

ANÁLISE DE RISCOS NA MANOBRA E ARMAZENAMENTO DE TORPEDOS PESADOS SOBRE AS ÁREAS HABITADAS E RODOVIAS PRÓXIMAS

Marcia Cristina Kämpffe Letta, BSc.

marcialetta@gmail.com

Marinha do Brasil

Moyses Szajnbok, PhD.

lumaamin@usp.br

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP

Joaquim Rocha dos Santos, M.Eng.

jrsantos@usp.br

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP

RESUMO

Submarinos são plataformas móveis com capacidade dissuasória, que podem cumprir várias missões no mar, entre elas o ataque a navios de superfície e a outros submarinos. Os torpedos pesados são uma importante arma utilizada no cumprimento dessa missão. Tais armas têm elevado nível de sofisticação tecnológica e grande poder de destruição, devido às suas cargas explosivas de alto poder. Por sua capacidade de destruição, essa carga explosiva precisa ser armazenada e transportada com os devidos cuidados, sendo seu armazenamento e transporte atividades que envolvem risco. Quando aglomerados urbanos ou estradas ficam próximas às instalações militares que armazenam esse tipo de arma, elas podem se situar dentro do raio de perigo caso ocorra uma detonação involuntária. Assim, é importante estudar o risco envolvido durante as manobras e armazenagem dos torpedos pesados, bem como as medidas necessárias para evitar ou reduzir os efeitos de eventual acidente. No estudo é dada ênfase a análise das situações onde as conseqüências podem ser catastróficas. O objetivo do trabalho é identificar e avaliar os riscos, qualificar suas conseqüências, caracterizar suas causas, e sugerir práticas para reduzir ou eliminar a ocorrência de acidentes durante as manobras e o armazenamento de torpedos pesados em uma instalação militar.

ABSTRACT

Submarines are mobile platforms capable of deterrence, which can meet various missions at sea, including the attack on surface ships and other submarines. The heavy torpedoes are an important weapon used for accomplishing this task. These weapons have high level of technological sophistication and great destructive power, due to its high power explosive charges.

For its destructiveness, the explosive charge must be stored and transported with care, and its storage and transportation are activities that involve risk. When urban roads or are near military installations that store this type of weapon, they can be within the radius of danger in the event of an accidental detonation. Thus, it is important to study the risk involved during the maneuvers and storage of heavy torpedoes, and measures to prevent or reduce the effects of any accident. In the study the emphasis is on the analysis of situations where the consequences can be catastrophic. The study aims to identify and assess risks, consequences qualify, characterize their causes, and suggest practices to reduce or eliminate the occurrence of accidents during maneuvers and storage of heavy torpedoes at a military facility.

1 INTRODUÇÃO

A fabricação no Brasil de submarinos convencionais e a construção do primeiro submarino com propulsão nuclear constituem atividades de grande importância no Programa de Re-aparelhamento da Marinha.

Operar submarinos é naturalmente associado ao uso de torpedos. Os torpedos são armas letais, com cargas de alto poder explosivo, que podem causar danos severos nas embarcações atingidas.

Devido à presença de quartéis e depósitos de munição e armamentos em área urbana, acidentes graves em instalações militares e nas proximidades, com mortos e feridos, ocorreram no Rio de Janeiro.

Deste modo, é útil estudar o risco envolvido durante as manobras e o armazenamento de torpedos pesados e as medidas necessárias para evitá-las ou reduzir seus efeitos.

2 METODOLOGIA

Definição de Risco

A Nota Técnica de Prevenção NTP 330 redigida por Belloví (2004), propulsora do método simplificado de avaliação de risco, conceitua risco como “uma combinação da probabilidade e da consequência da ocorrência de um determinado acontecimento perigoso”. O risco é definido como o produto da probabilidade de uma ocorrência pela sua severidade, entendida como a consequência provocada pela ocorrência.

A Equação 1 abaixo evidencia a relação entre perigo e risco de um determinado evento perigoso:

$$R = P \times C \qquad \text{Equação 1}$$

Onde R é o risco, P a probabilidade da ocorrência, e C são as consequências.

