planejado da forma mais eficiente e criteriosa possível. O aumento das incertezas influenciará o moral dos trabalhadores, podendo influenciar na segurança das atividades do projeto. Também deve ser estruturado um plano para mitigar os impactos sociais e econômicos do desligamento permanente da planta. Durante este período de mudanças a que a planta será imposta, o planejamento de retenção de pessoal é essencial para um bom período de transição e descomissionamento, entretanto, sempre haverá saída de pessoal chave para a empresa e qualificado, e os gestores devem se preparar para lidar com este tipo de situação. (IAEA, 2000)

Durante o período de transição é fundamental que se consiga reter um número mínimo de operadores e funções chaves que serão vitais nas tarefas do período de transição que necessitarão de experiência operacional, como no manuseio/retirada dos elementos combustíveis usados (SFA). Em plantas mais antigas, onde haja deficiência no armazenamento de documentação de projeto, muitas vezes informações importantes estão armazenadas de forma individual na memória das pessoas com experiência e não serão encontradas em documentos. Estas pessoas

são essenciais no período de transição, quando seu conhecimento será necessário (IAEA, 2000).

A Tabela 8 apresenta uma comparação do regime de operação e de descomissionamento (IAEA, 2000).

Tabela 8 - Comparação do regime de operação e de descomissionamento (IAEA, 2000)

| Tópico  | Operação   | Descomissionamento  |
|---|--|---|
| Sistemas, estruturas e componentes                      | Dependência de estruturas permanentes para a vida útil da instalação               | Introdução de estruturas temporárias para auxiliar o desmantelamento  |
| Gerenciamento da segurança                              | Baseados em uma instalação nuclear operacional                                     | Baseados em atividades do período de transição e descomissionamento   |
| Objetivos da gestão                                     | Orientados para a produção ou projetos específicos                                 | Conclusão do projeto  |
| Treinamentos  | Treinamentos de rotina e de reciclagem   | Treinamento de pessoal para novas atividades e habilidades e uso especialistas externos                                 |
| "Segurança" no emprego                                  | Emprego permanente com objetivos rotineiros  | demissões - reorientação das metas de trabalho da equipe  |
| Regulação   | Estabelecida/desenvolvida pelo órgão regulador da operação                         | Mudança de foco regulador   |
| Risco/Segurança   | Risco nuclear e radiológico predominante   | Redução do risco radiológico, alterando a sua natureza, com aumento do risco industrial                                 |
| Foco principal das atividades                           | Funcionamento dos sistemas e gerenciamento de paradas para manutenção/carregamento | Reconfiguração da instalação e sistemas e gerenciamento de materiais e radioatividade                                   |
| Natureza das atividades                                 | Atividades repetitivas   | Muitas atividades únicas e não comuns   |
| Ambiente de trabalho                                    | Rotineiro e bem conhecido  | Em constante mudança e com a possibilidade do "desconhecido"  |
| Comunicação   | Linhas de comunicação de rotina  | Novas linhas de comunicação e novos interessados/organizações, "steakholders", para se comunicar                        |
| Importância de baixos níveis de radiação e contaminação | Baixa importância  | Importantes para a liberação de materiais e necessidade de acesso a lugares não frequentados rotineiramente na operação |
| Exposição à alta radiação/contaminação                  | Acesso improvável ou por um curto período de tempo                                 | Acesso por longos períodos em determinadas tarefas  |
| Envio de rejeitos e materiais para fora do sítio        | De rotina e limitada   | Quantidades significativamente maiores  |
| Composição isotópica                                    | Relativamente estável  | Muda com o tempo  |

#### **4.1.2.3. Considerações sobre segurança no Período de Transição**

É de grande importância identificar e discutir as questões ligadas à segurança e considerações acerca das atividades durante o período de transição que podem incluir: manuseio e armazenamento temporário de combustível nuclear; drenagem de sistemas; descontaminação; estimativa de inventário de material radioativo no momento do desligamento; condicionamento e remoção do rejeito operacional; retirada, reconfiguração e planejamento de sistemas e mudanças nas barreiras de confinamento.

Para cada uma dessas atividades, devem ser realizadas considerações de forma a promover uma condução segura dessas atividades durante o período de transição. Tais considerações são baseadas em experiência em descomissionamento de forma a contribuir para a segurança da planta e de pessoal, bem como para a proteção do meio ambiente. Outros fatores que devem ser levados em conta são os controles administrativos da planta que são geralmente aplicados a todas as atividades que um operador de planta nuclear deve executar durante o período de transição e, os aspectos econômicos e sociais que podem ocasionalmente ocorrer em função de reduções no quadro de funcionários da planta. (IAEA, 2000),

A figura 10 demonstra a variação do nível de perigos ao longo da vida útil de uma usina, passando pela operação, período de transição e descomissionamento.



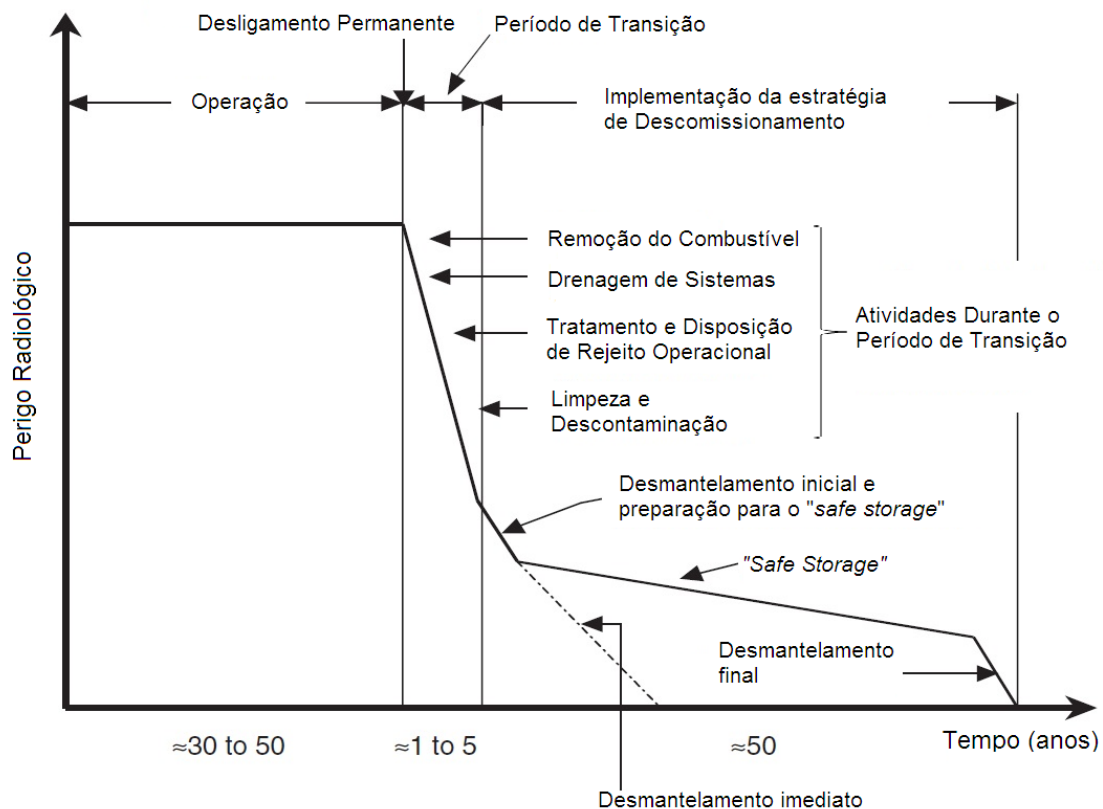


Figura 10 - Nível de perigos ao longo do ciclo de vida de uma usina nuclear (IAEA, 2004)

#### 4.1.2.3.1. Controles administrativos

Todos os operadores de planta nuclear terão de planejar e conduzir atividades de forma a liberar o sítio da planta do controle regulador e, para isso, é importante assegurar que procedimentos e programas sejam desenvolvidos e implantados de forma que a força de trabalho da planta possa conduzir as atividades de maneira adequada e com segurança. Durante a operação da planta, as atividades são rotineiras, entretanto, durante o período de transição, algumas atividades podem nunca ter sido realizadas ou serem infrequentes, de tal maneira que novos procedimentos e aprovações sejam necessários. (IAEA, 2004)

Algumas atividades podem não necessitar de aprovação específica do órgão regulador, no entanto podem requerer procedimentos administrativos detalhados, tais como: drenagem de sistemas, desmantelamento, descontaminação química, etc. A eficácia dos controles de qualidade e de descomissionamento acima mencionados não pode, em geral, ser assegurada sem um planejamento, gerenciamento e treinamento de pessoal adequado. Antes e durante o período de transição da planta para o descomissionamento, a organização operadora de instalações nucleares precisa

realizar treinamento para gerentes, operadores, técnicos e outros funcionários em atividades ligadas ao descomissionamento.

#### **4.1.2.3.2. Aspectos Econômicos e Sociais**

O período de transição entre a operação e o descomissionamento impactará na força de trabalho que, possivelmente estará preocupada com as incertezas quanto ao futuro no meio de trabalho. Faz-se necessário, então, que se estabeleça um programa que garanta a retenção de mão de obra qualificada e experiente, de forma que seja mantida a eficiência e segurança das atividades nesse período. Tal programa deve prever a oferta de incentivos, financeiros e/ou outros de modo que pessoas chaves tenham interesse em permanecer até o descomissionamento e não sair em busca de outras oportunidades.

#### **4.1.2.3.3. Manuseio e Armazenamento Temporário de Combustível Nuclear**

Uma das grandes prioridades após o desligamento permanente de uma usina nuclear é a remoção do combustível da unidade que será descomissionada. Esta atividade é usualmente considerada a de maior importância radiológica quando tratamos dos possíveis acidentes com manuseio de SFA. Muitos acidentes previstos no manuseio dos SFA durante a operação podem cobrir o período de transição, mas existem acidentes não previstos usualmente em operação normal que precisam ser analisados para o período de transição, com a necessidade de remoção dos combustíveis da planta para um ISFSI ou um armazenamento final.

Quando tratamos da segurança durante o PT de uma usina relativa ao manuseio de SFA os seguintes pontos devem ser levados em consideração:

##### **I. Agendamento da atividade de movimentação de SFA**

A atividade de remoção dos combustíveis é crítica para várias outras atividades do PT e deve ser planejada considerando que a maioria das atividades do descomissionamento, por exemplo, apenas pode ser executada com a remoção do combustível e, portanto, deve ser levada em consideração no planejamento e deve ter alta prioridade no PT.

##### **II. Movimentação de SFA no vaso do Reator**

A remoção de todo o combustível do reator de forma permanente deve ser considerada no aspecto da segurança, no cálculo de concentração do moderador da SFP com muitos combustíveis ainda muito radioativos, cálculos de criticalidade e avaliação de possível blindagem adicional. Também é necessária atenção à monitoração de radiação constante e de contaminação por aerossóis, com os

necessários alarmes e instrumentação de suporte para garantir a segurança da instalação.

### III. Movimentação de SFA na SFP

Como a movimentação de SFA na SFP não é uma atividade usual na maioria das usinas nucleares, deve-se analisar a capacidade da SFP em termos de atividade de seus SFA, capacidade estrutural de seus *racks* de armazenamento e deve ser avaliada a atividade de remoção de todos os combustíveis de uma vez, e seus efeitos nos equipamentos e estruturas. Deve ser analisada a capacidade da piscina em manter resfriamento adequado para subcriticalidade e armazenamento.

É de grande importância uma inspeção visual nos *racks* para verificar possíveis pontos de corrosão ou possibilidade de outros possíveis defeitos que possam acarretar problemas na movimentação dos SFA.

Além dos pontos acima, todos os sistemas de resfriamento da piscina precisam ser verificados, assim como seus componentes, para se garantir segurança durante uma operação de remoção total dos elementos combustíveis.

### IV. Conceito de Ilha de combustível usado (SFPI)

O conceito de ilha de combustível é utilizado para facilitar o descomissionamento do sistema de refrigeração da SFP que, muitas vezes, fica superdimensionado quando se desliga o reator. Neste caso, é projetado um sistema novo, menor e independente, formando em conjunto com a SFP uma “Ilha de Combustível”, com operacionalidade e funções equivalentes ao original, só que menor. Em alguns casos também podem ser projetados sistemas portáteis. Este projeto deve levar todos os aspectos de segurança de projeto em consideração, como defesa de profundidade, redundância dos sistemas e instrumentação e energia elétrica. Este conceito é geralmente usado quando se objetiva dismantelar mais rapidamente equipamentos e sistemas que possam ser afetados pelo sistema de refrigeração e, portanto, não se aplica quando se fala em descomissionamento protelado; entretanto, a ilha de combustível pode ter outros benefícios associados, como redução de custos operacionais, sistemas mais novos com mais eficiência e redução de manutenção, mais simples e fáceis de garantir a sua segurança física.

### V. Técnicas de manuseio de combustível

Em função da total remoção dos SFA durante o PT, deve ser implantada uma técnica para a redução ao máximo do número de movimentos durante a transferência do combustível para a SFP e para o ISFSI ou repositório final. A diminuição dos movimentos e passos dessas atividades reduzirá a exposição à radiação dos

trabalhadores e a probabilidade de acidentes. Para esta redução, é recomendável a condução de inspeção frequente dos SFA durante as atividades, para evitar o agarramento dos SFA nas grades dos racks, problemas com debris (fragmento metálico alojado entre varetas combustíveis) e outros riscos que podem ser mitigados com a inspeção visual dos SFA.

Estas atividades devem estar em procedimentos, e ter verificação e validação. Também deve ser avaliada a velocidade da ponte rolante que levará os combustíveis e de equipamentos para a transferência dos SFA para cascos de transferência para fora da piscina.

#### VI. Treinamento de operadores

Apenas indivíduos qualificados e treinados podem executar as tarefas de transferência e manuseio de SFA e deve sempre haver a presença de um operador durante as operações. A importância do operador na atividade é equivalente à atividade durante a operação normal da usina, e a magnitude dos acidentes considerados é equivalente à considerada antes do desligamento da usina durante as atividades de recarregamento.

#### VII. Engenharia no manuseio de combustível

Avaliações de engenharia devem ser feitas periodicamente para se verificar as condições da SFP enquanto não tem todo o combustível transferido. Também são necessárias criteriosas avaliações na escolha dos SFA a serem transferidos, para não resultar em situações inseguras de taxas de dose acima do previsto, com verificação da taxa de decaimento, tempo de queima, dados históricos com correta identificação, inspeções para verificação e inspeção remota da estrutura física do SFA, pontos de corrosão, possíveis vazamentos, etc.

#### VIII. Armazenamento e transporte de combustíveis novos

De forma análoga ao transporte e acondicionamento de combustíveis usados, o de possíveis combustíveis sem uso devem ser realizados com o mesmo critério. Aplica-se apenas a usinas que costumam ter combustíveis novos de reserva.

#### IX. Acidentes no manuseio e armazenamento de SFA

Os acidentes com manuseio de combustível são os de maior relevância em termos de radioatividade durante o PT e têm grande potencial de causar espalhamento de contaminação e grandes exposições aos trabalhadores ou aos indivíduos do público. Acidentes deste tipo também poderiam atrapalhar muito as atividades de desmantelamento da planta, com aumento de contaminação espalhada.

Sempre que possível, devem ser evitadas movimentações de cargas pesadas acima da SFP, pois um dano à mesma acarretaria a quebra de sua estrutura, ocasionando grande exposição de radiação, assim como desmantelamentos no seu entorno devem ser evitados. Também deve se ter um cuidado redobrado da mesma forma com seu sistema de resfriamento, em casos de desmantelamento simultâneo.

Também devem ser considerados acidentes de queda do próprio SFA. A severidade deste acidente depende diretamente do seu tempo de decaimento, e, portanto, sua severidade é maior logo após o desligamento do reator.

Abaixo são listados alguns tipos de acidentes mais analisados no manuseio de SFA:

- No manuseio de cascos de transferência
- No transporte de cargas pesadas
- Perda de refrigerante da SFP
- Perda de alimentação elétrica externa ou interna
- Criticalidade.

#### **4.1.2.3.4. Drenagem dos Sistemas**

Os sistemas e componentes que foram usados durante a operação da planta são drenados como parte da fase de transição antes da implantação da estratégia de descomissionamento. O processamento dos líquidos resultantes é também parte do período de transição. A experiência internacional mostrou que a drenagem de sistemas e componentes pode resultar em condições adversas à segurança, uma vez que pode causar alterações nas condições radiológicas e não radiológicas. O planejamento da drenagem e isolamento destes sistemas começa quando o operador da instalação nuclear determina quais estruturas, sistemas e componentes podem ser colocados em uma configuração de armazenamento para uso posterior ou para o desmantelamento e a descontaminação definitivos. Em geral, os sistemas selecionados não devem mais ser necessários para o desempenho seguro das atividades de descomissionamento nem para a segurança da planta. (IAEA, 2004)

Posteriormente, o operador determina quando a drenagem pode ser feita em função de que condições da planta são necessárias para suportar essa atividade. É importante ter conhecimento de que a drenagem de sistemas pode resultar num espalhamento de contaminação radioativa para outras partes da instalação e sistemas não previstos de serem drenados. Desta forma, em todos os casos, a drenagem deve ser avaliada quanto ao seu potencial impacto sobre outros sistemas, quanto aos

procedimentos de monitoração de radiação que devem ser implantados e quanto aos dispositivos de controle de contaminação que devem ser instalados (IAEA, 2004).

#### **4.1.2.3.5. Limpeza e Descontaminação**

A limpeza e descontaminação durante o Período de Transição pode resultar em condições inseguras, causando aumentos da exposição planejada durante a atividade, possíveis liberações de gases tóxicos e inflamáveis, dentre outras condições inseguras. O planejamento destas atividades é muito importante, desde a escolha dos sistemas e componentes que serão descontaminados ou limpos.

Os objetivos destas atividades são: Preparação para a disposição final; Segregação de materiais radioativos; redução de classificação de contaminação para disposição; redução de exposição ocupacional durante o desmantelamento e transporte dos materiais.

Uma avaliação de custo-benefício deve ser executada de forma a justificar a descontaminação. Estas atividades devem ser acompanhadas de monitores de radiação, análise de gases radioativos e geração de aerossóis tóxicos e exposição do trabalhador.

#### **4.1.2.3.6. Estimativa de inventário de material radioativo**

Após a descontaminação e a drenagem dos circuitos, é importante revalidar as estimativas anteriores do inventário de material radioativo (atividade e contaminação remanescente) e também de outros materiais, tais como material convencionalmente tóxico, que podem representar riscos durante as atividades futuras de descomissionamento. Essas estimativas de inventário geram um nível de referência de atividade em que se baseiam as futuras operações do descomissionamento. Existem numerosas técnicas disponíveis, incluindo amostragem da contaminação e medição subsequente, medição dos campos de radiação com comparação com padrões e cálculos usando códigos de computador, que são amplamente utilizados para estimar a atividade de radionuclídeos nos sistemas do reator.

Este processo é denominado caracterização e permite avançar no planejamento para: proteção radiológica dos trabalhadores, do público e do meio ambiente; classificação de rejeitos; seleção de técnicas de desmantelamento (manual, semi-remota ou totalmente remota) e processos de descontaminação; e, estimativa de custo. Uma avaliação do processo de caracterização geral para reatores que já foram desligados pode ser encontrada em IAEA (1998).

#### **4.1.2.3.7. Acondicionamento e Remoção de Rejeito Operacional**

O acondicionamento e remoção ou o próprio armazenamento adequado de rejeitos operacionais são importantes durante o período de transição porque estes têm potencial para afetar o descomissionamento seguro. Os rejeitos operacionais incluem matérias combustíveis, tais como madeira, óleos, plásticos e também qualquer rejeito líquido drenado dos sistemas ou sólidos gerados como parte do processo de transição. A IAEA (IAEA, 1999, 2000 e 2001) recomenda que a remoção da maioria do rejeito operacional seja feita antes da implantação da estratégia de descomissionamento.

A experiência tem demonstrado que se um plano de gerenciamento de rejeito (avaliação de volumes, variedade, composição, tratamento e acondicionamento) é desenvolvido antes do desligamento da planta, existe uma grande probabilidade de que o rejeito operacional seja adequadamente acondicionado e seu depósito e transporte sejam seguros, não afetando outras atividades. Um planejamento antecipado também irá garantir que não sejam gerados rejeitos que não sejam aceitos em instalações de depósito.

Os depósitos temporários de rejeito localizados dentro do sítio nuclear devem levar em consideração vários aspectos, tais como: resposta a ameaças de segurança física; resposta durante emergências radiológicas ou não-radiológicas; detecção de incêndio; disponibilidade dos sistemas de segurança; exposição dos trabalhadores, dentre outros.

