

MARCIA CRISTINA KÄMPFFE LETTA

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

**São Paulo
2011**

MARCIA CRISTINA KÄMPFFE LETTA

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

**Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do grau de Especialista em
Gestão e Tecnologia em Construção Naval**

**Área de concentração:
Engenharia Naval**

**Orientador:
Prof. Dr. Moyses Szajnbok**

**São Paulo
2011**

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600014363

3164160

Letta, Márcia Cristina Kämpffe

Análise de risco na manobra e armazenamento de torpedos pesados sobre as áreas habitadas e rodovias próximas / M.C.K. Letta. -- São Paulo, 2011.

66 p.

Monografia (Especialização em Gestão de Tecnologia em Construção Naval) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/Marinha Brasileira.

1. Explosivos de alta potência 2. Torpedo 3. Análise de risco I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II. Marinha Brasileira III. t.

Ao meu marido Carmine e aos meus filhos
Matteo e Mirella, que pelo amor sempre
foram motivo de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus da Vida e da Esperança, força motriz e sustento na caminhada.

Ao amor e à dedicação dos meus pais Milton e Zulmira e à amizade e cumplicidade dos meus irmãos Milton e Marcelo, pelo prazer de fazer parte dessa família, da qual tenho muito orgulho.

Ao meu marido Carmine, companheiro de tantos anos, e meus queridos filhos Matteo e Mirella pelo amor, apoio, carinho, dedicação e paciência demonstradas durante o transcorrer deste trabalho.

Ao Orientador, Prof. Dr. Moyses Szajnbock, pela dedicação, incentivo, atenção e às suas profícuas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Agradeço também ao Prof. M. Eng. Joaquim Rocha dos Santos que, na reta final da elaboração do trabalho, me orientou de maneira tranquila e com extrema competência.

À Engenheira Rose Lucie Lopes de Lima, da Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha, pelas orientações e pelas intermináveis discussões sobre conceitos na área de riscos e armamentos. Muito obrigada pelo carinho e atenção.

Não poderia deixar de fora os integrantes da minha turma do curso de Gestão e Tecnologia em Construção Naval, com os quais tive o prazer de conviver e compartilhar bons momentos ao longo desta jornada.

Em especial, gostaria de deixar meus agradecimentos ao Engenheiro Alberto Dumont Pinto Ferreira da Diretoria de Engenharia Naval. Que Deus lhe abençoe!

“Si vis pacem, parabellum”

(Cícero)

“Se quieres a paz, prepara-te para guerra”

RESUMO

A movimentação e o armazenamento de torpedos pesados fazem parte da rotina dos grandes centros de armamentos da Marinha do Brasil. Devido à presença de quartéis e depósitos de munição em área urbana, acidentes graves em instalações militares e nas proximidades, com mortos e feridos, são relativamente freqüentes no Rio de Janeiro.

Além de afetar a percepção de segurança da população, os acidentes acarretam um enorme impacto financeiro à instituição militar. Deste modo, torna-se importante um planejamento adequado para gerir os riscos que ameaçam a corporação e a população civil.

Risco é todo evento futuro e incerto que possa comprometer a realização de um ou mais objetivos do projeto. A Gestão de Riscos consiste na identificação, análise dos riscos, bem como o planejamento das respostas e o monitoramento e controle das ações de resposta a esses riscos.

Este trabalho tem como objetivo identificar os riscos de ocorrência de acidentes durante as manobras e o armazenamento de torpedos pesados em uma instalação militar e avaliar os possíveis impactos sobre as áreas habitadas e rodovias próximas.

O resultado deste estudo permite ao responsável pelo armamento classificar o risco da Organização Militar, tomar decisões e adotar medidas preventivas de segurança para a mitigação da probabilidade de ocorrência de acidentes.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Riscos. Explosivo. Torpedo.

ABSTRACT

The maneuver and storage of heavy torpedoes are part of the routine of the great centers of arms of the Brazilian Navy. Due to the presence of barracks and ammunition dumps in urban areas, serious accidents at military installations and nearby, with deaths and injuries are relatively frequent in Rio de Janeiro.

Besides affecting the perceived security of the population, accidents entail a huge financial impact to the military. Thus, it becomes important a proper planning to manage the risks to the corporation and the civilian population.

Risk is all uncertain future event that could harm one or more objectives of the Project. Applied Risk Management consists in the identification, analysis of risks, planning responses, monitoring and control of actions to respond to these risks. This study aims to identify the risks of accidents during maneuvers and storage of heavy torpedoes at a military facility and assess the possible impacts on inhabited areas and nearby highways

The result of this study allows the weapons responsible for classifying the risk of the military organization, make decisions and take preventive security measures to mitigate the likelihood of accidents.

