

# DOCTRINA DE SEGURANÇA PARA SUBMARINOS NUCLEARES NO BRASIL

LEONAM DOS SANTOS GUIMARÃES\*  
Capitão de Mar e Guerra (RM1-EN)

---

## SUMÁRIO

Introdução  
Segurança Naval  
Segurança Nuclear  
Segurança dos navios nucleares  
Aplicação da doutrina  
Métodos de controle  
Conclusões

## INTRODUÇÃO

Para que o Prosub seja coroado de êxito, torna-se necessário que a Marinha do Brasil demonstre e garanta o atendimento dos atributos de eficiência militar e de segurança nuclear do Submarino Nuclear de Ataque (SNA) nacional ao longo de seu processo de obtenção, antes de submetê-lo aos riscos externos específicos ao ambiente marítimo e aos riscos operativos associados ao caráter

militar de seu emprego. Essa necessidade decorre de um imperativo associado à capacitação na obtenção e na utilização da energia nuclear e visa a minimizar os eventuais riscos tecnológicos, políticos, sociais e financeiros que poderiam acarretar um eventual insucesso futuro na operação desses navios.

O reconhecimento do navio nuclear como um sistema único, incorporando os problemas de segurança e as técnicas tanto da indústria naval como da indústria

---

\* N.R.: Chefe de gabinete da Presidência da Eletronuclear. Colaborador frequente da *Revista Marítima Brasileira*.

nuclear, constitui-se então uma necessidade premente, de modo a viabilizar a energia nuclear como um meio de propulsão naval. Reconhecer o navio nuclear como resultado da combinação de “culturas” de dois grandes ramos da engenharia implica a necessidade de uma doutrina de segurança que aborde o navio e a instalação nuclear como um sistema, combinando e sintetizando todos os aspectos relevantes tanto para os navios militares como para as usinas nucleoeletricas comerciais.

O não reconhecimento do navio nuclear como um sistema específico conduz à aplicação de regras e regulamentações de segurança definidas para navios convencionais, sobrepostas (e eventualmente em conflito) a regras e regulamentações desenvolvidas para usinas nucleoeletricas. Tal abordagem, evidentemente, não conduz a uma otimização do projeto e da operação do navio, nem do ponto de vista da segurança nem do ponto de vista funcional.

## SEGURANÇA NAVAL

A abordagem tradicional da Segurança Naval tem sido prevenir morte, injúria pessoal, e perdas e danos à propriedade. São reconhecidos três princípios básicos para o cumprimento desta doutrina:

- a) minimizar as possibilidades de ocorrência de acidentes;
- b) minimizar as consequências de um acidente e as possibilidades de perda do navio; e
- c) maximizar as possibilidades de sobrevivência, socorro e resgate da tripulação em caso de perda ou abandono do navio.

Historicamente, a ênfase tem sido colocada sobre o próprio navio como meio de atingir o objetivo de segurança da vida humana no mar. Mais recentemente, a mesma abordagem tem sido aplicada para a proteção do meio ambiente, ou seja, proteger o navio de falhas

catastróficas sob condições acidentais implica proteger também o meio ambiente.

Essa doutrina é implementada pela combinação de diversas ações exercidas ao longo de toda a vida útil do navio, desde sua concepção até seu descomissionamento. Essas ações incluem o desenvolvimento de normas e regulamentos legais, revisão e aprovação do projeto, inspeção e reinspeção para certificação, requisitos mínimos de tripulação e licenciamento de operadores.

Observa-se que apesar de, ao longo dos últimos 150 anos, a necessidade de normas regulamentadoras da Segurança Naval ter sido crescentemente reconhecida, a segurança propriamente dita tem sido derivada de uma abordagem “após os fatos”, ou seja, por meio de um procedimento de “reação ao desastre” do tipo acidente → investigação → correção. Nesse processo, as atividades de correção, na maioria das vezes, têm reforçado a sobrevivência do navio como meio primordial de proteção da vida humana no mar.