É importante garantir que os rejeitos armazenados em depósitos temporários não comprometam a estabilidade estrutural ou integridade dos edifícios. Além disso, o armazenamento temporário de rejeitos não deve afetar os sistemas de segurança e estruturas, nem impedir que o operador desempenhe suas tarefas. Quando a opção de *safe enclosure* é escolhida, os rejeitos acondicionados podem ser estocados dentro da contenção de plantas nucleares que foram permanentemente desligadas, mas esta não é a opção preferida, sendo necessária uma avaliação de engenharia e segurança para avaliar esta decisão.

#### **4.1.2.3.8. Retirada, Reconfiguração e Planejamento de novos Sistemas**

Durante o período de transição, pode-se decidir que certo número de sistemas não será mais requerido; alguns podem sofrer modificações e outros podem ser necessários para estágios futuros do descomissionamento. Essa retirada ou reconfiguração de sistemas será fortemente influenciada pelo progresso das ações feitas durante o período de transição. Adicionalmente, novos sistemas poderão ser

requeridos. Basicamente, os sistemas podem ser categorizados da seguinte forma: aqueles que são necessários para a continuidade da operação ou necessitam ser modificados para suportar o descomissionamento; aqueles que precisam ser removidos e, aqueles que necessitam instalação para facilitar o descomissionamento.

Os sistemas que são necessários para suportar as eventuais atividades de descomissionamento precisam ser identificados, justificados e/ou modificados caso necessário. No caso de sistemas de segurança ou sistemas que operam em áreas contendo material radioativo, esse processo é suportado e justificado por uma análise de segurança. Tais sistemas ou parte deles que precisam estar disponíveis durante o período de transição devem ser testados e inspecionados periodicamente e realizada manutenção quando necessária.

No caso de sistemas existentes que serão removidos, a sua indisponibilidade precisará ser avaliada, como por exemplo a remoção de algum suplemento elétrico que resulte na desconexão de outras redundâncias que precisarão ser mantidas. Outro fato, é que os sistemas removidos precisam ser isolados dos sistemas operacionais ou do meio ambiente no caso de conterem material radioativo.

Existem também, como acima mencionado, os novos sistemas que precisarão ser planejados para facilitar o descomissionamento. É importante que este planejamento ocorra antes do desligamento permanente da planta para suportar, por exemplo, o gerenciamento de rejeitos pela construção de instalações de acondicionamento e tratamento, conjuntamente com instalações de armazenamento provisórias, caso necessário.

#### **4.1.2.3.9. Mudanças nas barreiras de confinamento**

Um sistema de proteção multicamada (defesa em profundidade) para proteção e segurança proporcional à magnitude e probabilidade das potenciais exposições envolvidas é aplicado às instalações nucleares, o que inclui a utilização de barreiras de confinamento para prevenir e controlar a propagação de contaminação radioativa.

Essas barreiras podem ser as estruturas, sistemas e componentes da instalação, tais como tubulações, tanques, células quentes e estruturas de concreto que contenham ou encapsulem material radioativo. A integridade dessas barreiras é mantida e estabelecem-se disposições para garantir a sua integridade contínua ao longo do descomissionamento, independente de qual opção seja selecionada. As barreiras de confinamento precisam estar sujeitas a um controle de projeto efetivo com requisitos como procedimentos, desenhos e especificações para fornecer garantia adequada de que as atividades de manutenção ou desmantelamento adjacentes ou em proximidade dessas barreiras não afetarão as suas funcionalidades.



A análise de segurança formal deve ser realizada para justificar quaisquer alterações nas barreiras de confinamento ou sistemas associados. Mudanças em barreiras de contenção podem ser necessárias para simplificar a descontaminação e o desmantelamento de estruturas, sistemas e componentes, no entanto, devido ao fato dessas mudanças poderem impactar fortemente a segurança e a operacionalidade de sistemas e componentes, estas devem ser avaliadas e justificadas pela análise de segurança.

A análise deve levar em conta os riscos internos (por exemplo, incêndio, explosão, manuseio de carga, vazamentos) e os externos (por exemplo, terremoto, inundação, condições climáticas severas), conforme exigido pelo órgão regulador. É importante destacar que se deve dar uma atenção especial ao impacto de riscos externos na instalação, uma vez que edifícios e estruturas podem ter sua integridade estrutural debilitada em função de envelhecimento ou modificação.

Devem ser instaladas barreiras adicionais caso os riscos aumentem devido a atividades planejadas de trabalho. Além disso, as barreiras podem ser modificadas para conter ou confinar especificamente áreas de alto risco de outras seções do sítio ou instalação. Esta estratégia deve ser eficaz durante operações de descontaminação de alta pressão e alta temperatura.

Durante o período de transição, áreas em contenção e/ou barreiras de confinamento podem estar abertas para acesso de pessoal previamente autorizado durante a operação da instalação. Essas áreas precisam ser avaliadas para assegurar que controles atmosféricos estejam presentes para apoiar atividades humanas. O monitoramento de radiação efetivo e o controle de exposição de pessoal devem ser estabelecidos com base nas condições prevalecentes durante a atividade. Isso leva em consideração níveis de radiação transientes que poderiam resultar em modificação ou desmontagem de estruturas, sistemas e componentes, descargas do sistema e descontaminação, ou mudanças em barreiras de radiação instaladas ou temporárias consistindo de água, metal, materiais de concreto e plásticos.

Durante o período de transição, a probabilidade de uma liberação radiológica não intencional ou não planejada é menor do que durante a operação da instalação porque as condições de alta pressão e temperatura associadas à operação não mais existem. Além disso, se a maioria dos sistemas da instalação estiver inativa, o termo fonte radiológico continua a diminuir com o decaimento de isótopos radioativos.

Em ambos os casos, a avaliação de segurança deve levar em conta estas mudanças, resultando em uma diminuição dos requisitos associados à contenção e sistemas e estruturas de confinamento.

Além de tudo o que foi mencionado acima, existem outros acidentes radiológicos e não radiológicos que podem ocorrer durante o período de transição. Esses acidentes são similares àqueles que podem ocorrer durante a operação normal da planta, no entanto esta lista não é abrangente e representativa de todas as instalações nucleares. O que é importante destacar é que os aspectos de segurança devem ser aplicados não só às operações da planta, combustível, armazenamento de rejeitos e manuseio e transporte, mas sim às demais atividades. Também podem ocorrer acidentes com resíduos radioativos sólidos, líquidos ou gasosos e o processamento, embalagem e transporte desses rejeitos. Rupturas de tubulações de processo e tanques que contenham material radioativo também são possíveis. Em particular, a probabilidade de que tais acidentes ocorram pode aumentar durante o período de transição, uma vez que todas as atividades que se realizam acontecem no interior ou ao redor da instalação nuclear.

Como as estruturas e os edifícios estão em mudança como resultado do descomissionamento, existe também uma grande probabilidade de que novas vias de liberação de efluentes radiológicos possam ser criadas. Estas vias podem não ser monitoradas com instrumentação e alarmes adequados para alertar sobre impactos adversos ao meio ambiente.

Os acidentes mencionados incluem, mas não estão limitados a: acidentes relacionados à descontaminação, tais como vazamento de produto químico usado para descontaminação; acidentes relacionados ao manuseio de materiais radioativos, como queda de recipientes e derramamentos de material radioativo; acidentes relacionados ao desmantelamento, como queda de componentes pesados; perda de filtragem de ar de alta eficiência; vazamentos de líquidos radioativos e processamento de resíduos sólidos ou gasosos de sistema; falha na contenção; acidentes com resina usada; rupturas de saco de filtro de vácuo e atividade não autorizada.

As atividades que ocorrem durante o descomissionamento, tais como descontaminação e remoção de equipamentos são similares às atividades comumente realizadas durante paradas para manutenção. No entanto, durante o descomissionamento, tais atividades podem ocorrer mais frequentemente durante a operação. Portanto, os acidentes podem ter uma maior probabilidade de ocorrência durante o descomissionamento do que durante a operação da instalação.

#### 4.1.2.4. Alemanha

Desde o acidente nuclear de Fukushima, a Alemanha decidiu não construir novas usinas, desligar todas as suas usinas até 2022 (Apêndice A).

Vários reatores estão em processo de descomissionamento e isso deverá desenvolver muito a sua experiência em projetos de descomissionamento, visto que suas empresas estão optando pela estratégia de se transformarem em empresas especializadas em descomissionamento com venda de serviços na área para não falirem.

##### 4.1.2.4.1 Licenciamento

A Lei Alemã de Energia Atômica (Atomgesetz, AtG) é a base para a regulamentação de qualquer atividade nuclear. Os requisitos para medidas de proteção radiológica são estabelecidos no Decreto de proteção radiológica *Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)* e os procedimentos de licenciamento são definidos na Portaria de Procedimentos de Licenciamento Nuclear *Atomrechtliche Verfahrensverordnung (AtVfV)* (IAEA, 2004).

De acordo com a Lei Alemã de Energia Atômica, a autoridade reguladora competente para licenciamento e supervisão cabe ao estado federal (*Land*) em que a instalação nuclear está localizada. O Ministério Federal do Ambiente, da Conservação da Natureza e da Segurança Nuclear (*BMU*) tem a função de supervisionar e pode dar diretrizes às autoridades estatais. As ordens subordinadas à lei nuclear alemã, especialmente o *StrlSchV* e o *AtVfV*, aplicam-se à construção e operação de NPP, bem como ao descomissionamento. Uma vez que o quadro regulamentar, bem como os guias e os padrões de segurança, são principalmente orientados para construção e operação, eles devem ser aplicados da mesma forma para as fases de transição e descomissionamento.

A apresentação de um PPD (com estudo de viabilidade, estimativa de custos, etc.) é uma condição prévia para a concessão de uma licença de operação. O PPD deve ser revisado a cada cinco anos. A seção 7 da Lei de Energia Atômica é a base para a construção, operação e descomissionamento de instalações nucleares. É necessária uma licença separada para cada fase da vida de uma planta: construção, operação, descomissionamento, *Safe Storage* e desmantelamento. O AtG estabelece que o descomissionamento de uma instalação, bem como o *Safe Storage* de uma instalação desmantelada requerer licença. Entre outras coisas, uma licença define o escopo da operação e procedimentos permitidos. Os pré-requisitos para a obtenção

de uma licença de descomissionamento são essencialmente os mesmos que para a construção e operação de NPP e devem ser aplicados conforme abaixo:

- (a) Confiabilidade e qualificação profissional do pessoal responsável;
- (b) Qualificação requerida e conhecimento de todos os outros funcionários;
- (c) Precauções contra os danos resultantes das atividades de descomissionamento, refletindo o status atual da ciência e tecnologia;
- (d) provisão financeira (seguro) por responsabilidade;
- (e) Proteção física de ações de terceiros;
- (f) Considerações ambientais.

#### **4.1.2.4.2 Estratégia de Descomissionamento**

De acordo com a Lei de Energia Atômica Alemã, a escolha da estratégia de descomissionamento e quando a solicitar sua licença é de responsabilidade do licenciado. As estratégias de desmantelamento imediato ou protelado são consideradas viáveis na Alemanha. As decisões de desmantelamento protelado foram tomadas principalmente por razões financeiras. No entanto, algumas atividades de descomissionamento são necessárias imediatamente após o desligamento do reator para garantir condições adequadas para o *Safe Storage*. A maioria dos licenciados decidiu em favor do desmantelamento imediato de toda a planta, incluindo a criação de planos para a restauração futura do local.

#### **4.1.2.4.3 O período pós-operacional (período de transição)**

A fase de transição do desligamento permanente até o início do desmantelamento é denominada período pós-operacional na Alemanha. Isto indica que esta fase na vida de uma planta ainda é governada pela licença de operação. Na fase pós-operacional, que pode durar até cerca de 3 anos para uma NPP de grande porte, as seguintes atividades podem ser executadas:

(a) Os SFA são descarregados e transportados do reator para instalações externas ou de armazenamento central no país. Na Alemanha, as instalações centralizadas de armazenamento de SFA estão disponíveis em Gorleben e Ahaus. No entanto, um acordo foi alcançado entre as empresas de energia elétrica alemãs e o Governo Federal para que as instalações de armazenamento de elementos combustíveis sejam construídas nos locais das centrais nucleares. O processo de licenciamento para isso está em andamento.

(b) Os resíduos operacionais são removidos das plantas e enviados para disposição final.

(c) Os circuitos são drenados. Na maioria dos casos, segue-se a descontaminação dos circuitos para reduzir as taxas de dose para o trabalho subsequente de desmantelamento (como parte da licença de descomissionamento).

(d) Os sistemas e equipamentos em que as autoridades reguladoras concordaram que não são mais necessários são retirados da operação. Isso ajuda a reduzir os custos e os requisitos de pessoal.

(e) A estratégia de descomissionamento é confirmada e as primeiras etapas do desmantelamento são planejadas em detalhes. Todos os documentos necessários para solicitar a primeira licença de descomissionamento são preparados. O planejamento do procedimento para o licenciamento é feito de tal forma que a concessão da licença de descomissionamento coincida com o fim da fase pós-operacional.

(f) O trabalho de desmantelamento só pode começar após a concessão da licença de descomissionamento. No entanto, alguns estados federais alemães emitiram emendas a licenças de operação existentes para permitir o desmantelamento parcial de sistemas específicos antes da emissão da licença abrangente de descomissionamento.

#### **4.1.2.5 França**

A energia nuclear abastece a França com quase 80% de sua eletricidade. Atualmente, a EDF possui 58 NPP operacionais (PWR). As seis centrais moderadas a grafite e refrigeradas a gás foram fechadas, assim como o Superphénix, um reator de nêutrons rápidos. A Cogéma opera plantas do ciclo de combustível, incluindo instalações de reprocessamento químico, instalações de produção de urânio e plantas de difusão gasosa. A maioria das instalações nucleares de pesquisa e desenvolvimento na França pertence à Comissão de Energia Atômica (CEA). Muitas estão sendo ou já foram desmanteladas (IAEA, 2004).

A ANDRA foi criada em 1991 para se encarregar do desenvolvimento e operação de centros de disposição de rejeitos de baixo nível (LLW), nível médio (MLW), rejeitos de alto nível (HLW) e rejeitos de muito baixo nível (VLLW). O primeiro depósito de rejeitos para radionuclídeos de meia vida de curta duração, o *Centre de la Manche*, encerrou suas atividades em 1994 após 25 anos de operação e disposição de mais de 530 000 m<sup>3</sup> de resíduos. O Centro Aube (CA) entrou em operação em 1991 e tem uma capacidade de 1.000.000 m<sup>3</sup>. A ANDRA planeja abrir uma instalação

de disposição para VLLW (de 0 a algumas centenas de Bq / g) perto do centro Aube no futuro próximo.

As atividades de Descomissionamento na França envolvem 4 grandes organizações

- (1) Empresa de Eletricidade da França (EdF),
- (2) Companhia de geração de materiais nucleares (Cogéma),
- (3) Comissão de Energia Atômica (CEA),
- (4) Agência Nacional de Rejeitos Radioativos (ANDRA).

#### **4.1.2.5.1 Licenciamento**

As instalações nucleares básicas (BNI) são reguladas por um órgão sob a autoridade do alto comissário do CEA. A organização operacional deve cumprir o sexto decreto de 11 de dezembro de 1963 que estabelece os requisitos para o descomissionamento de BNI. Este decreto estabeleceu a Autoridade de Segurança Nuclear (DGSNR). O sexto artigo, emitido em 19 de janeiro de 1990, modificou o procedimento para descomissionamento de BNI.

Em termos reguladores, o descomissionamento de instalações nucleares agora se aplica a três fases principais. A primeira se refere ao fim da operação da instalação. O trabalho é realizado de acordo com os procedimentos operacionais existentes. Esta fase inclui a remoção de todos os materiais combustíveis, férteis e físséis, todos os rejeitos produzidos durante a fase operacional e ainda presentes no local, e algumas atividades de descontaminação e drenagem. A organização operacional deve informar à DGSNR sobre a intenção de iniciar essas operações seis meses antes de iniciá-las e enviar-lhe uma análise de segurança. A DGSNR reconhece formalmente o final desta fase após o recebimento de um relatório de conclusão e após uma inspeção completa do site.

A segunda fase leva ao desligamento das instalações. Esta fase, que pode ser iniciada enquanto a anterior está em andamento, consiste em desmantelar qualquer equipamento fora da ilha nuclear que já não é necessário para vigilância e segurança. A contenção também é reforçada. No final desta fase, produz-se um inventário completo da radioatividade remanescente. Essas operações exigem autorização formal do governo. Isso só é dado após um exame aprofundado dos documentos necessários (relatório de análise de segurança, regras gerais de operação propostas,

plano de descomissionamento, etc.) pelo DGSNR. As duas primeiras fases constituem a transição da operação para o descomissionamento.

A terceira, consiste em dismantelar a instalação. Esta fase pode ser iniciada assim que a anterior estiver concluída ou pode ser protelada. A autorização e a avaliação pelos especialistas em segurança são necessárias antes do seu início.

#### **4.1.2.5.2 Descrição do período de transição**

Quando uma BNI cessa sua operação, algumas atividades de descontaminação e modificação são realizadas antes do descomissionamento, seguida pelo dismantelamento. Este trabalho resultará, do ponto de vista administrativo, na criação de uma nova BNI, na reclassificação da BNI como uma instalação que exige licenciamento ou registro exclusivamente com base em proteção ambiental, ou simplesmente em retorno ao setor público. A classificação dependerá dos níveis remanescentes de radioatividade dentro da instalação.

Conforme especificado no sexto artigo do referido decreto de 11 de dezembro de 1963, quando uma organização operacional decide fechar sua instalação por qualquer motivo, deve informar ao Diretor da DGSNR enviando:

(a) Um documento que justifique a configuração em que a instalação será deixada após o desligamento final e indicando as várias etapas de dismantelamento subsequente;

(b) Uma análise de segurança que abranja os procedimentos finais de desligamento;

(c) O rearranjo da vigilância e manutenção para assegurar uma condição de segurança satisfatória;

(d) Um plano de emergência atualizado para o local da Instalação.

Os atuais regulamentos de proteção ambiental também exigem que a organização operacional apresente uma análise de impacto ambiental. Do ponto de vista regulador, após o término da fase operacional dois conjuntos sucessivos de atividades devem ser realizados:

(1) Trabalhos para o desligamento final, que abrange toda a fase de transição autorizada pelo decreto. Este trabalho envolve principalmente o dismantelamento de equipamentos que não fazem parte da ilha nuclear e não são necessários para vigilância e segurança, a preservação ou o reforço das barreiras de contenção e a

obtenção de um inventário radioativo atualizado. Na maioria dos casos, a fase de transição é finalizada;

(2) Trabalhos de desmantelamento na parte nuclear da planta. Este trabalho pode começar assim que as operações finais de desligamento são concluídas ou podem ser adiadas para se beneficiar o decaimento radioativo em materiais ativados ou contaminados. Essas operações podem levar ao desmantelamento parcial ou total, dependendo da condição final selecionada.

Frequentemente, assim que a natureza da instalação, embora ainda seja um BNI, seja alterada pelas operações de desmantelamento, é considerada uma nova instalação nuclear. Consequentemente, é necessária uma nova autorização que envolva o procedimento anteriormente descrito, incluindo uma audiência pública. Na maioria dos casos, tais plantas tornam-se instalações de armazenamento para os próprios equipamentos.

A estratégia de desmantelamento escolhida no final da década de 1980 pela EdF consistia em atrasar o desmantelamento por 50 anos para se beneficiar do decaimento do  $\text{Co}^{60}$ . As fases primeira e segunda são concluídas imediatamente após o desligamento final e a terceira, é ainda dividida em duas subfases. A primeira subfase é iniciada no final da segunda. A segunda subfase fica atrasada em 50 anos. No ínterim, a instalação é usada para armazenar o equipamento deixado no lugar e é mantido sob vigilância (conceito de *Safe Storage*). Após esse período, a instalação é totalmente desmontada. No final da operação de desmantelamento, se não houver mais materiais radioativos no site, ela pode ser usada para outros fins e não é mais um local nuclear.

No entanto, em análises mais recentes de custo-benefício, esta estratégia tem sido alterada em alguns casos, como na usina EL4HWGCR localizada na Bretanha, onde se optou pelo seu descomissionamento total imediatamente após o término das operações (IAEA, 2004).

#### **4.1.2.6. Conclusões**

##### **4.1.2.6.1 Período de Transição pela IAEA e Experiência Européia**

A experiência europeia é muito vasta e difundida em vários documentos da IAEA conforme citado na seção 4.1.2 e tem vários pontos em consonância com o que é aplicado nas usinas americanas. Suas informações complementam os documentos americanos descritos neste trabalho e, para a proposta de atividades deste trabalho, será realizada uma mescla das listas de atividades propostas pela IAEA com a lista de



atividades proposta pelo EPRI, adicionando-se os marcos reguladores necessários. A proposta é que seja semelhante ao requerido pela NRC devido a uma maior organização e estrutura destes documentos.