Análise Preliminar de Riscos

A Análise Preliminar de Risco (APR), também denominada *Preliminary Hazard Analysis (PHA)* é uma técnica de avaliação qualitativa desenvolvida e aplicada inicialmente na área militar para a revisão de novos sistemas de mísseis.

A APR é realizada durante a fase inicial de desenvolvimento de um projeto ou sistema, com a finalidade de determinar os riscos que poderão estar presentes na fase operacional. Por meio desta técnica, as mudanças necessárias decorrentes dos riscos identificados podem ser realizadas na fase de projeto do processo, de maneira mais fácil, resultando em uma economia de custos do empreendimento.

Na identificação dos eventos de riscos foi utilizada a técnica de Análise Preliminar de Riscos (APR) utilizando os critérios definidos no Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01.

De acordo com a metodologia da APR, os cenários de acidentes devem ser classificados em categorias de frequência, as quais fornecem uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência de cada cenário identificado. As categorias de frequências de ocorrências nelas estabelecidas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Categorias de frequências dos cenários.

Categoria	Descrição	Definição
A	EXTREMAMENTE REMOTA	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer
B	REMOTA	Não esperado ocorrer durante a vida útil do processo/ instalação. Sem registro de ocorrência prévia na instalação.
C	OCASIONAL	A ocorrência do cenário depende de uma única falha (humana ou equipamento)
D	PROVÁVEL	Esperado ocorrer até uma (1) vez durante a vida útil do processo/ instalação
E	FREQUÊNTE	Esperado ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/ instalação

Fonte: Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01

Ainda de acordo com a metodologia da APR, os cenários de acidentes devem ser classificados em categorias de severidade, as quais fornecem uma indicação qualitativa do grau de severidade das conseqüências de cada cenário identificado. As categorias de severidades dos perigos identificados estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Categoria de severidade dos perigos identificados.

Categoria	Descrição	Definição
I	DESPREZÍVEL	Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e ao meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ ou de baixo custo de reparo); e O máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
II	MARGINAL	Danos leves aos equipamentos, à propriedade e ao meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ ou de baixo custo de reparo); e Não ocorrem lesões/ mortes de empregados e em pessoas da comunidade.
III	CRÍTICA	Danos severos aos equipamentos, a propriedade e ao meio ambiente; Lesões de gravidade moderada em empregados e em pessoas da comunidade (probabilidade remota de morte); e Exige ações corretivas imediatas para evitar que se transforme seu desdobramento em catástrofe.
IV	CATASTRÓFICA	Danos irreparáveis aos equipamentos à propriedade e ao meio ambiente; e Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (empregados e em pessoas da comunidade).

Fonte: Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01

As categorias de frequência e severidade podem ser combinadas para se gerar as categorias de risco. Para a determinação do grau de risco, foi utilizada como referência a matriz de classificação de riscos, apresentada na tabela 3, onde são combinadas as frequências e as severidades.

Tabela 3 - Matriz de classificação de riscos

	A	B	C	D	E
I	1	1	1	2	3
II	1	1	2	3	4
III	1	2	3	4	5
IV	2	3	4	5	5

Classificação dos riscos

1	DESPREZÍVEL
2	MENOR OU BAIXO
3	MODERADO
4	SÉRIO
5	CRÍTICO

Fonte: Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01

Segundo o Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01, Categorias de Risco é a hierarquia de risco estabelecida com base na potencialidade dos danos causados por acidentes, visando a priorização das ações de controle e fiscalização. A FEPAM Nº 01/01 estabelece quatro categorias de risco, descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Categoria dos Riscos

Categoria do Risco	Descrição
1	Corresponde àquelas instalações/atividades que podem ser consideradas como de risco desprezível por terem quantidades muito pequenas (ou nulas) de substâncias perigosas em processo ou armazenagem.
2	Corresponde àquelas instalações/atividades que podem causar danos significativos em distâncias de até 100 m do local.
3	Corresponde àquelas instalações/atividades que podem causar danos significativos em distâncias entre 100 m e 500 m do local.
4	Corresponde àquelas instalações/atividades que podem causar danos significativos em distâncias superiores a 500 m do local.