KEYWORDS: Risk Analysis. Explosive. Torpedo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um explosivo parcialmente detonado.....	20
Figura 2 - Desenvolvimento da onda de choque gerada por uma detonação.....	23
Figura 3 - Pressão para tempos sucessivos de uma explosão em função da distância.....	24
Figura 4 - Ilustração das fases de uma explosão e seus efeitos sobre estruturas.....	25
Figura 5 - Reflexões da Onda de Choque - Formação da ONDA MACH.....	26
Figura 6 - Estrutura submetida a carregamento por difração.....	27
Figura 7 - Estrutura submetida a carregamento por arrasto.....	28
Figura 8 - Conexão do cabo de guiagem entre o submarino lançador e o torpedo...34	
Figura 9 - Seções do torpedo pesado MK 48 ADCAP 6AT.....	35
Figura 10 - Colisão de um torpedo pesado sobre o contratorpedeiro australiano <i>Torrens</i>	36
Figura 11 - Distância normalizada d [$m/kg^{1/4}$] para detonação de cargas de TNT.....	44
Figura 12 - Curvas de vulnerabilidade a partir do Cais de explosivos.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorias de frequências dos cenários.....	38
Tabela 2 - Categoria de severidade dos perigos identificados.....	38
Tabela 3.1 - Níveis de risco.....	39
Tabela 3.2 - Matriz de classificação de riscos.....	39
Tabela 3.3 - Categoria dos Riscos.....	40
Tabela 4 - Efeito da Onda de Choque sobre as Estruturas.....	41
Tabela 5 - Efeito da Onda de Choque sobre as Pessoas.....	42
Tabela 6 - Sobrepressão em função dos valores de K	46
Tabela 7 - Efeitos devidos a sobrepressão em estruturas, nas pessoas e nos veículos.....	47
Tabela 8 - Valores de referência para a análise das consequências de uma explosão.....	48
Tabela 9 - Probabilidade de Riscos de morte e vida devidos a sobrepressão.....	50
Tabela 10 - Planilha da APR durante a manobra com torpedos pesados.....	53
Tabela 11 - Planilha da APR durante o armazenamento de torpedos pesados.....	55
Tabela 12 - Cenários de risco identificados como catastróficos.....	57
Tabela 13 – Distância de segurança para valores de sobrepressão.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAF	Análise de Árvore de Falhas
AE	Alto Explosivo
AMFE	Análise de Modos de Falhas e Efeitos
APR	Análise Preliminar de Riscos
BE	Baixo Explosivo
CAI	Certificado de Aprovação das Instalações
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
DoD	Department of Defense
EPC	Equipamentos de Proteção Coletiva
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler
HAZOP	Hazard and OPerability Studies
NAVSEA	Naval Sea Systems Command
NR	Normas Regulamentadoras
NTP	Nota Técnica de Prevenção
PMI	Project Management Institute
RI	Risco Individual
SBR	Submarino Brasileiro
SNBR	Submarino Nuclear Brasileiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 ALGUNS EXEMPLOS DE ACIDENTES COM EXPLOSIVOS.....	2
1.3 OBJETIVO.....	3
1.4 JUSTIFICATIVA.....	3
1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	4
1.6 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 GESTÃO DE RISCOS.....	6
2.1.1 Definição de risco.....	6
2.1.2 Identificação dos riscos.....	7
2.1.3 Análise dos riscos.....	8
2.1.3.1 Análise Preliminar dos Riscos (APR).....	9
2.1.3.2 Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE).....	10
2.1.3.3 Análise de Árvore de Falhas (AAF).....	11
2.1.3.4 Análise de Operabilidade de Perigos (HAZOP).....	12
2.1.4 Resposta aos riscos.....	12
2.1.5 Controle e monitoramento dos riscos.....	13
2.2 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS.....	13
2.2.1 Normas Regulamentadoras.....	13
2.2.2 Normas do Comando do Exército.....	16
2.2.3 Norma americana NAVSEA OP 5.....	16
2.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS EXPLOSIVOS.....	18
2.3.1 Explosão.....	18
2.3.2 Explosivo.....	19
2.3.2.1 Classificação dos Explosivos Químicos.....	19

2.3.2.2	Alto explosivos.....	20
2.3.2.3	Baixo explosivos.....	22
2.3.3	Características dos explosivos.....	22
2.3.3.1	Onda de choque.....	23
2.3.3.2	Brisância.....	28
2.3.3.3	Explosão por simpatia ou por influência.....	29
2.3.3.4	Sensibilidade.....	29
2.3.3.5	Estabilidade Química.....	30
2.3.4	Substâncias Explosivas de Interesse.....	30
2.4	OS TORPEDOS.....	31
2.4.1	Origem dos torpedos.....	31
2.4.2	Classificação dos torpedos e sua estrutura.....	32
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE RISCO.....	37
3.2	MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS.....	39
3.3	RESULTADO DA ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO.....	40
3.4	ESTIMATIVA DE EFEITOS FÍSICOS DE ACIDENTES.....	41
3.4.1	Distância de segurança.....	43
3.4.2	Valores de referência.....	48
4	APLICAÇÃO.....	51
4.1	LEVANTAMENTO DAS HIPÓTESES ACIDENTAIS.....	51
4.2	RISCOS CATASTRÓFICOS.....	57
4.3	CURVAS DE VULNERABILIDADE.....	57
5	RESULTADOS.....	60
6	CONCLUSÕES.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A fabricação, no Brasil, de submarinos convencionais e a construção do primeiro submarino com propulsão nuclear constituem, atualmente, atividades de grande importância no Programa de Re-aparelhamento da Marinha. Como resultado do acordo Brasil-França na área de submarinos, assinado em 23/12/2008, serão construídas para a Marinha do Brasil, quatro novas unidades com propulsão convencional (SBR), derivadas da classe Scorpène, no novo estaleiro de Itaguaí. O acordo prevê ainda assistência técnica ao projeto do casco de um protótipo de submarino nuclear (SNBR), com incorporação prevista para 2020.

Os submarinos são plataformas móveis com capacidade dissuasória, e podem cumprir várias missões no mar; entre elas: guerra anti-submarina, guerra de superfície, coleta de informações, apoio a operações especiais e guerra de minas.

Operar submarinos sempre lembra o uso de torpedos. A aquisição de novos submarinos pela Marinha acarretará a aquisição de uma maior quantidade de torpedos. Os torpedos são armas letais, com cargas de alto poder explosivo, que podem causar danos severos nas embarcações atingidas. Os torpedos são armas caras. Atualmente, estão disponíveis no mercado diversos modelos de torpedos pesados como o Mk48 ADCAP americano, o Black Shark italiano, o DM2A4 alemão, o TP-2000 sueco, o White Shark coreano, além de vários modelos russos, japoneses e chineses. O Reino Unido ainda usa o Spearfish, que não está mais em fabricação.

