

**ANDRÉ LUIZ DE SOUZA CIASCA**

**SISTEMÁTICA PARA SELEÇÃO, QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA  
QUALIFICAÇÃO DE SUPERVISORES DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA PARA  
ATUAÇÃO EM SUBMARINOS COM PROPULSÃO NUCLEAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção da certificação de Especialista pelo Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Coordenação de Pós-Graduação

2019

T  
574.19156  
C565s

Ciasca, André Luiz de Souza

Sistemática para seleção, qualificação e certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica para atuação em submarinos com propulsão nuclear / André Luiz de Souza Ciasca / Rio de Janeiro: IRD/IAEA, 2019.

XI, 62 f.: il.; tab.; 29,7 cm.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização (Lato Sensu) em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2019.

Referências bibliográficas: f. 48-53

1.Submarino com propulsão nuclear 2.Proteção Radiológica  
3.Supervisor I. Título

**André Luiz de Souza Ciasca**

**SISTEMÁTICA PARA SELEÇÃO, QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA  
QUALIFICAÇÃO DE SUPERVISORES DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA PARA  
ATUAÇÃO EM SUBMARINOS COM PROPULSÃO NUCLEAR**

Rio de Janeiro, 25 de setembro de 2019.

---

Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva – IRD/CNEN

---

Prof<sup>a</sup>. Dra Laís Alencar de Aguiar – IRD/CNEN

---

Dr. Amilton de Sousa Lins Junior – AgNSNQ/MB

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob a orientação de Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e sabedoria para a conclusão deste trabalho.

A minha família que me incentivou e me forneceu o apoio necessário.

A Marinha do Brasil que me proporcionou a oportunidade da participação no curso.

Aos docentes do curso de especialização *lato sensu* pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos em todos os momentos do curso, em especial ao orientador deste trabalho, Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva.

Aos meus colegas de turma pelo companheirismo.

## RESUMO

A Marinha do Brasil, por intermédio da Coordenadoria-Geral de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear (COGESN), do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) e da Itaguaí Construções Navais (ICN), pretende construir e operar submarinos com propulsão Nuclear. Dada as necessidades específicas de um meio naval com propulsão nuclear e a decisão de criação de um órgão regulador naval, a Marinha do Brasil ativou, em 2018, a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ). Este trabalho apresenta uma proposta de sistemática para seleção, qualificação e certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica para atuação em submarinos com propulsão nuclear. Esta proposta foi elaborada tendo como base as normas da CNEN relativas a atuação de supervisores de proteção radiológica em usina nucleoeletrica, a qualificação e exames necessários para técnicos e supervisores de proteção radiológica que lidam com meios navais com propulsão nuclear em estaleiros e bases navais americanos e a qualificação de militares operadores de plantas propulsoras navais da *U.S. Navy*. A proposta apresentou-se satisfatória e recomendações para continuação deste trabalho foram feitas.

Palavras chaves: Submarino com propulsão nuclear, Proteção Radiológica, Supervisor.

## **ABSTRACT**

The Brazilian Navy, through the General Coordination for Nuclear Propulsion Submarine Development (COGESN), the Navy Technological Center in São Paulo (CTMSP) and Itaguaí Naval Constructions (ICN), intends to build and operate nuclear-powered submarines. Given the specific needs of a nuclear-powered naval vessel and the decision to establish a naval regulatory body, the Brazilian Navy activated, in 2018, the Naval Agency for Nuclear Safety and Quality (AgNSNQ). This term paper presents a systematic proposal for the selection, qualification and certification of the qualification of radiation protection officers for performance in nuclear-powered submarines. This proposal was prepared based on CNEN standards for radiation protection officers in a nuclear power plant, the qualifications and examinations required for radiation protection technicians and supervisors dealing with nuclear-powered naval vessels in US shipyards and naval bases and the qualification of US Navy military naval power plant operators. The proposal was satisfactory and recommendations for further work were made.

Keywords: Nuclear-powered submarine, Radiation Protection, Radiation Protection Officer.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo.....	1
1.2. Justificativa.....	2
<b>2. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>3</b>
2.1. Submarino Nuclear Brasileiro.....	3
2.2. Propulsão Nuclear.....	4
2.2.1. Equipamentos principais.....	5
2.2.2. Compartimento do Reator.....	8
2.2.3. Blindagem e exposições radiológicas.....	8
2.2.4. Riscos radiológicos.....	9
2.3. Acidentes envolvendo reatores de propulsão nuclear.....	11
2.3.1. Submarino K-8 – União Soviética – 1960.....	12
2.3.2. Submarino K-19 – União Soviética – 1961.....	13
2.3.3. Submarino K-11 – União Soviética – 1965.....	14
2.3.4. Submarino K-27 – União Soviética – 1968.....	14
2.3.5. Submarino K-431 – União Soviética – 1985.....	16
2.4. Órgãos Reguladores nacionais relacionados com instalações nucleares.....	17
2.4.1. Comissão Nacional de Energia Nuclear.....	18
2.4.2. Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade.....	22
2.5. Supervisor de Proteção Radiológica.....	25
2.5.1. Responsabilidades e Deveres.....	26
2.5.2. Qualificação.....	27
2.5.3. Certificação da Qualificação.....	29
2.5.4. Emissão, Validade e Renovação da Certificação.....	30
2.5.5. Sanções.....	31
2.5.6. Abrangência do conhecimento.....	31
2.5.7. Supervisor de Proteção Radiológica em Submarinos.....	34
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
4.1. Competências de um SPR.....	38
4.2. Proposta de sistemática para seleção, qualificação e certificação de SPR.....	39

4.2.1. Abertura de processo seletivo.....	40
4.2.2. Exame Escrito.....	40
4.2.3. Entrevistas.....	41
4.2.4. Curso de especialização em proteção radiológica.....	41
4.2.5. Experiência em serviços de proteção radiológica.....	42
4.2.6. Curso aplicado em proteção radiológica para submarinos com propulsão nuclear.....	42
4.2.7. Treinamento (em campo) em serviços de supervisão de proteção radiológica.....	43
4.2.8. Avaliação da qualificação.....	43
4.2.9. Exames escritos.....	44
4.2.10. Exame oral.....	44
4.2.11. Emissão da certificação.....	45
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO 4.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO 5.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO 6.....</b>	<b>62</b>



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Submarino Convencional (S-BR) e com Propulsão Nuclear (SN-BR).....	4
Figura 2 - Esquemático de Propulsão Nuclear tipo PWR.....	5
Figura 3 - Reator PWR típico.....	6
Figura 4 - Gerador de Vapor típico.....	7
Figura 5 - Localização típica de um compartimento do reator.....	8
Figura 6 - Licenciamento conjugado do SN-BR.....	18
Figura 7 - Organograma da CNEN.....	20
Figura 8 - Linha do tempo do Marco Legal da AgNSNQ.....	22
Figura 9 - Organograma da AgNSNQ.....	24
Figura 10 - Esquemático das normas CNEN relacionados a SPR.....	25
Figura 11 - Triângulo das competências de um SPR.....	38
Figura 12 - Esquemático da proposta de sistemática para seleção, qualificação e certificação da qualificação de SPR.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Inventário de produtos de fissão.....	10
Tabela 2 - Inventário de produtos de ativação.....	11
Tabela 3 - Tempo de experiência requerido para a área Usina Nucleoelétrica.....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AgNSNQ	Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ANSNQ	Autoridade Naval de Segurança Nuclear e Qualidade
CNAAA	Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
COGESN	Coordenadoria-Geral de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
DGDNTM	Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
DBR	Diretrizes Básicas de Radioproteção
DRS	Diretoria de Radioproteção e Segurança
GV	Gerador de Vapor
ICN	Itaguaí Construções Navais
MAB	Mecanismo de Acionamento de Barras
NNPP	Naval Nuclear Propulsion Program
NNSA	<i>National Nuclear Security Administration</i>
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PROSUB	Programa de Desenvolvimento de Submarinos
PWR	<i>Pressurized Water Reactor</i>
PZ	Pressurizador
LOCA	<i>Lost of Coolant Accident</i>
RFAS	Relatório Final de Análise de Segurança
SPR	Supervisor de Proteção Radiológica
UFEM	Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas
VPR	Vaso de Pressão do Reator

## **1. INTRODUÇÃO**

É do final de 1978 a premissa de que o Brasil deveria possuir um Submarino com Propulsão Nuclear para negar o uso do mar de forma mais eficiente. Deveria, ainda, o projeto e a construção ser parte de um programa de desenvolvimento nacional que, ao concluído, colocaria o Brasil no seleto grupo de países que dominam esta avançada tecnologia (SUBMARINOS, 2014).

Entre outros projetos, a exemplo o do Ciclo do Combustível e o da Propulsão Nuclear, desenvolvidos ao longo dos anos desde o início do programa, foi em 2008 que a Marinha do Brasil pode vislumbrar efetivamente a obtenção de seu Submarino com Propulsão Nuclear. Aprovava-se, naquele ano, a Estratégia Nacional de Defesa a qual estabelecia à Marinha do Brasil, como objetivo estratégico, assegurar a tarefa de negar o uso do mar e para isso contaria com uma força naval composta de submarinos incluindo o com propulsão nuclear (MARINHA DO BRASIL, 2019b) (SUBMARINOS, 2014).

Para assegurar a tarefa de negação do uso do mar, o Brasil contará com força naval submarina de envergadura, composta de submarinos convencionais e de submarinos de propulsão nuclear. O Brasil manterá e desenvolverá sua capacidade de projetar e de fabricar tanto submarinos de propulsão convencional, como de propulsão nuclear. Acelerará os investimentos e as parcerias necessários para executar o projeto do submarino de propulsão nuclear [...] (BRASIL, 2008).

Considerando a propulsão do submarino uma usina nucleoeletrica de dimensões reduzidas, sua especificidade devido aos requisitos de segurança nuclear combinados com os requisitos de segurança naval e a decisão de criação de um órgão regulador naval, a Marinha do Brasil ativou, em fevereiro de 2018, a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ) tendo como principais atribuições a regulamentação e a fiscalização da segurança de meios navais com propulsão nuclear além da supervisão da garantia da qualidade de produtos e sistemas navais de defesa (MARINHA DO BRASIL, 2019c).

### **1.1. Objetivo**

Apresentar uma proposta de sistemática para seleção, qualificação e certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica para atuação em submarinos com propulsão nuclear.

## **1.2. Justificativa**

Considerando a semelhança da propulsão nuclear do submarino com usinas nucleoeletricas e o requerido em normas CNEN para a operação destas usinas, pressupõe-se que, em um submarino com propulsão nuclear, será necessário, ao menos, um SPR portanto, é desejável que a AgNSNQ, órgão competente para regulamentação e fiscalização de meios navais com propulsão nuclear, disponibilize um guia para a certificação da qualificação de SPR para atuação em submarinos com propulsão nuclear.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1. Submarino Nuclear Brasileiro**

De modo alcançar a eficácia da negação do uso do mar a utilização de um submarino com propulsão nuclear foi postulada como essencial devido as suas características de velocidade, autonomia e discricção. Enquanto que um submarino convencional diesel-elétrico necessita vir a superfície (cota periscópica) para que seja possível, por meio do grupo motogerador, carregar suas baterias, um submarino com propulsão nuclear pode permanecer, a depender dos mantimentos a bordo, por tempo muito superiores sem vir a superfície. Ressalta-se que a ocultação é a maior arma de um submarino e o fato de vir a superfície, mesmo que em cota periscópica, pode revelar sua posição. Ademais, a autonomia de um submarino convencional depende de sua velocidade, fato este não observado em um submarino com propulsão nuclear, que, teoricamente, pode manter-se em velocidade máxima durante períodos relativamente longos (SUBMARINOS, 2014).

Em 2008, mesmo ano da aprovação da Estratégia Nacional de Defesa, a Marinha obteve mais uma conquista. Assinava-se, mais especificamente no dia 23 de dezembro, o acordo estratégico Brasil-França iniciando assim o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB). Prevê-se no acordo a aquisição de quatro submarinos com propulsão convencional diesel-elétrica e um com propulsão nuclear, incluindo a transferência de tecnologia para projetá-los e construí-los. Ressalta-se, contudo, que a propulsão nuclear não foi ofertada pelos franceses, ficando o desenvolvimento desta a cargo do CTMSP, como parte do Programa Nuclear da Marinha (PNM) (SUBMARINOS, 2014).

A Figura 1 ilustra o submarino convencional diesel-elétrico (S-BR) e o submarino com propulsão nuclear (SN-BR) destacada a parte a ser desenvolvida pelo CTMSP.

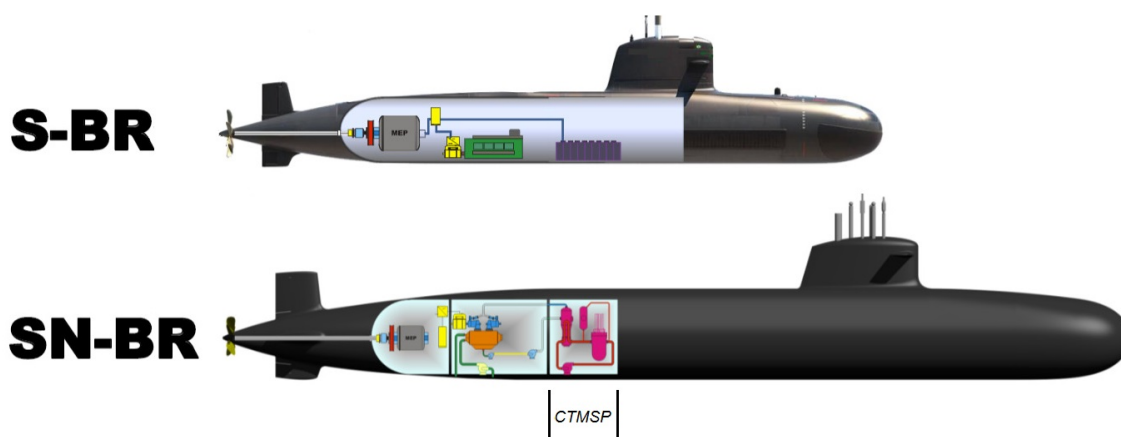


Figura 1 - Submarino Convencional (S-BR) e com Propulsão Nuclear (SN-BR)  
Adaptado de (PODER NAVAL, 2018)

O acordo ainda contempla a construção de um Estaleiro, uma Base Naval e uma Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas (UFEM), no Município de Itaguaí – RJ (MARINHA DO BRASIL, 2019b).

O gerenciamento do programa foi atribuído a COGESN, setor da Marinha subordinado a Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM) (MARINHA DO BRASIL, 2019a).

## 2.2. Propulsão Nuclear

Segundo GUIMARÃES (1999) “A instalação propulsora nuclear é entendida como aquela parte do navio cuja função é fornecer a energia necessária à propulsão do navio e à produção de energia elétrica para consumo interno.”

De potências relativamente inferiores, uma propulsão nuclear do tipo Reator a Água Pressurizada, ou Propulsão Nuclear tipo *Pressurized Water Reactor* (PWR), consiste, basicamente, nos mesmos circuitos e equipamentos das centrais nucleares tipo PWR, a exemplo as usinas de Angra 1 e Angra 2 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) (GUIMARÃES, 1999).

Embora semelhantes, os equipamentos e componentes são projetados para, suportarem os requisitos operacionais do navio, por exemplo a operação com

variações de potência em tempos curtos. Além dos requisitos operacionais, os equipamentos e componentes do sistema de segurança do reator deve possibilitar um desligamento seguro mesmo em condições adversas, tais como trim, banda e choques. (MAIA, 2015).

O reator nuclear do primeiro submarino nuclear brasileiro, desenvolvido pelo CTMSP, é do tipo PWR e de potência 48 MW térmicos, o qual será suficiente para navegação a velocidades acima de 20 nós (SUBMARINOS, 2014).

### 2.2.1. Equipamentos principais

A Figura 2 apresenta, de forma esquemática, os equipamentos principais do circuito primário e do secundário.