Na Alemanha e na França, diferente dos EUA, o período de transição é considerado como se fosse uma continuação do período operacional, necessitando de uma licença específica apenas quando necessárias para as atividades de desmantelamento específicas do descomissionamento. Para o caso de Angra 1, pela pouca experiência da Eletronuclear e da CNEN neste tipo de atividades, o mais indicado seria se seguir os requisitos da NRC com seus documentos específicos que auxiliam na estruturação do projeto como um todo.

Assim como nos EUA, se evidencia a importância de um planejamento antecipado, da necessidade de provisão de fundos, e de várias atividades no período de transição como na remoção dos SFA, Desligamento dos sistemas, caracterização de inventário radioativo, drenagem e desligamentos dos sistemas não mais necessários, planejamento para o *safe storage*.

De forma mais enfática a IAEA foca no gerenciamento de mudanças que é necessário e nas diferenças do período operacional e de descomissionamento e transição, da importância de um arquivo de documentos atualizado sobre a planta, da preparação para um aumento nos riscos e anormalidades em decorrência de novas atividades e também evidenciando a necessidade de uma estratégia de modificação da estrutura organizacional e dos recursos humanos.

A IAEA possui uma lista de atividades para cálculo geral de custos conforme listado na seção 4.1.2.1 e que será complementado com atividades importantes listadas nas experiências listadas pelas usinas americanas e EPRI, além de marcos dos documentos de regulação.

#### **4.1.2.6.2 Segurança aplicada ao PT segundo a IAEA**

A Segurança no PT, segundo a IAEA, é de grande importância e o perigo radiológico associado as suas atividades diminuem drasticamente com a remoção dos SFA, drenagem e descontaminação dos sistemas e término do tratamento e disposição do rejeito operacional.

Ao analisar os aspectos de segurança são importantes:

- a. Adequação nos controles administrativos de forma a adequar as mudanças culturais e de atividades;

- b. Avaliação dos aspectos econômicos e sociais, pois o PT tem grande impacto nos empregados e nas comunidades e economia local;
- c. Manuseio de SFA, atividade com a maior radioatividade associada e os maiores impactos e riscos radiológicos;
- d. Drenagem dos sistemas pode resultar em condições radiológicas e não radiológicas diversas e deve ser realizada com muita cautela, pois pode haver espalhamento de contaminação radioativa;
- e. Limpeza e descontaminação, pois apesar de ser uma atividade rotineira da proteção radiológica na operação, no PT ela será realizada com maior frequência e com riscos associados a fatores humanos, como desmotivação e repetitividade.
- f. Estimativa do inventário radioativo antes, durante e depois das atividades do PT, de forma a dimensionar corretamente os riscos associados às atividades para o *Safe Storage* e desmantelamento.
- g. Acondicionamento e remoção de rejeito operacional que elevam riscos de acidentes industriais e de incêndio e deve ser executada antes do desmantelamento para diminuição de probabilidade e impactos de possíveis acidentes. Deve ser programado um plano de respostas e mitigação a estes riscos que podem resultar em emergências radiológicas e não radiológicas.
- h. Retirada e reconfiguração dos sistemas de forma criteriosa para não afetar as proteções de segurança. Devem ser devidamente justificadas e analisadas todas as modificações.
- i. Mudança de barreiras de proteção, com a adição e remoção das mesmas em função das atividades e da redução dos perigos radiológicos.

#### **4.1.2.6.3 Período de Transição na Alemanha**

Na Alemanha, o PT é considerado praticamente uma continuação do período operacional, necessitando apenas de licença específica para o desmantelamento. Também não tem regulação específica para o PT, aplicando-se os mesmos requisitos da fase operacional, o que pode resultar em aumentos de custos, pois a estrutura da usina deve ser mantida como um todo até a emissão da licença de desmantelamento. O PT é chamado também de período pós-operacional e em alguns casos executam-se inclusive atividades de desmantelamento durante o PT.

#### **4.1.2.6.4 Período de Transição na França**

A França também não possui regulação específica para o PT e o Descomissionamento é dividido em 3 fases, sendo a 1ª e a 2ª equivalentes ao PT com a remoção dos SFA, rejeitos operacionais e atividades de descontaminação e de drenagem de alguns sistemas e equipamentos. A execução destas atividades deve ser autorizada e informada previamente, ao contrário do caso alemão. A 2ª fase é referente ao desligamento e retirada de equipamentos não necessários à manutenção da ilha nuclear onde fica a SFP. A 3ª fase consiste do desmantelamento total do restante da unidade.

Existe uma reclassificação da Usina Nuclear como uma diferente BNI com requisitos de segurança abaixo do operacional conforme as atividades já executadas, semelhante aos EUA, dependendo dos níveis de radiação remanescentes e riscos existentes.

As atividades do PT devem ser analisadas pelo órgão regulador e autorizadas previamente a sua execução.

## **5. Plano inicial proposto para o PTA1 até a condição de *Safe Storage***

Neste capítulo é apresentada uma proposta aplicada a Angra 1 de um Plano inicial para a implantação do PTA1 e as questões mais relevantes para sua execução, consolidando o guia do EPRI (2016) e da IAEA (2004) e as experiências mencionadas no capítulo 4.

A estrutura do plano proposto segue abaixo:

- 5.1. Atividades propostas para o Período de Transição de Angra 1;
- 5.2. Licenciamento;
- 5.3. Estrutura organizacional e Recursos Humanos;
- 5.4. Gerenciamento da Comunicação;
- 5.5. Avaliação do Histórico Sítio (HSA) e sua Caracterização Inicial;.
- 5.6. Descontaminação Química dos Sistemas;
- 5.7. Condições para *Cool and Dim* ou *Cold and Dark*;
- 5.8. Remoção de Materiais Inflamáveis e Transição para uma Brigada de Incêndio Incipiente (IFB);
- 5.9. Gerenciamento de Combustível Usado;
- 5.10. Remoção / Redução de Ponto Quentes de Radiação;
- 5.11. Remoção de isolamento de Amianto;
- 5.12. Desmantelamento e/ou Liberação de Sistemas e prédios não radioativos;
- 5.13. Mudanças propostas para remoção ou manutenção de sistemas e especificações técnicas;
- 5.14. Análise de Segurança no Período de Transição;
- 5.15. Estimativa de custos preliminar considerando EPRI (2016);
- 5.16. Plano de gestão da qualidade, controles administrativos e de documentos.

## **5.1. Atividades propostas para o Período de Transição de Angra 1**

Para a proposta de atividades do Período de Transição de Angra 1, foram analisadas as tarefas recomendadas pela IAEA e EPRI e lições aprendidas relatadas neste estudo, e aplicadas a Angra 1.

Abaixo segue um sumário de atividades propostas para o PTA1, do seu desligamento até o período de *safe storage*:

### **1. Planejamento pré-descomissionamento**

#### 1.1. Licenciamento

- Preparar Certificado de Término Permanente da Operação e Remoção do Combustível
- Preparar Relatório de Atividades de Descomissionamento pós-desligamento (PSDAR)
- Preparar Revisão do DCE e de Custos do Período de Transição
- Preparar Plano de Gerenciamento do Combustível Irradiado (IFMP)
- Preparar Plano para o Término da Licença (LTP)
- Preparar Pedido de Especificações Técnicas sem combustível (PDTs)
- Preparar Plano de Emergência de Desligamento Permanente (PSEP)
- Preparar Plano de Proteção Física de Desligamento Permanente e Solicitações de Exceção
- Preparar Plano de Gestão da Qualidade sem Combustível Nuclear
- Preparar Programa de Requalificação para operadores / Programa de treinamento e Certificação de Manuseio de Combustível (CFH)
- Solicitar exclusões da apólice de seguro nuclear
- Preparar Análise de Segurança Específica para o PTA1
- Revisar o FSAR considerando o desligamento permanente

#### 1.2. Revisão de programas e procedimentos

#### 1.3. Revisão e análise do HSA / Levantamento Radiométrico atualizado

#### 1.4. Levantamento e análise de materiais perigosos

#### 1.5. Preparação de contrato com empresa de consultoria de apoio

#### 1.6. Preparar planejamento para condição *Cool and Dim*

#### 1.7. Preparação de Plano de Comunicação

#### 1.8. Preparação de Plano de Recursos Humanos com reestruturação organizacional da empresa para durante e após o PTA1.

### **2. Atividades de Desligamento da planta**

#### 2.1. Desligamento e inspeção da planta

- 2.2. Remoção do combustível e/ou materiais nucleares
  - 2.3. Drenagem e secagem ou purga de todos os sistemas que não estiverem em operação
  - 2.4. Amostragem para caracterização do inventário radiológico após o desligamento da planta, retirada do combustível, drenagem e secagem ou purga do sistema.
  - 2.5. Remoção de fluidos dos sistemas (água, óleos, etc.)
  - 2.6. Descontaminação dos sistemas para a redução da dose (se aplicável)
  - 2.7. Remoção de rejeitos da descontaminação
  - 2.8. Remoção de material combustível
  - 2.9. Remoção de resina usada
  - 2.10. Remoção de outros rejeitos das operações da instalação
  - 2.11. Isolamento elétrico de equipamentos
  - 2.12. Recuperação de ativos: revenda / transferência dos equipamentos da instalação e componentes como excedentes de estoque para outras instalações licenciadas (material contaminado) e não licenciadas (material não contaminado)
- 3. Contratos de equipamentos e materiais gerais**
- 3.1. Equipamentos em geral para desmantelamento (para casos especiais)
  - 3.2. Equipamentos em geral para descontaminação de pessoal e ferramentas
  - 3.3. Equipamentos em geral para proteção radiológica
  - 3.4. Equipamentos em geral de segurança física e manutenção para armazenamento por longo prazo Safe Storage
  - 3.5. Aquisição de cascos para os SFA remanescentes
  - 3.6. Aquisição de cascos para transferência de rejeitos de baixa e média para o repositório final de baixa e média atividade (a ser construído)
- 4. Atividades de Preparação para o Safe Storage**
- 4.1. Descontaminação de áreas e equipamentos para facilitar o desmantelamento (para casos específicos)
  - 4.2. Drenagem da piscina de combustível irradiado e descontaminação (quando aplicável)
  - 4.3. Desmantelamento e transferência do equipamento contaminado e material para armazenamento de longo prazo / Repositório final de rejeitos radioativos
  - 4.4. Amostragem para a caracterização do inventário radiológico nas instalações após o mapeamento e considerando o período de dormência
  - 4.5. Reconfiguração do sítio, isolamento e estruturas de proteção

- 4.6. Caracterização do inventário radiológico para descomissionamento e descontaminação
- 4.7. Preparação da área temporária de armazenamento de rejeitos (se necessário)
- 4.8. Remoção do equipamento de manuseio de combustível (se necessário)
- 4.9. Treinamento de pessoal
- 4.10. Recuperação de ativos: Venda/transferência do metal ou materiais e equipamentos salvos ou componentes para reciclagem ou reuso (parcial)
- 4.11. Implantação da condição de *Cool and Dim*
- 4.12. Avaliação e remoção de pontos quentes (quando aplicável)
- 4.13. Planejamento da Segurança física do sítio, vigilância e manutenção durante o *Safe Storage*
  - 4.13.1. Operação da segurança física e vigilância do sítio
  - 4.13.2. Inspeção e manutenção de edifícios e sistemas em operação
  - 4.13.3. Conservação do sítio
  - 4.13.4. Provisão de energia e água
  - 4.13.5. Levantamento periódico radiológico e ambiental
- 5. Processamento de rejeitos, armazenamento e disposição**
  - 5.1. Processamento de rejeitos, armazenamento e análise de segurança para disposição
  - 5.2. Estudos de viabilidade do transporte de rejeitos
  - 5.3. Permissões especiais, de embalagem e transporte
  - 5.4. Processamento de fluidos do sistema (água, óleos, etc.) provenientes da operação
  - 5.5. Processamento de rejeitos da descontaminação durante as operações da instalação
  - 5.6. Processamento de material combustível da operação da instalação
  - 5.7. Processamento de resinas usadas da operação da instalação
  - 5.8. Processamento de outros materiais nucleares e perigosos das operações da instalação
  - 5.9. Armazenamento de rejeitos da operação
  - 5.10. Disposição de rejeitos da operação da instalação
- 6. Gerenciamento de projetos, engenharia e apoio ao sítio**
  - 6.1. Mobilização e trabalhos preparatórios
  - 6.2. Serviços de gerenciamento de projetos e engenharia
  - 6.3. Relações públicas
  - 6.4. Serviços de suporte

- 6.5. Proteção Radiológica
- 6.6. Reestruturação de Recursos Humanos
- 7. **Pesquisa e desenvolvimento**
  - 7.1. Pesquisa e desenvolvimento do processo de descontaminação, medição da radioatividade e processos de desmantelamento, ferramentas e equipamentos não usuais
  - 7.2. Simulação e modelagem de trabalhos mais complicados
  - 7.3. Pesquisa de experiências internacionais e lições aprendidas atualizadas
- 8. **Gerenciamento de combustível nuclear usado**
  - 8.1. Transferência de combustível da instalação para a UAS
  - 8.2. Transferência de combustível da UAS para Repositório (se existente)

## **5.2. Licenciamento**

Atualmente não temos muitos documentos reguladores que se apliquem ao descomissionamento e período de transição no Brasil. A CNEN tem duas normas sobre descomissionamento de instalações nucleares no Brasil, a CNEN NN 9.01 (CNEN, 2012) e a CNEN NN 9.02 (CNEN, 2016), que tratam do Plano Preliminar/Final de descomissionamento e do Fundo/Garantia financeira para a sua execução, respectivamente.

Em relação à regulação alemã, que segue o *Atomic Energy Act (AtG)*, apesar da licença de operação valer para a maioria das atividades relativas ao TP, apenas sendo necessárias licenças específicas de descomissionamento quando forem executadas as grandes atividades de desmantelamento, a análise que se faz no caso de Angra 1 e do Brasil, é que em função da nossa pouca experiência em descomissionamento e sua preparação, é que seja seguida a regulação americana, que possui passos mais claros e específicos que auxiliam o entendimento tanto da CNEN como da operadora, a Eletronuclear. Uma desvantagem também da norma alemã, é que como na fase pós-operacional, a licença operacional ainda é válida, todos os sistemas de operação devem ser mantidos, aumentando os custos de operação e manutenção da planta nesta fase.

Em relação à regulação francesa, apenas uma licença governa o descomissionamento, ao contrário dos EUA, que possui licenças específicas para cada fase crítica. Na França, a ASN solicita que 3 anos antes do desligamento permanente seja apresentado o plano de descomissionamento atualizado e detalhado, o que pode ser sugerido para a usina de Angra 1, visto que hoje o prazo para entrega



do Plano Final de descomissionamento, segundo a CNEN NN 9.01 (CNEN, 2012) é de 2 anos antes do desligamento permanente, o que pode ser um tempo curto em função da quantidade de informações que precisarão constar no plano.

Portando, a proposta para Angra 1, é a de seguir a regulação americana aplicada ao período de transição, que obriga a instalação a entregar os documentos resumidos na Tabela 9 à NRC e que deveriam ser preparados para a CNEN neste caso, também se propõe o tempo médio em meses para a preparação e resposta da CNEN, com base em média histórica de resposta da NRC e preparação de cada documento nas usinas de SONGS 2&3, Crystal River e Vermont Yankee (EPRI, 2016).

Tabela 9 - Documentos propostos para serem submetidos à CNEN e tempos (meses) associados de preparação e de resposta - baseado em informações das usinas de SONGS 2&3, Crystal River 3 e Vermont Yankee (EPRI, 2016)

| Documentos propostos para serem submetidos a CNEN e tempos (meses) associados de preparação e de Resposta.         |  | Tempo preparação |              | Tempo de Reposta |               |
|--|--|------------------|--------------|------------------|---------------|
|  |  | (EPRI, 2016)     | Estimado ETN | NRC (EPRI, 2016) | Estimado CNEN |
| 1  | Certificados de Término Permanente da Operação e remoção do Combustível  | 1,5              | 1,5          | -                | -             |
| 2  | Relatório de Atividades de Descomissionamento pós-desligamento (PSDAR)*  | 6                | 7,2          | -                | 6             |
| 3  | Revisão da Estimativa de Custos de Descomissionamento específica (DCE) e de Custos do Período de Transição           | 12               | 12           | 14               | 14            |
| 4  | Plano de Gerenciamento do Combustível Irrradiado (IFMP)*   | 8                | 10,4         | 11               | 14,3          |
| 5  | Plano para o Término da Licença (LTP)  | 3                |              | -                | 6             |
| <b>Documentos com impacto sobre os custos da planta, o seu atraso resulta em custos adicionais desnecessários:</b> |  |                  |              |                  |               |
| 6  | Especificações Técnicas sem combustível (PDTS)   | 12               |              | 16               | 16            |
| 7  | Relatório de Análise de Segurança sem Combustível (DSAR)*  | 12               | 14,4         | 6                | 7,2           |
| 8  | Plano de Emergência de Desligamento Permanente (PSEP) e Solicitações de Exceção ao PSEP.                             | 6                | 6            | 18               | 18            |
| 9  | Plano de Proteção Física de Desligamento Permanente e Solicitações de Exceção ao Plano                               | 6                | 6            | 15               | 6             |
| 10   | Plano de Gestão da Qualidade sem Combustível Nuclear   | 6                | 6            | 11               | 11            |
| 11   | Programa de Requalificação para operadores / Programa de treinamento e Certificação de Manuseio de Combustível (CFH) | 6                | 6            | 13               | 13            |
| 12   | Exclusões da apólice de seguro nuclear   | 3                | 3            | 12               | 12            |

|  |   |   |   |    |    |
|--|---|---|---|----|----|
| 13   | Requerimento de Isenção do Fundo de Descomissionamento.         | 3 | 3 | 9  | 9  |
| 14   | Solicitação de isenção de requisitos para guarda de informações | 6 | 6 | 11 | 11 |
| <p>Na duração da preparação dos documentos com * foi adicionado 20% de contingência em função de dificuldades associadas a dificuldade do documento e falta de experiência da CNEN e da Eletronuclear na sua preparação e aprovação. Estas durações serão utilizadas como premissas na preparação do planejamento do PPT1.</p> |   |   |   |    |    |

### 5.3. Estrutura organizacional e Recursos Humanos

A atual estrutura organizacional da Eletronuclear em que está inserida a usina nuclear Angra 1 é mostrada na Figura 11, de forma resumida. Em vermelho foram selecionadas inicialmente as Unidades Organizacionais (UO) que terão maior envolvimento com o planejamento do PTA1 e foram coloridas as UO que serão de alguma forma impactadas ou demandadas no planejamento e na execução do PTA1.

A estrutura organizacional e de recursos humanos deve ser impactada em 3 fases principais conforme Figura 12, alguns anos antes do desligamento da usina, no Período de planejamento (5 anos antes), onde a equipe de descomissionamento deverá ser aumentada para detalhamento das atividades de planejamento e preparação de documentos reguladores para o início do período de transição, grupo este que poderá ser integrado por pessoal de outras UO com trabalho ligado diretamente a Angra 1 e que tenham suas atividades diminuídas em função da chegada do final de vida da usina. Estas pessoas poderão vir das UO de engenharia de apoio e manutenção de Angra 1, por terem experiência na usina e por uma possível redução de projetos de melhoria e até manutenção em função do final da sua vida útil. Sua experiência será fundamental para a etapa de detalhamento do plano para o desligamento e transição para a fase de *Safe Storage*.

Uma decisão que é recomendada pelo EPRI (EPRI, 2016) é a de contratar uma empresa com experiência para assessorar o processo no PT e no descomissionamento. Hoje, em função de não termos prática e experiência na área, será considerada a contratação de uma empresa para assessorar no planejamento e também na execução de algumas atividades, quando necessário.

Outra preocupação em relação aos Recursos Humanos é o da retenção de pessoal, principalmente o pessoal de operação e engenharia de suporte de Angra 1. Para motivação e retenção deste pessoal, a proposta é de participar um grupo em torno de 5 anos antes com experiência em Angra 1, para trabalhar no detalhamento do plano.