1.2 ALGUNS EXEMPLOS DE ACIDENTES COM EXPLOSIVOS

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, são relativamente freqüentes no Rio de Janeiro.

Em 18 de maio de 1949, durante exercícios militares no Campo de Gericinó, um obus não percorreu a trajetória prevista, espalhando estilhaços em todas as direções. Foram registradas oito mortes e 82 feridos.

Em 3 de agosto de 1958 houve uma série de explosões no depósito do Paiol Central de Armamentos do Exército, em Deodoro. Moradores do bairro entraram em pânico e fugiram de suas casas. As explosões foram ouvidas até em Nova Iguaçu. Apesar da dramaticidade das explosões, as poucas mortes registradas ocorreram em pessoas cardíacas.

Em 14 de outubro de 1960, um incêndio destruiu 19 dos 28 armazéns do Depósito Central de Munições do Exército, em Paracambi. Três soldados sofreram ferimentos leves, mas houve pânico no município durante as 12 horas de fogo e explosões.

A 18 de outubro de 1985, ocorreu um erro em exercício militar: dez casas de Realengo foram atingidas por projéteis disparados do Campo de Gericinó. Sete pessoas ficaram feridas.

Um dos piores acidentes aconteceu num domingo, dia 16 de julho de 1995. Três paióis de munição da Marinha na Ilha do Boqueirão, junto à Ilha do Governador, explodiram, ferindo 40 pessoas. Trinta casas desabaram e dezenas foram danificadas. As explosões foram ouvidas e as colunas de fumaça foram vistas de vários pontos da cidade.

Em 18 de abril de 1997, um obus, que teria sido disparado do campo de treinamento de Gericinó, caiu no campo de futebol do presídio Bangu III, que estava sendo construído. Ninguém saiu ferido. O impacto abriu um pequeno buraco no meio do campo.

Outro grave acidente ocorreu em 4 de junho de 1997, quando quatro sargentos e um civil que trabalhavam na desativação de bombas incendiárias ficaram gravemente feridos numa explosão no Parque de Material Bélico da Aeronáutica, na Ilha do Governador.

Nestes exemplos, os acidentes produziram perdas irreparáveis tanto humanas como materiais, além de prejudicar a própria imagem da instituição. Os fatos ilustram a necessidade de se estudar o risco envolvido durante as manobras e o armazenamento de torpedos pesados e as medidas necessárias para evitá-las ou reduzir seus efeitos.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é identificar e avaliar os riscos, 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, a fim de assegurar as áreas habitadas e rodovias próximas.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os explosivos são substâncias capazes de rapidamente se transformar em gases, produzindo calor intenso e pressões elevadas. A segurança destes materiais depende, sobretudo, dos cuidados dispensados no seu manuseio, e na rigorosa observância das normas e regras estabelecidas para seu armazenamento, conservação, e transporte.

A movimentação e o armazenamento de grandes quantidades de explosivos são atividades rotineiras em organizações militares e, embora as ocorrências de

episódios de acidentes graves com torpedos pesados na Marinha não sejam frequentes, a magnitude e a severidade das consequências à população, às tripulações da organização militar, e à própria instituição devem ser objeto de estudo e consideração.

Assim, verifica-se a necessidade de desenvolver mecanismos para gerenciar os riscos associados a essas atividades. Tal gerenciamento é o conjunto de ações e medidas preventivas e mitigadoras que devem ser tomadas, depois de avaliadas e analisadas as causas e impactos de possíveis acidentes e de seus efeitos. Serão usadas técnicas apropriadas de análise de risco, cujos resultados fornecerão subsídios para uma decisão gerencial.

1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia abrangerá a seguinte sequência de atividades:

- 1- Revisão bibliográfica: análise e gerenciamento de risco por meio de consulta a artigos científicos, legislações, livros, monografias e internet;
- 2- Análises qualitativas do risco na movimentação, armazenamento, conservação, manuseio e transporte de torpedos pesados;
- 3- Proposição de medidas preventivas a serem priorizadas para a mitigação e eliminação dos riscos analisados.

Não se fará uma abordagem quantitativa de risco devido à limitação imposta pelo grau de sigilo de algumas informações e ao fato de não se dispor de históricos da confiabilidade e dos acidentes.

1.6 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

O presente trabalho está estruturado em seis partes: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, aplicação, resultados e, finalizando, com as conclusões e

recomendações, totalizando cinco capítulos adicionais ao presente. A monografia também contará com um sumário, um resumo e a bibliografia ostensiva usada.

Neste capítulo é feita a introdução ao tema, justificando sua escolha, os objetivos gerais e o resumo da estruturação do trabalho.

O capítulo 2 traz a revisão da literatura, onde são listadas algumas metodologias para a análise de riscos, aspectos legais e normativos, propriedades físico-químicas de explosivos e algumas informações sobre a arquitetura dos torpedos.

O capítulo 3 aborda a metodologia usada para identificar e priorizar os riscos e as medidas preventivas de segurança com base nas teorias e conceitos estudados no segundo capítulo. No capítulo 4 é desenvolvida a aplicação da metodologia estudada no capítulo 3.

O capítulo 5 apresenta os resultados da análise de riscos enquanto as conclusões constam do capítulo 6.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GESTÃO DE RISCOS

2.1.1 Definição de Risco

A preocupação com risco é antiga, sendo sua evolução, conforme Bernstein (1997) muito associada ao crescimento do comércio ligado às grandes navegações e ao interesse pelos jogos de azar.