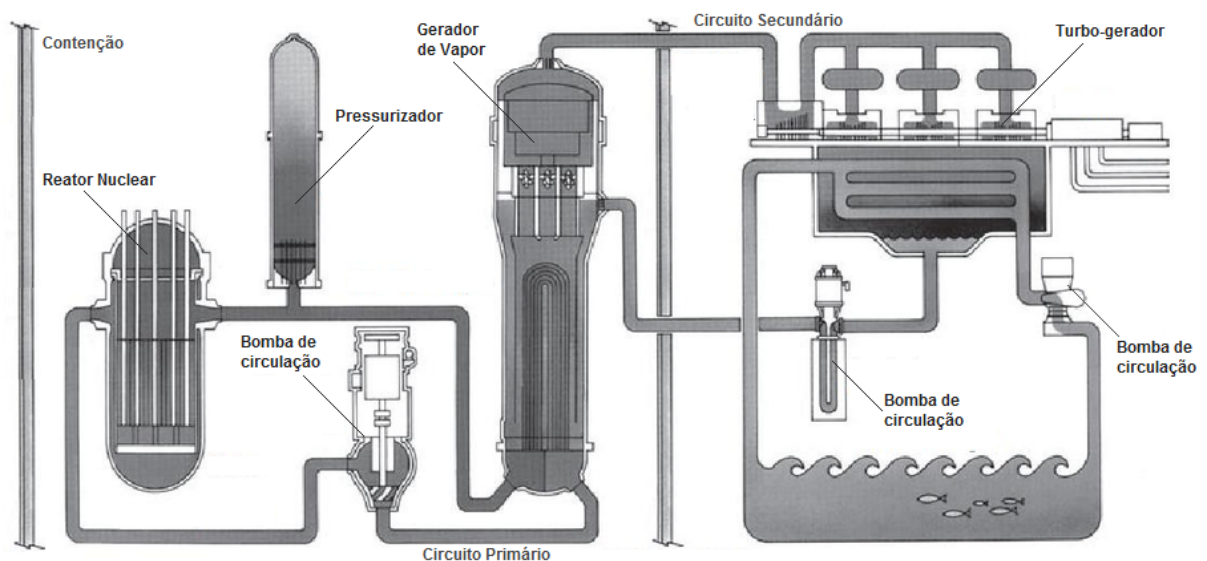


Figura 2 - Esquemático de Propulsão Nuclear tipo PWR  
Fonte: Adaptado de (MANTECÓN, 2015)

#### 2.2.1.1. Circuito primário (ELETRONUCLEAR, 2019) (GUIMARÃES, 1999)

O circuito primário é um circuito hidráulico responsável pela transferência, por meio de um fluido refrigerante, água desmineralizada por exemplo, do calor gerado pela fissão nuclear no núcleo do reator ao circuito secundário. É um circuito fechado, ou seja, não há contato entre os fluidos refrigerantes do circuito primário com o do circuito secundário uma vez que a transferência de calor entre os sistemas ocorre nos Geradores de Vapor, por meio de tubos em “U”.



### 2.2.1.1.1. Reator Nuclear

Considera-se o Reator Nuclear o conjunto de equipamentos e componentes dentro do qual a reação de fissão nuclear ocorre. Faz parte desse conjunto o Vaso de Pressão do Reator (VPR), os internos do reator, os elementos combustíveis, os Mecanismos de Acionamento de Barras (MAB) entre outros. O VPR, fabricado em aço-carbono revestido internamente em aço inox, tem a função de barreira de pressão além de suportar os internos do reator que por sua vez suportam os elementos combustíveis. Os MAB têm a função de posicionar as barras de controle para controle da reação nuclear.

A Figura 3 ilustra um reator PWR típico.

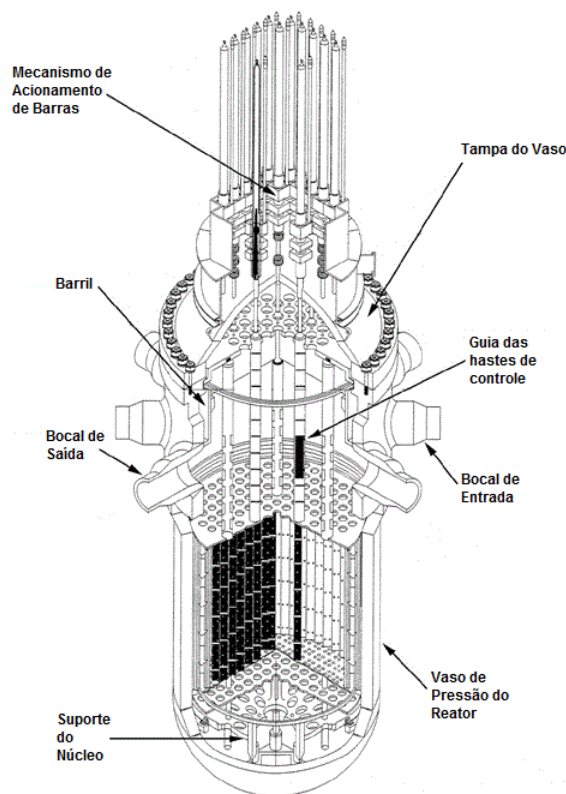


Figura 3 - Reator PWR típico  
Fonte: Adaptado de (USNRC, 2019)

### 2.2.1.1.2. Gerador de Vapor

O Gerador de Vapor (GV) têm a função específica da troca de calor entre o fluido do circuito primário e do circuito secundário para produção de vapor. É

importante destacar que a troca térmica ocorre por meio dos feixes de tubo em “U” e que não há contato entre os fluidos.

A Figura 4 ilustra um GV típico.

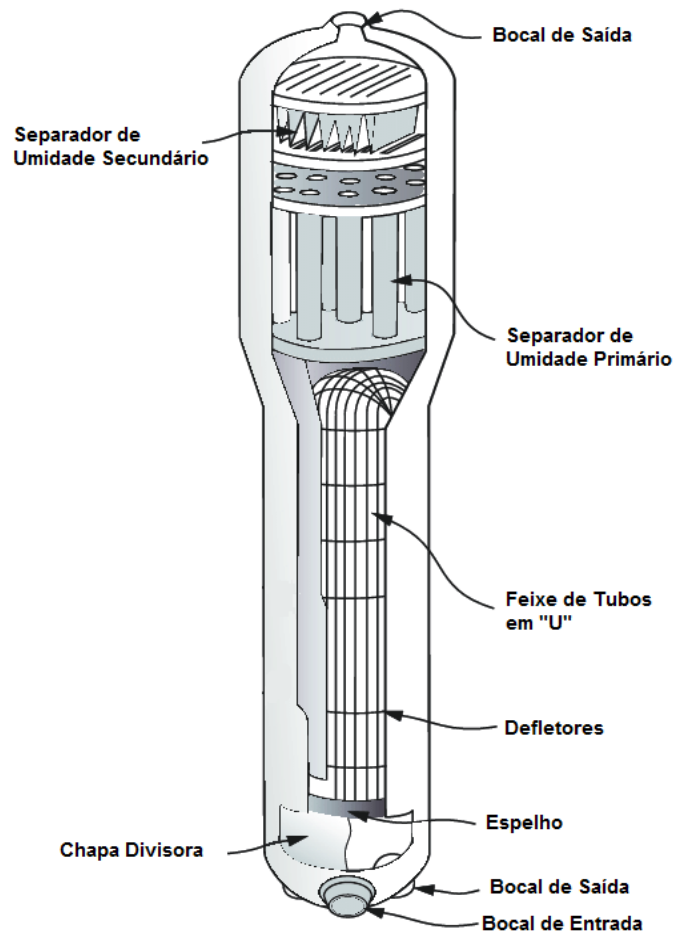


Figura 4 - Gerador de Vapor típico  
Fonte: Adaptado de (CORZO et al, 2016)

#### 2.2.1.1.3. Pressurizador

O Pressurizador (PZ) tem a função manter a pressão do fluido refrigerante do circuito primário constante além de absorver eventuais surtos devido a desequilíbrios entre a potência do reator e a carga nos turbogeradores.

#### 2.2.1.1.4. Bombas de Circulação

As bombas de circulação tem a função da circulação do fluido refrigerante no circuito primário.

### 2.2.1.2. Circuito Secundário

O circuito secundário corresponde aos equipamentos destinados a converter o calor em trabalho (ciclo rankine). Fazem parte do circuito secundário os turbo-geradores, condensadores, as bombas de extração de condensado, as bombas de alimentação dos geradores de vapor e a parte secundária do gerador de vapor. (ELETRONUCLEAR, 2019) (GUIMARÃES, 1999).

### 2.2.2. Compartimento do Reator

O compartimento do reator é a seção longitudinal do submarino na qual será montado o reator nuclear, blindagens, demais equipamentos do circuito primário além de outros equipamentos e componentes de diversos sistemas. Semelhante a estrutura de contenção de usinas núcleoelétricas, este compartimento deve ser dimensionado para suportar os carregamentos provenientes de acidentes postulados assim como ser capaz de conter todo o material radioativo que possa vir a ser liberado do reator e/ou do circuito primário (GUIMARÃES, 1999).

A figura 5 apresenta a localização típica de um compartimento do reator de um Submarino com Propulsão Nuclear.

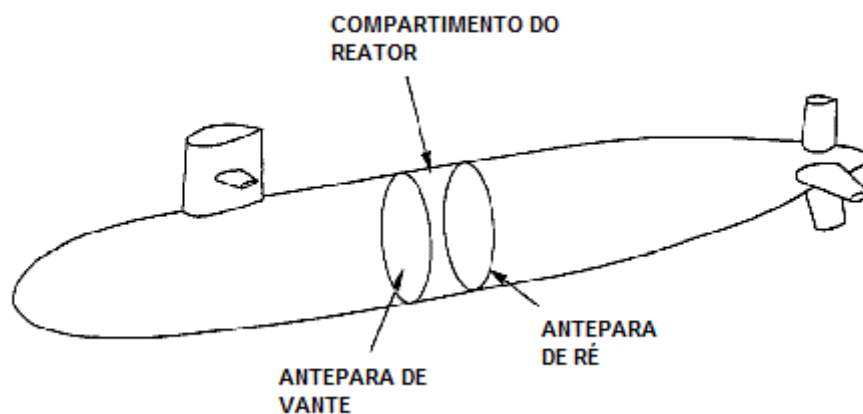


Figura 5 - Localização típica de um compartimento do reator  
Fonte: Adaptado de (FAS, 2019)

### 2.2.3. Blindagem e exposições radiológicas (GUIMARÃES, 1999)

A blindagem radiológica é projetada para minimizar a exposição da tripulação as radiações e atender ao nível de limitação de dose estabelecido por

órgãos reguladores além de considerar os materiais compatíveis em peso e volume com o submarino. É dividida em primária e secundária (NNPP, 2018).

O reator nuclear, instalado no compartimento do reator, é envolvido por uma blindagem, denominada blindagem primária que, durante a operação do reator, atenua as exposições de nêutrons produzidos na fissão e dos raios gama provenientes dos produtos de fissão. É projetada de tal forma para permitir o acesso de pessoas ao compartimento do reator com taxa de exposições permissíveis. Cabe ressaltar que durante a operação do reator o acesso ao compartimento do reator é proibido (NNPP, 2018).

A blindagem secundária, instalada nas anteparas do compartimento do reator e no corredor de passagem, tem como requisito a blindagem das radiações provenientes do reator, do fluido refrigerante (termo-fonte e depósitos) e da ativação das estruturas e componentes internos ao compartimento do reator. Ressalta-se que as radiações provenientes do reator são radiações que foram insuficientemente atenuadas pela blindagem primária e é projetada para que as seções vizinhas ao compartimento do reator possuam taxas de exposição permissíveis.

#### **2.2.4. Riscos radiológicos**

Devido o reator nuclear para propulsão ser semelhante aos reatores de centrais eletr nucleares do tipo PWR, os riscos radiológicos são qualitativamente os mesmos. Quantitativamente, por se tratar de um reator de menores dimensões, os riscos são inferiores. (GUIMARÃES, 1999).

##### **2.2.4.1. Termo-fonte (PORFÍRIO, 1996)**

Segundo PORFÍRIO “termo-fonte ou inventário radioativo é a quantificação de todos os nuclídeos radioativos presentes no fluido refrigerante dos reatores nucleares, geralmente classificados como produtos de fissão e produtos de ativação”.

Diferentemente dos produtos de fissão contidos nas varetas dos elementos combustíveis, a presença de produtos de fissão somente será observada em caso da liberação destes produtos para o líquido refrigerante do circuito primário por meio de falhas nas varetas. Já os produtos de ativação quantificados no termo-fonte são produtos de corrosões dos revestimentos internos dos equipamentos e das

tubulações do circuito primário que, quando conduzidos pelo líquido refrigerante e expostos ao fluxo neutrônico, no núcleo do reator, são ativados. Parte dos produtos de ativação são removidos por um sistema de purificação da água do circuito primário, entretanto, a maioria dos núclídeos que não foram removidos pelo sistema de purificação são depositados nas tubulações e, a partir da sedimentação, são considerados depósitos (GUIMARÃES, 1999) (NNPP, 2018).

A correta determinação do termo-fonte é importante, em atividades de proteção radiológica, para determinação da dose nos trabalhadores durante acesso ao compartimento do reator e para avaliação de impactos ambientais em caso de liberação para o meio ambiente.

#### 2.2.4.2. Produtos de fissão (GUIMARÃES, 1999)

A Tabela 1 apresenta o inventário de produtos de fissão de U-235 para um reator naval de 100 MW térmicos operando a plena carga por 600 dias. Ressalta-se que, em condições normais, estes produtos estão contidos pelo encamisamento do combustível (varetas).

Tabela 1 - Inventário de produtos de fissão

Produtos de fissão	Atividade (GBq)			
	Desligamento	3 dias	100 dias	1000 dias
Xe, Kr	216,6	9,5	9,4	8
I, Br	654	174	0	0
Cs, Rb	118,44	118,41	108,2	50,8
Te, Se, Sb	196,84	28,35	5,03	0,26
Ba, Sr	383,94	364,04	53,27	12,9
Ru, Rh, Pd, Mo, Tc	394,2	284,6	48	2,4
Y, Zr, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu	1906,05	1534,9	479,88	46,4
Total	3880,07	2516,8	703,78	120,76

Fonte: (GUIMARÃES,1999)

Na hipótese de uma eventual falha na estanqueidade nas varetas dos elementos combustíveis promoverá a liberação dos produtos de fissão para o fluido refrigerante, a depender da natureza física de cada radionuclídeo.

### 2.2.4.3. Produtos de ativação (GUIMARÃES, 1999)

A Tabela 2 apresenta o inventário de produtos de ativação para um reator naval típico após 1 ano do desligamento.

Tabela 2 - Inventário de produtos de ativação

Radionuclídeo	Meia-Vida (anos)	Componentes Sólidos (TBq)	Depósitos (TBq)
Carbono-14	5.730	0,423	5,8E-7
Ferro-55	2,73	2,26E3	7,16E-2
Cobalto-60	5,27	4,71E2	4,02
Níquel-59	7,5E4	1,73	5,07E-5
Níquel-63	100,1	1,93E2	9,64E-3
Total		2,93E3	4,10

Fonte: (GUIMARÃES,1999)

### 2.3. Acidentes envolvendo reatores de propulsão nuclear

Ao longo dos anos de desenvolvimento e operações de meios navais com propulsão nuclear, diversas situações de emergência, acidentes e incidentes com estas embarcações ocorreram, estavam estes em operação ou na base naval / estaleiro. Basicamente divide-se os acidentes com reator em dois tipos: *Lost of Coolant Accident (LOCA)* e criticalidade.