Fonte: Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01

O Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM estabelece que, caso algum dos cenários de acidente seja classificado na categoria CATASTRÓFICA (Categoria 4), a instalação será considerada de risco MODERADO (Categoria 3), sendo necessária a realização

de uma Análise de Vulnerabilidade para os cenários de acidente considerados representativos e razoavelmente prováveis de ocorrer.

Caso as Curvas de Vulnerabilidade de qualquer um desses efeitos ultrapassem a distâncias de quinhentos (500) metros, a classificação de risco da unidade mudará da classe 3 para classe 4, ficando sujeito à exigência de uma análise quantitativa, devendo ser realizado um estudo dos riscos sociais e individuais.

Análise de vulnerabilidade

Na avaliação das conseqüências de uma possível explosão em uma instalação que utiliza, processa e armazena material explosivo é frequentemente utilizado o critério de distância de segurança (distância onde a sobrepressão provocada por uma possível explosão do material alcança 1 psi).

Segundo a publicação NAVSEA OP5 - *Ammunition and Explosives Safety Ashore*, a estimativa deste parâmetro pode ser feita, utilizando-se a seguinte fórmula empírica:

$$D = K W^{1/3} \quad \text{Equação 2}$$

Onde **D** é a distância de separação [ft], **K** é um fator variável dependente do risco assumido ou permitido, em [ft/ lb^{1/3}], e **W** - peso líquido do explosivo [lb], em equivalente de TNT.

Para a determinação das distâncias de segurança utiliza-se a Equação 2 e os respectivos valores de **K**. Os critérios que relacionam os fatores **K**, com os valores de sobrepressão estão descritos na Tabela 5 apresentada a seguir.

Tabela 5 - Sobrepressão em função dos valores de **K**.

K (ft / lb^{1/3})	Sobrepressão (psi)	Usado para determinar distância entre:
6	27	Paióis protegidos por barricadas
9	12	Paio e as instalações que manipulam explosivos com barricadas
11	8	Paióis
18	3,5	Instalações que manipulam explosivos
24 - 30	2,3 - 1,7	Rodovias públicas
40 - 50	1,2 - 0,9	Prédios habitados

Fonte: NAVSEA OP-5

À medida que o valor de **K** cresce, aumenta também a distância de separação entre a área exposta e a área de possível acidente, indicando uma aceitação menor do perigo.

A Tabela 6 mostra a probabilidade de riscos de morte e vida esperados nas pessoas em função dos danos observados devido à sobrepressão.

Tabela 6 - Probabilidade de Riscos de morte e vida devidos a sobrepressão.

Sobrepressão (psi)	Efeitos observados	Resultados (%)	
		Mortos	Feridos
0,3	Danos em 10% de vidraças.	0	0
1	Avaria em casa, quebra de 100% de vidraças.	0	0
2,8	Destruição de paredes de concreto, morte de 1% das pessoas expostas.	1	10
3,5	Colapso de estruturas de aço, 90% de perfuração do tímpano e morte de 5% das pessoas expostas.	5	90
5	Destruição de edificações e morte de 10% das pessoas expostas.	10	90
15	Morte de 100% das pessoas expostas.	100	0

Fonte: SENNE JR., 2003

3 APLICAÇÃO

Identificação dos eventos de risco

A identificação dos eventos de riscos foi realizada com a ajuda de especialistas, civis e militares, com vasta experiência e conhecimento na área de torpedos pesados.

A técnica do *brainstorming* para a identificação dos eventos de risco foi adotada pela facilidade de uso e por ser uma das técnicas indicadas pelo *Project Management Institute* (2004).