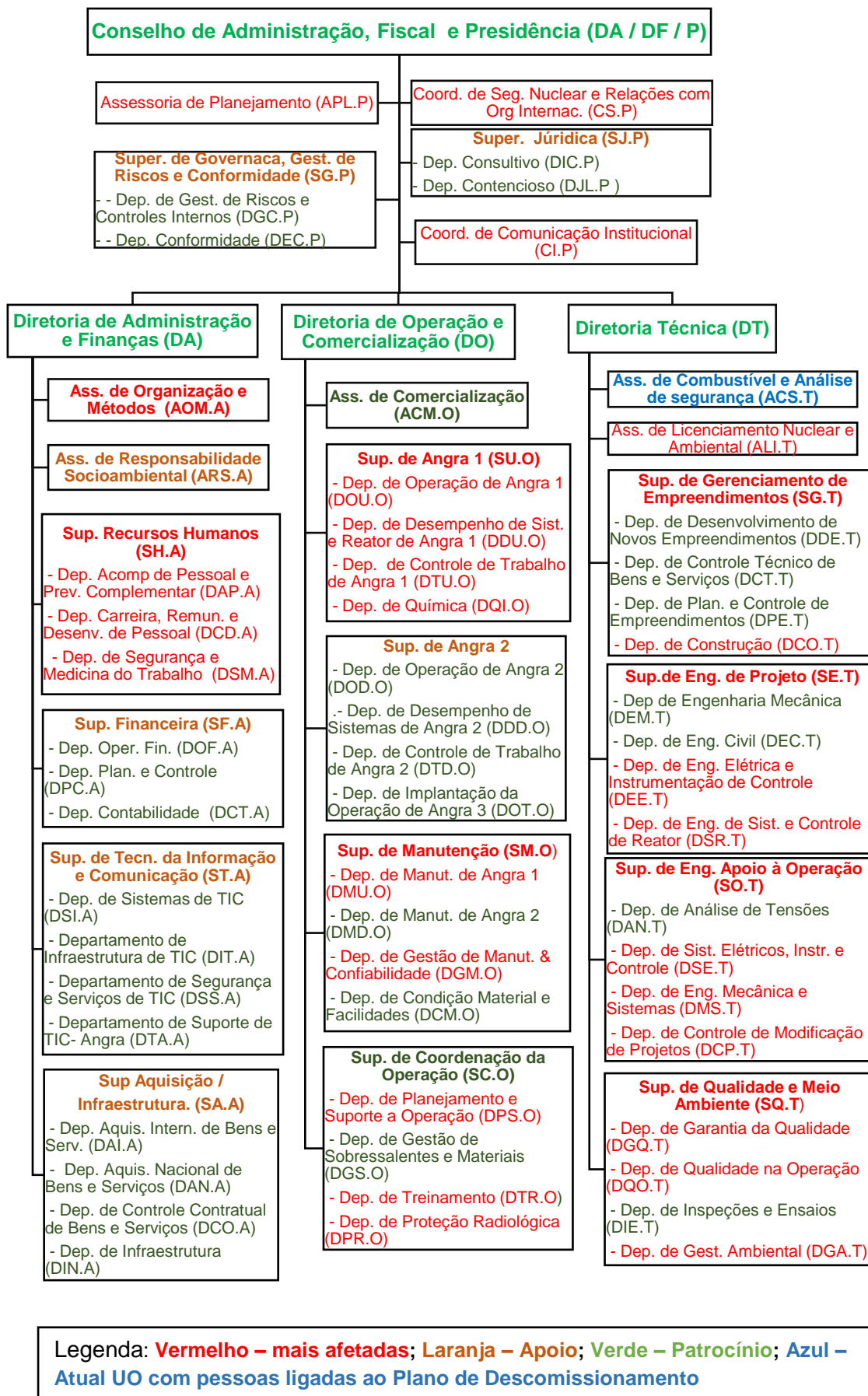


Figura 11 – Estrutura Organizacional da Eletronuclear (Eletronuclear, 2017)



- Plano de relocação do pessoal excedente, para Angra 2 ou 3 ou outras UO da Eletronuclear;
- Plano motivacional e de treinamento sobre as mudanças da empresa e da mudança cultural que a empresa sofrerá da passagem da operação para o PT e descomissionamento (muito bem executada e com retorno em Vatenfall na Suécia no planejamento para o descomissionamento de Ringhals 1 e 2 (Oskarsson, 2016);
- Identificação das necessidades de pessoal da empresa de forma a estabelecer metas de retenção e aposentadoria dos planos de pessoal que serão implantados;
- Redefinição da estrutura organizacional da empresa. Neste estudo se sugere a estrutura da figura 13, em função das experiências relatadas no Capítulo 4, onde geralmente se cria uma estrutura independente para o grupo de descomissionamento para poder atuar de forma paralela ao final da operação da planta (geralmente não se coloca este grupo abaixo da operação para não atrapalhar o objetivo principal do final de vida de uma usina, que é o de finalizar seu ciclo de vida útil com uma operação confiável e segura). Sugere-se, então que este grupo voltado para o PT / descomissionamento seja ligado diretamente a diretoria técnica ou à presidência, sendo que este grupo terá forte relação com toda a empresa que precisará atravessar muitas mudanças;

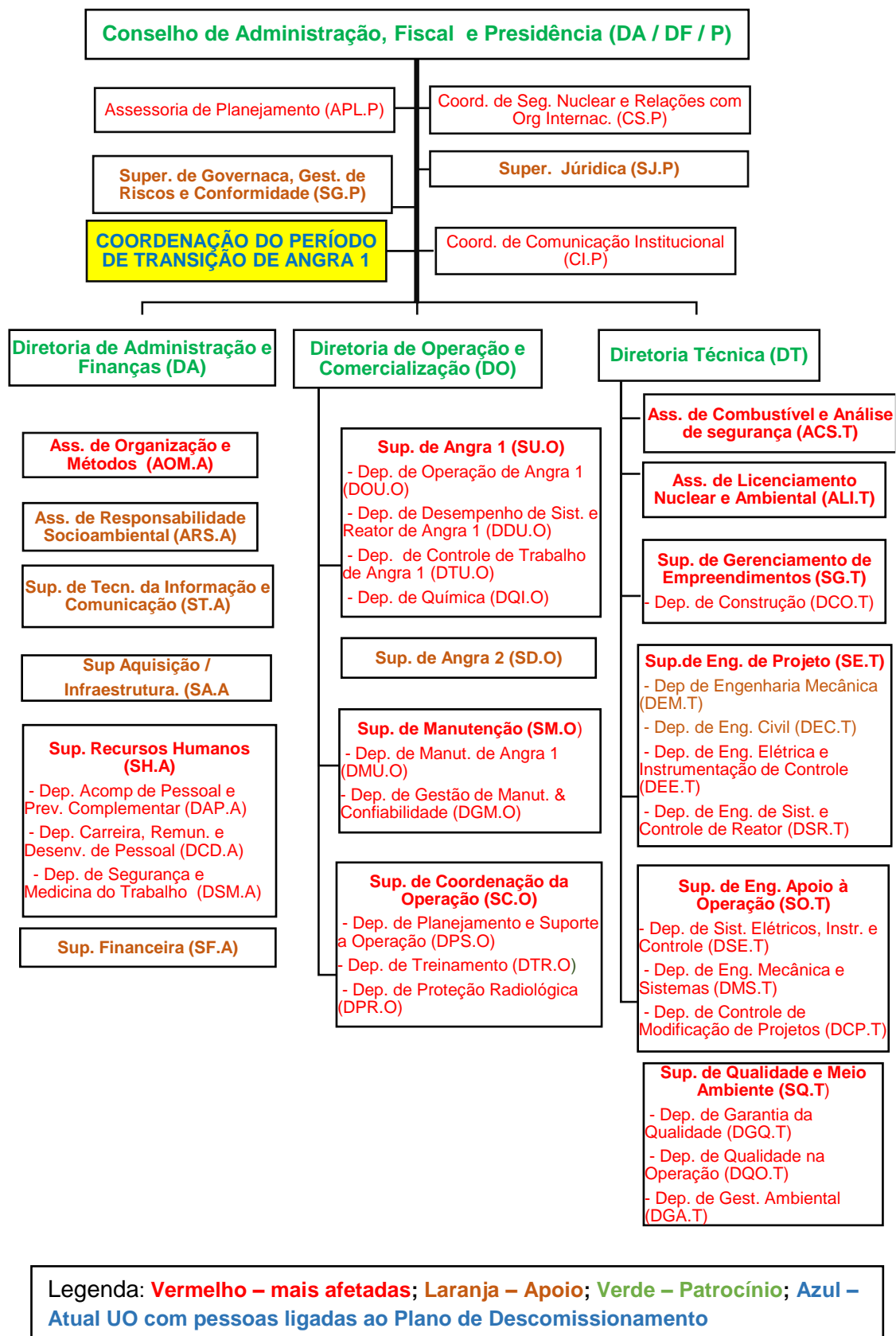


Figura 13 – Estrutura simplificada apenas com as UO mais impactadas no Período de Transição

- Haverá a necessidade de uma estrutura híbrida até o final da remoção dos combustíveis da SFP / limpeza e drenagem dos sistemas conforme evidenciada na experiência internacional apresentada no Capítulo 4.

Grande preocupação no planejamento e durante o PT é o de Gestão de Recursos Humanos. Atualmente Angra 1 tem 283 funcionários diretos, sendo que 95 são operadores (39 licenciados ativos), que serão impactados diretamente quando a decisão de desligamento permanente do reator for tomada.

Segundo a experiência internacional, é essencial a retenção do grupo de operação e engenharia ligada a Angra 1 até o final do período de transição, e por isso se propõe um plano de retenção específico para este grupo, com bonificação anual de permanência até o final do período de transição e com opção posterior de relocação para as demais áreas da empresa ou bonificação final em caso de aposentadoria.

Conforme a Figura 11, muitas UO serão afetadas diretamente e deverão ter seus tamanhos reduzidos durante e após o PT, entretanto a Superintendência de Angra 1, com todos os seus departamentos, e o Departamento de Manutenção de Angra 1 da SM.O deverão ser incorporadas a outras UO da empresa num total de 201 da SU.O e de aproximadamente 82 da SM.O (pois ela deve ser reduzida para algo em torno de 10 funcionários para realizar a manutenção do período de *safe storage*), totalizando 283 funcionários.

- **Superintendência de Angra 1 (SU.O)** – Total de 201 funcionários (6 ligados diretamente a SU.O)
  - Departamento de Operação de Angra 1 (DOU.O) – 104 funcionários
  - Departamento de Desempenho de Sistemas e Reator de Angra 1 (DDU.O) – 39 funcionários
  - Departamento de Controle de Trabalho de Angra 1 (DTU.O) – 17 funcionários
  - Departamento de Química (DQI.O) – 35 funcionários
- **Superintendência de Manutenção (SM.O)**
  - Departamento de Manutenção de Angra 1 (DMU.O) – 92 funcionários

Outras UO deverão também ser impactadas com possíveis reduções indiretamente como as administrativas de suporte à usina.

Em relação à estrutura organizacional durante o período de transição, a proposta sugerida é de uma estrutura independente, ao contrário da Figura 7, em virtude de lições aprendidas na Suécia no caso da preparação para o descomissionamento de Ringhals 1 e 2 (Chalmers, 2016) e Alemanha, onde a estrutura independente foi escolhida, justificada por deixar a operação focada apenas na operação segura da usina até seus últimos dias e depois focando nos diversos serviços operacionais remanescentes no período de transição, como a remoção dos elementos combustíveis usados para uma ISFSI, drenagem e limpeza dos sistemas etc., dando suporte a um gerente do projeto de transição corporativo conforme Figura 12.

#### **5.4. Gerenciamento da Comunicação**

Durante o Período de Transição de Angra 1 deve haver um forte Gerenciamento da Comunicação no Projeto, seguindo as recomendações de um Guia de Gerenciamento de Projetos como o PMBOK do PMI (PMI, 2015), devido à complexidade dos projetos de PT e descomissionamento.

Este processo deve garantir que as informações do projeto sejam planejadas, coletadas, criadas, distribuídas, armazenadas, recuperadas, gerenciadas, controladas, monitoradas e finalmente dispostas de maneira oportuna e apropriada.

Segundo o PMI (PMI, 2015), um plano de Gerenciamento de Comunicação deve ser planejado com base em 3 pilares, que deverão ser seguidos, conforme a seguir:

a) Planejamento do gerenciamento das comunicações - O processo de desenvolver uma abordagem apropriada e um plano de comunicações do projeto com base nas necessidades de informação e requisitos das partes interessadas, e nos ativos organizacionais disponíveis.

b) Gerenciar as comunicações - O processo de criar, coletar, distribuir, armazenar, recuperar e de disposição final das informações do projeto de acordo com o plano de gerenciamento das comunicações.

c) Controlar as comunicações - O processo de monitorar e controlar as comunicações no decorrer de todo o ciclo de vida do projeto para assegurar que as necessidades de informação das partes interessadas do projeto sejam atendidas.

A seguir na Figura 14 apresenta uma visão geral do processo de gerenciamento de comunicações segundo o PMBOK (PMI, 2015).



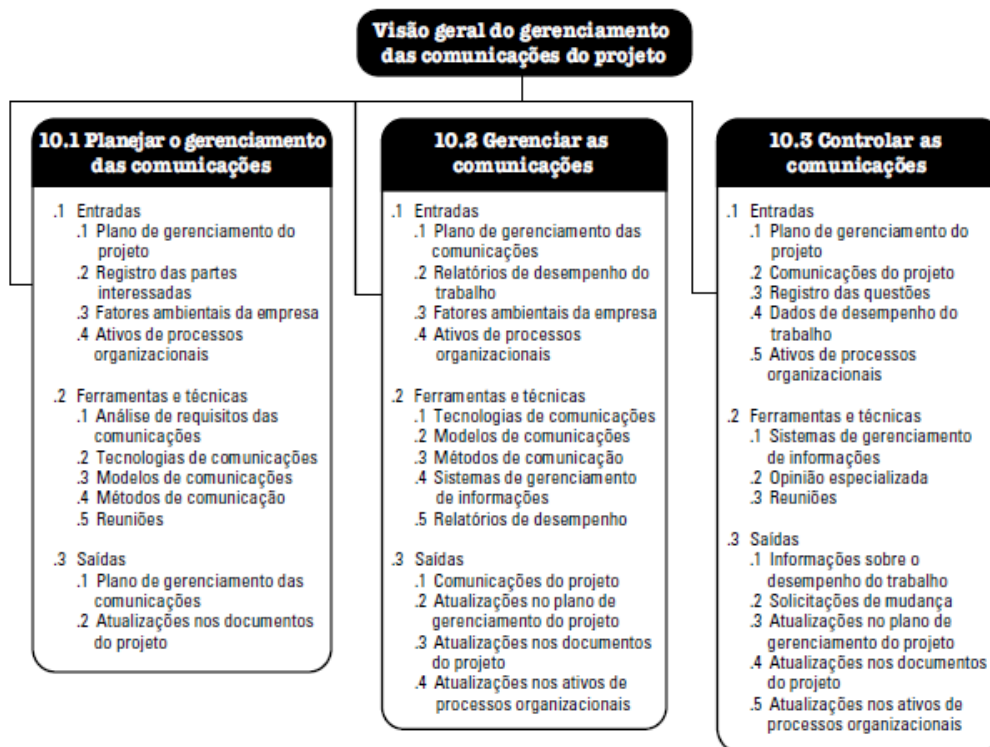


Figura 14 - Visão Geral do Gerenciamento das Comunicações do Projeto (PMI, 2015)

Em um plano de comunicação, é muito importante se identificar os *stakeholders* do projeto para posteriormente se montar um mapa de comunicação para servir de base para o plano.

Existem *stakeholders* internos e externos à empresa conforme abaixo:

I. Internos

De forma a atender aos requisitos do PMBOK, a Tabela 10 de comunicação é proposta.

Tabela 10 - Partes Interessadas no Projeto - Internas a Empresa

| Partes Interessadas no Projeto                                | Resumo de Responsabilidades e Atividades  |
|---|---|
| Conselho de Administração, Fiscal e Presidência (DA / DF / P) | Patrocinador do Projeto   |
| Assessoria de Planejamento (APL.P)                            | Auxiliar a Coordenação do Projeto no planejamento   |
| Coord. de Seg. Nuclear e Relações com Org Internac. (CS.P)    | Conseguir apoio e treinamento de órgãos internacionais com experiência em Descomissionamento como IAEA, WANO, EPRI, NRC etc |
| Super. de Governança, Gest. de Riscos e Conformidade (SG.P)   | Analisar os Riscos envolvidos no Projeto  |
| Super. Jurídica (SJ.P)  | Apoio Jurídico  |
| Coord. de Comunicação Institucional (CI.P)                    | Apoio no detalhamento, controle e manutenção de um plano de Comunicação   |
| Diretoria de Administração e Finanças (DA)                    | Patrocinador do Projeto   |

|   |   |
|---|---|
| Ass. de Organização e Métodos (AOM.A)   | Organizar uma atualização nos Manuais da O&M para o PTA1  |
| Ass. de Responsabilidade Socioambiental (ARS.A)   | Analisar os Impactos Socioambientais e medidas mitigatórias para sua eliminação ou suavização   |
| Sup. de Tecn. da Informação e Comunicação (ST.A)  | Assessorar a Comunicação na Criação de site / página na WEB informativa para toda a comunidade e <i>stakeholders</i> e sua atualização constante com os principais marcos   |
| Sup Aquisição / Infraestrutura. (SA.A)  | Apoio nas aquisições de bens e serviços necessários   |
| Sup. Recursos Humanos (SH.A)<br>- Dep. Acomp de Pessoal e Prev. Complementar (DAP.A)<br>- Dep. Carreira, Remun. e Desenv. de Pessoal (DCD.A)<br>- Dep. de Segurança e Medicina do Trabalho (DSM.A)                            | Preparar/Organizar os planos de aposentadoria voluntária, permanência incentivada no PTA1, Planos de Transferência Interna, Programa de Treinamento/carreira sobre descomissionamento etc.  |
| Sup. Financeira (SF.A)  | Apoio nas questões financeiras referentes ao fundo financeiro disponível para o projeto e o seu controle  |
| <b>Diretoria de Operação e Comercialização (DO)</b>   | Patrocinador do Projeto   |
| Sup. de Angra 1 (SU.O)<br>- Dep. de Operação de Angra 1 (DOU.O)<br>- Dep. de Desempenho de Sist. e Reator de Angra 1 (DDU.O)<br>- Dep. de Controle de Trabalho de Angra 1 (DTU.O)<br>- Dep. de Química (DQI.O)                | Auxiliar no planejamento e executar todas as tarefas operacionais que serão realizadas durante o Período de transição. Auxiliar nas revisões de especificações técnicas, seleção de sistemas que serão desligados, ou mantidos operacionais durante o período de <i>safe storage</i> e os que serão necessários para o descomissionamento.                            |
| Sup. de Angra 2   | Estudar quais posições poderiam ser preenchidas por pessoal proveniente de Angra 1.   |
| Sup. de Manutenção (SM.O)<br>- Dep. de Manut. de Angra 1 (DMU.O)<br>- Dep. de Gestão de Manut. & Confiabilidade (DGM.O)   | Auxiliar na manutenção dos sistemas até o final do PT e planejar quais sistemas e como será a manutenção durante o período de <i>safe storage</i> , com redimensionamento de equipe para esta etapa   |
| Sup. de Coordenação da Operação (SC.O)<br>- Dep. de Planejamento e Suporte à Operação (DPS.O)<br>- Dep. de Treinamento (DTR.O)<br>- Dep. de Proteção Radiológica (DPR.O)  | Auxiliar no Planejamento Geral, na preparação dos Treinamentos para novas tarefas, mudança cultural, etc. Atualizar o Plano de Proteção Radiológica, tratamento e disposição de rejeitos, limpezas de área, mapeamento radiométrico das áreas etc   |
| <b>Diretoria Técnica (DT)</b>   | Patrocinador do Projeto   |
| Ass. de Combustível e Análise de segurança (ACS.T)  | Realizar a revisão dos parâmetros de segurança e dos acidentes que ainda serão válidos com o Combustível na SFP, realizar cálculos referente ao Combustível de Angra 1 e situações de criticalidade em função dos acidentes postulados pela Análise de Segurança  |
| Ass. de Licenciamento Nuclear e Ambiental (ALI.T)   | Assessorar em todo o processo de licenciamento que possui muitas licenças e trabalho de comunicação com a CNEN  |
| Sup. de Gerenciamento de Empreendimentos (SG.T)<br>- Dep. de Construção (DCO.T)   | Auxiliar em possíveis desmantelamentos de áreas não contaminadas e que não serão mais utilizadas. Auxiliar com pessoal no Período de Transição.   |
| Sup.de Eng. de Projeto (SE.T)<br>- Dep de Engenharia Mecânica (DEM.T)<br>- Dep. de Eng. Civil (DEC.T)<br>- Dep. de Eng. Elétrica e Instrumentação de Controle (DEE.T)<br>- Dep. de Eng. de Sist. e Controle de Reator (DSR.T) | Auxiliar no plano de desligamento dos sistemas, desenergização antes e depois do PTA1, durante o período de <i>safe storage</i> , Auxílio nos projetos de tubulação e engenharia civil durante as atividades do Período de Transição  |
| Sup. de Eng. Apoio à Operação (SO.T)<br>- Dep. de Sist. Elétricos, Instr. e Controle (DSE.T)<br>- Dep. de Eng. Mecânica e Sistemas (DMS.T)<br>- Dep. de Controle de Modificação de Projetos (DCP.T)                           | Auxiliar no plano de desligamento dos sistemas, desenergização antes e depois do PTA1, durante o período de <i>safe storage</i> , Auxílio nos projetos de tubulação e engenharia civil durante as atividades do Período de Transição, e em possíveis modificações em sistemas para entrar no período de <i>safe storage</i> .   |
| Sup. de Qualidade e Meio Ambiente (SQ.T)<br>- Dep. de Garantia da Qualidade (DGQ.T)<br>- Dep. de Qualidade na Operação (DQO.T)<br>- Dep. de Gest. Ambiental (DGA.T)   | Realizar o Plano de Garantia da Qualidade do Período de Transição, Gerir as alterações de procedimentos pertinentes ao desligamento do reator de Angra 1, gerir a preparação de novos procedimentos para o <i>safe storage</i> , auxiliar no plano de controle ambiental no entorno da unidade e nas áreas vizinhas, de forma a demonstrar a segurança das atividades |