O *LOCA* é um acidente causado pela perda do fluido de refrigerante que ocorre, por exemplo, devido a um vazamento no circuito primário ou ainda quando água no núcleo do reator evapora devido a perda de circulação do fluido refrigerante por falha nas bombas de circulação. Em caso deste tipo de falha, considera-se que o sistema de segurança atuará e desligará o reator inserindo as barras de controle. Entretanto, mesmo com a reação de fissão interrompida, há geração de calor devido ao decaimento dos materiais no elemento combustível, em especial os produtos de fissão. Este calor residual fará com que o refrigerante gradativamente diminua, seja por evaporação ou pelo vazamento. Caso o sistema de segurança não atue corretamente de forma restabelecer o nível adequado de água, o nível da água abaixará e a parte superior, ou outras, poderão a atingir a temperatura de fusão e

consequentemente o derretimento do núcleo, destruição do reator e liberação de material radioativo (NKS, 1996).

O acidente de criticalidade acontece quando, por diferentes razões, a configuração do material físsil, no caso elemento combustível, torna-se supercrítica elevando a potência consideravelmente em tempos muito curtos (milissegundos) (NKS, 1996).

É importante ressaltar que, segundo NKS (1996), aparentemente, não houve acidentes do tipo *LOCA* ou de criticalidade em submarinos ocidentais.

Os itens 2.3.1 a 2.3.5 apresentam, em ordem cronológica, alguns acidentes ocorridos em instalações propulsoras nuclear de submarinos nos quais a tripulação e/ou pessoas foram expostas a radiação.

### **2.3.1. Submarino K-8 – União Soviética – 1960** (NKS,1996) (BELLONA, 1996)

Em 13 de outubro de 1960, durante um exercício naval no Mar de Barents, um acidente a bordo do Submarino K-8 ocorreu devido a perda de refrigerante causada por um vazamento no Gerador de Vapor e em uma tubulação do sistema de compensação (pressurizador). Devido a falha no funcionamento das válvulas para bloqueio do vazamento a tripulação engajou-se na improvisação de um sistema para conter o vazamento assim como para restabelecer o líquido refrigerante do circuito primário de forma evitar o risco de derretimento do núcleo.

Durante a emergência diversos gases radioativos foram dispersados ao longo de todo o submarino. Os níveis de radiação não foram determinados uma vez que os níveis de radiação foram maiores do que o limite superior de detecção (escala máxima) dos equipamentos de detecção disponíveis.

Treze pessoas foram expostas a radiação sendo que três tripulantes sofreram lesões visíveis, com doses posteriormente avaliadas em 1,8 a 2 Sv (180 a 200 rem). Um membro da tripulação veio a falecer dois anos depois.

Relatos indicam que o submarino teve um acidente similar ocorrido em 9 ou 13 de setembro do mesmo ano no qual treze tripulantes foram hospitalizados. Entretanto acredita-se que se trata do mesmo acidente.

### **2.3.2. Submarino K-19 – União Soviética – 1961 (NKS,1996) (BELLONA, 1996)**

Em 4 de julho de 1961 o submarino K-19, primeiro submarino nuclear lançador de mísseis balísticos Soviético, participava de um exercício no Atlântico Norte e por volta das quatro horas da manhã uma queda de pressão no pressurizador foi observada e comunicada ao comandante, entretanto, o mesmo, sem reação, prosseguiu no exercício. Esta queda de pressão ocorreu devido a uma trinca em uma tubulação do sistema de pressurização do circuito primário que pode ter sido ocasionada devido a um mal funcionamento do manômetro durante os testes de comissionamento do circuito primário, que fez com que a pressão no teste excedesse o limite de tensão dos materiais provocando deformações em juntas soldadas. Destaca-se que na época este desvio relativo ao manômetro não foi reportado as autoridades pelo comandante responsável pela condução dos testes.

Pouco tempo depois de relatado ao comandante a queda de pressão no sistema um alarme acionou. Identificado o vazamento o sistema de segurança atuou corretamente e o reator foi desligado. Não se sabe a causa, porém inicia-se um incêndio no compartimento do reator e o submarino vem a superfície.

Embora os compartimentos fossem estanques, a radioatividade espalhou-se pelo submarino devido à necessidade de circulação entre os compartimentos para combate ao incêndio. A taxa de dose na sala de controle era de 0,5 Sv/h (50 R/h).

Para evitar o superaquecimento do núcleo o calor residual deveria ser removido por meio de circulação de água provida de um sistema de emergência, entretanto este sistema não existia ou não funcionou. A temperatura do núcleo chegou a 800 °C e a tripulação, prevendo um derretimento do núcleo, produziu e instalou, de forma improvisada, um sistema de emergência sob condições de exposição a radiação.

Todos os 139 tripulantes do submarino foram expostos a radiação sendo que 8 morreram em decorrência de síndrome aguda da radiação, causada por doses entre 50 a 60 Sv (5000 a 6000 rem). Dois anos após o acidente 22 tripulantes morreram.

Não houve liberação radioativa para o meio ambiente e o submarino foi rebocado para a base para ser reparado retornando ao serviço ao ter seu compartimento do reator substituído.



### **2.3.3. Submarino K-11 – União Soviética – 1965 (NKS,1996) (BELLONA, 1996)**

Em fevereiro de 1965, o submarino soviético K-11 encontrava-se no estaleiro em Severodvinsk para troca dos elementos combustíveis. Durante a remoção da tampa do vaso de pressão do reator a elevação máxima permitida foi excedida devido a uma falha na indicação do equipamento ou a incorreta ou não verificação. Como as barras de controle estavam conectadas a tampa estas foram içadas juntas. É importante ressaltar que nenhum detector de nêutrons estava em operação.

Tão logo as barras de controle foram retiradas do núcleo uma reação em cadeia incontrolada iniciou no reator e o vapor foi ejetado expondo parte da tripulação. Destaca-se que os limites superiores de detecção dos monitores de radiação foram excedidos.

Os serviços foram interrompidos para que especialistas pudessem tentar descobrir a razão do problema e após 5 dias a solução proposta foi suspender novamente a tampa, porém, ao levantar uma outra criticalidade aconteceu desta vez seguida por um incêndio. Para o combate ao incêndio 250 toneladas de água foram utilizadas e conseqüentemente ficaram contaminadas em 37 MBq/l (1 mCi/l). A água não ficou restrita ao compartimento do reator, espalhando-se para outros compartimentos.

Ao todo 7 pessoas foram expostas a radiação entretanto não há informações de doses. O compartimento do reator foi substituído.

### **2.3.4. Submarino K-27 – União Soviética – 1968 (NKS,1996) (BELLONA, 1996)**

Em 24 de maio de 1968 o submarino experimental Soviético K-27, movido a dois reatores refrigerados por metal líquido, estava em testes navegando a máxima potência quando uma inexplicada queda de potência nos reatores ocorreu e na seqüência o reator de bombordo foi desligado. Uma perda de refrigerante havia acontecido.

Destaca-se que, antes da saída para o exercício, era do conhecimento dos oficiais líderes que o refrigerante dos reatores necessitavam ser submetidos a um processo de limpeza haja vista que o refrigerante, uma liga metálica líquida de chumbo e bismuto, sofrem oxidação na existência de vazamentos e que a formação de partículas de oxidação poderiam interromper o fluxo do refrigerante no núcleo do reator (o fabricante orientava a execução da limpeza em intervalos regulares) e do

conhecimento de problemas de vazamento nos geradores de vapor, em especial o de bombordo. Embora os oficiais possam ter de certa forma discordado, estes seguiram as ordens e o submarino partiu para a missão.

Devido a perda do refrigerante (possivelmente no gerador de vapor) o fluxo de refrigerante no núcleo foi interrompido danificando ao menos 20% dos elementos combustíveis, e assim liberando produtos de fissão para o refrigerante, que migrou para os tanques de segurança e na sequência para o compartimento do reator. O nível de radiação no compartimento do reator excedeu a 1 Sv/h (100 R/h). A radiação espalhou-se para outros compartimentos e alarmes foram acionados. Os compartimentos estanques foram fechados. Diante da situação o submarino veio a superfície e seguiu em direção a base naval propulsionado apenas pelo reator de boreste enquanto que a tripulação tentava reduzir a contaminação. A navegação na superfície foi a solução encontrada para que os compartimentos pudessem ser ventilados, mesmo que o trajeto levasse mais tempo.

Em um total de 124 tripulantes, 12 tripulantes receberam doses entre 6 a 10 Sv (600 a 1000 Roentgen) e foram hospitalizados e destes 5 vieram a falecer. Outra fonte reporta 9 foram vítimas fatais e 83 lesões devido a radiação, sendo 40 por síndrome aguda da radiação (JOHNSTON'S ARCHIVE, 2019).

Na base naval o submarino precisaria manter o resfriamento do núcleo do reator de bombordo que foi avariado até que os níveis de atividade fossem diminuídos. Então utilizou-se o vapor proveniente do reator de boreste para aquecimento do refrigerante do reator do outro bordo. Após 13 anos de resfriamento do núcleo do reator avariado o reator de boreste foi desligado e o refrigerante de ambos os reatores solidificados. O submarino foi rebocado e afundado contendo uma atividade, na época, de aproximadamente 7400 TBq (200 kCi).

Em 24 de janeiro de 2013 a BBC divulgou uma reportagem com o relato do então “Chief Warrant Officer” (CWO) Vyacheslav Mazurenko que na data do acidente tinha 22 anos. De forma contextualizar a atuação de um Supervisor de Proteção Radiológica em submarinos parte de seu relato é transcrito abaixo:

“Tínhamos um detector de radiação no compartimento, mas estava desligado. Para ser honesto, nós não tínhamos prestados muita atenção aos dosímetros que nos tinham dado. Mas então, nosso supervisor de radiação ligou o detector no compartimento e o detector foi acima da escala. Ele olhou surpreso e preocupado.” (KIRYUKHINA, 2013, tradução do autor)

### **2.3.5. Submarino K-431 – União Soviética – 1985 (NKS,1996) (BELLONA, 1996)**

Em 10 de agosto de 1985 o submarino Soviético K-431, classe Echo-II, propulsionado a 2 reatores a água pressurizada (PWR), de 70 MW térmicos cada com combustível enriquecido a 20% encontrava se em processo de troca de combustível em uma instalação naval perto de Vladivostock.

Após a troca dos combustíveis a tampa do vaso de pressão do reator foi posicionada, porém observou-se que esta se encontrava em posição incorreta. Logo, seria necessário suspendê-la novamente para que a posição fosse corrigida. Em violação aos regulamentos, as barras de controle que já se encontravam conectadas a tampa não foram soltas. Um dispositivo foi previsto para evitar que a tampa se levantasse além dos limites permitidos.

Ao suspender a tampa o dispositivo não estava devidamente posicionado e as barras de controle do reator de boreste saíram do núcleo este se tornou supercrítico resultando em uma explosão termo / vapor. A explosão destruiu partes adjacentes do compartimento do reator e causou danos no caso resistente a ré no compartimento do reator. Um elemento combustível foi ejetado do núcleo do reator a uma distância de 70-80 metros, caindo a 30 metros da costa.

Imediatamente após a criticalidade um incêndio iniciou e após 4 horas de combate foi controlado. Produtos de fissão, ativação e parte dos combustíveis não queimados foram lançados a atmosfera juntamente dos produtos de combustão sendo que a maioria destes depositou-se em um raio entre 50 e 100 metros do submarino. A taxa de dose excedeu 6 Sv/h (600 R/h).

Uma pluma radioativa seguiu por 6 km em direção noroeste na direção da cidade de Vladivostock porém não a atingiu. A largura da pluma alcançou centenas de metros na Báia Ussuri sendo a atividade liberada inicialmente estimada em 259 Pbq (7 MCi), destes 74 Pbq (2 MCi) gases nobres e o restante produtos de fissão, na maioria radionuclídeos de meia vida curta. Grande parte da Baía Chazhma foi contaminada, seja pela deposição dos radionuclídeos transportados pela pluma ou devido a água que entrava no compartimento do reator devido a um dano no casco resistente. Submarinos, navios e estruturas do estaleiro foram significativamente contaminados.

Diretamente do acidente 10 pessoas morreram entretanto acredita-se que não seja devido a radiação e sim a explosão. Além das vítimas fatais 10 pessoas sofreram de síndrome aguda da radiação e 39 sofreram lesões.

De 2000 pessoas expostas durante o processo de limpeza e descontaminação das áreas 290 pessoas receberam doses de radiação significativas acima das consideradas normais.

Os rejeitos de alta atividade foram armazenados em depósitos temporários. Em aproximadamente 2 meses os níveis de radiação no mar foram os níveis de “background” e em 5 a 7 meses o nível de radiação no estaleiro foi considerado normal. O submarino foi movido para a base de submarinos na Baía Pavlovsk.

## **2.4. Órgãos Reguladores nacionais relacionados com instalações nucleares**

Órgão Regulador é definido pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA / IAEA) como:

Uma autoridade ou um sistema de autoridades designado pelo governo de um Estado que possui autoridade legal para conduzir o processo regulatório, incluindo a emissão de autorizações e, assim, regular a segurança de instalações nucleares, proteção radiológica, segurança no gerenciamento de rejeitos radioativos e segurança no transporte de material radioativo.

- O Órgão regulador é, geralmente, uma entidade nacional estabelecida e habilitada por lei, cuja organização, administração, funções, processos, responsabilidades e competências estão sujeitas aos requisitos dos padrões de segurança da AIEA.

[...] (IAEA, 2016b, tradução do autor)

A AIEA estabelece, por meio de requisitos, as responsabilidades e funções do governo para o estabelecimento e funcionamento de um órgão regulador, os quais destacam:

Requisito 3: Estabelecimento de um órgão regulador

O governo, por meio de um sistema jurídico, estabelecerá e manterá um órgão regulador e deve a este conferir autoridade legal e fornecer competência e os recursos necessários para cumprimento de sua obrigação estatutária no controle de instalações e atividades.

Requisito 4: Independência do órgão regulador

O governo deve garantir que o órgão regulador seja efetivamente independente em sua tomada de decisão relacionada à segurança e que tenha separação funcional de entidades com responsabilidades ou interesses que possam influenciar indevidamente sua tomada de decisão

[...] (IAEA, 2016a, tradução do autor)

No Brasil a responsabilidade por regular e fiscalizar todas as atividades relacionadas ao uso da energia nuclear é da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Entretanto, com a evolução do projeto do submarino com propulsão nuclear brasileiro (SN-BR) e decisão de criação de um órgão regulador naval, a Marinha do Brasil criou, em abril de 2017, a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ) para atuar exclusivamente com meios navais com propulsão nuclear, sem prejuízos as atividades de responsabilidade da CNEN. É importante ressaltar que compete a AgNSNQ, além da regulamentação da segurança nuclear e radioproteção, a regulamentação de projeto, construção e manutenção dos meios navais nos aspectos da segurança naval (RUIVO, 2018).

A Figura 6 ilustra, de forma simplificada, o licenciamento integrado (segurança nuclear e segurança naval) a ser realizado pela AgNSNQ.

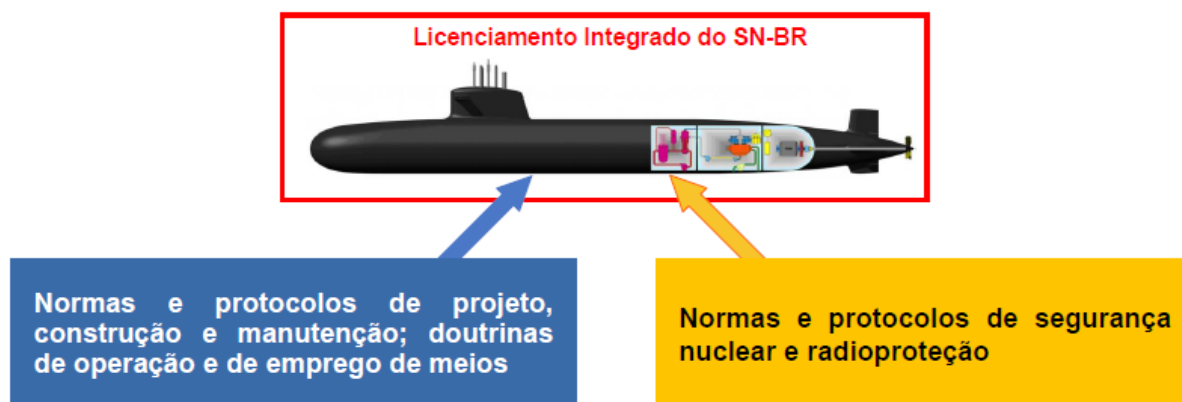


Figura 6 - Licenciamento conjugado do SN-BR  
Fonte: Adaptado de (RUIVO, 2018)

Os itens 2.4.1 e 2.4.2 apresentam os Marcos Legais destes dois órgãos reguladores nacionais, CNEN e AgNSNQ, excluindo as partes que não sejam pertinentes a instalações nucleares.