Felizmente tem sido observada uma notável mudança de ênfase na regulamentação da Segurança Naval, que cada vez mais vem adotando uma abordagem racional, baseada na disciplina de Segurança de Funcionamento de Sistemas (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety* – RAMS), utilizando-se dos seus métodos mais avançados para acompanhar os avanços da inovação tecnológica no setor. Apesar desses métodos não serem ainda universalmente adotados na indústria naval, nota-se a influência da abordagem de segurança no desenvolvimento dos códigos da International Maritime Organization (IMO) aplicáveis a navios para transporte de gás, navios para transporte de produtos químicos, navios petroleiros e navios baseados em efeitos de suportação dinâmica. A análise de segurança de sistemas foi também utilizada para a revisão da

Convenção Internacional para a Segurança da Vida Humana no Mar (*Safety Of Life At Seas – Solas*), particularmente naqueles capítulos relacionados com a proteção contra incêndios e aplicações de salvatagem do pessoal embarcado.

Considerando os aspectos operacionais da segurança dos navios, a mesma tradição histórica de “navio em primeiro lugar” permanece verdadeira. Devido ao alto valor de um grande navio e de sua carga útil, é normal que o comandante tome todas as decisões necessárias para assegurar sua sobrevivência, incluindo forçar a operação de sua instalação de máquinas até os limites de sua resistência, e até mesmo encalhar voluntariamente o navio antes que ele afunde, de modo a facilitar o socorro à tripulação e o salvamento do navio e de sua carga.

Em resumo, pode-se concluir que, tanto tradicionalmente como em termos dos novos métodos de Segurança de Funcionamento de Sistemas aplicados, a própria sobrevivência do navio é a principal preocupação, o que resulta na segurança da tripulação, do público e do meio ambiente.

## SEGURANÇA NUCLEAR

A segurança de instalações nucleares pode ser vista como similar: seu objetivo fundamental é proteger o público e os trabalhadores das consequências de liberações de produtos radioativos decorrentes de sua operação normal e de acidentes.

Esse objetivo é atingido mantendo-se intactas as barreiras físicas entre o público e o combustível nuclear por:

a) planejamento e execução sistemática de atividades de projeto, construção e

operação que minimizem a possibilidade de ocorrência de acidentes, incluindo requisitos operacionais que garantam a operação da instalação dentro dos limites de projeto especificados; e

b) planejamento e execução sistemática de atividades de projeto, construção e operação que minimizem as consequências dos acidentes, caso eles ocorram.

Essa abordagem enfatiza a segurança do reator como principal meio de manterem-se as barreiras intactas. Como na Segurança Naval, encontraremos mais uma vez normas e padrões regulamentares, aprovação de especificações, inspeção e requisitos sobre os operadores. O procedimento de segurança do tipo identificação → análise

→ controle aplicado aos sistemas componentes leva à redundância, à segregação, à garantia de qualidade e a restrições operacionais, que visam a evitar os acidentes e manter a integridade das barreiras e são universalmente aplicadas às

instalações nucleares modernas.

Neste aspecto, entretanto, o procedimento de segurança tende a centrar-se fortemente sobre o reator: por exemplo, uma ênfase relativamente menor é dada à área de proteção contra incêndios como sendo uma parte global do sistema. Isso foi demonstrado com a ocorrência do incêndio na Central Nuclear de Brown Ferry, nos Estados Unidos e com os esforços posteriores para desenvolver as necessárias normas regulamentadoras. Acredita-se, entretanto, que, devido à implementação e à aceitação geral da abordagem de Segurança de Funcionamento de Sistemas na engenharia nuclear desde o seu nascimento, existem poucas áreas que possam ainda ter sido subavaliadas. As restrições operacionais

**A sobrevivência do navio é a principal preocupação, o que resulta na segurança da tripulação, do público e do meio ambiente**

desempenham um importante papel na segurança dos reatores nucleares. Por meio do procedimento de segurança identificação → análise → controle, os limites operacionais de segurança são determinados pelas especificações técnicas da instalação nuclear e não deverão ser ultrapassados sob nenhuma hipótese durante a operação. Os procedimentos operacionais irão, então, requerer que o reator seja desligado no caso de uma variável de processo exceder um valor limite de segurança previsto pelas especificações técnicas.