Durante o *brainstorm*, foi realizado o levantamento das hipóteses acidentais e identificados os principais perigos associados à manobra e ao armazenamento dos torpedos pesados, apresentados nas tabelas 7 e 8 a seguir:

Tabela 7 - Planilha da APR durante a manobra com torpedos pesados

Evento	Motivo	Consequência
Descarga eletrostática no explosivo iniciador	Falha no sistema de aterramento individual (EPI) ou das bancadas	Danos nas imediações e lesões de gravidade moderada.
Descarga eletrostática no torpedo carregado	Falha no sistema de aterramento de explosivos	Danos leves aos equipamentos, sem lesões à tripulação
Queda do explosivo iniciador durante seu transporte a pé	Falha humana	Danos nas imediações e lesões de gravidade moderada
Impacto do torpedo carregado durante seu transporte em ponte rolante, biga, guindaste e batelão	Falha no mecanismo de micro-velocidade da ponte rolante; excesso de velocidade na biga; falha da lança do guindaste ou falta de estabilidade do container no batelão	Danos irreparáveis com mortes ou lesões graves
Centelhamento dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado	Falha no sistema de proteção contra descarga atmosférica da oficina	Danos irreparáveis com mortes ou lesões graves
Alta temperatura dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado	Falha no sistema de resfriamento da oficina	Danos aos equipamentos, porém sem lesões à tripulação
Alta temperatura durante movimentação ao ar livre	Incidência direta de raios solares	Danos aos equipamentos, sem lesões à tripulação.
Vazamento de gases tóxicos durante o transporte do torpedo	Erro durante o procedimento de abertura do plug de ventilação	Mortes ou envenenamento

Tabela 8 - Planilha da APR durante o armazenamento com torpedos pesados

Evento	Motivo	Consequência
Acúmulo de eletricidade estática no paiol	Baixa umidade relativa do ar ou falha no sistema de aterramento de explosivos	Danos leves aos equipamentos, sem lesões à tripulação
Centelhamento no interior do paiol	Falha no sistema de descarga atmosférica do paiol	Danos irreparáveis com mortes ou lesões graves
Alta temperatura no interior do paiol	Falha no sistema de resfriamento do paiol	Danos aos equipamentos, porém sem lesões à tripulação
Ativação acidental do motor do torpedo	Vazamento de eletrólito nas células das baterias	Danos nas imediações e lesões de gravidade moderada
Vazamento de combustível do tanque do torpedo	Falta de estanqueidade do torpedo	Danos aos equipamentos e lesões de gravidade moderada
Iniciação por simpatia em paiol adjacente	Explosão em paiol adjacente	Danos irreparáveis com mortes ou lesões graves

Resultado da análise preliminar de risco

A Tabela 9 apresenta a lista de cenários de risco classificados com níveis acima de 3, risco MODERADO:

Tabela 9 - Cenários classificados com Nível de Risco 3.

Número do cenário	Atividade	Cenário de risco
1	Manobra	Impacto do torpedo carregado durante seu transporte
2	Manobra	Vazamento de gases tóxicos durante o transporte do torpedo
3	Armazenamento	Vazamento de combustível do tanque do torpedo

A seguir, a Tabela 10 contém a lista dos cenários de risco identificados como catastróficos:

Tabela 10 - Cenários de risco identificados como catastróficos.

Cenário	Atividade	Cenário de risco
1	Manobra	Impacto do torpedo carregado durante seu transporte
2	Manobra	Centelhamento dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado
3	Manobra	Vazamento de gases tóxicos durante o transporte do torpedo
4	Armazenamento	Centelhamento no interior do paiol
5	Armazenamento	Iniciação por simpatia em paiol adjacente

A inclusão de todos os cenários de risco identificados como catastróficos foi feita independentemente do nível de risco apresentado, pois se o impacto for alto, mesmo que a probabilidade de ocorrência seja baixa, a atividade deve ser objeto de uma adequada atenção.

Para a análise das conseqüências referentes à unidade em estudo, foram consideradas as seguintes condições de projeto:

- a) Os cenários utilizam quantidades de explosivos limitadas, sendo feita a movimentação e o armazenamento de um único torpedo por vez;
- b) Para o cálculo das distâncias de segurança, foram consideradas características básicas de um torpedo pesado, sem referência a nenhuma arma específica, que se admite possuir uma carga explosiva de 450 kg Eq.TNT;
- c) A distância de segurança da Organização Militar até prédios habitados e rodovias públicas foi determinada usando-se o valor de K na faixa $40 < K < 50$. Esta faixa de segurança é recomendada pelo Manual Técnico NAVSEA OP-5; K corresponde a um pico de sobrepressão entre 1,2 e 0,9 psi; e oferece alto grau de proteção às áreas habitadas e rodovias públicas; e

d) O Cais de explosivos foi adotado como referência para o traçado das curvas de vulnerabilidade por ser o ponto da ilha mais próximo dos prédios habitados e rodovias públicas.