## II. Externos

Existirão também muitas interfaces com *stakeholders* externos conforme Tabela 11:

Tabela 11 - Partes Interessadas no Projeto - Externas a Empresa

| Partes Interessadas ao Projeto   | Resumo de Responsabilidades e Atividades  |
|--|---|
| CNEN   | Responsável pela emissão das licenças pertinentes ao PTA1 e acompanhamento permanente das atividades.                         |
| IBAMA  | Responsável pela emissão das autorizações ambientais que forem necessárias  |
| Sindicatos (SENGE, SINTERGIA, etc.) e Associações de empregados (ASEN) | Negociação constante sobre o futuro dos empregados e dos planos de demissão voluntária e retenção que deverão ser implantados |
| Prefeitura de Angra dos Reis   | Apoio da prefeitura ao projeto e com negociação de contrapartidas da Eletronuclear para com a comunidade                      |
| Associação de Moradores Locais   | A comunidade local precisa apoiar o projeto e estar ciente das atividades mais importantes que forem ocorrendo.               |
| Empresa contratadas para apoio   | Empresas de apoio para serviços que serão mais demandados como de proteção radiológica e apoio em geral                       |
| Empresa consultora especializada (DOC)                                 | Empresa sugerida de contratação para assessorar o Período de Transição  |

Outros controles para o plano de comunicação também devem ser planejados com a frequência das comunicações para as partes interessadas e seus respectivos meios de comunicação conforme modelo sugerido na Tabela 12.

| DOCUMENTO                       | TIPO  | PROPRIETÁRIO  | CONTEÚDO          | FREQUÊNCIA |
|---------------------------------|---|---------------|-------------------|------------|
| Relatório Semanal de Atividades | Relatório semanal com resumo do % concluído das principais atividades, marcos executados no período, além de possíveis eventos não esperados. | Eletronuclear | Resumo do Projeto | Semanal    |

Tabela 12 - Modelo de controle de comunicação (Eletronuclear, 2014)

## **5.5. Avaliação do Histórico Sítio (HSA) e sua Caracterização Inicial.**

Atualmente a Proteção Radiológica e o Meio ambiente já mantêm uma rotina de guarda de histórico do sítio e caracterização e mapeamento radiológico constantes das áreas na usina e do seu entorno, sendo necessária apenas uma revisão no procedimento de forma a alterar frequências de caracterização que serão maiores que as atuais em função das mudanças frequentes de cenário, características do PT e descomissionamento e também se incluir áreas que não são usualmente caracterizadas como as de alta taxa de dose ou aquelas que passarão a ter contaminação durante o transcorrer das atividades. Provavelmente, em função da necessidade do mapeamento de alguns locais de difícil acesso e alta taxa de dose, deveremos utilizar monitoração de radiação remota, através de robôs ou *drones* específicos para a função.

Além da HSA e da caracterização inicial radiológica do sítio, Angra 1 também deve realizar uma HSA não radiológica e caracterização para identificar materiais perigosos na planta. Para remediação desses materiais deverão ser preparados controles de trabalho adicionais, manuseio e embalagem de materiais especiais e treinamento especial para os trabalhadores.

## **5.6. Descontaminação Química dos Sistemas**

A análise de descontaminação química do sistema de refrigeração do reator logo após o desligamento e retirada dos combustíveis do reator e da piscina deverá ser realizado com avaliação de cálculo de custo-benefício.

No caso de Angra 1, em função de um longo período de *safe storage* a que a usina estará sujeita levando em consideração a atual estratégia de desmantelamento protelado, é provável, que seja mais vantajoso que esta descontaminação não seja executada até anos antes do desmantelamento, devido ao decaimento dos radionuclídeos. Entretanto, esta análise precisará ser detalhada de forma adequada anos antes do desligamento permanente, considerando as tecnologias existentes e os esforços necessários para esta atividade e uma comparação de custo-benefício, analisando as questões levantadas pelo EPRI (EPRI,2016), em que ressalta algumas vantagens da descontaminação imediata, como a realização desta atividade com o auxílio de equipamentos ainda operacionais da planta o que pode ser prejudicado com o passar do tempo; utilização de experiência operacional dos recursos humanos da planta logo após o desligamento.

Caso Angra 1 opte no futuro pelo desmantelamento imediato, seria recomendável a descontaminação imediata também por diminuir muito a exposição

dos trabalhadores nesta atividade com os sistemas já com limpeza e descontaminação realizados.

### **5.7. Condições para *Cool and Dim* ou *Cold and Dark***

Em função da experiência americana relatada sobre as dificuldades e riscos associados ao período de Safe Storage com conceito de *Cold and Dark* é sugerido que se utilize o conceito de *Cool and Dim* para o Safe Storage após o PTA1 deixando alguns sistemas essenciais para a segurança de trabalhadores que farão manutenção em alguns equipamentos neste período e vigilância.

Os sistemas, como o de ventilação e de monitoração de radiação serão necessários para garantia da segurança das condições de trabalho na situação da usina parada, mesmo que esteja em estado seguro. Também é necessário para a condição de *Cold and Dim* a remoção dos resíduos operacionais, avaliação da mudança da sala de controle. É necessária esta condição de *Cold and Dim* para preparação da unidade para um desmantelamento seguro, minimizando o risco de sistemas energizados durante esta operação, o que poderia causar acidentes. Deve ser planejado de 1 a 2 anos antes com os critérios que deverão ser atendidos e modificações necessárias.

### **5.8. Remoção de Materiais Inflamáveis e Transição para uma Brigada de Incêndio *Incipiente* (IFB)**

Deverão ser identificados para Angra 1 todos os materiais inflamáveis que não mais serão necessários e deverá ser providenciada a sua remoção, de forma a diminuir as exigências em relação ao pessoal da Brigada de incêndio e plano de emergência da usina com o intuito de redução de custos. Esta atividade não é crítica, pois apenas requer planejamento e trabalho em conjunto da operação com os integrantes da Brigada de Incêndio.

Em função da diminuição da probabilidade de incêndios devido à parada na operação da usina, deve ser reavaliado o tamanho da brigada de incêndio da CNAAA, pois assim como relatado na experiência americana, o número de integrantes da brigada poderá ser reduzido.

### **5.9. Gerenciamento de Combustível Usado**

O Gerenciamento de Combustível Usado, assim como relatado nos EUA, possui grande importância, justamente pelo fato da maioria dos países ainda não possuírem um repositório final para os seus SFA.

No caso de Angra 1, como atualmente não existe previsão exata para o repositório final para os elementos radioativos em curto período de tempo, a estratégia proposta é a de descarregar a SFP durante o PTA1 transferindo os SFA para o ISFSI.

Segundo apresentação em audiência pública da Eletronuclear realizada no Rio de Janeiro em 21 de agosto de 2016 (Eletronuclear, 2016), será projetada e construída uma Unidade Complementar de Armazenamento a Seco de Combustível Irrradiado (UAS) com previsão de estar operacional em 2021. Esta instalação poderia ser ampliada para que se possa armazenar todos os SFA de Angra 1 caso não tenhamos ainda um repositório final construído para o país, funcionando como uma ISFSI. Esta solução será a seco, com *canisters* de dispostos na superfície de forma horizontal, cascos de transferência para remoção dos SFA da usina para o local da UAS e com projeto guiado pelas normas da NRC, sendo uma solução amplamente utilizada no mundo (Eletronuclear, 2016). Na Figura 15 a seguir, apresenta-se desenho esquemático resumido desta atividade de transferência que será realizada no PTA1.

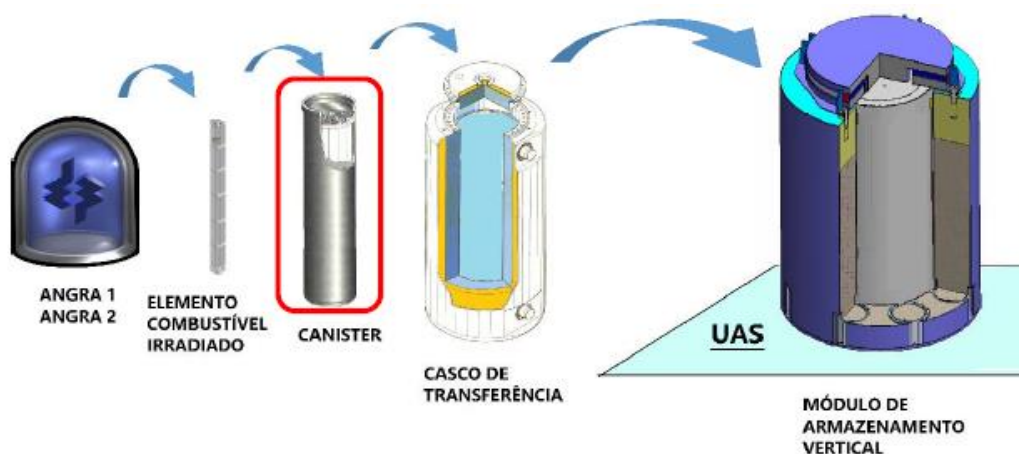


Figura 15 - desenho esquemático resumido desta atividade de transferência que será realizada no PTA1. (Eletronuclear, 2016)

O fato da Eletronuclear já estar com a UAS operacional após 2021 adiantará muito o trabalho de planejamento do PTA1, sendo necessária apenas uma avaliação da capacidade de armazenamento antes do desligamento permanente da unidade. Também deverá reduzir a duração da transferência dos SFA remanescentes, ficando o prazo limitado ao decaimento dos SFA pertencentes ao último ciclo de operação pelo pouco tempo de decaimento.

A UAS estará localizada no próprio sítio da CNAAA conforme as Figuras 16 e 17.





Figura 16 - Localização da UAS dentro da CNAEA (Eletronuclear, 2016)

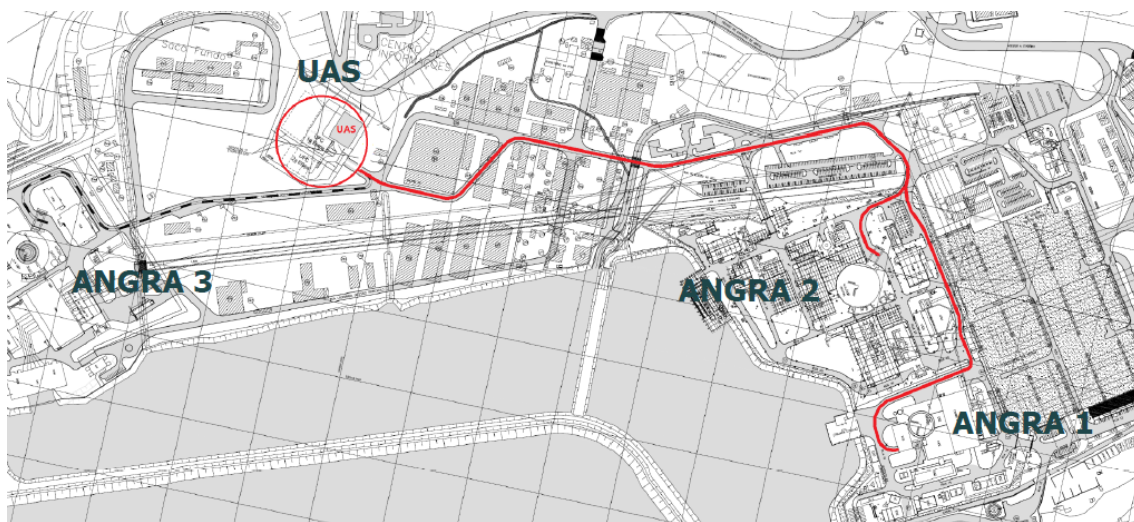


Figura 17 - Rota de Transferência de Angra 1 e Angra 2 para o UAS (Eletronuclear, 2016)

Sobre o Edifício do Combustível de Angra 1, não se propõem modificações nos sistemas de resfriamento da SFP para facilitar desmantelamentos possíveis de sistemas relacionados, devido à estratégia hoje adotada para Angra 1 ser protelada, sendo desmantelada apenas após o período de *safe storage*.

#### 5.10. Remoção / Redução de Ponto Quentes de Radiação

De forma análoga à descontaminação química, devem-se retirar os pontos quentes de fácil remoção e proceder a uma análise se alguns dos pontos quentes que tenham conexão com a descontaminação química, pois poderiam ser removidos caso seja executada uma descontaminação. Da mesma forma, com a execução de uma descontaminação química pode haver um reposicionamento de algum ponto quente conforme experiência relatada no relatório do EPRI. (EPRI, 2016).

No que se refere a remoção de pontos quentes, é proposto que após o levantamento radiométrico das áreas da usina, se analise quais pontos podem ou não ser removidos levando-se em consideração o desmantelamento protelado, que apenas ocorrerá décadas mais tarde.

O EPRI (EPRI, 2016) recomenda que a identificação e remoção de pontos quentes aconteça em duas etapas, antes da descontaminação química e após, pois podem haver novos pontos após esta atividade. Como no caso de Angra 1 é muito provável que haja uma descontaminação química apenas próximo ao seu desmantelamento, apenas teremos uma fase de identificação e análise de pontos quentes.

#### **5.11. Remoção de isolamento de Amianto**

Não se aplica à usina de Angra 1 e não será considerado.

#### **5.12. Desmantelamento e/ou Liberação de Sistemas e prédios não radioativos**

Para Angra 1, se propõe não desmantelar nenhum prédio ou sistemas não radioativos até uma confirmação da decisão da empresa do que será feito da instalação posteriormente, se a mesma será reutilizada para fins industriais, se será tudo desmantelado e demolido, se existe a possibilidade da construção de outro reator no local, etc.

Prédios não radioativos também podem ser utilizados como suporte, com a função de aumentar a capacidade de armazenar rejeitos ou equipamentos específicos para o descomissionamento, portanto a decisão de seu desmantelamento deve ser analisada quando o descomissionamento das 3 usinas se aproximar com um planejamento mais detalhado e integrado do descomissionamento das unidades, para um cenário mais claro sobre este tipo de necessidade.

#### **5.13. Mudanças propostas para remoção ou manutenção de sistemas e especificações técnicas**

Após o desligamento permanente do reator, muitos sistemas e equipamentos poderão ser desligados e também poderá ser feito um pedido de redução ou eliminação de especificações técnicas conforme.

Uma lista com todos os sistemas da Usina Angra 1 Apêndice B indicando quais seriam necessários após retirada do combustível do reator. A Tabela 13 resume os sistemas que numa análise preliminar devem ser mantidos integralmente ou parcialmente no PTA1, conforme analisado no Apêndice B.



Tabela 13 - Resumo dos sistemas que necessitarão permanecer operacionais após o Desligamento Permanente (Resultado do Apêndice B).

| Sigla     | Sistema   | Justificativa  |
|-----------|---|--|
| ARI/ARS   | Sistema de Ar de Instrumento/Sistema de Ar de Serviço   | Prover suprimento de ar para equipamentos e sistemas associados ao manuseio de combustível.                      |
| ASC       | Sistema de Ar Condicionado da Sala de Controle  | Prover habitabilidade na sala de controle para monitoração e operação dos sistemas necessários.                  |
| CNC       | Sistema de Ar Condicionado da Área de Acesso Não Controlada e Centro de Suporte Técnico                                 | Possibilitar o acesso do edifício do combustível e Centro de suporte técnico em caso de necessidade.             |
| COM       | Sistema de Comunicação  | Manter a comunicação entre sala de controle e SFP durante as atividades.   |
| DEL       | Distribuição Elétrica da Usina e na área externa  | Manutenção de fonte elétrica externa de energia para funções essenciais de segurança e vigilância                |
| ESB       | Sistema de Exaustão da Sala de Baterias   | Manter a operabilidade das baterias para prover energia elétrica no caso de falha da distribuição externa do DEL |
| GDD       | Sistema dos Geradores Diesel 1A/B, 3 e 4  | Prover energia elétrica no caso de falha na distribuição de energia elétrica externa.                            |
| MCN       | Sistema de Combustível Nuclear  | Possibilitar o manuseio de SFA no durante atividade de transferência para a UAS                                  |
| MET       | Sistema de Meteorologia   | Prover dados meteorológicos para prever níveis de liberação radioativa em caso de acidentes.                     |
| PCU-ARE   | Sistema de Purificação e Limpeza da Piscina de Combustível Usado PCU / Sistema de Purificação da Água de Recarregamento | Manter condição apropriada da água de refrigeração e blindagem na SFP.   |
| SAS       | Sistema de Água de Serviço  | Fonte secundária de refrigeração da SFP  |
| SPI       | Sistema de Proteção Contra Incêndio   | Em função da carga de incêndio que permanece no prédio da SFP  |
| SMR       | Sistema de Monitoração de Radiação  | Devido a permanência de Elementos combustíveis na SFP e radioatividade   |
| SRB       | Sistema de Reciclagem de Boro   | Manutenção das concentrações apropriadas de boro na SFP  |
| SRC       | Sistema de Refrigeração de Componentes  | Prover refrigeração para o sistema de refrigeração primária da SFP   |
| STA       | Sistema de Tratamento D'Água  | Necessário para descontaminação de equipamentos e acessórios   |
| TRL       | Sistema de Tratamento de Rejeitos Líquidos  | Processar possíveis rejeitos líquidos durante a permanência de SFA na SFP  |
| TRS       | Sistema de Tratamento de Rejeitos Sólidos   | Processar possíveis rejeitos sólidos durante a permanência de SFA na SFP   |
| VCB       | Sistema de Ventilação da Casa de Bombas de Água de Serviço  | Manter acessibilidade e operação do sistema SAS  |
| VEC       | Sistema de Ventilação do Edifício de Combustível  | Manter acessibilidade e possibilidade de manuseio de combustível com esses sistemas em modo de emergência        |
| VGD       | Sistema de Ventilação da Sala dos Geradores Diesel  | Manter acessibilidade e operação dos geradores diesel para emergência  |
| TRE - 022 | Procedimentos Administrativos e Específicos da Operação   | Possibilitar manutenção testes periódicos e operação referentes ao manuseio de combustível                       |
| 138 kVI   | Subestação de 138 kV –referente a seccionadora 637 e operação dos trafos T1/1A1/1A2                                     | Prover alimentação normal e emergência para equipamentos e sistemas relacionados a manuseio de combustível       |

Uma vez que os acidentes analisados no FSAR serão reduzidos aos referentes a SFP, as condições limites da operação (LCO) poderão ser otimizadas. Em relação às especificações técnicas, deverão ser mantidas as que se referem aos sistemas identificados abaixo e seus componentes de forma a garantir segurança no resfriamento dos combustíveis usados que estarão armazenados na SFP:

- Tanque de água de recarregamento (suprimento de água borada);
- Sistema de água desmineralizada;
- Sistema de refrigeração da Piscina de Combustível;
- Sistema de refrigeração de componentes;
- Sistema de água de Serviço;
- Sistema de ventilação do ECB;
- Sistema de Exaustão do ECB;
- Sistema de monitoração de radiação do ECB;
- Gerador Diesel (sendo necessários apenas 2);
- Sala de Controle (painéis dos sistemas correlatos);
- Sistema de reprocessamento de boro;
- Ferramentas para manuseio de combustível (ponte rolante e ponte polar do ECB);
- Sistema de purificação;
- Sistema de incêndio.

A análise preliminar dos sistemas foi realizada com o auxílio do físico Anselmo Miranda (Licenciado como Operador de Angra 1) e experiência operacional e deverá ser revisada quando for elaborado um relatório detalhado indicando definitivamente todas as alterações que devem ocorrer neste período.