Estas estabelecem ainda as condições mínimas para operação da instalação, como, por exemplo, disponibilidade de sistemas e condições ambientais externas. Caso não sejam atendidas, isto implicará o desligamento automático do reator ou ações corretivas compulsórias, tais como redução de potência ou limitação do tempo de operação. Essencialmente, considera-se que o desligamento do reator de uma instalação nuclear de potência estacionária resulta numa condição mais segura, ou seja, em um incidente ou acidente menos severo. A doutrina adotada enfatiza a estabilidade do reator como a principal preocupação de segurança.

## SEGURANÇA DOS NAVIOS NUCLEARES

Comparando os conceitos de Segurança Naval e Nuclear apresentados, podem-se identificar as seguintes similaridades:

- a) existe uma grande semelhança entre os objetivos, ou seja, prevenir danos ou perda de vidas humanas;
- b) a presença de uma abordagem analítica de segurança em ambos os setores; e
- c) a necessidade de desenvolver normas regulamentares em resposta a eventos inesperados e anteriormente não considerados nas análises.

Entretanto, são também identificadas algumas diferenças de abordagem:

a) a Segurança Naval enfatiza a segurança do navio e sua sobrevivência, resultando na proteção de tripulação, máquinas, carga etc.; e

b) a Segurança Nuclear, por outro lado, tem sua ênfase principal colocada sobre o reator e, adicionalmente, sobre as barreiras físicas que contêm os produtos radioativos em caso de ocorrência de acidentes.

Essas diferenças de abordagem devem ser reconciliadas em uma abordagem única para o sistema-navio-nuclear, consistente com a segurança da tripulação, do público e do meio ambiente, e com objetivo de maximizar a segurança desse sistema global.

Um navio é um veículo que manobra de maneira autônoma em um ambiente que apresenta riscos que devem ser controlados. Essa realidade torna-se ainda mais crítica no caso de submarinos, onde o ambiente possui três dimensões. Esses riscos podem ser classificados em três categorias:

- a) acidentes internos, que podem rapidamente assumir proporções graves devido ao ambiente;
- b) riscos externos específicos ao ambiente; e
- c) riscos operativos associados ao caráter militar, no caso de navios de guerra e submarinos.

Os navios poderão então situarem-se em três domínios de operação distintos:

- a) normal;
- b) anormal, no qual o navio somente operará involuntariamente (avaria, agressão externa, erro humano), sendo o objetivo retornar a uma condição segura; e
- c) acidental, para o qual não se preconiza uma operação propriamente do navio, sendo o objetivo, nesta situação, a execução de procedimentos de emergência para limitar as consequências do acidente.

Colocada de uma maneira concisa, a doutrina de segurança dos navios nucleares pode então ser definida como:

*O navio deve ser projetado, construído e operado de forma a ser dotado de características intrínsecas e de meios complementares suficientes para garantir que, na presença das três categorias de riscos:*

*a) a possibilidade da operação normal do navio evoluir para o domínio anormal seja extremamente reduzida;*

*b) a partir de uma condição de operação anormal, o navio possa retornar o mais rápido possível a uma condição segura; e*

*c) na ocorrência de acidentes, a máxima prioridade deve ser dada à proteção da vida humana; isto requer que as consequências dos acidentes para o próprio navio sejam minimizadas, de modo a proteger sua tripulação, o público e o meio ambiente de danos decorrentes da liberação incontrolada de materiais radioativos.*

Essa doutrina estabelece que o sistema-navio, e não somente o reator, deve ser projetado, construído e operado de forma a não ocorrerem liberações incontroladas de materiais radioativos. Isto implica que o navio é de importância primária e que a sobrevivência do navio é em si mesmo o fator mais importante para a segurança do reator e para contenção e confinamento de materiais radioativos.