Na linguagem do dia a dia, “risco” apresenta varias acepções, como probabilidade de perigo, gerado com ameaça física para o homem e/ou para o meio ambiente; probabilidade de insucesso, de malogro de determinada coisa, em função de acontecimento eventual, incerto, cuja ocorrência não depende exclusivamente da vontade dos interessados; em contratos de seguro, incidente que acarreta indenização; responsabilidade ou encargo acerca da perda ou do dano por situação de risco. Na acepção do risco como “traço” derivaria dos traços escritos nos contratos. No Brasil há o regionalismo “fazer risco” como “desenhar”. Entretanto, do ponto de vista tecnico o termo “risco” possui conceitos que são apresentados abaixo.

De Cicco e Fantazzini (1985), sugerem que antes de um estudo específico sobre riscos e seu gerenciamento, há a necessidade de se definir alguns conceitos básicos, sobre termos corriqueiramente aceitos, apresentados a seguir.

Risco (*hazard*): Uma ou mais condições de uma variável com potencial necessário para causar danos como: lesões pessoais, danos a equipamentos e instalações, danos ao meio-ambiente, perda de material em processo ou redução da capacidade de produção. A existência do risco implica na possibilidade de existência de efeitos adversos.

Perigo (*Danger*): Expressa uma exposição relativa a um risco, que favorece a materialização do dano.

A Nota Técnica de Prevenção NTP 330 redigida por Belloví (2004), propulsora do método simplificado de avaliação de risco, conceitua risco e perigo como segue:

Risco: É uma combinação da probabilidade e da consequência da ocorrência de um determinado acontecimento perigoso. O risco é, por definição, o produto da probabilidade de uma ocorrência, pela sua severidade, que é a consequência provocada pela ocorrência.

Perigo: É uma fonte ou situação com potencial para produzir o dano, em termos de lesões ou ferimentos para o corpo humano ou danos para a saúde, perdas para o patrimônio, para o ambiente do local de trabalho, ou uma combinação destes.

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

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

Onde:

R: risco

P: probabilidade da ocorrência

C: consequências

2.1.2 Identificação do Risco

Segundo o *Project Management Institute* (2004), "Identificar riscos é o processo de determinação dos riscos que podem afetar o projeto e de documentação de suas características." Dentre os participantes das atividades de identificação de riscos podem ser incluídos o gerente do projeto, especialistas no assunto, usuários finais e partes interessadas.

Para o PMI (2004), “[...] o processo deve envolver a equipe do projeto de modo que possa desenvolver e manter um sentido de propriedade e responsabilidade pelos riscos e pelas ações associadas de resposta a riscos.” A equipe deve ser incentivada a identificar os eventos de riscos utilizando as técnicas de *brainstorming* e entrevistas.

2.1.3 Análise dos Riscos

Diversos autores sugerem que a avaliação dos eventos de riscos pode ser dividida em análise qualitativa e análise quantitativa.

Segundo o *Project Management Institute* (2004), a análise qualitativa é uma maneira rápida e econômica de estabelecer prioridades para o tratamento dos eventos de risco.

Diferente da área financeira, onde existe vasto material estatístico sobre probabilidades, na área de gerenciamento de projetos pode ser difícil encontrar um banco de dados satisfatório. Elkington e Smallman (2002), gerentes de projetos fora da área financeira, avaliam que a probabilidade de um evento de risco ocorrer pode ser estimada utilizando dados históricos ou relatos de experiências. No caso de não estarem disponíveis estatísticas e dados históricos, uma possível alternativa é a consulta a especialistas para a obtenção das informações.

A análise de riscos, num sentido amplo, tem por objetivo responder às seguintes perguntas relativas a uma instalação:

- O que pode acontecer de errado?
- Com que frequência isto pode acontecer?
- Quais são os efeitos e as conseqüências?
- Como os riscos poderiam ser eliminados ou reduzidos?

Atualmente existem diversas técnicas para a análise de riscos, dentre as mais utilizadas pode-se citar: Análise Preliminar de Riscos (APR), Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE), Análise de Árvore de Falhas (AAF) e Análise de Operabilidade e Perigos (HAZOP).

2.1.3.1 Análise Preliminar dos Riscos (APR)

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. Através desta técnica, as mudanças necessárias devidas aos riscos identificados podem ser realizadas na fase de projeto do processo, de maneira mais fácil, sem ocasionar gastos expressivos.

Segundo De Cicco e Fantazzini (1981), há quatro categorias de risco envolvidas na Análise Preliminar, que são:

- Desprezível (I): indica que a falha não irá resultar numa degradação maior do sistema, nem irá produzir danos funcionais ou lesões, ou contribuir para um risco ao sistema.
- Marginal (II): a falha irá degradar o sistema numa certa extensão, porém sem envolver danos maiores ou lesões, podendo ser compensada ou controlada adequadamente.
- Crítica (III): indica que a falha irá degradar o sistema causando lesões, danos substanciais, ou irá resultar num risco inaceitável, necessitando ações corretivas imediatas.
- Catastrófica (IV): a falha irá produzir severa degradação do sistema, resultando em sua perda total, lesões ou morte.

Para De Cicco e Fantazzini (2003), o desenvolvimento de uma APR pode seguir algumas etapas básicas, a saber:

- Revisão de problemas conhecidos: buscar conhecimentos em experiências passadas de sistemas similares e tentar detectar os riscos que poderão estar presentes no sistema que está sendo desenvolvido.
- Revisão da missão da empresa: rever os propósitos da organização, seus objetivos, exigências de desempenho, o ambiente onde está inserida e estabelecer os limites de atuação a que se destina.
- Identificação dos principais riscos: visualizar quais são os riscos principais, que apresentem potencial para causar direta ou imediatamente lesões, perda de função, danos a equipamentos, perda de material.
- Determinação dos riscos iniciais e contribuintes: elaborar, após a detecção dos riscos, a série de riscos associados, de forma que identifique os riscos iniciais e aqueles que poderão contribuir com os mesmos.
- Revisão dos meios de eliminação ou controle de riscos: verificar os melhores e mais eficientes métodos, compatíveis com o sistema, para a eliminação e o controle dos riscos.
- Análise dos métodos de restrição de danos: considerar os métodos mais eficientes possíveis para mitigação dos danos em caso de perda de controle sobre os riscos.
- Indicação dos responsáveis pelas ações corretivas: estabelecer claramente a todos os envolvidos no processo quais serão os responsáveis pelas ações corretivas e preventivas, designando as atividades que deverão ser cumpridas.