#### **2.4.1. Comissão Nacional de Energia Nuclear**

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), criada pelo Decreto Nº 40.110, de 10 de outubro de 1956, é uma autarquia federal responsável pela regulação, licenciamento e fiscalização do uso da energia nuclear. Estruturada pela Lei 4.118, de 27 de agosto de 1962 atua, além da área de geração nucleoeleétrica, em diversos setores em que há interação com a área nucleares tais como a

mineração e beneficiamento de reservas nucleares (urânio, tório, etc), indústria e pesquisa, medicina nuclear, entre outras (CNEN, 2019d).

Por meio da Lei Nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974 e da nova redação estabelecida pela Lei Nº 7.781, de 27 de junho de 1989, as competências da CNEN foram instituídas. Entre as diversas atribuições estabelecidas na Lei a seguir são transcritos os incisos do Artigo 2º no que tange as atividades de regulamentação, autorização e fiscalização.

"Art 2º Compete à CNEN:

[...]

VIII – estabelecer normas e conceder licenças e autorizações para o comércio interno e externo:

a) de minerais, minérios, materiais, equipamentos, projetos e transferências de tecnologia de interesse para a energia nuclear;

b) de urânio cujo isótopo 235 ocorra em percentagem inferior ao encontrado na natureza;

IX – expedir normas, licenças e autorizações relativas a:

a) instalações nucleares;

b) posse, uso, armazenamento e transporte de material nuclear;

c) comercialização de material nuclear, minérios nucleares e concentrados que contenham elementos nucleares;

X – expedir regulamentos e normas de segurança e proteção relativas:

a) ao uso de instalações e de materiais nucleares;

b) ao transporte de materiais nucleares;

c) ao manuseio de materiais nucleares;

d) ao tratamento e à eliminação de rejeitos radioativos;

e) à construção e à operação de estabelecimentos destinados a produzir materiais nucleares e a utilizar energia nuclear;

[...]

XIII – especificar:

a) os elementos que devam ser considerados nucleares, além do urânio, tório e plutônio;

b) os elementos que devam ser considerados material fértil e material fissil especial ou de interesse para a energia nuclear;

c) os minérios que devam ser considerados nucleares;

d) as instalações que devam ser consideradas nucleares;

XIV – fiscalizar:

- a) o reconhecimento e o levantamento geológicos relacionados com minerais nucleares;
  - b) a pesquisa, a lavra e a industrialização de minérios nucleares;
  - c) a produção e o comércio de materiais nucleares;
  - d) a indústria de produção de materiais e equipamentos destinados ao desenvolvimento nuclear;
- [...] (BRASIL, 1974) (BRASIL, 1989)

Em 2010, por meio da Portaria Nº 305, de 26 de abril de 2010 do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), que a CNEN teve seu novo regimento interno aprovado. A Figura 7 apresenta o organograma da CNEN estabelecido pela Portaria.

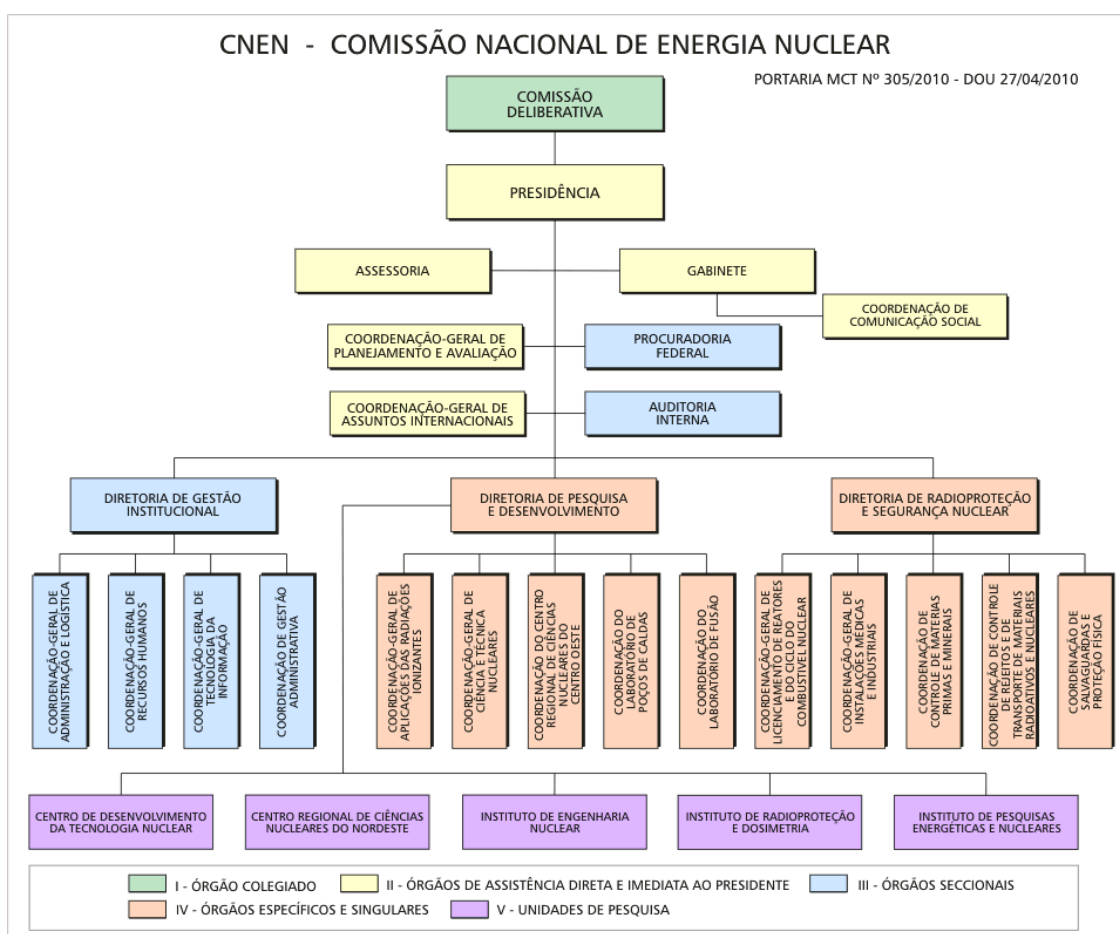


Figura 7 - Organograma da CNEN  
Fonte: (CNEN, 2019b)

Concordante com as funções específicas de regulamentação, autorização e fiscalização, funções inerentes de um Órgão Regulador, destacam-se as funções atribuídas a Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear (DRS), as quais, relacionadas a área nuclear, são transcritas:

I – expedir normas, licenças e autorizações, fiscalizar e controlar:

a) a seleção de local, o projeto, a construção, o comissionamento, a operação, as garantias e o descomissionamento de instalações nucleares e radiológicas;

b) a posse, a pesquisa, a lavra, a produção, a utilização, a industrialização, o enriquecimento, o reprocessamento, o armazenamento, o transporte, o comércio, a importação e a exportação de minérios e minerais, materiais, elementos e radioisótopos nucleares;

c) a produção, o desenvolvimento e o comércio de projetos, produtos, equipamentos e tecnologias considerados de interesse nuclear;

[...]

e) a seleção de local, a construção e a operação de instalações de tratamento e depósitos de combustível nuclear usado e de rejeitos radioativos; e

f) o transporte de combustível nuclear usado e de rejeitos radioativos.

II – exigir e fiscalizar a implementação de medidas de segurança radiológica dos trabalhadores, do público e do meio ambiente;

III – exigir que o operador de instalação nuclear ou radiológica realize estudos comprobatórios da segurança;

IV – autorizar e credenciar profissionais ao exercício de atividades com material nuclear ou fonte radioativa e em instalação nuclear ou radiológica;

V – especificar:

a) os minérios e elementos que devam ser considerados nucleares, além do urânio, tório e plutônio;

b) as jazidas que devam ser consideradas nucleares, observando a concentração, a quantidade de minérios nucleares e a viabilidade econômica de sua exploração;

[...]

d) os limites de dose de exposição à radiação ionizante, para população e para trabalhadores; e

e) os materiais, equipamentos e tecnologias considerados de interesse nuclear.

VI – determinar a suspensão de atividades nucleares ou radiológicas sem a devida autorização;

VII – determinar o descomissionamento de instalações nucleares e radiológicas;

VIII – expedir notificações com exigência de regularização de atividades e instalações;

[...]

X – elaborar e aprovar planos de emergência nuclear e radiológica, de observância obrigatória para os agentes regulados, e orientar e colaborar tecnicamente com os órgãos encarregados do plano de emergência da defesa civil;



XI – acompanhar, colaborar e fiscalizar a execução dos compromissos internacionais assumidos pelo país nas áreas de segurança nuclear e radiológica, proteção física e de salvaguardas;

XII – aplicar salvaguardas nos materiais e instalações nucleares;

XIII – dar apoio técnico à Comissão Deliberativa da CNEN;

[...] (BRASIL, 2010)

É importante ressaltar que foram evidenciadas apenas as funções pertinentes a um Órgão Regulador haja vista similaridade com o papel a ser desempenhado pela AgNSNQ.

#### 2.4.2. Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade

A Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ) é uma organização militar sem autonomia administrativa, subordinada a Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM), com sede na cidade do Rio de Janeiro – RJ (BRASIL, 2017).

A Figura 8 apresenta a linha do tempo do Marco Legal da AgNSNQ:

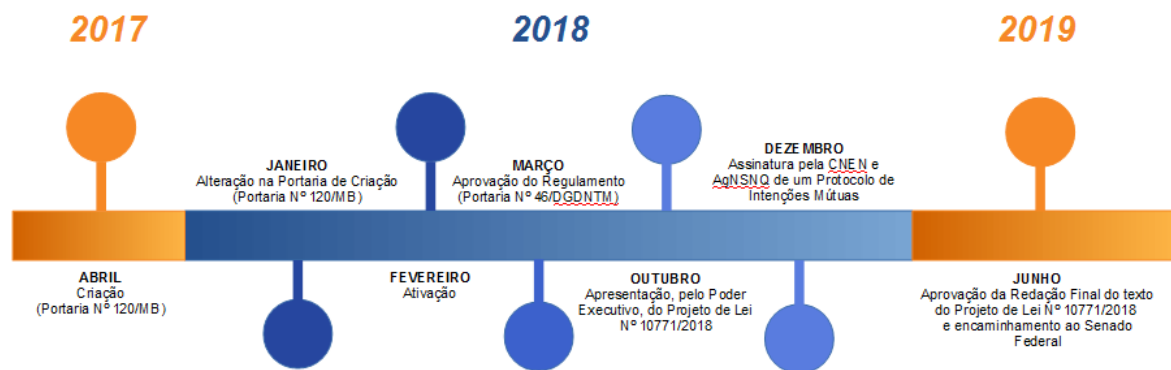


Figura 8 - Linha do tempo do Marco Legal da AgNSNQ

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2017) (BRASIL, 2018) (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019) (MARINHA DO BRASIL, 2018) (MARINHA DO BRASIL, 2019c)

Criada em 20 de abril de 2017, por meio da Portaria N° 120/MB, de 20 de abril de 2017, e alterada pela Portaria N° 27/MB de 30 de janeiro de 2018, à AgNSNQ foi atribuída o propósito de atuar como órgão regulador e fiscalizador das atividades afetas à Segurança e ao Licenciamento Nucleares, na Marinha, de meios navais e instalações terrestres, bem como supervisionar as atividades da área de Qualidade da Marinha do Brasil. A Portaria estabeleceu, ainda, a criação de um núcleo que fosse responsável pela estrutura física e organizacional da AgNSNQ,

enquanto esta estivesse na fase de implantação. Em fevereiro de 2018 o núcleo foi extinto com a ativação da Agência (BRASIL, 2017) (BRASIL, 2018) (MARINHA DO BRASIL, 2019c).

Em março de 2018 a Portaria Nº 46/DGDNTM, de 26 de março de 2018, aprova o regulamento da AgNSNQ, e neste, é estabelecido que a AgNSNQ atuará como órgão de assessoria técnica à Autoridade Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (ANSNQ). Estabelece, ainda, a missão assim como as tarefas atribuídas à AgNSNQ para consecução de seu propósito. (MARINHA DO BRASIL, 2018)

#### **Da Missão**

Art. 2º A AgNSNQ tem o propósito de contribuir para a segurança nuclear, de meios navais e suas instalações terrestres de apoio, e para a garantia da qualidade no desenvolvimento tecnológico de produtos e sistemas navais de defesa.

Art. 3º Para consecução do seu propósito, cabe a AgNSNQ executar as seguintes tarefas:

I – adotar, acompanhar a evolução e expedir normas e recomendações afetas às suas atividades-fim;

II – emitir documentos técnicos (estudos, pareceres e relatórios) que fundamentem a expedição de licenças e autorizações da AgNSNQ;

III – relacionar-se com os órgãos nacionais e internacionais reguladores de atividades nucleares;

IV – supervisionar as ações na área de normalização, metrologia e avaliação da conformidade em atividades de desenvolvimento tecnológico na MB;

V – relacionar-se com a autoridade nacional e demais organizações da área de metrologia e qualidade;

VI – assessorar tecnicamente o Conselho de Compensação e da Governança de Offset na Marinha, nos assuntos afetos à metrologia, normalização e avaliação da conformidade, quando instado;

VII – atuar como Gestor do Conhecimento nas áreas relacionadas à segurança nuclear e à metrologia, qualidade e avaliação da conformidade em atividades de desenvolvimento tecnológico na Marinha; e

VIII – planejar e gerenciar a realização de cursos, estágios, intercâmbios e conclave para a qualificação e capacitação contínua do seu pessoal nas áreas relacionadas às atividades finalísticas da OM e para as atividades administrativas básicas (MARINHA DO BRASIL, 2018).

Anexo ao regulamento tem-se o organograma, o qual é apresentado na Figura 9.

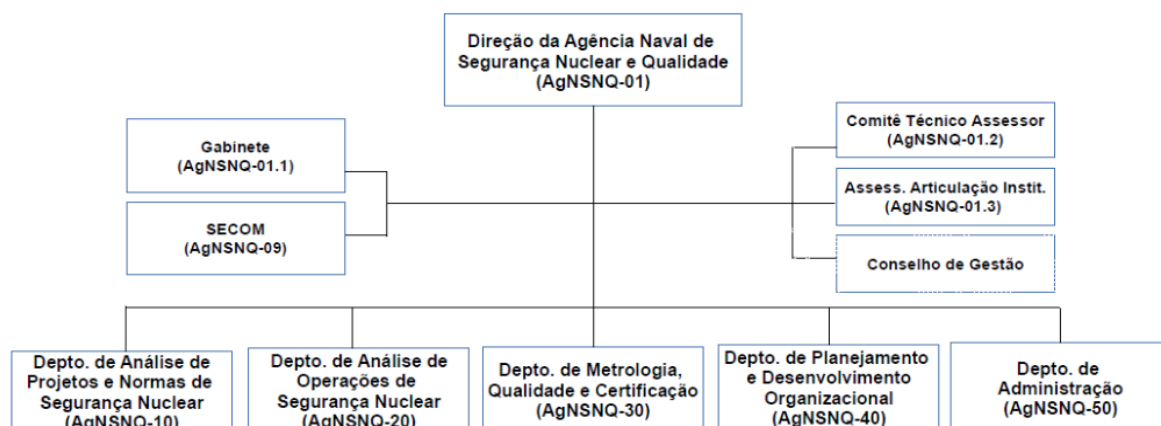


Figura 9 - Organograma da AgNSNQ  
 Fonte: (MARINHA DO BRASIL, 2018)

Em 27 de agosto de 2018 foi apresentado ao Congresso Nacional, pelo Poder Executivo, o Projeto de Lei Nº 10771/2018. Trata-se um Projeto de Lei que “Altera a Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974, fiscalização dos meios navais e das suas plantas nucleares embarcadas para propulsão e do transporte de seu combustível nuclear” (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019).