Consequentemente, em determinadas situações específicas pode ser necessário continuar operando a instalação propulsora, mesmo que isto possa implicar algum dano ao reator, evitando-se, assim, um

perigo maior e, portanto, garantindo-se a segurança global do navio.

Essa necessidade deriva do fato incontestável de ser um navio governável, ainda que com um reator tendo sofrido alguns danos, ser intrinsecamente mais seguro do que um reator desligado sem danos em uma situação descontrolada, tais como um submarino próximo a sua cota máxima de operação sem propulsão (por ter sido o reator desligado para evitar danos a ele próprio), encalhado ou afundado.

Isso não quer dizer, sob nenhuma hipótese, que a segurança do reator deva deixar

**Pode ser necessário continuar operando a instalação propulsora, evitando um perigo maior e garantindo a segurança do navio. A sobrevivência do navio é em si mesmo o fator mais importante para a segurança do reator e para contenção e confinamento de materiais radioativos**

de ser considerada importante nem que não deva ser analisada detalhadamente, ou que não existam situações nas quais a segurança do reator preceda a segurança do navio. Obviamente, um navio em situações extremas, encalhado ou mesmo afundado, com um reator desligado em estado seguro é uma situação mais favorável em termos de exposições e liberação de produtos radioativos do que um navio nas mesmas condições com o

circuito primário rompido ou algo pior. Se o funcionamento do reator além das condições normais previstas em suas especificações técnicas não garantir o salvamento do navio e, portanto, também do próprio reator, então o reator deve ser desligado.

Para a maioria dos engenheiros navais e operadores de navios, essa doutrina é óbvia. Deve-se, entretanto, reconhecer que nem todos os profissionais que lidam com projeto, construção, operação e regulamentação percebem as diferenças dessa doutrina com

respeito à doutrina aplicável às instalações nucleares estacionárias.

## APLICAÇÃO DA DOCTRINA

Estabelecida uma doutrina que maximiza a segurança da tripulação, do público e do ambiente, reconhecendo a capacidade de sobrevivência do navio como a preocupação primária de segurança, torna-se necessário estabelecer uma metodologia geral e desenvolver ou adaptar métodos e modelos requeridos para a aplicação desta doutrina ao projeto, à construção e à operação dos navios nucleares.

Para atingir estes objetivos, torna-se necessária a abordagem RAMS, que enfatiza o desenvolvimento de um programa de análise preditiva de segurança, sintetizada pelo trinômio identificação → análise → controle. Tal programa deve necessariamente estabelecer e manter uma abordagem disciplinada para identificar metodicamente aqueles perigos que devem ser eliminados ou controlados, avaliar o projeto do sistema, prever ações corretivas ao longo de todas as fases do ciclo de vida do sistema-navio e prover o retorno da experiência operacional para assegurar que os objetivos de projeto foram atingidos. O desenvolvimento de um programa de segurança requer o conhecimento aprofundado, consubstanciado por modelos físicos e métodos matemáticos de análise de:

- a) sistema propriamente dito;
- b) ambiente onde o sistema opera;
- c) riscos potenciais ao ambiente induzidos pela operação do sistema;
- d) riscos potenciais ao sistema induzidos pelo ambiente onde ele opera;
- e) consequências para o ambiente das agressões induzidas pelo sistema; e
- f) consequências para o sistema das agressões induzidas pelo ambiente.

Esses conhecimentos não são, entretanto, por si só suficientes: é necessária, ainda, a capacidade de combiná-los analiticamente.

Considerando-se essa base de conhecimentos e os requisitos para o navio nuclear, o primeiro passo será identificar todos os eventos inicializadores de condições de funcionamento inseguras associados aos domínios de operação do sistema-navio e seus subsistemas (instalação nuclear, plataforma-navio, sistemas de combate, tripulação), combinando-os logicamente sob forma de cenários. O critério para inclusão dos cenários identificados no campo de análise deve ter a exaustividade como objetivo, sendo o possível e não somente o provável, a medida de avaliação.