O resultado das distâncias de segurança associadas aos diversos valores de sobrepressão é apresentado na Tabela 11; e a Figura 1 apresenta as correspondentes curvas de vulnerabilidade traçadas a partir do Cais de explosivos:

Tabela 11 – Distância de segurança para valores de sobrepressão e K associados.

Sobrepressão (psi)	K	Distância de segurança (m)
0,9	50	153
1,2	40	122
1,7	30	92
2,3	24	73



Figura 1 - Curvas de vulnerabilidade a partir do Cais de explosivos.
Fonte: Google Earth

Referente à Figura 1 pode-se observar o seguinte:

- A distância de segurança a partir do Cais de explosivos não ultrapassa o limite de quinhentos (500) metros, que é o valor estipulado pela Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01.
- As curvas de vulnerabilidade da ilha não se sobrepõem nem à rodovia pública nem à área residencial mais próxima.

3 RESULTADOS

Os resultados são apresentados na forma de curvas de vulnerabilidade nas distâncias de 75m e 150m, considerando o cais de explosivos como epicentro da explosão. Em caso de acidente, ocorreria uma sobrepressão de 0,9 psi a uma distância de 150m do epicentro da explosão.

Analisando-se os resultados obtidos na Tabela 11 e comparando-os com os valores da Tabela 6, que estabelece a probabilidade de riscos de morte e vida devido à sobrepressão, espera-se que a 1.000m do cais de explosivos não ocorram mortes ou ferimentos; a probabilidade de quebra de vidros será pequena.

Por essa razão, conforme observado na figura 1, como as curvas de vulnerabilidade não ultrapassaram a distâncias de quinhentos (500) metros, é dispensável no caso a análise quantitativa de risco e o estudo dos riscos sociais e individuais.

4 CONCLUSÕES

Este estudo permite a avaliação dos impactos que um acidente envolvendo um torpedo pesado causaria sobre a rodovia pública e a área residencial mais próxima da Organização Militar.

O cálculo das curvas de vulnerabilidade, considerando o cais de explosivos como epicentro de explosão, permite concluir que não ocorreriam impactos à rodovia

pública e às áreas habitáveis próximas, que estão localizadas a uma distância entre 1.000 e 1.300 metros da Organização Militar.

Os resultados obtidos indicam que a escolha da ilha para a instalação da Organização Militar foi adequada no sentido de garantir a segurança da população civil próxima.

Com a aplicação dos critérios estabelecidos pelo Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01 pode-se concluir que a Organização em questão é considerada uma instalação de risco moderado.

Cabe ressaltar a necessidade de se realizar constantes adestramentos em ambientes controlados, com o correto emprego de procedimentos, táticas, doutrina e trabalho de equipe na operação e manuseio de torpedos pesados.

Por fim, constatou-se a relevância da metodologia do estudo, que permite estimar o impacto esperado do acidente com um torpedo pesado sobre as áreas habitáveis e rodovias próximas.

5 BIBLIOGRAFIA

BELLOVI, M. B.; MALAGÓN, F. P. **NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente**. Ministério de trabajo y Integración de España. 2004.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE ROESSLER. Departamento de Controle Ambiental. **Manual de Análise de Riscos Industriais** - FEPAM Nº 01/01. Rio Grande do Sul, 2001.

NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND. **NAVSEA OP-5 Ammunition and Explosives Ashore**. Direction of Commander, USA - January 2001 Change 5 June 2006 Seventh Revision - Distribution authorized to U.S. Government agencies only.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Standards Committee. **Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos (PMBOK)**. 3.ed. Newtown Square: PMI, 2004.

SENNE JR., M. **Abordagem sistemática para avaliação de riscos de acidentes em instalações de processamento químico e nuclear.** 2003. 214 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade de Campinas . UNICAMP, Campinas, 2003