2.1.3.2 Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE)

A Análise de Modos de Falhas e Efeitos – AMFE, também conhecida como *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)* é utilizada para determinação de problemas originados de equipamentos e sistemas.

Nesta análise, que pode ser feita tanto de modo qualitativo quanto quantitativo, os modos de falhas de cada componente do sistema são identificados, e os efeitos destas falhas no sistema são avaliados. A partir deste ponto são estabelecidas mudanças para diminuir a probabilidade de ocorrerem falhas dos equipamentos e sistemas.

Para a aplicação da Análise de Modos de Falhas e Efeitos em um determinado equipamento ou sistema, forma-se um grupo de trabalho que deverá definir a função e a característica do equipamento ou sistema e relacionar os tipos de falhas que possam ocorrer, descrevendo para cada tipo de falha as possíveis causas e seus efeitos. O grupo deverá relacionar as medidas de detecção e prevenção das possíveis falhas e atribuir-lhes índices para avaliar os riscos.

A AMFE é muito eficiente quando aplicada a sistemas ou falhas simples, porém, suas inadequações levaram ao surgimento de outras técnicas, tais como a “Análise de Árvore de Falhas” (AAF), que complementa de forma satisfatória esta técnica.

2.1.3.3 Análise de Árvore de Falhas (AAF)

A Análise de Árvore de Falhas – AAF, também chamada de *Failure Tree Analysis (FTA)*, surgiu do emprego dos princípios da lógica Booleana. Esta técnica foi desenvolvida em 1966, a pedido da Força Aérea Americana, para uso de um sistema de mísseis. A AAF pode ser aplicada para a obtenção de resultados tanto qualitativos, quanto quantitativos.

Este método é mais bem aplicado em situações complexas, parte de um evento que é uma falha específica do sistema, denominado *evento topo*. Quando o sistema é convertido em uma árvore de falhas, o *evento topo* é colocado no nível mais alto, sendo dissecado de cima para baixo, enumerando-se todas as combinações que levaram a sua identificação.

A Análise de Árvore de Falha é utilizada intensamente nas avaliações probabilísticas de risco de centrais nucleares.

2.1.3.4 Análise de Operabilidade de Perigos (HAZOP)

A Análise de Operabilidade de Perigos ou *HAZard and OPerability Studies (HAZOP)* é uma técnica de análise qualitativa, desenvolvida com o intuito de examinar as linhas de processos em sistemas industriais, e identificar os perigos e a operabilidade. A técnica é indicada na fase de projeto da implementação de novos processos ou na modificação de processos existentes.

O emprego do HAZOP é um trabalho em equipe, onde pessoas de funções distintas atuam em conjunto, estimulando a criatividade, fazendo com que “esquecimentos” sejam evitados e que seja atingida a compreensão dos problemas das diferentes áreas e das interfaces do sistema.

A análise é feita através de palavras-chaves, que guiam o raciocínio da equipe de trabalho, fixando a atenção nos perigos mais significativos do sistema. As palavras-chaves são aplicadas as variáveis indicadas no processo, tais como: pressão, temperatura, fluxo, nível, etc., gerando os desvios, que são os perigos que devem ser examinados.

Uma vez identificados os desvios, elabora-se as alternativas para que o problema não ocorra ou, se ocorrer, seus efeitos sejam minimizados.

2.1.4 Resposta aos riscos

Uma vez que a avaliação dos riscos foi feita, a etapa seguinte é iniciar o tratamento do risco. Segundo Kerzner (2005), o tratamento do evento de risco é geralmente

pautado em quatro técnicas de resposta: evitar, transferir, aceitar e reduzir os eventos que ameaçam o projeto. O *Project Management Institute* (2004) estabelece três técnicas para a resposta: prevenir ou evitar, transferir e mitigar, e aceitar.

2.1.5 Controle e monitoramento dos riscos

Após a escolha das respostas aos eventos de riscos identificados e as ações do plano de respostas, segue-se o monitoramento, a fim de assegurar a correta execução do proposto.

Segundo Baker; Ponniah e Smith (1999), esta etapa depende fortemente tanto da atitude dos empregados como dos critérios de aceitação de riscos da organização.

A exposição dos trabalhadores aos riscos pode ser controlada pelo: uso de Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC); uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI); e a educação continuada.

2.2 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS

2.2.1 Normas Regulamentadoras

Os requisitos legais de proteção da segurança e saúde do trabalhador encontram-se inseridos na Lei 6.514, de 22 de dezembro de 1977, que alterou o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo à Segurança e Medicina do Trabalho, e na Portaria n.º 3214, de 08 de junho de 1978, que aprovou as Normas Regulamentadoras.

As Normas Regulamentadoras, também conhecidas como NR, são disposições do Ministério do Trabalho e Emprego que regulamentam e fornecem orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à medicina e segurança no trabalho no Brasil, sendo de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho - CLT.

Dentre as Normas Regulamentadoras cabe destacar a NR 19 – Explosivos - que institui normas para o depósito, manuseio e armazenagem de explosivos, e estabelece as distâncias mínimas entre os armazéns de explosivos e áreas habitadas, ferrovias, rodovias e depósitos.