#### **5.14. Análise de Segurança no Período de Transição**

Deve ser realizada uma grande reavaliação do sítio durante o PTA1 de forma que as atividades deste período sejam realizadas com o mínimo de probabilidade de impacto nos acidentes estudados. Segundo a IAEA (2007), as atividades de maior impacto radiológico em seus acidentes relacionados são as de manuseio e transporte de SFA e na descontaminação do sistema primário (quando executada no PT). Ainda segundo IAEA (2007), abaixo temos as seguintes questões que precisam ser abordadas em relação à análise de segurança do PTA1:

- ✓ Preparar controles administrativos que mitiguem os riscos da mudança cultural que haverá durante o PTA1 com modificação de tarefas rotineiras, para tarefas novas e muitas vezes únicas. É necessária uma lista correta

de aprovação de forma a se ter todos os cenários possíveis avaliados antes da execução da tarefa;

- ✓ O manuseio e transferência dos SFA são as atividades com maior impacto de consequência em casos de acidentes e devem ser realizadas com o mesmo rigor do período operacional. Deve-se calcular o nível de criticalidade da SFP após o descarregamento permanente do reator e transferência dos combustíveis;
- ✓ A inspeção visual remota antes e depois das atividades com combustível é essencial para evitar problemas de danos na estrutura dos combustíveis e dos *racks* que possam vir a causar acidentes de vazamento ou queda dos SFA. Para Angra 1 não se propõe a criação de uma ilha de combustível pela previsão da existência da UAS, onde deverão ficar armazenados os seus combustíveis usados após o PTA1.
- ✓ Também devem ser utilizada tecnologia de redução de passos de movimentação de SFA, de forma a minimizar a probabilidade de acidentes no manuseio de combustível. As operações de manuseio de combustível devem ser realizadas por equipe treinada e sempre na presença de um operador licenciado para qualquer emergência.

Segundo a IAEA, devem ser avaliados durante o PT acidentes relacionados ao SFA relacionados ao manuseio de cascos de transferência, transporte de cargas pesadas, perda de refrigerante da SFP, perda de alimentação elétrica externa ou interna e criticalidade (IAEA, 2004).

Uma lista mais completa acidentes relacionados às atividades do PT e ao descomissionamento em reatores PWR é listada nas tabelas 18, 19 e 20, adaptadas de NUREG-0586 (U.S.NRC, 2002) do Apêndice C.

Estes acidentes deverão ser estudados com cenários postulados pela equipe da usina Angra 1, com seus impactos e consequências, com a implantação de medidas mitigadoras para diminuir, e se possível, eliminar os riscos dos acidentes pertinentes a Angra 1. Também em U.S.NRC (2002) é possível encontrar valores calculados de taxa de dose para alguns acidentes, assim como frequências e consequências consideradas em usinas americanas, que podem servir de referência para estudos futuros. .

### **5.15. Estimativa de custos preliminar considerando EPRI (2016)**

Para se realizar uma estimativa de custos para o período de transição é necessário se detalhar ao máximo as suas atividades, e depois atribuir seus custos associados de material e pessoal conforme indicado em IAEA (2012). Para este cálculo pode-se tomar como base as atividades relacionadas na seção 5.14 que levam em consideração as atividades mencionadas em IAEA (2012).

Neste capítulo, propõe-se um cálculo simplificado, para se ter uma ordem de grandeza, onde propõe-se utilizar a relação presente em estudo sobre descomissionamento de usinas americanas (Kim & McGrath, 2013) que indica que grande parte do custo de descomissionamento é relativo aos recursos humanos, que ficam em torno de 43,5% do custo total, atribuindo os 56,5% restantes à destinação e ao tratamento de rejeitos, limpeza e descontaminação de sistemas e outros custos agregados como taxas, seguros etc.

Considerando as seguintes premissas:

- Continuarão empregados durante o PTA1 todos os 293 funcionários que trabalham diretamente a Angra 1 (conforme seção 5.2), considerando que se aproveitarão os funcionários de operação excedentes, na execução das atividades do PTA1.
- A duração do PTA1 será 3 a 5 anos
- Salário médio de R\$8.000 por funcionário
- Custos indiretos para a empresa (FGTS, 13º, benefícios e impostos) de aproximadamente 75% do valor do salário com base em experiência da Eletronuclear. (Eletronuclear, 2016)

Com base nestas premissas, o custo estimado de pessoal para o PTA1 em função da sua duração de 3, 4 e 5 anos seria de R\$ 147.672.000 e R\$ 196.896.000 e R\$ 246.120.000 respectivamente.

Considerando que os custos de pessoal são aproximadamente 43,5% do custo total, teríamos um custo total da ordem de R\$ 339.475.862 (3 anos) e R\$ 452.634.483 (4 anos) e R\$ 565.793.103 (5 anos).

Grande parte destes custos poderá ser reduzida com um adequado plano de aposentadoria, bom planejamento de redução de pessoal durante o PTA1 e também com a destinação dos rejeitos operacionais e combustível usado (quando possível em função do decaimento), durante a operação da usina, antes do PTA1.

#### **5.16. Plano de gestão da qualidade, controles administrativos e documentos**

Deverá ser preparado um Plano específico de Gestão da Qualidade para o PTA1 e devem ser revisados os controles administrativos existentes e de manter de forma controlada a guarda dos documentos técnicos da empresa para se mitigar e evitar as consequências listadas na tabela 7 do subitem 4.1.2.1.

## 6. Conclusões e recomendações

O período de transição de uma usina nuclear, que começa com o planejamento para o desligamento do seu reator até a unidade estar preparada para o seu desmantelamento ou pronta para ficar “adormecida” durante um período de *Safe Storage* de até 60 anos, é uma fase essencial no ciclo de vida de uma instalação nuclear e que deve ter seu planejamento periodicamente atualizado, assim como ocorre com o Plano Preliminar de Descomissionamento, que no Brasil precisa de atualizações de 5 em 5 anos conforme a norma CNEN NN 9.01 (CNEN, 2012).

Atualmente, a Usina de Angra 1 tem grandes chances de ter um pedido de extensão de vida útil aceito pela CNEN quando a mesma expirar em 2025, devido a uma série de melhorias já implementadas nas instalações (Troca dos geradores de vapor, tampa do vaso do reator, etc.). Entretanto, mesmo com todo o esforço realizado, o projeto de extensão de vida útil ainda precisa é grande, o que aumenta muito as chances de uma extensão de vida útil bem-sucedida, ainda faltam melhorias que precisam ser implantadas e quando falamos da extensão de vida útil de uma usina, o fator político e econômico está sempre presente, vide experiências nas usinas alemãs, suecas e americanas, onde houve vários desligamentos não planejados por estes motivos (Apêndice A). Desta forma, mesmo que seja mínima a probabilidade, é importante ter um plano alternativo preparado, caso seja necessário preparar Angra 1 ou qualquer outra usina para o seu descomissionamento ou estado de *Safe Storage*, em um caso de desligamento permanente não planejado.

Neste estudo, ao analisar as referências internacionais e propor um plano preliminar para o PTA1, percebe-se a grande complexidade deste projeto, multidisciplinar e que precisará de grande esforço de todas as áreas da empresa para sua conclusão com segurança e no tempo e custo possíveis, fatores estes críticos, pois a empresa não mais terá uma receita financeira proveniente de sua operação e sofrerá grande pressão para a redução máxima de custos.

O plano inicial do PTA1 deve levar em consideração diversos fatores, onde se destacam: licenciamento e atendimento à regulação vigente; planejamento da comunicação; gestão de recursos humanos com reestruturação organizacional, caracterização do sítio e forte trabalho da proteção radiológica, mudanças operacionais relativas a sistemas e seus equipamentos e as suas implicações relativas à segurança da usina (isenção de especificações técnicas e avaliações de acidentes não mais factíveis, etc.), revisão dos planos de proteção física e emergência, revisão

das bases das análises de segurança sob nova perspectiva; manuseio e transferência de combustível; processamento e destinação de rejeitos radioativos, etc.

A regulação hoje no Brasil ainda não contempla claramente este período e ainda está em processo de construção com a entrada em vigor das normas CNEN NN 9.01 (CNEN, 2012) e CNEN NN 9.02 (CNEN, 2016), que tratam do descomissionamento das usinas nucleares do Brasil e da garantia financeira e cálculo de custos deste processo. A regulação proposta neste estudo a se seguir é a americana, que possui vários documentos e marcos aplicados ao PT o que resulta em um melhor entendimento dos processos e atividades, sendo benéficos tanto para a Eletronuclear, quanto para a CNEN, pois o PTA1 será uma novidade para ambas.

Um plano de comunicação bem definido e claro para todas as partes interessadas é de grande importância, pois o projeto tem muitas interfaces com diferentes grupos de *stakeholders*, incluindo os funcionários da empresa e os seus diversos departamentos, órgãos federais e estaduais, sociedade e moradores da vizinhança, etc. Ressaltada por diversas experiências internacionais, como na Alemanha e na Suécia, a importância de se ter uma comunicação clara e transparente para com os funcionários, precisando ser divulgado a data do desligamento, e de preferência neste momento, já apresentar um plano de reestruturação, retenção e aposentadoria de pessoal a fim de se motivar os funcionários que ficarem e evitar a propagação de informações não verdadeiras que podem surgir quando não se tem uma clareza e rapidez na divulgação das informações.

A estrutura organizacional precisará de uma reformulação antes, durante e após o PTA1, pois conforme as atividades estiverem se completando, a tendência é a necessidade de redução de pessoal gradativamente. A empresa precisará de um grande trabalho de mapeamento, além do que foi feito preliminarmente neste estudo, para identificar todas as áreas que poderão receber pessoal, e qual a meta do plano de demissão incentivada para que todos esses recursos humanos sejam realocados com o mínimo de demissões possível e menor custo econômico-social exequível. Também deve ter grande importância, nesta mudança cultural, o treinamento em novas funções específicas que irão surgir e de cursos para toda a empresa de forma a esclarecer as mudanças que irão ocorrer, com o objetivo de tranquilizar os funcionários.

Este estudo faz uma breve discussão sobre quais sistemas deverão ser mantidos antes e depois do PTA1 e sobre os parâmetros de segurança e especificações técnicas que deverão ser reavaliados, recalculados, assim como as

premissas adotadas em cada acidente postulado nas análises. Esta análise deverá ser revista de forma criteriosa pela operação da usina para, com o auxílio da engenharia, retificar o que for necessário, identificando claramente os sistemas que serão desligados ou precisarão estar operacionais durante o PTA1 e durante o *Safe Storage* e que precisarão ter manutenção até o descomissionamento, para assegurar a execução das tarefas de forma segura.

Conclui-se, também, que a escolha da estratégia de descomissionamento para a CNAAA e Angra 1 influencia diretamente o planejamento do PTA1, assim como a forma de desligamento da mesma, se planejado ou não, ou se em condição normal ou pós-acidente. Portanto, caso a estratégia seja alterada para um dismantelamento imediato de Angra 1, o planejamento para o PTA1 deverá ser repensado, pois haverá mais preparações nesta situação como, por exemplo, a descontaminação química dos sistemas, necessidade de um número maior de pessoas disponíveis de manutenção, operação e engenharia, aumentando os encargos com planos de incentivo de permanência na empresa, como também aumento das consequências e riscos radiológicos de acidentes postulados neste período devido a um menor tempo de decaimento dos radionuclídeos.

Pelo volume de documentos e atividades necessários para o PTA1, a proposta é de que haja um grupo já formado 5 anos antes da data definida para o seu desligamento, para a preparação de documentação reguladora e planejamento de todas às áreas, com apoio da diretoria da empresa para que este grupo tenha acesso facilitado às informações necessárias na execução das atividades e de todas as áreas envolvidas da empresa neste processo. Também é essencial a escolha de uma metodologia de gerenciamento de projetos, e a proposta deste trabalho é que se aplique a metodologia do PMI com uso do PMBOK (PMI, 2015) com todas as suas áreas de conhecimento para se mitigar os riscos e maximizar as chances de um projeto com o mínimo de problemas, atraso e custos, terminando com sucesso.

Outra questão muito importante de grande impacto é a dos custos atribuídos ao PTA1 que precisam de um detalhamento apropriado e, assim como os custos de descomissionamento, de um provisionamento adequado e um fundo específico para esta fase (usualmente estes custos são operacionais, não atribuídos ao DCE, entretanto precisam ser planejados). Este trabalho apenas faz uma estimativa da ordem de grandeza, chegando a um valor substancial de aproximadamente R\$331.702.326 considerando 3 anos de duração e de R\$442.269.767 para 4 anos, com base em estatísticas de custos americana (Kim & McGrath, 2013). Este valor,



indica uma clara necessidade da preparação da Eletronuclear para este gasto, que até então não está previsto, podendo o mesmo ser objeto de solicitação para ser adicionado à tarifa de energia, conforme já feito para o caso dos custos calculados de descomissionamento, devendo ser informado também à ANEEL para a composição de um novo valor tarifário, possivelmente podendo ser aplicado também a Angra 2 e 3.

Por fim, existe uma premissa básica para o início de um descomissionamento de uma usina nuclear, que é de se ter um local para armazenar os rejeitos gerados, Repositório Nacional, visto que o volume de rejeitos será grande e geralmente, os depósitos intermediários não comportam tal quantidade. Da mesma forma para o PTA1, esta premissa também se aplica, e a possibilidade da sua inexistência quando do desligamento permanente da usina, faz com que a execução do PTA1 e o descomissionamento fiquem prejudicados, o que acarretaria um custo anual substancial para a Eletronuclear, considerando o pessoal que precisaria ser mantido na empresa para a refrigeração da SFP, o que poderia comprometer os Fundos para o Descomissionamento e Período de Transição. Este fator também aumentaria muito os riscos radiológicos. Em alguns locais, como visto no Apêndice A, após o seu descomissionamento, ficou apenas a instalação de armazenamento de combustível do sítio (seco ou molhado). Entretanto, no caso de rejeitos de média e baixa atividade, não se encontram casos de descomissionamento sem um repositório central construído pelo país.

Como este trabalho se propõe a montar um esboço inicial deste projeto, os próximos passos serão o seu detalhamento por parte da Eletronuclear e de outros estudantes que queiram se aprofundar no assunto. Neste sentido, propõem-se os trabalhos científicos abaixo para complementação deste estudo:

- Cálculo detalhado dos custos do período de transição e do seu planejamento, assim como os custos do seu atraso em função da não existência de um Repositório Final de Rejeitos.
- Análise dos custos referentes ao desmantelamento protelado ou imediato da usina de Angra 1, com os devidos impactos radiológicos de cada decisão, social e econômicos
- Identificação dos principais riscos associados ao PTA1 e descomissionamento proposta para o seu gerenciamento.
- Detalhamento de planejamento de desmantelamento de cada sistema e equipamentos e seleção das tecnologias associadas e utilizadas atualmente no mundo.

## Referências

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN, Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas, CNEN NN 9.01. 2012.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN, Glossário de Segurança Nuclear, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN, Gestão dos Recursos Financeiros Destinados ao Descomissionamento de Usinas Nucleoelétricas, CNEN NN 9.02. 2016

CROWL DANIEL A. & LOWAR JOSEPH F. LOWAR. Chemical Process Safety – Fundamentals with applications, 3rd edition. 2002.

DEPARTAMENT OF ENERGY - DOE, Decommissioning Implementation Guide. 1999.

DEPARTAMENT OF ENERGY - DOE, Hazard Categorization and Accident Analysis Techniques. 1999.

DEPARTAMENT OF ENERGY - DOE, Preparation of Documented Safety Analysis for Decommissioning and Environmental Restoration Activities. 2016.

DEPARTAMENT OF ENERGY - DOE, Transition Implementation Guide. 2001.

DOMINION ENERGY KEWAUNEE, Inc., Revision to post-shutdown decommissioning activities report of Kewaunee Power Station, 2014.

DUKE ENERGY FLORIDA, INC., Crystal River Unit 3 - Post-Shutdown Decommissioning Activities Report, 2013

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI , San Onofre Nuclear Generating Station – Unit 1 Decommissioning Experience Report, 2008.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI, Capturing Historical Knowledge for Decommissioning of Nuclear Power Plants: Summary of Historical Site Assessments at Eight Decommissioning Plants, 2004.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI, Decommissioning Pre-Planning Manual, 2000.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI, Decontamination Handbook, 1999.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI, Guidance for Transition from Operations to Decommissioning, 2016

ELETRONUCLEAR, disponível em [http://www.eletronuclear.gov.br/portals/0/rimadeangra3/03\\_caracterizacao.html](http://www.eletronuclear.gov.br/portals/0/rimadeangra3/03_caracterizacao.html), acesso em 28/12/2017.

ELETRONUCLEAR, Apresentação sobre Implantação da Unidade de Armazenamento Complementar a seco de combustíveis irradiados, disponível em < <http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=KqWSVlrhDZA%3D&tabid=40> >. 2016.

ELETRONUCLEAR, Plano Preliminar de Descomissionamento da CNAAA, 2014.

ELETRONUCLEAR, Gerenciamento de Projeto Essencial da Diretoria Técnica – PC-AG-GP-003, 2014.

ELETRONUCLEAR. Final Safety Analysis Report – Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto Unit 1 rev. 36, 2011

ENERCON FEDERAL SERVICES, Preliminary Decommissioning Cost Estimate of CNAAA, 2017.

GLOSSÁRIO DA NRC. Disponível em: < <http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary.html> > Acesso em 10 de novembro de 2017.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Decommissioning of Facilities, General Safety Requirements Part 6. 2014.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, Safety Standards Series No. WS-G-2.2, IAEA, Vienna (1999).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Decommissioning of Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Standards Series No. WS-G-2.4, IAEA, Vienna (2001).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Safety Standards Series No. WS-G-2.1, IAEA, Vienna (1999).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, Safety Report Series No 50. 2007.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA, Safe Decommissioning for Nuclear Activities, Proceedings of an International Conference, Citação de REISENWEAVER, D. W.. 2002.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Deterministic Safety Analysis, Specific Safety Guide, SSG-2. 2006.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants, Safety Standard Series, GS-G-4.1. 2014.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Organization and Management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities, Technical Reports Series No. 399, 2000.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Predisposal Management of Radioactive Waste, Including Decommissioning, Safety Standards Series No. WS-R-2, IAEA, Vienna (2000).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes, Technical Reports Series No. 389, IAEA, Vienna (1998)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Record Keeping for the Decommissioning of Nuclear Facilities: Guidelines and Experience, Technical Reports Series No. 411, 2002.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Safe storage of Nuclear Facilities During Deferred Dismantling, Safety Report Series No 26. 2007.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Safety Assessment for Decommissioning, Safety Report Series No 77. 2013.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Safety Assessment for Decommissioning, Safety Report Series No 77, Annex I, Part A. 2013.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Safety Assessment for Facilities and Activities, General Safety Requirements part 4 (Rev 1). 2016.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, WS-G-5.2. 2008.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Safety Considerations in the Transition from operation to Decommissioning of Nuclear Facilities, Safety Report Series Nº 36. 2004.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Standard Format and Content for Safety Related Decommissioning Documents, Safety Report Series No 45. 2005.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA, Transition from Operational to Decommissioning of Nuclear Installations, Technical Report Series Nº 420. 2004

KIRKLAND, M.C. & Weisband S., “Decommissioning is inevitable: planning sooner rather than later can have big payoffs for nuclear power plants and utilities”, WM’01 Conference, February 25, March. Tucson, AZ. 2001. Disponível em < <http://www.wmsym.org/archives/2001/10A/10A-10.pdf> > Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

LARAIA, M., “Nuclear Decommissioning: Planning, Execution and International Experience”, Woodhead Publishing Series in Energy, (2012).

Kim, K. & McGrath, R., WM2013 Conference, February 24 – 28, 2013, Phoenix, Arizona, USA. Disponível em < <http://www.wmsym.org/archives/2013/papers/13576.pdf> >. Acesso em 18 de fevereiro de 2018.

NUCLEAR ENERGY AGENCY- ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – NEA/OECD, Report on the SCNI Workshop on Nuclear Power Plant Transition from Operation into Decommissioning: Human Factors and Organization Considerations, (2000).

NUCLEAR ENERGY AGENCY - NEA, Achieving the Goals of the Decommissioning Safety Case. 2005.

NUCLEAR ENERGY AGENCY-ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – NEA/OECD, International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, 2012.

Oskarsson, M. - Vatenfall, Disponível em < <https://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/plano-de-aposentadoria-voluntaria-da-eletronbras-tem-2097-adesoes-ate-14-de-julho.ghtml> >, Acesso em 17/02/2018.

P. F. F. Frutuoso e Melo, Fundamentos de Análise de Segurança de Centrais Nucleares. 2015. Notas de Aula.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI, PMBOK - Um guia de Conhecimentos em gerenciamento de Projetos, 2015.