Em 12 de dezembro de 2018 a CNEN e a AgNSNQ assinaram, no Rio de Janeiro, um Protocolo de Intenções Mútuas, sendo o objetivo estabelecido na cláusula segunda, transcrito abaixo:

*a articulação de esforços, formação de parcerias estratégicas e definição de diretrizes em comum, por meio do estabelecimento de compromissos entre a CNEN e a AgNSNQ/MB, de forma a contribuir para o processo de licenciamento de instalações e meios navais com planta de propulsão nuclear, da Marinha do Brasil, bem como para a implementação de ações que assegurem a realização da regulação necessária (CNEN, 2019a).*

Por fim, no dia 04 de junho de 2019 a redação final do Projeto de Lei foi aprovada na Câmara dos Deputados. Transcreve-se abaixo o texto aprovado (CÂMARA DO DEPUTADOS, 2019):

Art. 1º O art. 2º da Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974, passa a vigorar acrescido do seguinte parágrafo único:

“Art. 2º .....

Parágrafo único. Sem prejuízo do disposto nos incisos IX e X do caput deste artigo, caberá ao Comando da Marinha promover o licenciamento e a fiscalização dos meios navais e suas plantas nucleares embarcadas para

propulsão, por organização militar independente específica para esse fim, além do transporte de seu combustível nuclear.” (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019)

## 2.5. Supervisor de Proteção Radiológica

Segundo a CNEN (2014), “Supervisor de Proteção Radiológica é um indivíduo com habilitação de qualificação emitida pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), no âmbito de sua atuação, formalmente designado pelo titular da instalação para assumir a condução das tarefas relativas às ações de proteção radiológica na instalação relacionada àquela prática”.

A CNEN estabelece como requisito administrativo, por meio de suas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (DBR), regulamentada pela Norma CNEN-NN-3.01, que, para qualquer ação envolvendo práticas, a exemplo a operação de uma usina nuclear, o Titular deve manter uma estrutura de proteção radiológica dimensionada de acordo com o porte da instalação e esta possuir, pelo menos, um Supervisor de Proteção Radiológica (SPR) (CNEN, 2014).

Por meio de suas normas, a CNEN estabelece ainda as responsabilidades, os deveres, os requisitos de qualificação (escolaridade, experiência e treinamento) e os requisitos para certificação da qualificação. Cabe ressaltar que, embora não seja uma norma, o manual do candidato para o exame de certificação de SPR apresenta a abrangência de conhecimento esperada de um SPR para cada área de atuação.

A Figura 10 ilustra um esquemático das normas CNEN relacionadas a SPR.

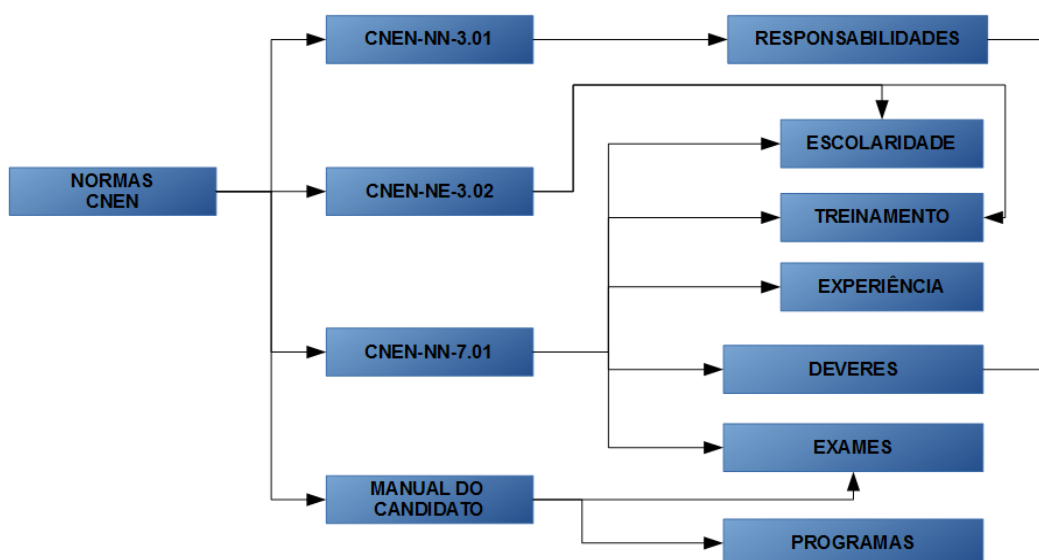


Figura 10 - Esquemático das normas CNEN relacionados a SPR  
Fonte: (CNEN, 2014) (CNEN, 2016) (CNEN, 2018) (CNEN, 2019c)

### 2.5.1. Responsabilidades e Deveres

Ainda como DBR as responsabilidades do SPR são estabelecidas:

- a) assessorar e informar a direção da instalação sobre todos os assuntos relativos à proteção radiológica;
- b) zelar pelo cumprimento do plano de proteção radiológica aprovado pela CNEN;
- c) planejar, coordenar, implementar e supervisionar as atividades do serviço de proteção radiológica, de modo a garantir o cumprimento dos requisitos básicos de proteção radiológica;
- d) coordenar o treinamento, orientar e avaliar o desempenho dos IOE, sob o ponto de vista de proteção radiológica (CNEN, 2014).

A norma CNEN-NN-7.01 – Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica, em seu Artigo 16 – Capítulo VI, estabelece os deveres do SPR:

- I. Manter sob controle, em conformidade com requisitos de normas específicas e condições autorizadas pela CNEN: as fontes de radiação; a liberação de efluentes e os rejeitos radioativos; as condições de proteção radiológica dos indivíduos ocupacionalmente expostos e do público; as áreas supervisionadas e controladas; e os equipamentos de proteção radiológica e monitoração da radiação;
- II. Manter o titular da instalação informado sobre eventos relevantes relativos à segurança e proteção radiológica;
- III. Comunicar imediatamente ao titular da instalação a ocorrência de irregularidades constatadas com fontes de radiação e as ações necessárias para garantir a proteção radiológica da instalação ou do serviço, em cumprimento às normas da CNEN, bem como manter registro dessa comunicação;
- IV. Treinar, orientar e avaliar o desempenho dos indivíduos ocupacionalmente expostos, sob o ponto de vista de segurança nuclear ou radiológica e proteção radiológica;
- V. Atuar em situações de emergência nuclear ou radiológica, de acordo com o previsto no plano de emergência, investigando e implementando as ações corretivas e preventivas aplicáveis;
- VI. Estabelecer por escrito, manter atualizado e verificar a aplicação do plano de proteção radiológica da instalação, bem como dos planos e procedimentos para o uso, manuseio, acondicionamento, transporte e armazenamento de fontes de radiação;
- VII. Estabelecer, avaliar e manter atualizados e disponíveis para verificação os registros e indicadores referentes ao serviço de proteção radiológica da instalação;
- VIII. Manter-se atualizado sobre conceitos e tecnologias relacionados à segurança nuclear ou radiológica, à proteção radiológica e aos regulamentos aplicáveis; e

IX. Comunicar à CNEN, no prazo máximo de trinta dias, seu desligamento de qualquer instalação ou serviço de transporte ou demais serviços onde atue como supervisor de proteção radiológica (CNEN, 2016).

É importante ressaltar que não há distinção de responsabilidades e deveres de um SPR para diferentes tipos de instalação.

### **2.5.2. Qualificação**

A norma CNEN-NE-3.02, no item 5.1.2, estabelece que o SPR deve ser um técnico de nível superior, possuir as mesmas qualificações que as requeridas para um técnico de nível superior e ter a certificação da qualificação conforme norma específica. (CNEN, 2018)

Transcreve-se abaixo o item 5.1.1 o qual detalha as qualificações exigidas para um técnico de nível superior:

5.1.1 Os técnicos de nível superior devem possuir as seguintes qualificações:

a) curso universitário completo numa das seguintes áreas: Física, Química, Engenharia, Medicina, Biologia, Farmácia, Medicina Veterinária e Agronomia, Odontologia, Biofísica, Bioquímica e Geologia;

b) curso de radioproteção específico reconhecido pela CNEN;

c) familiaridade com a organização, regulamentos, projeto e operação da instalação;

d) familiaridade com o funcionamento, aferição, ajuste e operação de equipamentos destinados à radioproteção;

e) conhecimento de normas e regulamentos relativos à radioproteção aplicada à instalação;

f) competência para o planejamento de procedimentos seguros de trabalhos para a realização de inspeções, identificações de irregularidades, elaboração de registros e relatórios; e

g) treinamento específico no campo de atuação (CNEN, 2018).

De forma geral, divide-se a qualificação de um SPR em dois requisitos básicos, a escolaridade e a experiência.

#### **2.5.2.1. Escolaridade**

Diferentemente do estabelecido na alínea a do Item 5.1.1 da norma CNEN-NE-3.02, a norma CNEN-NN-7.01 não estabelece os cursos de graduação, mas as áreas.

Art.5º Para obter a certificação, o candidato deve possuir diploma de nível superior de graduação (bacharel, licenciado ou tecnólogo), reconhecido pelo Ministério da Educação, nas seguintes áreas do conhecimento:

I – ciências exatas e da terra;

II – ciências biológicas;

III – engenharias;

IV – ciências da saúde;

V – ciências agrárias; ou

VI – ciências radiológicas.

§1º A formação acadêmica do candidato deve ser compatível com a área de atuação pretendida.

§2º Diplomas de nível superior de graduação, expedidos por universidades estrangeiras, devem ser revalidados por uma universidade pública brasileira que tenha curso do mesmo nível e área equivalente, conforme estabelecido na Lei 9394/96, artigo 48 §2º. §3º As informações prestadas em relação ao candidato podem ser auditadas pela CNEN e, caso não confirmadas, a inscrição no processo de certificação será indeferida (CNEN, 2016)

Ressalta-se que a norma CNEN-NN-7.01 não exige o curso de radioproteção estabelecido na CNEN-NE-3.02.

Ressalta-se, ainda, que o parágrafo 1º estabelece que a formação acadêmica do candidato deve ser compatível com a área de atuação pretendida porém não é apresentada ou estabelecida uma correlação.

#### **2.5.2.2. Experiência / Treinamento**

O Artigo 6º da norma CNEN-NN-7.01 e seus parágrafos estabelece os requisitos de experiência e treinamento a serem comprovados para obtenção da certificação.

Art. 6º Para obter a certificação, o candidato deve possuir experiência em segurança e proteção radiológica, na área de atuação pretendida, durante a operação da instalação ou a realização do serviço.

§1º O tempo mínimo de experiência do candidato a supervisor de proteção radiológica, na área de atuação pretendida, está especificado no Anexo I.

§2º A experiência deve ter sido adquirida nos cinco anos anteriores à data de solicitação da certificação. No caso de instalações radiativas, alternativamente, a experiência pode ser adquirida até um ano após a aprovação no exame da CNEN.

§3º Nas instalações em que é obrigatória a monitoração individual, o candidato deve apresentar o relatório de dose correspondente ao período em que adquiriu a experiência.

§4º O tempo de experiência deve ser comprovado mediante declaração do titular, bem como do supervisor de proteção radiológica, na área de atuação pretendida, da instalação ou serviço onde a experiência foi adquirida.

§5º No caso de usinas nucleoeletricas, o candidato deve ainda comprovar:

I – treinamento nas seguintes áreas: tópicos avançados de proteção radiológica; programa de otimização ALARA (tão baixo quanto razoavelmente exequível); sistemas básicos de usinas nucleares; operação de equipamentos de monitoração; trabalhos de parada para recarga; plano de emergência; avaliação e mitigação de acidentes; e

II – experiência em atividades de segurança e proteção radiológica durante duas paradas para recarga de cada usina em que irá atuar, de acordo com programa de treinamento pré-estabelecido.

[...] (CNEN, 2016)

Conforme o parágrafo primeiro, a norma apresenta, em anexo, os tempos de experiência requeridos para cada tipo de instalação. A Tabela 3 foi sintetizada para apresentar somente a área de interesse (Usina Nucleoelétrica).

Tabela 3 - Tempo de experiência requerido para a área Usina Nucleoelétrica

<b>Sigla</b>	<b>Áreas de Atuação da Classe I</b>	<b>Tempo de Experiência (h)</b>
I-UN	Usina Nucleoelétrica	400 <sup>[a]</sup>

[a] horas efetivas em área controlada

Fonte: Adaptada de (CNEN, 2016)

Para cumprimento da exigência da comprovação da experiência o manual do candidato fornece, em seu anexo IV, o modelo para preenchimento. Importante ressaltar que, conforme parágrafo cinco, para a área de Usina Nucleoelétrica a comprovação dos treinamentos específicos deverá estar anexa ao modelo. O Anexo 1 apresenta o modelo CNEN (CNEN, 2019c).

### **2.5.3. Certificação da Qualificação**

Um SPR, para atuar, deve obrigatoriamente obter a certificação de sua qualificação junto a CNEN. A norma CNEN-NN-7.01, estabelece que os candidatos a certificação deverão comprovar sua qualificação por meio de provas. Estabelece o Artigo 8º, relativo a área nuclear:

Art.8º O exame de certificação é constituído por provas, conforme é especificado a seguir.

§1º As provas têm caráter eliminatório e seus programas são apresentados no Manual do Candidato, disponível no portal da CNEN na internet: [www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br).

§2º Para candidatos a supervisor de proteção radiológica nas áreas de atuação da Classe I, o exame para certificação compreende as seguintes provas:



I-Prova 1: prova escrita sobre aspectos gerais de proteção radiológica e segurança nuclear e radiológica;

II-Prova 2: prova escrita sobre licenciamento, proteção radiológica e segurança nuclear e radiológica, abrangendo tópicos da área de atuação específica; e

III-Prova 3: prova de conhecimentos práticos, podendo ser escrita ou oral, abrangendo assuntos específicos das seguintes áreas de atuação: Mineração e Usina de Beneficiamento de Físico e Químico de U e Th; Usina de Produção de UF<sub>4</sub> e UF<sub>6</sub>; Usina de Enriquecimento Isotópico; Usina de Fabricação de Elemento Combustível; Processamento Físico e Químico de Materiais Irrradiados; Irradiador Industrial e Instalação de Gamagrafia Industrial e Radiografia Industrial com Equipamentos Geradores de Raios-X (V > 600 kV)

[...] (CNEN, 2016)

É importante destacar que o Parágrafo segundo do Artigo 8º estabelece que os candidatos as áreas da Classe 1, a qual pertence a área Usina Nucleoelétrica”, o exame consiste de três provas, sendo a última de conhecimentos práticos. Devido o inciso III do mesmo parágrafo não descrever a área de atuação “Usina Nucleoelétrica” a leitura poderia ser interpretada como ser exigido na prova 3 todos os assuntos específicos elencados. Entretanto, no Manual do Candidato o texto esclarece que não há prova prática para candidatos a área “Usina Nucleoelétrica”.