Segundo a NR-19, os depósitos de explosivos devem ser construídos em terreno firme, seco, a salvo de inundações, afastados de centros povoados, rodovias, ferrovias e distanciamento mínimo estabelecido conforme o tipo e a quantidade de explosivo.

As instalações elétricas da área e o sistema de pára-raios devem obedecer às disposições da NR-10, que regulamenta a segurança em instalações e serviços em eletricidade.

Os paíóis de explosivos deverão ser dotados de sistema eficiente para o combate a incêndio e a temperatura máxima admitida dentro do depósito estará condicionada ao tipo de material armazenado.

O manuseio do explosivo deverá ser feito por pessoal devidamente treinado e sob orientação de pelo menos um supervisor, sendo proibido fumar, acender isqueiro, fósforo ou qualquer tipo de chama ou centelha nas áreas em que se manipule ou armazene explosivos.

Durante o transporte de explosivos, deverá ser utilizada sinalização adequada tais como bandeiras vermelhas e tabuletas de aviso afixadas em lugares visíveis, e o

material deverá ser protegido contra a umidade e incidência direta dos raios solares. A norma estabelece também regras específicas para o transporte por via férrea, rodoviário, fluvial e marítimo.

Outras normas que merecem destaque são:

- NR 02 – Inspeção prévia: Instituiu a obrigatoriedade da obtenção do Certificado de Aprovação das Instalações - CAI - previamente ao início de operação de qualquer atividade regulamentada, assim como sua revisão em caso de modificações significativas em instalações já existentes.

- NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade: Estabelece procedimentos, instruções técnicas e medidas preventivas de controle do risco elétrico. Esta norma é oportuna, tendo em vista que um significativo número de ocorrências relacionadas a incêndio e explosões em instalações, tem por causa a liberação de alguma modalidade de energia elétrica.

- NR 23 – Proteção contra incêndios: Estabelece os procedimentos adotados na proteção contra incêndio, requisitos das saídas de emergência, equipamentos de combate ao fogo e treinamento de pessoal.

O procedimento correto no transporte terrestre de produtos perigosos é regulamentado pelo Decreto 96.044 de 18 de maio de 1988 e o processo de fiscalização do transporte desses produtos é realizado pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal. O Art. 2º do Decreto 96.044 define que o transporte rodoviário de produtos perigosos realizado pelas Forças Armadas obedecerá à legislação específica.

2.2.2 Normas do Comando do Exército

Com a finalidade de estabelecer as normas a serem observadas no armazenamento, manuseio, conservação e destruição de munições e explosivos utilizados pelas organizações militares, o Chefe do Estado-Maior do Exército aprovou o Manual Técnico T9-1903 através da Portaria n.º 107 de 20 de outubro de 1970.

O Manual Técnico T9-1903 é um documento amplo e detalhado que, por conter informações sobre diversos explosivos militares, possui grau de sigilo e acesso restrito. A documentação visa fornecer aos oficiais e graduados, uma base de conhecimentos necessários à instrução dos militares que tem encargos relacionados a esses materiais.

Apesar da Norma Regulamentadora NR-19 não fazer qualquer referência ao Manual Técnico T9-1903, uma análise comparativa das publicações deixa clara a similaridade entre ambos.

O Regulamento de Produtos Controlados (R-105), aprovado pelo Decreto n.º 2.998, de 23 de março de 1999, estabelece as normas necessárias para a fiscalização das atividades exercidas por pessoas físicas e jurídicas envolvendo produtos controlados pelo Exército Brasileiro. Segundo o Regulamento, as exigências para o transporte de produtos controlados serão estabelecidas pela Marinha, Aeronáutica e Ministério dos Transportes.

2.2.3 Norma americana NAVSEA OP 5

O Departamento de Defesa Americano ou *Department of Defense - DoD* - tem demonstrado uma longa história de sucesso na gestão de materiais explosivos.

Devido a essa vasta experiência adquirida, o Congresso Americano delegou ao DoD autoridade legal para desenvolver e promulgar normas de segurança para o armazenamento, manuseio e uso de explosivos.

A publicação americana NAVSEA OP 5 *Ammunition And Explosives Safety Ashore*, de 05 de junho de 2006 foi desenvolvida com o propósito orientar o pessoal envolvido em operações com munições, explosivos e outros materiais perigosos, bem como prescrever normas de segurança padronizadas para a produção, renovação, cuidado, manuseio, armazenamento, movimentação, preparação para expedição e eliminação desses itens.

O manual está dividido em 14 capítulos, sendo que o capítulo 7- 'Normas e requisitos de quantidade-distância' - merece especial atenção por descrever os requisitos que relacionam a distância de segurança e a quantidade de explosivo, munição e materiais perigosos.

Essas exigências são aplicáveis a todas as atividades: de manufatura, teste, manutenção, armazenamento, carga e descarga de veículos, vagões, navios, aviões, eliminação e operações de movimentação quando uma resposta dinâmica - detonação - não é esperada. Os requisitos são baseados em registros de incêndios e explosões reais envolvendo munições e explosivos; a tabela americana de distâncias de segurança e a quantidade de explosivo, munição e materiais perigosos; e as leis do Estado de New Jersey.

Essas normas são periodicamente revisadas e atualizadas, e os requisitos são projetados para fornecer aos moradores de comunidades próximas e às propriedades públicas e privadas adjacentes, segurança contra lesões graves em caso de incêndios ou explosões, e minimizar as perdas do estoque de munições.

A Marinha do Brasil adota a acima citada norma NAVSEA OP5 para a determinação das distâncias de segurança dos paíóis em relação às rodovias públicas e áreas habitáveis.