Devem ser simultaneamente considerados três parâmetros para qualquer cenário de risco:

- a) Severidade: consequências associadas a um perigo particular, em termos de liberação de radioatividade e operação do navio;
- b) Probabilidade: a verossimilhança da ocorrência de um evento inicializador e das várias consequências dele resultantes; e
- c) Controle: a quantidade e os tipos de recursos ou ações disponíveis para eliminar ou mitigar as consequências resultantes do perigo.

O uso fundamentado do *engineering judgement*, baseado no conhecimento e nas informações disponíveis, para aferir a cada cenário uma classificação em termos de severidade, probabilidade e controle permitirá uma imagem clara do nível de segurança atingido, do nível de risco residual aceitável, dos meios disponíveis para controlar as consequências e do custo associado aos vários níveis de controle.

Existem quatro métodos para tratar cenários de risco identificados:

- a) eliminá-los pelo projeto;
- b) evitar sua ocorrência prevenindo-se dispositivos de segurança cuja atuação não dependa de ação dos operadores;
- c) evitar sua ocorrência empregando-se dispositivos de alarme que determinem ações específicas dos operadores; e

d) desenvolver e exigir rígido cumprimento de procedimentos operacionais que evitem sua ocorrência ou mitiguem suas consequências.

Evidentemente, a linha de ação mais desejável seria eliminar todos os cenários de risco por meio do projeto de engenharia. Entretanto, essa tarefa é inviável, tornando-se obrigatório reverter-se para um dos três outros métodos para evitar ou reduzir as consequências de sua ocorrência.

Tendo projetado um sistema considerando a segurança, torna-se então necessário analisá-lo para verificar se ele realmente atende aos requisitos operacionais, para reduzir a probabilidade de ocorrência de eventos indesejados e reduzir as consequências dos cenários de risco, caso eles venham a se concretizar, a um nível socialmente aceitável. Essa análise deve ser feita de modo contínuo ao longo da vida do sistema e deve ser periodicamente atualizada com base em dados históricos de segurança gerados pela operação do próprio sistema ou de sistemas similares.

Considere-se um exemplo simples: um submarino nuclear encontra-se navegando próximo à superfície (cota periscópica) e detecta uma ameaça operativa que o obriga a mergulhar rapidamente (grande ângulo de ponta para baixo) para sua cota máxima de operação. Durante o mergulho, ocorre um evento que conduz o reator a operar acima de um limite máximo definido por uma determinada especificação técnica que potencialmente causaria dano ao núcleo ou a algum sistema importante para a segurança nuclear caso continue operando.

A doutrina de segurança para reatores em terra iria requerer que o reator fosse desligado imediatamente, possivelmente de modo automático, até que reparos fossem feitos. Entretanto, o desligamento do reator do submarino na situação hipotética acima descrita levaria o navio, devido a sua própria inércia, a eventualmente ultrapassar sua cota máxima de operação, em seguida atingir sua

cota de colapso (falha mecânica da estrutura resistente e perda da estanqueidade) e naufragar, colocando, assim, não só a tripulação em grave perigo como também se perdendo totalmente o controle sobre o reator.

A doutrina preconizada indica que o reator deve continuar a ser operado ao nível de potência necessário para uma manobra de recuperação, sendo desligado somente se:

a) o evento de falha conduzir à completa destruição do reator, a propulsão sendo perdida de toda forma; e

b) a situação for tal que o navio seria perdido mesmo que a potência do reator fosse mantida.

Ressalte-se que essa doutrina não aprova ou recomenda a operação do reator além dos limites das especificações técnicas quando a segurança e a sobrevivência do navio e de sua tripulação não se encontram seriamente ameaçadas.

Tendo identificado um evento indesejado (especificação técnica X foi excedida) e avaliado um determinado nível de risco para as diferentes possíveis consequências (naufrágio ou operação, além das especificações técnicas por um período T de tempo com um nível conhecido e aceitável de dano ao reator), às quais estão associadas probabilidades de ocorrência dependente do projeto do sistema adotado, uma decisão deve ser tomada em termos de qual das quatro ações deve ser considerada para mitigar o problema:

– A probabilidade de ocorrência é alta o suficiente para requerer o reprojeto do sistema com o objetivo de eliminar a possibilidade do evento?