6.16.1) A prova específica prática será aplicada aos candidatos a supervisores de proteção radiológica da Classe I, nas seguintes áreas de atuação: Mina e Usina de Beneficiamento Físico e Químico de U e Th; Usina de Produção de UF<sub>4</sub> e UF<sub>6</sub>; Usina de Enriquecimento Isotópico; Usina de Fabricação de Elemento Combustível; Instalação Industrial de Grande Porte com Irradiador de Cobalto; Instalação de Gamagrafia Industrial e/ou de Radiografia Industrial com Equipamentos Geradores de Raios-X (V > 600 kV) (CNEN, 2019c)

A norma estabelece, ainda, no Artigo 9º, os requisitos para aprovação nas provas.

Art. 9º São considerados aprovados no exame de certificação os candidatos que obtiverem, numa escala de 0 (zero) a 10 (dez), nota igual ou superior a 7,0 (sete) em cada uma das provas abordadas no art. 8º.

[...] (CNEN, 2016)

#### **2.5.4. Emissão, Validade e Renovação da Certificação**

Aos candidatos que atenderem aos requisitos, a CNEN fornecerá o certificado da qualificação com validade de cinco anos. Para renovação a CNEN não exige uma recertificação por meio de provas, entretanto o SPR deverá, junto do requerimento solicitando a renovação, comprovar que exerceu a atividade de SPR,

na área pretendida, em, pelo menos, trinta meses nos últimos cinco anos. (CNEN, 2016)

### **2.5.5. Sanções**

A CNEN estabelece, ainda, em sua norma de certificação, CNEN-NN-7.01, as sanções as quais que poderão ser aplicadas aos SPR. É importante ressaltar que a norma apresenta de forma bastante clara a correlação infração / sanção. De forma geral, são classificadas em três os níveis, de advertência formal ao cancelamento do certificado e impedimento da obtenção de um novo. (CNEN, 2016)

### **2.5.6. Abrangência do conhecimento**

De forma a verificar a proficiência dos candidatos que segundo DICIO (2019c) é a “capacidade para realizar algo, dominar certo assunto e ter aptidão em determinada área do conhecimento” a CNEN, além da verificação da realização de treinamentos específicos, aplica provas, sendo a primeira uma prova geral e a segunda específica, ambas escritas.

A prova geral, para as áreas da Classe I, a qual pertence a área “Usina Nucleoelétrica” aborda aspectos gerais de proteção radiológica e segurança nuclear e radiológica. O Manual do candidato, no Anexo IV, estabelece o Programa:

#### FUNDAMENTOS DE FÍSICA ATÔMICA E NUCLEAR

##### Estrutura da Matéria:

- estrutura do átomo, do núcleo;
- equivalência entre massa e energia;
- transições atômicas e nucleares.

##### Radiações Eletromagnéticas e Radiações Ionizantes:

- origem, conceito;
- radioatividade: tipos de desintegração, atividade, decaimento, constante de desintegração, meia-vida física;
- vida média, séries radioativas naturais, equilíbrio secular;
- tipos e propriedades das partículas alfa, beta, nêutrons, radiações x e gama;
- fontes de radiação naturais, artificiais.

##### Interação da Radiação com a Matéria:

- ionização, excitação e ativação;
- efeito fotoelétrico, espalhamento Compton, formação de pares;
- transferência de energia;
- atenuação;-energia das radiações, alcance, penetração.

#### EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

Mecanismos de interação das radiações com o tecido humano.

##### Efeitos biológicos provocados pela radiação:

- tempo de latência;

- danos radioinduzidos, reversibilidade ou não do dano;
- transmissividade nas células.

Transferência linear de energia e eficácia biológica relativa.

Efeitos estocásticos e efeitos determinísticos.

Meia-vida biológica e meia-vida efetiva.

## SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Princípios Básicos de Proteção Radiológica: justificação, limitação de dose e otimização.

Restrição de dose.

Segurança radiológica: proteção física, defesa em profundidade, boas práticas de engenharia.

Grandezas e unidades empregadas em proteção radiológica.

Fatores de proteção radiológica:

- tempo de exposição;
- lei do inverso do quadrado da distância;
- blindagem para as diversas radiações.

Classificação de áreas.

Noções de cálculo de blindagem X e gama.

Resposta a emergências radiológicas: fase inicial, fase intermediária ou de controle e fase final ou fase de recuperação.

Descontaminação.

Regulamentação e Diretrizes Básica em Proteção Radiológica.

## INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR E ESTATÍSTICA – MEDIÇÃO

Princípios de detecção da radiação.

Detectores de Radiação

Propriedades dos instrumentos de medição:

- equilíbrio eletrônico;
- dependência energética, direcional;
- eficiência intrínseca, tempo morto;
- aferição/calibração.

Estatística:

- fundamentos da teoria estatística;
- determinação de incertezas nas medidas;
- média aritmética, média ponderada, mediana, moda;
- variância, desvio padrão e coeficiente de variação;
- intervalo de confiança.

Controle operacional de equipamentos, operação, manutenção preventiva.

Procedimentos para calibração/aferição.

Monitoração: de área e individual externa e interna (exposição e contaminação).

## GERÊNCIA DE REJEITOS RADIOATIVOS

Origem dos rejeitos radioativos (atividades geradoras de rejeitos).

Critérios de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica.

Princípios da gerência de rejeitos radioativos.

Classificação dos rejeitos radioativos.

Requisitos gerais da gerência de rejeitos radioativos Segregação, acondicionamento, identificação, registro e tratamento.

Armazenamento inicial, armazenamento intermediário e deposição de rejeitos.

Dispensa de rejeitos sólidos, líquidos e gasosos.

#### TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS

Especificações sobre materiais radioativos para fins de transporte.

Seleção do tipo de embalado.

Requisitos de projeto para embalados.

Radioproteção e segurança no transporte.

Responsabilidades e requisitos administrativos. (CNEN, 2019c)

Embora seja um prova com abordagem em aspectos gerais, a bibliografia sugere que o candidato deva ter pleno conhecimento de normas CNEN e da AIEA. O Anexo 2 apresenta a bibliografia da prova geral (CNEN, 2019c)

Tendo o candidato sido aprovado na prova geral, a segunda prova escrita será aplicada, sendo esta de conhecimentos específicos. Como programa a CNEN estabelece para a área de Usina Nucleoelétrica:

Identificação e classificação de áreas e avaliação dos potenciais de exposição;

Estabelecimento de limites operacionais e níveis de referência;

Controle de áreas, materiais e trabalhadores;

Controle das fontes de radiação e da contaminação;

Procedimentos especiais e de rotina;

Planejamento de atividades;

Uso e manutenção de equipamentos de proteção individual (EPI);

Programa de monitoração de áreas;

Programa de monitoração individual;

Programa de monitoração ambiental;

Gerenciamento de rejeitos radioativos;

Qualificação e treinamento de pessoal;

Controle médico e radiológico de trabalhadores;

Programa de controle de efluentes radioativos;

Procedimentos operacionais e administrativos da CNAAA, relacionados com a proteção radiológica (MOU - CNAAA -U.1 e 2);  
Transporte de materiais radioativos na área da CNAAA;  
Planejamento e resposta a situações de emergência;  
Cultura de segurança. (CNEN, 2019c)

Como bibliografia, apresentada no Anexo 3, o manual do candidato apresenta normas CNEN acrescidas de procedimentos e do Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) das Unidades I e II (CNEN, 2019c).

Ressalta-se, com base no programa estabelecido e na bibliografia para a área de Usina Nucleoelétrica, os candidatos deverão ter amplo acesso aos procedimentos e documentos internos da CNAAA sugerindo, assim, que a certificação da qualificação somente é possível para funcionários da CNAAA. Ressalta-se, ainda, neste quesito, a necessidade da comprovação do tempo de experiência.

#### **2.5.7. Supervisor de Proteção Radiológica em Submarinos**

Primeiramente é importante ressaltar que, possivelmente diante da especificidade do assunto conjugada a aplicação militar de um submarino ou de navio com propulsão nuclear, nenhuma informação clara a cerca da qualificação, tampouco da certificação da qualificação, de SPR para atuação nestes meios navais foi encontrada. Diante disso, os aspectos abordados neste item podem não refletir, necessariamente, as qualificações necessárias para a atuação de um SPR embarcado.

A *National Nuclear Security Administration* (NNSA) é uma agência semiautônoma ligada ao Departamento de Energia dos Estados Unidos da América que tem a responsabilidade de aumentar a segurança nacional através da aplicação militar da ciência nuclear. Entre outras atribuições, fornece à *U.S. Navy* propulsão nuclear segura e eficaz (NNSA, 2019a).

Para consecução do seu objetivo a NNSA conta com o Programa de Propulsão Nuclear Naval (NNPP – Naval Nuclear Propulsion Program). Formalmente designado pelo Governo, é estabelecido ao Programa a responsabilidade total dos reatores navais, em todos os aspectos, da propulsão nuclear da Marinha, incluindo pesquisa, projeto, construção, testes, operação, manutenção e disposição final das

instalações propulsoras nuclear. Inclui-se nas responsabilidades todas as instalações relacionadas, controles radiológicos, segurança ambiental, saúde bem como a seleção, treinamento e designação de pessoal (NNSA, 2019c).

O NNPP, comprometido com a proteção do meio ambiente e com a saúde e segurança das pessoas, fornece anualmente relatórios nos tópicos da monitoração ambiental e disposição de rejeitos e proteção ocupacional (NNSA, 2019b).

#### **2.5.7.1. Estaleiro e Base Naval (NNPP, 2018)**

Técnicos de proteção radiológica que atuam em estaleiros e em base naval com meios com propulsão nuclear devem possuir a sua qualificação por meio de um curso específico em proteção radiológica com duração entre 6 a 12 meses além da aprovação em exames escrito e oral. Para os supervisores são esperados as mesmas qualificações que as dos técnicos, com a diferença que as notas para aprovação nos exames são mais altas e mais difíceis de serem alcançadas.

Os exames orais, conduzidos por gerentes e supervisores sênior de proteção radiológica, exigem que os candidatos avaliem os sintomas iniciais de uma situação não usual, indiquem as ações corretivas imediatas e quais medidas adicionais são necessárias e que façam uma análise final das medições para identificação do problema específico.

Treinamentos periódicos são efetuados e neles são exigidos dos técnicos e supervisores que demonstrem a capacidade de lidar com situações semelhantes as exigidas no exame oral. Em pelo menos a cada 2 anos e meio os técnicos são submetidos a prova escrita e demonstração de conhecimento, semelhante a exigida para a qualificação inicial, para a requalificação. Adicionalmente, na primeira requalificação o exame oral é requerido. Além disso, entre os períodos para requalificação, os técnicos e supervisores são selecionados, aleatoriamente, para exames escritos adicionais e demonstração prática de habilidades. Participam, ainda, de exercícios não anunciados.

#### **2.5.7.2. Instalações navais propulsoras (NNPP, 2018)**

Os militares que operam as plantas propulsoras nucleares devem passar em um curso básico com duração de 6 meses e outros 6 meses em qualificação em um protótipo em terra ou a bordo de um navio escola fundeado. Cada treinando recebe

extensivos treinamentos em controle radiológico incluindo leitura, demonstração, práticas, exercícios e exames escritos e orais.

Aqueles que terão responsabilidades adicionais de controle radiológico associado com a propulsão nuclear são designados como *Engineering Laboratory Technicians* e devem cumprir treinamento adicional de 3 meses. Destes, os quais forem designados para atuar com controle radiológico em base naval, normalmente, recebem um treinamento adicional de 4 meses com abordagem dos aspectos do controle radiológico em atividades de manutenção e reparo.

Antes de se tornar o chefe do departamento de engenharia de um meio com propulsão nuclear, o oficial treinado deverá passar em exame escrito e em uma série de exames orais. A chave destes exames para a qualificação é o controle radiológico.

Qualquer oficial designado para comandar um meio com propulsão nuclear deve passar por um treinamento de 3 meses em um curso com abordagem em tópicos avançados de controle radiológico. O oficial deverá passar em exames escritos e orais antes de assumir o comando.

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia proposta neste TCC consiste em uma pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa onde foi utilizada técnica de busca em sítios na internet sendo as principais palavras chaves utilizadas: “submarino nuclear”, “proteção radiológica”, “supervisor”, “certificação”, “radiation protection officer”, “nuclear-powered submarine” e “radiation protection”.

O desenvolvimento apresentado no item 2 deste trabalho consiste na revisão bibliográfica a cerca das características de um submarino com propulsão nuclear, dos riscos radiológicos envolvidos, dos acidentes ocorridos, dos órgãos reguladores nacionais relacionados à instalações nucleares e das competências de escolaridade, experiência e proficiência de um supervisor de proteção radiológica.

Os resultados e discussão assim como as recomendações para continuação deste trabalho são apresentados no item 5.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operação segura de uma instalação propulsora nuclear, à semelhança de uma usina nucleolétrica, depende de diversos fatores sendo um deles a presença de um responsável pela proteção radiológica. É importante ressaltar que, conforme norma CNEN, é dever do SPR assessorar o titular a cerca de todos os assuntos relativos ao pelo plano de proteção radiológica além de garantir o seu pleno cumprimento.

A regulamentação da certificação da qualificação de um SPR é fundamental para que este profissional, ao ser certificado e designado para a função, esteja apto a atuar, em qualquer cenário.

##### 4.1. Competências de um SPR

A Figura 11 apresenta o triângulo das competências de um SPR. É importante ressaltar que as competências são complementares e espera-se que um SPR disponha das três..



Figura 11 - Triângulo das competências de um SPR  
Fonte: Do autor

Define-se cada competência assim:

**Escolaridade:** Período de educação, de estudo ou de aprendizagem (DICIO, 2019a);

**Experiência:** Conhecimento, ou aprendizado, obtido através da prática ou da vivência: experiência de vida; experiência de trabalho (DICIO, 2019b);

**Proficiência:** Capacidade para realizar algo, dominar certo assunto e ter aptidão em determinada área do conhecimento (DICIO, 2019c).

#### 4.2. Proposta de sistemática para seleção, qualificação e certificação de SPR

A Figura 12 ilustra a proposta de sistemática para a seleção, qualificação e a certificação da qualificação de SPR para atuação em submarinos com propulsão nuclear.

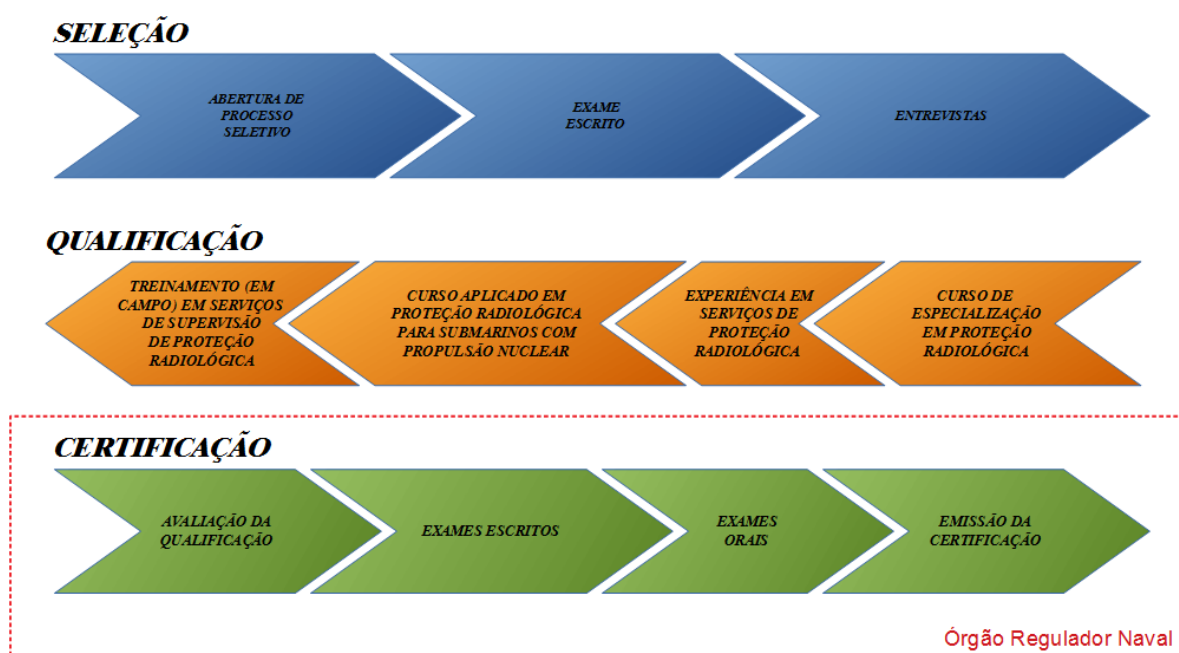


Figura 12 - Esquemático da proposta de sistemática para seleção, qualificação e certificação da qualificação de SPR

Fonte: Do Autor

Nos itens abaixo serão apresentados, detalhadamente, os requisitos desejáveis para cada etapa do processo. Ressalta-se que esta proposta considerada que os requisitos de formação naval dos oficiais já foram cumpridos, por exemplo o curso de submarinista.