SNYDER, M.A., U.S. Decommissioning Transition Experience, Disponível em < [https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2016/2016-08-30-09-02-NPES/7\\_US\\_Transition\\_Experience.pdf](https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2016/2016-08-30-09-02-NPES/7_US_Transition_Experience.pdf) >, Acesso em 01 de janeiro de 2018 .

SZILAGYI, A., BRIN, G., "Operations to disposition: The final steps of a facility's operational phase", WM'00 Conference, February 27-March 2, 2000, Tucson, AZ, 2000. Disponível em < <http://www.wmsym.org/archives/2000/pdf/11/11-17.pdf> > Acesso em 20 de junho de 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Changes, tests and experiments - Emergency Plan, 10 CFR 50.54 (q), 2004

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Disponível em < Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants, <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/decommissioning.html> >, Acesso em 10 de janeiro de 2018.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Fire Protection, 10 CFR 50.48, 2017

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Generic Environmental Impact Statement on Decommissioning of Nuclear Facilities, NUREG-0586, 2002.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Manual for conducting Surveys in support of License Termination, NUREG-CR-5849, 1995.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Power reactor transition from operations to decommissioning - lessons learned report, 2016.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Reporting and recordkeeping for decommissioning planning, 10 CFR 50.75, 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Termination of License, 10 CFR 50.82, 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Conditions of licenses – Emergency Plan, 10 CFR 50.54 (q), 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Appendix E of Part 50 - Emergency Planning and Preparedness for Production and Utilization Facilities, 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Revised Analyses of Decommissioning for Reference Pressurized Water Reactor Power Station, NUREG-5884, 1995.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, standard format and content of decommissioning cost estimates for nuclear power reactors, RG 1.202, 2001

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION – USNRC, Requirements for physical protection of licensed activities in nuclear power reactors against radiological sabotage, 10 CFR 73.55, 2017

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION – USNRC, Physical protection plan, 10 CFR 72.180, 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION – USNRC, Amounts of financial protection for certain reactors, 10 CFR 140.11, 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION – USNRC, Standard Format and Content of License Termination Plans for Nuclear Power Reactors, Regulatory Guide Periodic Review, RG 1.179 Revision 1, 2016.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION – USNRC, Training and qualification of nuclear power plant personnel, 10 CFR 50.120, 2017.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION – USNRC, Standard Review Plan for Evaluating Nuclear Power Reactor License Termination Plans, NUREG-1700, and revision 1, 2016.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION – USNRC, Consolidated Decommissioning Guidance, NUREG-1757, 2016

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Standard Review Plan for Decommissioning Cost Estimates for Nuclear Power Reactors, NUREG-1713, 2004.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, Technical Study of Spent Fuel Pool Accident Risk at Decommissioning Nuclear Power Plants, NUREG-1738, 2001

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC, Estratégia de descomissionamento das Usinas Angra 1, 2 e 3, Relatório Técnico UFABC-DESCOM-EST-003-01, 2014

VATTENFALL, News from Vattenfall, Disponível em < <https://news.vattenfall.com/en/article/back-and-forth-nuclear-power> >, Acesso em 26 de dezembro de 2017.

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION - WNA, Decommissioning of Nuclear Facilities. Disponível em < <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities/> >. Acesso em 01 janeiro 2018.

ZIONSOLUTIONS, Zion Nuclear Power Station Units 1 and 2 Amended Post-Shutdown Decommissioning Activities Report, 2008.



## Apêndice A – Lista de Reatores Desligados no mundo.

Tabela 14 - Reatores desligados que cumpriram seu propósito ou que deixaram de ser economicamente viáveis (WNA, 2018)

| País          | Reator         | Tipo      | Capacidade (Mwe) | Início de operação | Anos de operação | Desligamento |
|---------------|----------------|-----------|------------------|--------------------|------------------|--------------|
| Bélgica       | BR-3           | Prot PWR  | 10               | 1962               | 24               | 1987         |
| Canadá        | Douglas Point  | Prot PHWR | 206              | 1967               | 17               | 1984         |
|               | Gentilly 1     | Exp SGHWR | 250              | 1971               | 6                | 1977         |
|               | Gentilly 2     | PHWR      | 638              | 1982               | 30               | 2012         |
|               | Rolphton NPD   | Prot PHWR | 22               | 1962               | 25               | 1987         |
| França        | Bugey 1        | GCR       | 540              | 1972               | 22               | 1994         |
|               | Chinon A1      | Prot GCR  | 70               | 1963               | 10               | 1973         |
|               | Chinon A2      | GCR       | 180              | 1965               | 20               | 1985         |
|               | Chinon A3 *    | GCR       | 360              | 1965               | 25               | 1990         |
|               | Chooz A        | Prot PWR  | 305              | 1967               | 24               | 1991         |
|               | Brennilis EL-4 | exp GCHWR | 70               | 1967               | 18               | 1985         |
|               | Marcoule G-1   | Prot GCR  | 2                | 1956               | 12               | 1968         |
|               | Marcoule G-2   | Prot GCR  | 39               | 1959               | 20               | 1980         |
|               | Marcoule G-3   | Prot GCR  | 40               | 1960               | 24               | 1984         |
|               | Phenix *       | FNR       | 233              | 1973               | 37               | 2010         |
|               | St Laurent A1  | GCR       | 390              | 1969               | 21               | 1990         |
| St Laurent A2 | GCR            | 465       | 1971             | 21                 | 1992             |              |
| Alemanha      | Juelich AVR    | Exp HTR   | 13               | 1968               | 21               | 1989         |
|               | Uentrop THTR   | Prot HTR  | 296              | 1985               | 3                | 1988         |
|               | Kalkar KNK 2   | Prot FNR  | 17               | 1978               | 13               | 1991         |
|               | Kahl VAK       | Exp BWR   | 15               | 1961               | 24               | 1985         |
|               | MZFR           | Exp PHWR  | 52               | 1966               | 18               | 1984         |
|               | Groswezheim    | Prot BWR  | 25               | 1969               | 2                | 1971         |
|               | Lingen         | Prot BWR  | 183              | 1968               | 10               | 1979         |
|               | Niederaichbach | Exp GCHWR | 100              | 1973               | 1                | 1974         |
|               | Obrigheim *    | PWR       | 340              | 1968               | 36               | 2005         |
|               | Stade *        | PWR       | 640              | 1972               | 31               | 2003         |
|               | Wuergassen     | BWR       | 640              | 1972               | 22               | 1994         |
| Itália        | Garigliano     | BWR       | 150              | 1964               | 18               | 1982         |
| Japão         | Fugen          | Prot ATR  | 148              | 1978               | 24               | 2003         |
|               | Genkai 1       | PWR       | 529              | 1975               | 40               | 2015         |
|               | Hamaoka 1      | BWR       | 515              | 1974               | 26               | 2001         |
|               | Hamaoka 2      | BWR       | 806              | 1978               | 25               | 2004         |
|               | Ikata 1*       | PWR       | 538              | 1977               | 39               | 2016         |
|               | JPDR           | Prot BWR  | 12               | 1963               | 13               | 1976         |
|               | Mihama 1       | PWR       | 320              | 1970               | 45               | 2015         |
|               | Mihama 2       | PWR       | 470              | 1972               | 43               | 2015         |
|               | Shimane 1      | BWR       | 439              | 1974               | 41               | 2015         |
|               | Tokai 1 *      | GCR       | 137              | 1965               | 33               | 1998         |
| Tsuruga 1     | BWR            | 341       | 1970             | 45                 | 2015             |              |
| Cazaquistão   | Aktou BN-350   | Prot FNR  | 52               | 1973               | 27               | 1999         |

|                |                                   |                      |     |         |        |            |
|----------------|-----------------------------------|----------------------|-----|---------|--------|------------|
| Holanda        | Dodewaard *                       | BWR                  | 55  | 1968    | 28     | 1997       |
| Rússia         | Obrinsk AM-1                      | Exp LWGR             | 6   | 1954    | 48     | 2002       |
|                | Beloyarsk 1                       | Prot LWGR            | 108 | 1964    | 19     | 1983       |
|                | Beloyarsk 2                       | Prot LWGR            | 160 | 1968    | 22     | 1990       |
|                | Melekesk VK50                     | Prot BWR             | 50  | 1964    | 24     | 1988       |
|                | Novovoronezh 1                    | Prot VVER-440/V210   | 210 | 1964    | 23     | 1988       |
|                | Novovoronezh 2                    | Prot VVER-440/V365   | 336 | 1970    | 20     | 1990       |
|                | Novovoronezh 3*                   | Prot VVER-440/V179   | 385 | 1971    | 45     | 2016       |
| Espanha        | Garona                            | BWR                  | 446 | 1971    | 42     | 2012       |
|                | Jose Cabrera *                    | PWR                  | 141 | 1968    | 38     | 2006       |
| Suécia         | Agesta                            | Prot HWR             | 10  | 1964    | 10     | 1974       |
|                | Oskarshamn 2*                     | BWR                  | 638 | 1974    | 39     | 2013       |
| Reino Unido    | Berkeley 1-2 *                    | GCR                  | 138 | 1962    | 26     | 1988-89    |
|                | Bradwell 1-2 *                    | GCR                  | 123 | 1962    | 39     | 2002       |
|                | Calder Hall 1-4 *                 | GCR                  | 50  | 1956-59 | 44-46  | 2003       |
|                | Chapelcross 1-4 *                 | GCR                  | 49  | 1959-60 | 44-45  | 2004       |
|                | Dungeness A 1-2 *                 | GCR                  | 225 | 1965    | 41     | 2006       |
|                | Hinkley Pt 1-2 *                  | GCR                  | 235 | 1965    | 35     | 2000       |
|                | Hunterston A 1-2*                 | GCR                  | 160 | 1964    | 25     | 1989-90    |
|                | Oldbury 1-2*                      | GCR                  | 217 | 1967    | 44     | 2011-12    |
|                | Sizewell A 1-2 *                  | GCR                  | 210 | 1966    | 41     | 2006       |
|                | Trawsfynydd 1-2 *                 | GCR                  | 196 | 1965    | 26     | 1993       |
|                | Wylfa 1-2*                        | GCR                  | 490 | 1971    | 44, 41 | 2015, 2012 |
|                | Windscale                         | Prot AGR             | 28  | 1963    | 18     | 1981       |
|                | Dounreay DFR                      | Exp FNR              | 11  | 1962    | 18     | 1977       |
|                | Dounreay PFR                      | Prot FNR             | 234 | 1975    | 19     | 1994       |
|                | Winfrith                          | Prot SGHWR           | 92  | 1968    | 23     | 1990       |
| Estados Unidos | Big Rock Point*                   | BWR                  | 67  | 1962    | 35     | 1997       |
|                | BONUS                             | Exp BWR              | 17  | 1964    | 4      | 1968       |
|                | CVTR                              | Exp PHWR             | 17  | 1963    | 4      | 1967       |
|                | Crystal River                     | PWR                  | 860 | 1977    | 35     | 2013       |
|                | Dresden 1                         | BWR                  | 197 | 1960    | 18     | 1978       |
|                | Elk River                         | BWR                  | 22  | 1963    | 5      | 1968       |
|                | Enrico Fermi 1                    | Prot FNR             | 61  | 1966    | 6      | 1972       |
|                | Fort Calhoun*                     | PWR                  | 479 | 1973    | 43     | 2016       |
|                | Fort St. Vrain                    | Prot HTR             | 330 | 1976    | 13     | 1989       |
|                | Haddam Neck / Connecticut Yankee* | PWR                  | 560 | 1967    | 29     | 1996       |
|                | Hallam                            | Exp sodium cooled GR | 75  | 1963    | 1      | 1964       |
|                | Humboldt Bay                      | BWR                  | 63  | 1963    | 13     | 1976       |
|                | Indian Point 1                    | PWR                  | 257 | 1962    | 12     | 1974       |
|                | Kewaunee*                         | PWR                  | 566 | 1974    | 39     | 2013       |
|                | Lacrosse                          | BWR                  | 48  | 1968    | 19     | 1987       |

|                |                |      |      |    |      |
|----------------|----------------|------|------|----|------|
| Maine Yankee*  | PWR            | 860  | 1972 | 25 | 1997 |
| Millstone 1    | BWR            | 641  | 1970 | 28 | 1998 |
| Pathfinder     | Prot BWR       | 59   | 1966 | 1  | 1967 |
| Peach Bottom 1 | Exp HTR        | 40   | 1967 | 7  | 1974 |
| Piqua          | Exp Organic MR | 12   | 1963 | 3  | 1966 |
| Rancho Seco 1  | PWR            | 873  | 1974 | 15 | 1989 |
| San Onofre 1*  | PWR            | 436  | 1967 | 25 | 1992 |
| San Onofre 2*  | PWR            | 1070 | 1982 | 31 | 2013 |
| San Onofre 3*  | PWR            | 1070 | 1983 | 30 | 2013 |
| Saxton         | Exp PWR        | 3    | 1967 | 5  | 1972 |
| Shippingport   | Prot PWR       | 60   | 1957 | 25 | 1982 |
| Trojan         | PWR            | 1095 | 1975 | 17 | 1992 |
| Vallecitos     | Prot BWR       | 24   | 1957 | 6  | 1963 |
| Yankee NPS*    | PWR            | 167  | 1960 | 31 | 1991 |
| Zion 1-2 *     | PWR            | 1040 | 1973 | 25 | 1998 |
| Sturgis FNPP   | PWR            | 10   | 1967 | 9  | 1976 |

Tabela 15 - Reatores Desligados prematuramente por razões políticas - 36 (WNA, 2018)

| País       | Reator            | Tipo          | Capacidade (Mwe) | Anos de operação | Desligamento |
|------------|-------------------|---------------|------------------|------------------|--------------|
| Armênia    | Metsamor 1        | VVER-440/V270 | 376              | 13               | 1989         |
| Bulgária   | Kozloduy 1-2      | VVER-440/V230 | 408              | 27, 28           | dez/02       |
|            | Kozloduy 3-4      | VVER-440/V230 | 408              | 24, 26           | dez/06       |
| França     | Super Phenix      | FNR           | 1200             | 12               | 1999         |
| Alemanha   | Greifswald 1-4    | VVER-440/V230 | 408              | 10, 12, 15, 16   | 1990         |
|            | Muelheim-Kaerlich | PWR           | 1219             | 2                | 1988         |
|            | Rheinsberg        | VVER-70/V210  | 62               | 24               | 1990         |
|            | Biblis A*         | PWR           | 1167             | 36               | 2011         |
|            | Biblis B*         | PWR           | 1240             | 34               | 2011         |
|            | Brunsbüttel*      | BWR           | 771              | 30               | 2007         |
|            | Grafenrheinfeld*  | PWR           | 1275             | 33               | 2015         |
|            | Isar 1*           | BWR           | 878              | 32               | 2011         |
|            | Krümmel           | BWR           | 1260             | 25               | 2009         |
|            | Neckarwestheim 1* | PWR           | 785              | 35               | 2011         |
|            | Phillipsburg 1*   | BWR           | 890              | 31               | 2011         |
| Unterweser | PWR               | 1345          | 32               | 2011             |              |
| Itália     | Caorso            | BWR           | 860              | 12               | 1986         |

|            |                     |               |      |    |        |
|------------|---------------------|---------------|------|----|--------|
|            | Latina              | GCR           | 153  | 24 | 1987   |
|            | Trino               | PWR           | 260  | 25 | 1987   |
| Japão      | Fukushima Daiichi 5 | BWR           | 760  | 33 | 2011   |
|            | Fukushima Daiichi 6 | BWR           | 1067 | 32 | 2011   |
| Lituânia   | Ignalina 1          | RBMK LWGR     | 1185 | 21 | 2005   |
|            | Ignalina 2          | RBMK LWGR     | 1185 | 22 | 2009   |
| Eslováquia | Bohunice 1          | VVER-440/V230 | 408  | 28 | dez/06 |
|            | Bohunice 2          | VVER-440/V230 | 408  | 28 | dez/08 |
| Suécia     | Barseback 1         | BWR           | 600  | 24 | nov/99 |
|            | Barseback 2         | BWR           | 600  | 28 | mai/05 |
| Ucrânia    | Chernobyl 1         | RBMK LWGR     | 740  | 19 | dez/97 |
|            | Chernobyl 2         | RBMK LWGR     | 925  | 12 | 1991   |
|            | Chernobyl 3         | RBMK LWGR     | 925  | 19 | dez/00 |
| EUA        | Shoreham            | BWR           | 820  | 3  | 1989   |

Tabela 16 - Reatores desligados após danos provenientes de acidentes ou incidentes graves - 12 (WNA, 2018)

| País       | Reator              | Tipo          | Capacidade (Mwe) | Anos de operação | Desligamento | Motivo  |
|------------|---------------------|---------------|------------------|------------------|--------------|---|
| Alemanha   | Greifswald 5        | VVER-440/V213 | 408              | 0.5              | nov/89       | Fusão Parcial do Núcleo                                       |
|            | Gundremmingen A     | BWR           | 237              | 10               | jan/77       | Decisão após acidente com vapor                               |
| Japão      | Fukushima Daiichi 1 | BWR           | 439              | 40               | mar/11       | Fusão do núcleo proveniente de perda de refrigeração          |
|            | Fukushima Daiichi 2 | BWR           | 760              | 37               | mar/11       |   |
|            | Fukushima Daiichi 3 | BWR           | 760              | 35               | mar/11       |   |
|            | Fukushima Daiichi 4 | BWR           | 760              | 32               | mar/11       |   |
|            | Monju               | Prot FNR      | 280              | 2                | 2016         | Vazamento de Sódio  |
| Eslováquia | Bohunice A1         | Prot GCHWR    | 93               | 4                | 1977         | Dano ao núcleo durante manuseio de combustível em uma recarga |
| Spain      | Vandellós 1         | GCR           | 480              | 18               | mid-1990     | Incêndio na Turbina   |
| Suíça      | St Lucens           | GCHWR         | 8                | 3                | 1966         | Fusão do Núcleo   |
| Ukraine    | Chernobyl 4         | RBMK LWGR     | 925              | 2                | abr/86       | Incêndio e Fusão do Núcleo                                    |

**Apêndice B – Lista de sistemas de Angra 1 que serão mantidos e retirados após a retirada do combustível do reator, transferidos para Piscina de Combustível.**