Neste trabalho serão utilizados os critérios estabelecidos pelo Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM N° 01/01 e a publicação americana NAVSEA OP5 para a estimativa dos efeitos físicos e a análise das curvas de vulnerabilidade para obtenção dos resultados desejados.

2.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS EXPLOSIVOS

2.3.1 Explosão

No Manual *Explosivos y Destrucciones para Ingenieros* (1976), a explosão é definida como a transformação de um explosivo, em um tempo extremamente curto, com produção de grandes quantidades de calor e um volume de gás considerável, acompanhado de ruído e efeitos mecânicos violentos.

As explosões costumam ser classificadas na literatura como nucleares, elétricas, mecânicas e químicas.

A explosão nuclear é causada por fissão e por fusão nuclear descontrolada, resultando em uma imensa onda de choque, produzindo calor e radiação. A energia liberada é muito maior do que em explosões químicas.

A explosão elétrica é originada por uma descarga de corrente elétrica de alta intensidade, ocorrendo expansão gasosa por efeito das faíscas.

A explosão mecânica é causada pelo aumento da pressão interna em um invólucro, que se rompe por ficar submetido a tensões maiores do que a sua resistência. Como exemplos têm-se o pneu de ar e o cilindro de gás combustível.

A explosão química é o resultado de uma reação físico-química, na qual a velocidade extremamente alta da reação é acompanhada por uma brusca elevação de pressão e de temperatura, com liberação de energia.

Serão tratadas neste estudo apenas as explosões químicas de torpedos pesados.

2.3.2 Explosivo

Segundo COOK (1958), um explosivo é qualquer substância ou mistura de substâncias que produzem um súbito aumento do volume de gases, após a liberação de sua energia potencial, exercendo altas pressões em seus arredores.

2.3.2.1 Classificação dos Explosivos Químicos

As reações de decomposição térmica são classificadas como combustão, deflagração e detonação.

A combustão é uma reação química de oxidação e geralmente ocorre na presença do oxigênio do ar e em baixas velocidades.

A deflagração se propaga por condutividade térmica. A velocidade máxima de deflagração é de aproximadamente 1.000m/s (FEDOROFF & SHEFFIELD, 1969). Nesta reação há a participação não só do oxigênio do ar, mas também daquele intrínseco a substância. É um fenômeno de superfície característico dos chamados baixos explosivos.

A detonação é uma reação de decomposição com a participação exclusiva do oxigênio intrínseco da substancia explosiva, ocorrendo com velocidades que variam de 1.500 m/s a 9.000 m/s.

A detonação gera ondas supersônicas e, em função da quantidade de energia envolvida no processo, é sempre acompanhada de uma onda de choque.

Os explosivos químicos podem ser divididos em alto explosivos (AE) e baixo explosivos (BE), sendo que a principal diferença está na velocidade de queima, da deflagração ou da detonação.

Nos baixo explosivos as velocidades de reação são menores do que a velocidade do som, o que não acontece com os alto explosivos, onde a velocidade do som é excedida (KINNEY & GRAHAM, 1985 apud SILVA, IHA & FERREIRA, 2007).

A Figura 1 apresenta o esquema de um explosivo parcialmente detonado.

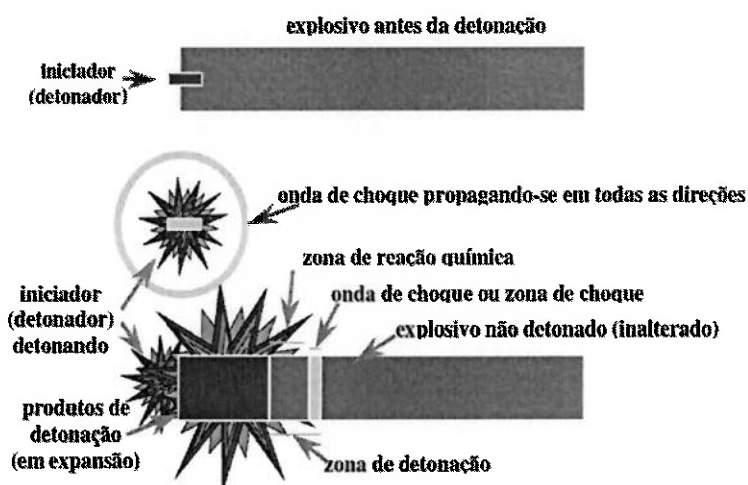


Figura 1 – Esquema de um explosivo parcialmente detonado
 Fonte: <http://www.slideshare.net/AlexandroSilvaNunes/quimica-explosivos-apostila>

2.3.2.2 Alto explosivos

Os alto explosivos são classificados quanto à sensibilidade como primários e secundários.

Os explosivos primários ou iniciadores têm alta sensibilidade ao choque mecânico, ao calor e ao atrito. Eles têm por finalidade provocar a transformação de outros explosivos. Sua única transformação é a detonação. São menos estáveis que os explosivos não iniciadores. São muito sensíveis e explodem sob a ação do fogo ou

pelo impacto de um golpe. Oferecem perigo no seu manuseio e são usados em quantidades relativamente pequenas para iniciar a explosão de explosivos menos sensíveis.

São exemplos de explosivos primários: Azida de Chumbo, Estifnato de Chumbo, Fulminato de Mercúrio e o Tetraceno. Para diminuir a sensibilidade, facilitando seu manuseio e o seu uso como agente ligante, eles são misturados com substâncias estabilizadoras, como a cera de abelha.

Os explosivos secundários têm baixa sensibilidade ao choque mecânico, ao calor e ao atrito. A sua transformação é a detonação. Somente são iniciados por choque de alta intensidade, produzindo grande quantidade de gases. Para a sua completa iniciação é necessária uma onda de detonação de outro explosivo que possa ser detonado por choque ou chama.