#### **4.2.1. Abertura de processo seletivo**

A abertura de um processo seletivo interno tem por objetivo selecionar, em caráter voluntário, oficiais para participarem do programa de formação de SPR visando, ao término da formação, a certificação. É importante que estejam disponíveis aos candidatos todas as informações relacionadas a área de atuação de um SPR, assim como dos cursos de qualificação e experiência exigidos. Espera-se, no mínimo, as seguintes definições no processo seletivo:

- Descrição;
  - Descrição do processo seletivo, por exemplo: Processo Seletivo para Programa de Formação de Supervisores de Proteção Radiológica para atuação em submarinos com propulsão nuclear.
- Propósito;
  - Estabelecimento do propósito, por exemplo: Qualificar Oficiais do Corpo da Armada e do Quadro Complementar do Corpo da Armada para atuação como SPR em submarinos com propulsão nuclear.
- Público Alvo;
  - Estabelecimento do posto e corpo/quadro, por exemplo: Capitão-Tenente ou Capitão de Corveta.
- Requisitos para a inscrição;
  - Definição dos requisitos para a inscrição, por exemplo: Ter concluído o curso de Formação Nuclear e o Curso de Estado Maior para Oficiais Intermediários.
- Quantidade de vagas; e
- Objetos de avaliação.
  - Definição dos objetos a serem avaliados (exame escrito), por exemplo: Cálculo, Física, Biologia, Língua Portuguesa e Inglesa.

#### **4.2.2. Exame Escrito**

Nesta etapa espera-se dos candidatos a realização e consequente aprovação em exame escrito objetivo com questões de Cálculo, Física, Biologia e em exame escrito discursivo de línguas (Portuguesa e Inglesa).

Propõe-se que o exame seja dividido em duas partes, sendo a primeira classificatória a segunda eliminatória, respectivamente exame com questões de cálculo, física e biologia e exame de línguas, podendo a avaliação da linha portuguesa ser realizado por meio de uma redação.

Propõe-se, ainda, que as questões referentes ao exame de língua inglesa sejam extensivas a ponto de selecionar os candidatos que sejam, no mínimo, avançados. Uma redação poderá ser utilizada. É importante frisar que um SPR atuando em submarinos com propulsão nuclear poderá ser requerido para explicações técnicas em outros países.

#### **4.2.3. Entrevistas**

Espera-se que a instituição, por intermédio do entrevistador, seja capaz de avaliar efetivamente o interesse e a aptidão do oficial para atuação como SPR. Os dados de carreira poderão ser solicitados.

É importante que, nesta etapa, sejam apresentadas, de forma clara, as funções e atribuições de um SPR em submarinos.

#### **4.2.4. Curso de especialização em proteção radiológica**

O Curso de Especialização visa a qualificação do oficial em relação aos requisitos gerais de radioproteção. A correta determinação da grade curricular assim como a carga horária, do todo e de cada módulo, é essencial para que o oficial, ao término de curso, esteja apto a exercer atividades de proteção radiológica em instalações nucleares e radioativas. Ressalta-se que os assuntos aplicados a submarino com propulsão nuclear serão abordados em curso específico. Na opção pela não criação de um curso, instituições de ensino brasileiras ou no exterior podem ser avaliadas.

Com base no conteúdo exigido na prova geral para a certificação da qualificação de SPR e por se tratar de assuntos de abrangência geral, espera-se que o curso contenha em seu programa, no mínimo, os seguintes assuntos:

- Radioatividade (Fundamentos);
- Interação da Radiação com a Matéria;
- Grandezas e Medidas;
- Detectores de radiação;

- Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes;
- Dosimetria Externa e Interna;
- Órgãos Reguladores;
- Exposição ocupacional;
- Exposição pública;
- Transporte de material radioativo e nuclear;
- Gerência de Rejeitos;
- Emergências radioativas e nucleares;

#### **4.2.5. Experiência em serviços de proteção radiológica**

Ao término do curso é importantíssimo que o oficial integre um Serviço de Radioproteção para que este venha a obter experiência na área visando uma efetiva absorção do conhecimento. Propõe-se, nesta etapa, a designação do oficial para atuar em um serviço de radioproteção de uma instalação nuclear da própria Marinha do Brasil ou de uma instituição parceira. É importante ressaltar que, por se tratar de uma instalação nuclear regulada pela CNEN, a experiência será obtida acompanhada por um SPR certificado CNEN.

O tempo de experiência necessário será estabelecido com base nas atividades a serem executadas e espera-se que, ao longo deste período, o oficial adquira experiência em diversas atividades de um Serviço de Radioproteção.

Para evidenciar o tempo de experiência propõe-se que sejam utilizados registros de periodicidade preestabelecida os quais poderão ser integrados ao Programa de Garantia da Qualidade da Instalação.

O Anexo 4 apresenta uma proposta de um modelo simplificado para registro de experiência.

#### **4.2.6. Curso aplicado em proteção radiológica para submarinos com propulsão nuclear**

Definido os deveres e responsabilidades do SPR e dada as especificidades de um submarino com propulsão nuclear é fundamental que o oficial em formação receba todos os conhecimentos relacionados a proteção radiológica aplicada a este meio naval, portanto entende-se como necessária a criação de um curso específico. Propõe-se que este curso específico abranja, no mínimo, o seguinte:

- Classificação das áreas (compartimentos);

- Sistemas de segurança do Reator;
- Termo-fonte e natureza dos radionuclídeos;
- Limites operacionais;
- Equipamentos de Proteção Individual;
- Procedimentos de rotina e especiais;
- Procedimentos de emergência;
- Programa de monitoração de áreas (compartimentos);
- Programa de monitoração individual;
- Programa de monitoração ambiental;
- Gestão de rejeitos e efluentes;
- Qualificação e treinamento da tripulação;

A carga horária poderá ser estabelecida após um minucioso detalhamento dos assuntos. Ressalta-se que é desejável que a definição dos tópicos do curso estejam correlacionados com os deveres e atribuições do SPR no submarino com propulsão nuclear, previstos no projeto e licenciamento.

#### **4.2.7. Treinamento (em campo) em serviços de supervisão de proteção radiológica**

O treinamento em questão visa fornecer ao oficial treinamento específico na supervisão da proteção radiológica por meio do acompanhamento de atividades em campo. Dada as similaridades de projeto propõe-se que o treinamento seja realizado em instalação protótipo em terra.

À semelhança do exigido para evidenciar a experiência, propõe-se que os treinamentos e práticas realizadas também sejam registrados em formulários próprios com periodicidade preestabelecida. É importante ressaltar que, por se tratar de uma instalação protótipo em terra regulada pela CNEN, o treinamento será realizado por um SPR certificado CNEN.

O Anexo 5 apresenta uma proposta de um modelo simplificado para registro de treinamento.

#### **4.2.8. Avaliação da qualificação**

Considerando o cumprimento dos requisitos de qualificação, experiência é e treinamento propõe-se o oficial pretendente a certificação faça a solicitação ao Órgão Regulador Naval da avaliação de sua qualificação.

O Órgão Regulador poderá dispor de normas e guias com os modelos e critérios de avaliação. É desejável que o Órgão Regulador, ao receber a documentação do candidato, faça uma análise minuciosa de toda a qualificação com foco no período de experiência e treinamentos em campo. Uma lista de verificação poderá ser elaborada para auxiliar os avaliadores no atendimento das exigências.

O Anexo 6 apresenta uma proposta de um modelo simplificado para lista de verificação.

#### **4.2.9. Exames escritos**

Considerando atendida a qualificação, o candidato será submetido, nesta etapa, a exames escritos que visam demonstrar o conhecimento e habilidades adquiridos. Considerando, ainda, que, o candidato concluiu com aproveitamento o curso de especialização em proteção radiológica, os exames poderão focar nos assuntos específicos do submarino com propulsão nuclear. Propõe-se a realização de dois exames escritos conforme abaixo:

- Exame 1 (conhecimentos específicos da instalação);
  - Questões objetivas e discursivas relacionadas as áreas (compartimentos), limites operacionais, vias de exposição, gestão de rejeitos e efluentes; equipamentos de proteção individual, qualificação e treinamento da tripulação, entre outras).
- Exame 2 (conhecimentos de procedimentos de rotina, especiais e de emergência e dos programas de monitoração)
  - Questões discursivas para o desenvolvimento, com base em procedimentos, de situações de rotina, especiais e de intervenção e emergência. Questões discursivas a cerca dos programas de monitoração. Será exigido do candidato o desenvolvimento de, pelo menos uma, resposta na língua inglesa.

#### **4.2.10. Exame oral**

O Exame oral visa avaliar o candidato quanto a demonstração do conhecimento no tempo. Para tanto, propõe-se que, nesta etapa, o candidato seja avaliado em uma situação prática de intervenção e emergência baseada nas situações de emergência postuladas.

Ressalta-se que é desejável que a condução do exame seja feita por profissionais multidisciplinares, haja vista a integração da segurança naval com a segurança nuclear.

#### **4.2.11. Emissão da certificação**

Considerando que o candidato tenha sido aprovado em todas as etapas do processo, a certificação será emitida pela ANSNQ e o oficial poderá ser designado para atuar como SPR em submarinos com propulsão nuclear.



## 5. CONCLUSÃO

O submarino com propulsão nuclear é um meio singular de altíssima complexidade. Considerando a futura operação deste tipo de embarcação pela Marinha do Brasil é fundamental que a tripulação esteja devidamente formada tanto nos aspectos navais quanto nos nucleares. Similar ao praticado no Brasil, no qual é exigido pela CNEN, que as instalações nucleares tenham, no mínimo, um SPR certificado, pressupõe-se que o Marinha do Brasil regulamentará a atuação, incluindo os requisitos para seleção, qualificação e certificação, de SPR para atuação em meios com propulsão nuclear.

Considerando a semelhança do exigido pela CNEN para a certificação da qualificação de SPR para a área de usina nucleoe elétrica e dos requisitos adicionais propostos para pleno atendimento das características específicas de um submarino com propulsão nuclear, a proposta de sistemática apresentada neste trabalho é considerada satisfatória.

Como ponto forte da proposta apresentada, diferentemente do exigido atualmente pela CNEN para certificação da qualificação de SPR, ressalta-se a exigência do uso da língua inglesa nos exames de certificação. É importante ressaltar que a proficiência na língua é fundamental devido tanto aos manuais de operação e manutenção de equipamentos ou sistemas e em especial à necessidade da comunicação em portos estrangeiros.

Embora considerada satisfatória, para a efetiva implementação desta proposta alguns pontos, levantados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, necessitam definições. São eles:

- Definição dos Deveres e Responsabilidades do SPR em submarinos;
- Definição da quantidade necessária de SPR em um submarino; e
- Determinação e inclusão da formação de SPR no Plano de Carreira de Oficiais da Marinha.

Recomenda-se, como continuação deste trabalho, a extensão da pesquisa sobre as funções e qualificações de um SPR requeridas por Marinhas detentoras de submarino com propulsão nuclear.

Recomenda-se, ainda, o aprofundamento nos aspectos pedagógicos relacionados aos diferentes tipos de avaliações possíveis de serem utilizadas nos exames de certificação da qualificação visando uma avaliação profunda da demonstração de conhecimento e habilidades, por exemplo evitar questões que possam ser resolvidas com base em memorização e sim pela compreensão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLONA. **Report Volume 2:1996**: The Russian Northern Fleet: Sources of Radioactive contamination. Noruega, 1996. Disponível em <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/407996>. Acesso em: 02 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria N° 305, de 26 de abril de 2010. Aprova o anexo Regimento Interno da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 78, p. 5, 27 abril 2010. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=5&data=27/04/2010>. Acesso em: 02 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Marinha. Portaria N° 120/MB, de 20 de abril de 2017. Altera a denominação do Escritório de Desenvolvimento Tecnológico Industrial da Marinha para Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 154, n. 77, p. 34, 24 abril 2017. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&data=24/04/2017&pagina=34>. Acesso em: 02 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Marinha. Portaria n° 27/MB, de 30 de janeiro de 2018. Altera a Portaria N° 120/MB, de 20 de abril de 2017, que altera a denominação do Escritório de Desenvolvimento Tecnológico Industrial da Marinha para Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 155, n. 23, p. 19, 01 fevereiro 2018. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=01/02/2018&jornal=515&pagina=19>. Acesso em: 02 set. 2019.

BRASIL. **Lei N° 6.189, de 16 de dezembro de 1974**. Altera a Lei n° 4.118, de 27 de agosto de 1962, e a Lei n° 5.740, de 1 de dezembro de 1971, que criaram, respectivamente, a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN e a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear - CBTN, que passa a denominar-se Empresas Nucleares Brasileiras Sociedade Anônima - NUCLEBRÁS, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6189.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6189.htm). Acesso em: 31 ago. 2019.

BRASIL. **Lei Nº 7.781, de 27 de junho de 1989**. Dá nova redação aos artigos 2º, 10 e 19 da Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7781.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7781.htm). Acesso em: 31 ago. 2019.

BRASIL. **Decreto Nº 6.703, de 18 de dezembro de 2008**. Aprova a Estratégia Nacional de Defesa, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/Decreto/D6703.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/Decreto/D6703.htm). Acesso em: 02 set. 2019.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PL 10771/2018**: Projeto de Lei. Disponível em <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2183406>. Acesso em: 02 set. 2019.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **CNEN-NE-3.02**: Serviços de Radioproteção. Rio de Janeiro: CNEN, 2018. Disponível em <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm302.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **CNEN-NN-3.01**: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro: CNEN, 2014. Disponível em <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **CNEN-NN-7.01**: Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro: CNEN, 2016. Disponível em <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm701.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **CNEN e Marinha assinam protocolo de intenções para cooperação mútua no licenciamento e segurança na área de propulsão nuclear**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ultimas-noticias/517-cnen-e-marinha-assinam-protocolo-de-intencoes-para-cooperacao-mutua-no-licenciamento-e-seguranca-na-area-de-propulsao-nuclear>. Acesso em: 31 ago. 2019, 2019a.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Estrutura Organizacional (Organograma)**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/institucional/40-lei-de-acesso-a-informacao/74-estrutura-organizacional>. Acesso em 31 ago. 2019, 2019b.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Manual do candidato ao exame para certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica 2019**. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/certificacao/2019/manual\\_candidato.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/certificacao/2019/manual_candidato.pdf). Acesso em: 02 set. 2019, 2019c.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Quem somos**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/quem-somos>. Acesso em: 31 ago. 2019, 2019d.

CORZO, S. F.; GODINO D. M.; NIGRO N. M.; RAMAJO D.E. CFD Simulation of the RD-14M Steam Generator using two-fluid model. **Asociación Argentina de Mecánica Computacional**, Córdoba, nov. 2016. Disponível em: <https://amcaonline.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/5085>. Acesso em: 30 ago. 2019.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS (DICIO). **Escolaridade**. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/escolaridade/>. Acesso em: 03 set. 2019, 2019a.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS (DICIO). **Experiência**. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/experiencia/>. Acesso em: 03 set. 2019, 2019b.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS (DICIO). **Proficiência**. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/proficiencia/>. Acesso em: 03 set. 2019, 2019c.