– As consequências são tão rápidas e/ou desastrosas de forma a requerer o desligamento automático (SCRAM) do reator e partida dos sistemas de segurança?

– O evento deve ser alarmado, com a possibilidade da operação além das especificações técnicas ser continuada, conforme decisão do operador, em situações de emergência?

– Devem ser desenvolvidos procedimentos especiais que permitam a operação nesta condição de falha por um determinado período de tempo, mesmo quando não existe situação de emergência?

As respostas a essas perguntas formam a base da doutrina preconizada, que consiste em prover o máximo de proteção para o conjunto navio-reator como um sistema integrado.

## MÉTODOS DE CONTROLE

Conforme citado anteriormente, existem quatro métodos para tratar os perigos identificados: eliminação, dispositivos automáticos de segurança, dispositivos de alarme e procedimentos especiais. Existem, entretanto, várias opções de projeto específicas, incluídas dentro dessas quatro categorias que atenderiam aos requisitos. Algumas dessas opções serão discutidas.

A opção de projeto de eliminar ou controlar um perigo parece ser, tecnologicamente falando, o melhor método, apesar de não ser necessariamente o mais econômico. Esse método, quando usado em conjunto com os outros três, é extremamente útil.

Em particular, o aumento das margens de segurança entre o projeto e os limites de operação permite maior flexibilidade para a continuidade da operação, tempo para efetuar diagnósticos precisos de modo ordenado e racional e implementação de procedimentos especiais, em lugar do que seria um desligamento automático mandatório ou uma drástica redução de potência num reator em terra. Isso pode ser muito útil no projeto do combustível e na definição dos parâmetros operacionais de pressão, temperatura e vazão dos sistemas.

No projeto de sistemas de segurança em que são implementados diversos níveis de redundância, a autoridade de Segurança pode exigir redução de potência ou des-

ligamento da instalação em caso de perda de um ou mais trens redundantes. Eventualmente, a operação pode ser permitida por um determinado intervalo de tempo de modo a possibilitar a correção do problema. Se os reparos não são efetivados neste período, exige-se o desligamento a quente até que a instalação possa voltar a operar dentro das especificações técnicas.

No caso da propulsão naval, a duração desse intervalo de tempo dentro do qual a instalação nuclear pode operar com um trem redundante fora de funcionamento deve ser muito maior do que aquele permitido a um reator em terra, devido à eventual indisponibilidade de sobressalentes e à necessidade, em termos de segurança, de completar a missão no mar. Nesses casos, as lógicas de funcionamento dos sistemas de segurança do tipo 2 em 3 devem poder ser reajustadas para 1 em 2, colocando-se pessoal adicional para monitorar continuamente o parâmetro afetado ou para executar controle manual local sobre o sistema. A segurança, nesse caso, é mais bem garantida permanecendo a instalação em operação.

Um evento plausível que pode servir como exemplo em que esse tipo de controle pode ser considerado é a perda de um mecanismo de acionamento de barras de controle. Essa perda da função de acionamento pode resultar de uma falha local, afetando um elemento individual, ou de uma falha mais generalizada, afetando um banco ou grupo de elementos. Esse evento indesejado possivelmente não afetará a função de SCRAM, não ocasionando nenhum efeito imediato, assumindo-se a operação do reator em regime permanente.

Potencialmente, em longo prazo, poderá ocorrer alguma distorção na forma do fluxo neutrônico ou instabilidades de potência locais. Se a perda ocorrer num grupo de elementos de segurança, ela pode afetar a margem de reatividade para desligamento,

mas sem nenhum efeito catastrófico resultando do evento.