Tabela 17 - Lista de sistemas de Angra 1 que serão mantidos e retirados após a retirada do combustível do reator, transferidos para Piscina de Combustível

| Sigla   | Sistema  | Manter operacional? |     |
|---------|--|---------------------|-----|
|         |  | sim                 | Não |
| AAA     | Sistema de Água de Alimentação Auxiliar  |                     | x   |
| AAC     | Sistema de Ventilação da Área de Acesso Controlada   |                     | x   |
| AAD     | Sistema de Abastecimento de Água Doce  |                     | x   |
| AGQ     | Sistema de Água Quente da Lavanderia   |                     | x   |
| AMS     | Sistema de Amostragem do Secundário  |                     | x   |
| ANC     | Sistema de Ventilação da área de Acesso Não Controlado   |                     | x   |
| APO     | Sistema de Água Potável  |                     | x   |
| AQL     | Sistema de Aquecimento das Linhas de Ácido Bórico  |                     |     |
| ARC     | Sistema de Suprimento e Exaustão de Ar de Purga da Contenção   |                     | x   |
| ARI/ARS | Sistema de Ar de Instrumento/Sistema de Ar de Serviço  | x                   |     |
| ASC     | Sistema de Ar Condicionado da Sala de Controle   | x                   |     |
| AVP     | Sistema de Ventilação da Área de Vapor Principal e Água de Alimentação                                     |                     | x   |
| CAA     | Sistema de Condensado e Água de Alimentação  |                     | x   |
| CMH     | Sistema de Monitoração de Hidrogênio e Oxigênio na Contenção   |                     | x   |
| CNC     | Sistema de Ar Condicionado da Área de Acesso Não Controlada (Multizona) e Centro de Suporte Técnico e SICA | x                   |     |
| COM     | Sistema de Comunicação   | x                   |     |
| CQV     | Sistema de Controle Químico e Volumétrico - Reator   |                     | x   |
| DEL     | Distribuição Elétrica da Usina e na área externa   | x                   |     |
| DEL-IV  | Distribuição Elétrica da Usina – Módulo IV- Chave de Manobra em Carga                                      |                     | x   |
| DEP     | Sistema de Drenos dos Equipamentos e Pisos Planta Primária   |                     | x   |
| DES     | Sistema de Drenos dos Equipamentos e Pisos Planta Secundário   |                     | x   |
| DET     | Sistema de Drenos dos Equipamentos e Pisos do Edifício da Turbina  |                     | x   |
| DFG     | Sistema de Detecção de Falha Grosseira no Combustível  |                     | x   |
| DSA     | Sistema de Drenos e Suspiros dos Aquecedores   |                     | x   |
| DSC     | Sistema de Dissolução de Soda Cáustica   |                     | x   |
| ESB     | Sistema de Exaustão da Sala de Baterias  | x                   |     |
| FAC     | Sistema de Ventilação e Filtragem de Ar de Pré-Acesso à Contenção  |                     | x   |
| GDD     | Sistema dos Geradores Diesel 1A/B, 3 e 4   | x                   |     |
| INE     | Sistema de Instrumentação Nuclear Externa  |                     | x   |
| INI     | Sistema de Instrumentação Nuclear Interna  |                     | x   |
| ISM     | Sistema de Instrumentação Sísmica  |                     | x   |
| MCN     | Sistema de Combustível Nuclear   | x                   |     |
| MET     | Sistema de Meteorologia  | x                   |     |

|         |  |   |   |
|---------|--|---|---|
| OSG     | Sistema de Óleo de Selagem do Gerador  |   | x |
| PBC     | Sistema Digital de Indicação de Posição das Barras de Controle   |   | x |
| PCI     | Sistema de Proteção Contra Incêndio  | x |   |
| PCU-ARE | Sistema de Purificação e Limpeza da Piscina de Combustível Usado PCU/Sistema de Purificação da Água de Recarregamento -ARE | x |   |
| PGH     | Sistema de Purga de Hidrogênio da Contenção  |   | x |
| PGV     | Sistema de Purga do Gerador de Vapor   |   | x |
| PQS     | Sistema de Solução de Produtos Químicos do Secundário  |   | x |
| RAC     | Sistema de Recirculação do Ar da Contenção   |   | x |
| RCR     | Sistema de Remoção de Calor Residual   |   | x |
| RDN     | Sistema de Ventilação dos Poços dos Detetores de Nêutrons  |   | x |
| RET     | Sistema de Água de Refrigeração do Edifício da Turbina   |   | x |
| RGC     | Sistema de Remoção de Gases do Condensador   |   | x |
| RTB     | Sistema de Regeneração Térmica de Boro   |   | x |
| SAC-I   | Sistema de Água de Circulação / limpeza tubos condensador  |   | x |
| SAP     | Sistema de Amostragem do Primário  |   | x |
| SAR     | Sistema de Água de Reposição do Reator   |   | x |
| SAS     | Sistema de Água de Serviço   | x |   |
| SCB     | Sistema de Controle de Barras  |   | x |
| SCL     | Unidade de Cloração com Gerador de Hipoclorito - SEACLOR   |   | x |
| SCT     | Sistema de Controle da Turbina   |   | x |
| SDV     | Sistema de Desvio de Vapor   |   | x |
| SEC     | Sistema de Spray do Envolvimento de Contenção  |   | x |
| SEQ     | Sequenciadores   |   | x |
| SEV     | Sistema de Extração de Vapor   |   | x |
| SHG     | Sistema de Hidrogênio do Gerador   |   | x |
| SIC     | Sistema Integrado dos Computadores de Angra  |   | x |
| SPI     | Sistema de Proteção Contra Incêndio  | x |   |
| SIS     | Sistema de Refrigeração de Emergência do Núcleo  |   | x |
| SLT-I   | Sistema de Lubrificação da Turbina   |   | x |
| SLT-II  | Sistema de Purificação de Óleo da Turbina  |   | x |
| SMR     | Sistema de Monitoração de Radiação   | x |   |
| SPR-I   | Sistema de Proteção do Reator  |   | x |
| SRB     | Sistema de Reciclagem de Boro  | x |   |
| SRC     | Sistema de Refrigeração de Componentes   | x |   |
| SRR     | Sistema de Refrigeração do Reator  |   | x |
| SSE     | Sistema de Sensoriamento   |   | x |
| SSG     | Sistema de Suprimento de Gases   |   | x |
| STA     | Sistema de Tratamento D'Água   | x |   |
| STE     | Sistema de Tratamento de Esgotos   |   | x |
| SVA-I   | Sistema de Vapor Auxiliar  |   | x |
| SVP     | Sistema de Vapor Principal   |   | x |
| SVS     | Sistema de Vapor de Selagem  |   | x |
| TGD     | Turbo-Gerador e Acessórios   |   | x |

|           |   |   |   |
|-----------|---|---|---|
| TRG       | Sistema de Tratamento de Rejeitos Gasosos   |   | X |
| TRL       | Sistema de Tratamento de Rejeitos Líquidos  | X |   |
| TRS       | Sistema de Tratamento de Rejeitos Sólidos   | X |   |
| VBB       | Sistema de Ventilação da Barreira Biológica   |   | X |
| VBC       | Sistema de Ventilação dos Mecanismos das Barras de Controle                           |   | X |
| VBG       | Sistema de Ventilação do Barramento do Gerador  |   | X |
| VCA       | Sistema de Ventilação do Edifício da Caldeira Auxiliar                                |   | X |
| VCB       | Sistema de Ventilação da Casa de Bombas de Água de Serviço                            | X |   |
| VEC       | Sistema de Ventilação do Edifício de Combustível                                      | X |   |
| VGD       | Sistema de Ventilação da Sala dos Geradores Diesel                                    | X |   |
| VPC       | Sistema de Ventilação do Prédio de Cloração   |   | X |
| VTG       | Sistema de Ventilação do Edifício da Turbina  |   | X |
| 500-I     | Subestação de 500kv   | X |   |
| 138-I     | Subestação 138kv  | X |   |
| TRE - 002 | TQS. De Segurança de Área Ext. e Sep. de Água e Óleo                                  |   | X |
| TRE - 022 | Procedimentos Administrativos e Específicos da Operação                               | X |   |
| 138 kVI   | Subestação de 138 kV –referente a seccionadora 637 e operação dos trafos T1/T1A1/T1A2 | X |   |
| CVG       | Coleta de Vazamento de Gaxetas  |   | X |
| DTV       | Deteção de Vazamento da Contenção   |   | X |

**Apêndice C – Lista de acidentes relacionados às atividades do PT e descomissionamento em usinas tipo PWR.**

Tabela 18 - Acidentes relacionados ao combustível nuclear. Adaptado U.S.NRC (2002)

|   |
|---|
| <b>Acidente de manuseio de casco ou cargas pesadas</b>  |
| Queda de casco na piscina de combustível usado  |
| Queda de casco de transporte de SFA ou carga pesada na SFP  |
| <b>Acidente de manuseio de combustível usado com queda do combustível</b>   |
| <b>Perda de refrigeração da piscina de elemento combustível</b>   |
| Perda de água de refrigeração da piscina de elemento combustível (por perda de energia externa)   |
| Perda da capacidade de remoção de calor de decaimento da piscina de elemento combustível  |
| Falha dos sistemas elétricos auxiliares relacionados com a refrigeração da piscina de elemento combustível  |
| Perda de energia externa; perda limitada da refrigeração da piscina de elemento combustível   |
| <b>Perda de água da Piscina de Elemento combustível</b>   |
| Perda de nível de água da piscina de elemento combustível   |
| Perda de água da piscina de elemento combustível por acidentes severos  |
| Perda de água da piscina de elemento combustível devido à ruptura de origem desconhecida  |
| Perda de água de refrigeração   |
| Drenagem da piscina de combustível  |
| Perda de remoção de calor de decaimento da piscina de elemento combustível com concorrente perda de inventário da piscina de elemento combustível |
| <b>Perda de Energia Externa</b>   |
| <b>Falha de Combustível</b>   |
| 100% de Falha de Combustível  |
| Falha simultânea de elementos combustíveis  |
| <b>Criticalidade</b>  |
| Criticalidade inadvertida (elemento em posição errada na piscina)   |
| Criticalidade, de rearranjo dos SFA resultante de eventos sísmicos ou outros eventos  |



Tabela 19 - Acidentes envolvendo materiais radioativos - não relacionados ao combustível. Adaptado U.S.NRC (2002)

|  |
|--|
| <b>Acidentes relacionados à Descontaminação</b>  |
| Liberação de spray durante descontaminação de sistemas in situ   |
| Grande vazamento ou acidente durante descontaminação in situ (spray e líquido)   |
| Descontaminação de derramamento de líquido   |
| Aspersão acidental de contaminação concentrada com spray de alta pressão   |
| <b>Acidentes no Manuseio de Material Radioativo</b>  |
| Queda de container de rejeito  |
| Queda e ruptura de container de rejeito (contendo destroços de concreto ativado)   |
| Queda de filtros de material particulado   |
| Queda de componentes contaminados  |
| Queda de destroços de concreto   |
| Eventos de empacotamento   |
| Evento de manuseio de materiais  |
| Queda de carga do gerador de vapor dentro da contenção   |
| Queda do vaso de pressão do reator   |
| Queda do módulo primário do gerador de vapor   |
| Queda de carga do gerador de vapor fora da contenção   |
| <b>Acidentes relacionados ao Desmantelamento</b>   |
| Liberação de contaminação durante corte acidental de tubulação contaminada   |
| Liberação de contaminação durante quebra acidental de tubulação contaminada  |
| Perda de controles de engenharia durante desmantelamento da cavidade do reator   |
| Liberação de contaminação durante desmantelamento de loop do sistema de refrigeração principal   |
| Desmantelamento do SRR e tubulação do sistema de injeção de segurança sem ou com perda de controles locais de engenharia                     |
| <b>Perda de Filtros HEPA</b>   |
| Ruptura do envelope de controle de contaminação; liberação de contaminação no filtro HEPA  |
| Falha no filtro HEPA   |
| Perda de integridade do invólucro de ventilação filtrada portátil  |
| Danos nos filtros por pico de pressão durante explosão de concreto ativado   |
| Perda temporária do controle de contaminação local de aerossol durante explosão  |
| Perda temporária do controle de contaminação local de aerossol durante remoção de superfícies de concreto contaminado com martelo pneumático |
| Perda do envelope de controle de contaminação durante corte com oxacetileno do vaso de pressão   |
| <b>Vazamentos no Sistema de Rejeito Radioativo Gasoso</b>  |
| Vazamentos e falhas no sistema de rejeito radioativo gasoso em tanques de decaimento de rejeito radioativo                                   |
| <b>Liberações de Rejeitos Radioativos Líquidos</b>   |
| Ruptura nos tanques de rejeito líquido   |
| Ruptura no tanque de estocagem   |

|   |
|---|
| Falha no vaso de estocagem de rejeito líquido   |
| Liberações radioativas postuladas por falhas de tanque de líquidos  |
| Liberação de tanque de líquido radioativo   |
| Ruptura da piscina de elemento combustível, com liberação para baía   |
| Vazamentos e falhas no sistema de rejeito radioativo líquido  |
| <b>Violação da Contenção (Penetração aberta para a Contenção)</b>   |
| Violação do vaso da contenção, subseqüentes perdas para o ar/água   |
| Penetração aberta - caminho sem filtro da contenção   |
| Liberação de refrigerante de hélio  |
| <b>Acidentes com Resinas usadas</b>   |
| Acidente com manuseio de resina usada (reação exotérmica)   |
| Queda de vaso de resina durante remoção do prédio da contenção  |
| Acidente de estocagem de rejeito de baixa atividade (queda de <i>liner</i> de resina)   |
| Explosão e/ou incêndio em resinas de troca iônica   |
| <b>Rupturas de filtros tipo "bag" a vácuo</b>   |
| Ruptura de saco de filtro a vácuo durante descontaminação do piso da piscina de elemento combustível  |
| Ruptura de saco de filtro a vácuo durante limpeza do piso do prédio do reator   |
| <b>Perda de Energia Externa</b>   |
| Perda de energia externa com cenário desconhecido   |
| Perda de energia externa afetando filtros HEPA, etc.  |
| <b>Perda de Ar Comprimido</b>   |
| Perda temporária de ar comprimido   |
| Perda de ar comprimido  |
| <b>Incêndio</b>   |
| Eventos de incêndio (especialmente aqueles que podem impactar na refrigeração da SFP)   |
| Dentro da contenção   |
| Dentro do vaso do reator  |
| Na escadaria  |
| No prédio do reator ou prédio de manuseio de combustível  |
| Nas unidades de estocagem   |
| No container de rejeito   |
| No ISFSI  |
| No prédio de estocagem de rejeito radioativo de baixa atividade   |
| Em rejeito / resíduo combustível ou roupa contaminada   |
| <b>Explosão</b>   |
| Explosão de oxacetileno no prédio da contenção durante corte de tubulação do sistema de refrigeração do reator ou de segmentação do vaso, e liberação do conteúdo dos filtros HEPA. |
| Explosão dentro da área de Armazém  |
| Explosão de grandes tanques de estocagem de óleo combustível  |
| Detonação de explosivos inutilizados na cavidade do reator  |
| <b>Acidentes de Transporte dentro do Sítio</b>  |

Tabela 20 - Acidentes iniciados por Eventos Externos ou outros. Adaptado USNRC (2002)

|   |
|---|
| <b>Colisões de Aeronaves</b>  |
| Risco e Impacto de uma colisão de aeronave  |
| <b>Inundações interna e externa do sítio</b>                                      |
| <b>Ventos e tornados</b>  |
| <b>Terremotos e eventos sísmicos</b>  |
| <b>Relâmpago</b>  |
| <b>Incêndio Florestal</b>   |
| <b>Segurança Física</b>   |
| Evento com intruso e violação da segurança física                                 |
| <b>Outros</b>   |
| Acidente de transporte fora do sítio  |
| Acidente de transporte  |
| Caminhão carregando rejeito radioativo – incêndio                                 |
| Evento radiológico fora do sítio (transporte de materiais radioativos)            |
| Evento químico tóxico (iniciado por evento de manuseio de material / combustível) |
| Combustão química (pela interação água-sódio) e dispersão                         |

## **Apêndice D – Lista de atividades do Período de Transição segundo a IAEA (2004)**

Abaixo, segundo IAEA (2004) descrevem-se de uma forma padronizada, algumas atividades na preparação para o descomissionamento de uma Instalação nuclear para cálculo de custos. As ações relevantes ao período de transição estão em itálico e vermelho, ações parcialmente relevantes estão em letra comum, e em negrito as atividades que não fazem parte deste período, sendo específicas do descomissionamento.

### **01 ATIVIDADES PRÉ-DESCOMISSIONAMENTO**

*01.0100 Plano de Descomissionamento*

*01.0200 Autorização*

*01.0300 Levantamentos radiológicos para planejamento e licenciamento*

*01.0400 Levantamento e análise de materiais perigosos*

*01.0500 Seleção e contratação de empresa de apoio*

### **02 ATIVIDADES DE DESLIGAMENTO DA INSTALAÇÃO**

*02.0100 Desligamento e inspeção da planta*

*02.0200 Remoção do combustível e/ou materiais nucleares*

*02.0300 Drenagem e secagem ou purga de todos os sistemas que não estiverem em operação*

*02.0400 Amostragem para caracterização do inventário radiológico após o desligamento da planta, retirada do combustível, drenagem e secagem ou purga do sistema*

*02.0500 Remoção de fluidos dos Sistemas (água, óleos, etc.)*

*02.0600 Remoção de fluidos especiais dos Sistemas (D<sub>2</sub>O, sódio, etc.)*

*02.0700 Descontaminação dos Sistemas para a redução da dose*

*02.0800 Remoção de rejeitos da descontaminação*

*02.0900 Remoção de material combustível*

*02.1000 Remoção de resina usada*

*02.1100 Remoção de outros rejeitos das operações da instalação*

*02.1200 Isolamento elétrico de equipamentos*

*02.1300 Recuperação de ativos: revenda/transferência dos equipamentos da instalação e componentes como excedentes de estoque para outras instalações licenciadas (material contaminado) e não licenciadas (material não contaminado)*

### **03 CONTRATOS DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS GERAIS**

**03.0100 Equipamentos em geral para desmantelamento**

03.0200 Equipamentos em geral para descontaminação de pessoal e ferramentas

03.0300 Equipamentos em geral para proteção radiológica

03.0400 Equipamentos em geral de segurança física e manutenção para armazenamento por longo prazo “*Safe Storage*”

#### **04 ATIVIDADES DE DESMATELAMENTO**

***04.0100 Descontaminação de áreas e equipamentos para facilitar o desmantelamento***

04.0200 Drenagem da piscina de combustível irradiado e descontaminação

04.0300 Preparação para “dormência”

04.0400 Desmantelamento e transferência do equipamento contaminado e material para armazenamento de longo prazo / Repositório final de rejeitos radioativos

04.0500 Amostragem para caracterização do inventário radiológico nas instalações após o mapeamento e considerando o período de dormência

04.0600 Reconfiguração do sítio, isolamento e estruturas de proteção

***04.0700 Redefinição da área controlada, isolamento ou “Confinamento”***

***04.0800 Caracterização do inventário radiológico para descomissionamento e descontaminação***

***04.0900 Preparação para uma área temporária de armazenamento de rejeitos***

***04.1000 Remoção do equipamento de manuseio de combustível***

04.1100 Projeto, aquisição e testes de ferramentas/equipamentos especiais para o desmantelamento remoto

***04.1200 Operações de desmantelamento do vaso do reator e seus internos***

***04.1300 Remoção do sistema primário e auxiliares***

***04.1400 Remoção do blindagem biológica / térmica***

***04.1500 Remoção de outros materiais/equipamentos da estrutura de contenção e todas as outras instalações contaminadas***

04.1600 Remoção e descarte de amianto

***04.1700 Remoção do revestimento da piscina de combustível***

***04.1800 Descontaminação do Edifício***

***04.1900 Limpeza ambiental***

***04.2000 Levantamento final radiológico***

04.2100 Caracterização de materiais radioativos

***04.2200 Descontaminação para reciclagem e reuso***

***04.2300 Treinamento de pessoal***

**04.2400 Recuperação de ativos: Venda/transferência do metal ou materiais e equipamentos salvos ou componentes para reciclagem ou reuso**

**05 PROCESSAMENTO DE REJEITOS, ARMAZENAMENTO E DISPOSIÇÃO**

*05.0100 Processamento de rejeitos, armazenamento e análise de segurança para disposição*

05.0200 Estudos de viabilidade do transporte de rejeitos

05.0300 Permissões especiais, de embalagem e transporte

*05.0400 Processamento de fluidos do Sistema (água, óleos, etc.) provenientes da operação*

*05.0500 Processamento de fluidos especiais (D2O, sódio, etc.) provenientes da operação*

*05.0600 Processamento de rejeitos da descontaminação durante as operações da instalação*

*05.0700 Processamento de material combustível da operação da instalação*

*05.0800 Processamento de resinas usadas da operação da instalação*

*05.0900 Processamento de outros materiais nucleares e perigosos das operações da instalação*

05.1000 Armazenamento de rejeitos da operação

05.1100 Disposição de rejeitos da operação da instalação

**05.1200 Processamento de rejeitos do descomissionamento**

**05.1300 Embalagem de rejeitos do descomissionamento**

**05.1400 Transporte de rejeitos de descomissionamento**

**05.1500 Armazenamento de rejeitos de descomissionamento**

**05.1600 Disposição de rejeitos de descomissionamento**

**06 SEGURANÇA FÍSICA DO SÍTIO, VIGILANCIA E MANUTENÇÃO**

06.0100 Operação da segurança física e vigilância do sítio

06.0200 Inspeção e manutenção de edifícios e sistemas em operação

06.0300 Conservação do sítio

06.0400 Provisionamento de energia e água

06.0500 Levantamento periódico radiológico e ambiental

**07 RESTAURAÇÃO DO LOCAL, LIMPEZA E PAISAGISMO**

**07.0100 Demolição ou restauração de edifícios**

**07.0200 Limpeza final e paisagismo**

**07.0300 Verificação independente de conformidade com padrões de limpeza e/ou reuso utilizados**

**07.0400 Fundos / vigilância perpétua para liberação limitada ou restrita da propriedade**

## **08 GERENCIAMENTO DE PROJETOS, ENGENHARIA E APOIO AO SÍTIO**

08.0100 Mobilização e trabalhos preparatórios

08.0200 Serviços de gerenciamento de projetos e engenharia

08.0300 Relações públicas

*08.0400 Serviços de suporte*

*08.0500 Proteção Radiológica*

**08.0600 Desmobilização**

## **09 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

09.0100 Pesquisa e desenvolvimento do processo de descontaminação, medição da radioatividade e processo de desmantelamento, ferramentas e equipamentos

09.0200 Simulação e modelagem de trabalhos mais complicados

## **10 COMBUSTÍVEL E MATERIAL NUCLEAR**

*10.0100 Transferência de combustível ou material nuclear da instalação ou de armazenamento temporário para armazenamento intermediário*

*10.0200 Armazenamento intermediário*

**10.0300 Desmantelamento / disposição da instalação de armazenamento temporário**

10.0400 Preparação da transferência do combustível ou material nuclear do armazenamento intermediário para disposição final

**10.0500 Desmantelamento / disposição de instalações de armazenamento intermediário**

## **11 OUTROS CUSTOS**

*11.0100 Custos do proprietário*

*11.0200 Custos de consultoria em geral*