ELETRONUCLEAR. **Estudo de Impacto Ambiental de Angra 3**: Caracterização do Empreendimento. Disponível em: [http://www.eletronuclear.gov.br/nossas-Atividades/Documents/EIA/v01\\_02\\_caracterizacao.html](http://www.eletronuclear.gov.br/nossas-Atividades/Documents/EIA/v01_02_caracterizacao.html). Acesso em: 30 ago. 2019.

FEDERATION OF AMERICAN SCIENTISTS (FAS). **Nuclear Propulsion**. Disponível em: <https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/eng/reactor.htm>. Acesso em 04 set. 2019.

GUIMARÃES, L. S. **Síntese de doutrina de segurança para projeto e operação de submarinos nucleares**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **GSR Part 1 (Rev.1)**: Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety. Viena: IAEA, 2016a. Disponível em: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1713web-70795870.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **IAEA SAFETY GLOSSARY**: Terminology used in nuclear safety and radiation protection: revision 2016 draft. Viena: IAEA, 2016b. Disponível em: <https://www-ns.iaea.org/downloads/standards/glossary/iaea-safety-glossary-draft-2016.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

JOHNSTON'S ARCHIVE. **Database of radiological incidents and related events**: Naval reactor accidents causing radiation casualties. Disponível em: <http://www.-johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/radevents3.html>. Acessado em: 31 ago. 2019.

KIRYUKHINA, Yaroslava. Eyewitness: Tragedy of Soviet nuclear submarine K-27. **BBC News**, 2013. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-europe-21148434>. Acesso em: 31 ago. 2019.

MAIA, Y. L. **Uma proposta para o descomissionamento de submarinos nucleares no Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MANTECÓN, J. G. **Modelagem e Análise Termo-Hidráulica do Reator Nuclear Angra 2 utilizando o código RELAP5-3D**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha. Portaria N° 46/DGDNTM, de 26 de março de 2018. Aprova o regulamento da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade. **Boletim da Marinha do Brasil**: Tomo I, N° 04/2018. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dadm/sites/www.marinha.mil.br.dadm/files/BolAdm042018.pdf>. Acesso em: 02 ago.2019.

MARINHA DO BRASIL. **Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PRO-SUB)**: Estrutura do PROSUB. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/estrutura>. Acesso em: 30 ago. 2019, 2019a.

MARINHA DO BRASIL. **Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PRO-SUB)**: O PROSUB. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/institucional>. Acesso em: 30 ago. 2019, 2019b.

MARINHA DO BRASIL. **Segurança nuclear**: Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade é ativada. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/amazul/node/21737>. Acesso em: 30 set. 2019, 2019c.

NAVAL NUCLEAR PROPULSION PROGRAM (NNPP). Department of the Navy. **REPORT NT-18.2**: Occupational radiation exposure from U.S. naval nuclear propulsion plants and their support facilities. Washington D.C., 2018. Disponível em: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/07/f53/NT-18-2.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

NORDIC NUCLEAR SAFETY RESEARCH (NKS). Risø National Laboratory. Institute of Physics. **NKS/RAK-2**: Accidents in Nuclear Ships. Dinamarca, 1996. Disponível em: <http://www.nks.org/download/pdf/NKS-Pub/NKS-96-RAK-2TR-C3.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

NATIONAL NUCLEAR SECURITY ADMINISTRATION (NNSA). **About NNSA**. Disponível em: <https://www.energy.gov/nnsa/about-nnsa>. Acesso em: 03 set. 2019, 2019a.

NATIONAL NUCLEAR SECURITY ADMINISTRATION (NNSA). **Naval Reactors annual reports**. Disponível em: <https://www.energy.gov/nnsa/downloads/naval-reactors-annual-reports>. Acesso em: 03 set. 2019, 2019b.

NATIONAL NUCLEAR SECURITY ADMINISTRATION (NNSA). **Powering the Navy**. Disponível em: <https://www.energy.gov/nnsa/missions/powering-navy>. Acesso em: 03 set. 2019, 2019c.

PODER NAVAL. **O Prosub e o submarino nuclear brasileiro SN-BR**. Disponível em: <http://www.naval.com.br/blog/2018/02/20/o-prosub-e-o-submarino-nuclear-brasileiro-sn-br/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

PORFÍRIO, R. N. S. **Modelagem e simulação do termo-fonte radioativo de produtos de fissão em reatores nucleares do tipo PWR**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1996.

RUIVO, H. M. **A Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade**. 2018. 27 slides. Disponível em: <https://caslode.defesa.gov.br/site/index.php/palestras>. Acesso em: 31 ago. 2019.

SUBMARINOS: defesa e desenvolvimento para o Brasil. **Marinha do Brasil**, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: [https://www.marinha.mil.br/prosub/sites/www.marinha.mil.br/prosub/files/revista\\_prosub.pdf](https://www.marinha.mil.br/prosub/sites/www.marinha.mil.br/prosub/files/revista_prosub.pdf). Acesso em: 02 set. 2019.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (USNRC). **Typical Pressurized Water Reactor**. Disponível em: <https://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/vessel-head-degradation/vessel-head-degradation-files/pwr-rx-vessel.html>. Acesso em: 30 ago. 2019.



## ANEXO 1

### DECLARAÇÃO DE EXPERIÊNCIA EM SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

RAZÃO SOCIAL:.....

CNPJ:.....

MATRÍCULA CNEN:.....

AUTORIZAÇÃO PARA OPERAÇÃO NA ÁREA DE: .....

Eu, .....NOME  
COMPLETO, TITULAR da Instalação acima identificada, e  
Eu, .....  
SUPERVISOR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA da instalação acima identificada,  
autorizada pela CNEN a operar na área de ..... declaramos que  
o(a) Sr(a) ....., inscrito(a) no CPF  
sob o nº ....., candidato(a) a certificação da  
qualificação de supervisor de proteção radiológica no ano de 2019 obteve .....  
horas de experiência em segurança e proteção radiológica nesta instalação, no  
período de ..... a..... de.....

A informação acima poderá ser comprovada em nossos registros ou junto ao Titular  
desta instalação, estando sujeita à verificação pela CNEN.

.....  
ASSINATURA DO SUPERVISOR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DA  
INSTALAÇÃO

CPF:..... Nº da Certificação pela CNEN:.....

.....  
ASSINATURA DO TITULAR DA INSTALAÇÃO

CPF:.....

Obs. 1 - São consideradas sem validade declarações de empresas não autorizadas  
pela CNEN a operar.

Obs. 2 - São consideradas sem validade declarações assinadas por pessoas outras  
que o Titular e o Supervisor de Proteção da Instalação autorizada a operar pela  
CNEN.

Obs. 3 - O não preenchimento, preenchimento incompleto ou preenchimento com  
informações incorretas desta declaração sujeita o candidato à exclusão do processo  
de certificação, pois é pré-requisito especificado Candidato 201

## ANEXO 2

### BIBLIOGRAFIA

**1.** Norma CNEN-NN-3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf> e respectivas Posições Regulatórias:

**1.1** 3.01 / 001:2011 – Critérios de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica; Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_01.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_01.pdf).

**1.2** 3.01 / 002:2011 – Fatores de ponderação para as grandezas de proteção radiológica. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_02.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_02.pdf)

**1.3** 3.01 / 003:2011 – Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_03.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_03.pdf)

**1.4** 3.01 / 004:2011 – Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_04.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_04.pdf)

**1.5** 3.01 / 005:2011 – Critérios de cálculo de dose efetiva a partir da monitoração individual. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_05.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_05.pdf)

**1.6** 3.01 / 006:2011 – Medidas de proteção e critérios de intervenção em situações de emergência. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_06.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_06.pdf)

**1.7** 3.01 / 007:2005 – Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_07.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_07.pdf)

**1.8** 3.01 / 008:2011 – Programa de monitoração radiológica ambiental. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_08.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_08.pdf)

**1.9** 3.01 / 009:2011 – Modelo para elaboração de relatórios de programa de monitoração radiológica ambiental. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_09.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_09.pdf)

**1.10** 3.01 / 010:2011 - Níveis de dose para notificação à CNEN. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_10.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_10.pdf)

**1.11** 3.01 / 011:2011 - Coeficientes de Dose para Exposição do Público. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_11.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_11.pdf)

**2.** Norma CNEN-NE-3.02 Serviços de Radioproteção. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm302.pdf>

**3.** Norma CNEN-NN-7.01 Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm701.pdf>

**4.** Norma CNEN-NE-5.01 Transporte de Materiais Radioativos e respectiva Posição Regulatória. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm501.pdf>

**5.** Norma CNEN-NN-8.01 Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm801.pdf>

**6.** Norma CNEN-NN-8.02 Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm802.pdf>

**7.** Attix, F. H. - Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry – J. Wiley and Sons, New York, 2000.

**8.** Bitelli, T. -Física e Dosimetria das Radiações. Ed. Atheneu. 2ª edição. 2006.

**9.** Chung, K. C. Introdução a Física Nuclear. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2001.

**10.** Eric J.Hall, E.J.; Giaccia, A.J. Radiobiology for the radiologist. 7 ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.

**11.** Glenn F. Knoll -Radiation Detection and Measurement, 4ª Edição. John Wiley & Sons, Inc. 2010.

**12.** Heilbron Filho, P.F. et alli. -Segurança Nuclear e Proteção do Meio Ambiente, E-papers Serviços Editoriais, Rio de Janeiro, 2004.

**13.** Okuno, Emico & Yoshimura, Elizabeth-Física das Radiações, 1ª Edição. Oficina de Textos, 2010.

**14.** Tauhata, L., et al. -Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos –IRD/ CNEN, 10ª Revisão, 2014. Disponível em: <http://www.ird.gov.br/index.php/material-didatico/send/36-apostilas/105-radioprotecao-e-dosimetria-fundamentos-final-i>

**15.** Tsoulfanidis, N. -Measurement and Detection of Radiation - Hemisphere Publishing Corporation, 1995.

**16.** Xavier, A.M. et al. –Princípios de Segurança e Proteção Radiológica, 3a Edição, Revisada e Ampliada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2014. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/component/content/article?id=170>

**17.** INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY –IAEA -Occupational Radiation Protection -General Safety Guide 7. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2018. Disponível em: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1785\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1785_web.pdf)

**18.** INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA. Safety Guide No. RS-G-1.8, Environmental and source monitoring for purposes of radiation protection, Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005. Disponível em: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1216\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1216_web.pdf)

**19.** INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA General Safety Guide 8. Radiation Protection of the Public and the Environment, Vienna: International Atomic Energy Agency, 2018. Disponível em: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1781\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1781_web.pdf)

**20.** INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA General Safety Guide N° GSG-1, Classification of radioactive waste, Vienna, International Atomic Energy Agency, 2009. Disponível em: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419_web.pdf)

## ANEXO 3

### BIBLIOGRAFIA

**1.** Norma CNEN-NE-1.04 – Licenciamento de Instalações Nucleares. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm104.pdf> e posição regulatória:

**2.** Norma CNEN-NE-2.02 – Controle de Materiais Nucleares. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm202.pdf>

**3.** Norma CNEN-NN-3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf> e respectivas Posições Regulatórias:

**1.1.** 3.01 / 001:2011 – Critérios de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_01.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_01.pdf)

**1.2.** 3.01 / 002:2011 – Fatores de ponderação para as grandezas de proteção radiológica. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_02.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_02.pdf)

**1.3.** 3.01 / 003:2011 – Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_03.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_03.pdf)

**1.4.** 3.01 / 004:2011 – Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_04.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_04.pdf)

**1.5.** 3.01 / 005:2011 – Critérios de cálculo de dose efetiva a partir da monitoração individual; Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_05.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_05.pdf)

**1.6.** 3.01 / 006:2011 – Medidas de proteção e critérios de intervenção em situações de emergência. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_06.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_06.pdf)

**1.7.** 3.01 / 007:2005 – Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_07.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_07.pdf)

**1.8.** 3.01 / 008:2011 – Programa de monitoração radiológica ambiental. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_08.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_08.pdf)

**1.9.** 3.01 / 009:2011 – Modelo para elaboração de relatórios de programa de monitoração radiológica ambiental. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_09.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_09.pdf)

**1.10.** 3.01 / 010:2011 – Níveis de dose para notificação à CNEN. Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_10.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_10.pdf)

**1.11.** 3.01 / 011:2011 -Coeficientes de Dose para Exposição do Público; Disponível em: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_11.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_11.pdf)

**4.** Norma CNEN-NE-3.02 Serviços de Radioproteção. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm302.pdf>

**5.** Procedimentos (MOU) da CNAAA - Unidades I e II.

**6.** RFAS da CNAAA - Unidades I e II.

**ANEXO 4****MODELO DE REGISTRO DE EXPERIÊNCIA**

<b>(NOME DA INSTALAÇÃO)</b>	<b>REGISTRO DE EXPERIÊNCIA</b>
<b>REGISTRO Nº</b>	(Nº Registro)
<b>NOME COMPLETO</b>	(Nome do Oficial)
<b>FUNÇÃO</b>	(Função do Oficial)
<b>SEMANA / ANO</b>	(Semana) / (Ano)
<b>SEGUNDA-FEIRA</b>	(Descrição das atividades)
<b>TERÇA-FEIRA</b>	(Descrição das atividades)
<b>QUARTA-FEIRA</b>	(Descrição das atividades)
<b>QUINTA-FEIRA</b>	(Descrição das atividades)
<b>SEXTA-FEIRA</b>	(Descrição das atividades)
<b>ASSINATURA OFICIAL</b>	(Assinatura do oficial)

<b>SPR</b>	(Nome do SPR)
<b>Nº MATRICULA CNEN</b>	(Nº matrícula CNEN)
<b>ASSINATURA</b>	(Assinatura do SPR)

**ANEXO 5****MODELO DE REGISTRO DE TREINAMENTO**

<b>(NOME DA INSTALAÇÃO)</b>	<b>REGISTRO DE TREINAMENTO</b>	
<b>REGISTRO Nº</b>	(Nº Registro)	
<b>DATA</b>	(Data)	
<b>HORÁRIO</b>	(Horário)	
<b>TEMA</b>		
	(Tema do treinamento)	
<b>OBJETIVO</b>		
	(Objetivo do treinamento)	
<b>CARGA-HORÁRIA</b>	(Carga-horária)	
<b>LISTA DE PRESENÇA</b>		
<b>Nº</b>	<b>NOME COMPLETO</b>	<b>RUBRICA</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		

<b>SPR</b>	(Nome do SPR)
<b>Nº MATRICULA CNEN</b>	(Nº matrícula CNEN)
<b>ASSINATURA</b>	(Assinatura do SPR)



## ANEXO 6

### MODELO DE LISTA DE VERIFICAÇÃO

<b>(ÓRGÃO REGULADOR)</b>		<b>LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA QUALIFICAÇÃO DE CANDIDATOS A SPR PARA ATUAÇÃO EM SUBMARINOS COM PROPULSÃO NUCLEAR</b>		
<b>_____</b>				
<b>Nº</b>	<b>ITEM PARA VERIFICAÇÃO</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
1	O candidato apresentou certificado de conclusão de curso de especialização em proteção radiológica?			
2	O curso de especialização em proteção radiológica atende aos requisitos mínimos?			
3	O candidato apresentou as evidências de experiência devidamente ratificadas pelo SPR da instalação?			
4	A quantidade de horas de experiência evidenciadas atende aos requisitos?			
5	O candidato apresentou o certificado de conclusão de curso aplicado em proteção radiológica para submarinos com propulsão nuclear?			
6	O candidato apresentou as evidências de treinamento (em campo) devidamente ratificadas pelo SPR da instalação?			
7	A quantidade de horas de treinamento evidenciada atende os requisitos?			
8	Outros.			