Um reator de terra seria desligado compulsoriamente num caso como este. No caso de um navio, tal ação seria indesejável, mesmo em situações normais, pois no mínimo conduziria à perda da manobrabilidade do navio. Como não existiriam efeitos imediatos sobre a segurança, seria recomendável que o navio continuasse sua singradura até um porto onde fosse possível efetuarem-se os reparos necessários ou, no mínimo, até um fundeadouro onde o reator pudesse ser desligado sem implicar riscos para o navio enquanto os reparos pudessem ser efetuados.

A definição dos sinais de segurança que produzem o desligamento automático do reator, no caso da propulsão naval, conduz a uma análise de vantagens, desvantagens e condições nas quais o contorno (*by-pass*) ou invalidação de alguns ou de todos os sinais de SCRAM podem ser realizados de forma a garantir a continuidade da operação em situações de emergência.

Por meio da aplicação da doutrina apresentada, a análise do projeto deve limitar a um mínimo o número de eventos que podem produzir um sinal de SCRAM. Para esses parâmetros que absolutamente requerem o desligamento automático quando excedidos, o sistema de proteção deve ter interfaces com alarmes e com um sistema automático de limitação que reduza a potência quando o reator se aproxima de suas margens mínimas de operação. A redução automática de potência poderá então ser invalidada com uma ação positiva

do operador que mantenha o reator dentro dos limites de segurança.

No caso de o reator não poder ser mantido dentro destes limites, a função de SCRAM permanece ainda disponível para proteger a tripulação, o público e o meio ambiente. Nesse contexto, pode ser desejável projetar o ponto de operação e o limite de segurança onde o desligamento automático ocorrerá com uma margem mais ampla e ajustar o ponto de SCRAM próximo ao limite máximo do sistema, de modo que a perda de potência ocorra somente como último recurso para evitar danos severos ao reator. O ponto

exato onde isso ocorre somente pode ser verificado para cada projeto específico, devendo ser amplamente justificado e documentado pela análise de segurança.

A correta aplicação da doutrina discutida evidencia que o SCRAM deve efetivamente representar o limite máximo de operação, não devendo, em nenhuma condição, ser invalidado ou contornado.

Os procedimentos operacionais que permitem a continuidade do funcionamento do reator em caso de falha mecânica, de monitoração, de controle ou de segurança de sistemas são de extrema importância. É necessário que, a bordo de um navio, a decisão final de operar o reator além de suas especificações técnicas seja exclusiva do comandante do navio. Deste modo, o comandante deve ser capaz de tomar decisões fundamentadas em seus próprios conhecimentos de engenharia nuclear e na avaliação da assessoria técnica fornecida pelo chefe de máquinas, e em seus conhecimentos navais

**O comandante deve ser capaz de tomar decisões fundamentadas em seus próprios conhecimentos de engenharia nuclear, na avaliação da assessoria técnica, em seus conhecimentos navais e sua experiência de mar**

e sua experiência de mar. Essas decisões baseiam-se no pleno entendimento das consequências de cada linha de ação possível, ou seja, de continuar a geração de potência nuclear em face dos danos que poderá sofrer o reator, ou desligar o reator em face dos riscos de perda do navio e de sua tripulação (e, em última instância, do próprio reator).

## CONCLUSÕES

Com base na experiência operacional de submarinos, navios de superfície e navios mercantes nucleares até o presente, pode-se afirmar que é muito pouco provável que o

comandante venha a realmente enfrentar uma situação em que tenha de escolher entre o reator e o navio. Entretanto, essa possibilidade existe.

A doutrina apresentada, caso aplicada a todas as fases da vida útil de um navio nuclear, pode reduzir a probabilidade de que tal decisão venha um dia a ter que ser tomada. Ao mesmo tempo, um profundo entendimento desta doutrina e das consequências de sua aplicação de modo a retirar o navio de uma situação de perigo real, ainda que aceitando algum dano ao reator, é de fundamental importância para a segurança dos navios nucleares entendidos como um sistema.

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<FORÇAS ARMADAS>; Poder Marítimo; Poder Naval Brasileiro; Energia Nuclear; Submarino Nuclear; Sistema Operacional; Meio Ambiente;