Os alto explosivos secundários são bastante insensíveis ao choque mecânico e a chama, mas explodem com grande violência, quando ativados por um choque explosivo. A maioria dos alto explosivos queima simplesmente, quando são inflamados em ambiente aberto, se não sofre impacto detonante.

São exemplos de explosivos secundários a Nitropenta, TNT, Tetryl, Torpex, Hexogênio, HMX, RDX, Composição B (mistura de RDX+TNT 60/40), Explosivos Plásticos (PBX), Nitroglicerina e Dinamite. Estes explosivos são aplicados na cabeça de combate de torpedos, mísseis e foguetes, granadas, bombas, reforçadores (booster), carga oca, cordéis detonantes, dentre outros.

Os explosivos podem ser formados por somente um tipo de molécula na sua composição, como o TNT, PETN, RDX, HMX e Azida de Chumbo ou por uma mistura de duas ou mais substâncias explosivas como Pentolite – mistura de PETN + TNT (50/50), Composição B – mistura de RDX + TNT (60/40), Tritonal - mistura de TNT + Alumínio (80/20) e Torpex – mistura de RDX + TNT + Al (42/40/18).

Explosivos plásticos são formados por uma substância explosiva com mais de um componente totalmente inerte. Os “componentes inertes” são geralmente usados em proporção nunca superior a vinte e cinco por cento (25%). Eles são usados para conferir ao produto final propriedades mecânicas adequadas ao uso. São exemplos de explosivos plásticos o PBX ou a mistura de RDX ou HMX com plástico.

2.3.2.3 Baixo explosivos

Os baixo explosivos também chamados de propelentes são os que têm a finalidade de criar um efeito balístico. A sua transformação normal é a deflagração. O impulso inicial requerido é a chama.

São exemplos de baixos explosivos os propelentes:

- pólvoras: de base simples, de base dupla e de base tripla;
- pólvoras mecânicas (pólvora negra);
- propelentes compósitos, propelentes líquidos, peróxido de hidrogênio, gasolina, explosivo tipo ANFO (nitrato de amônio + combustível), e
- misturas de pirotécnicos em geral.

2.3.3 Características dos explosivos

As principais características dos explosivos, relevantes para a compreensão e a identificação de possíveis causas de acidentes ou incidentes, são apresentadas a seguir.

Onda de choque

As ondas de choque causam os mais sérios danos nas instalações industriais, habitações, etc. Os fragmentos, embora também importantes, causam danos de menor magnitude. (Technical Manual N^o 9-1300-214, 1990).

Segundo Chapman, Rose & Smith (1995, apud SILVA, IHA & FERREIRA, 2007), quando um explosivo é detonado no ar, a energia é liberada em torno do material explosivo, forçando o volume a se expandir, causando o “shock up” que forma a onda de choque.

Em geral, esta região de pressão alterada, iniciada normalmente em forma hemisférica, conforme a Figura 2a, desloca-se radialmente do centro da explosão, o epicentro, com uma velocidade supersônica. À medida que se propaga sua forma evolui e assume a forma apresentada na Figura 2.c, na medida em que se afasta do epicentro.

Esta frente de onda é conhecida como onda de choque.

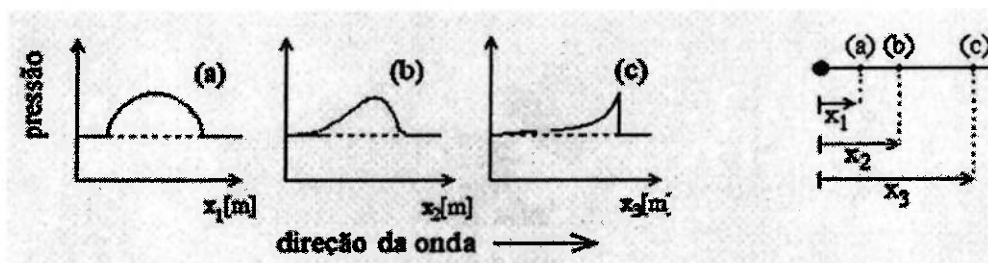


Figura 2 – Desenvolvimento da onda de choque gerada por uma detonação.
Fonte: Kinney & Graham, 1985 (apud SILVA, IHA & FERREIRA, 2007)

De acordo com a *Autoridad Regulatoria Nuclear* (1998, apud SILVA, IHA & FERREIRA, 2007), atrás da onda de choque, o movimento das partículas de ar provoca uma pressão dinâmica, formada pelos ventos gerados na explosão. No caso de grandes ventos, como ocorre em explosões nucleares, o vento pode ser de fundamental importância na resposta das estruturas, porém não é fator predominante para os casos menos severos, como os de explosivos químicos.

A onda de choque apresenta um decaimento de pressão em função da distância ao epicentro, assumindo o comportamento ilustrado na Figura 3, onde a certa distância do epicentro ocorre inclusive área de sucção, isto é, com pressão negativa depois do pico de alta pressão.

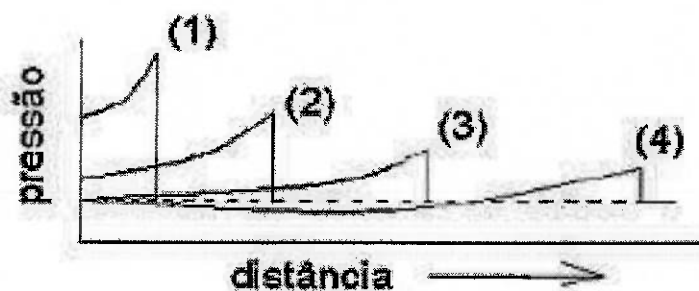


Figura 3 - Pressão para tempos sucessivos de uma explosão em função da distância.
Fonte: Kinney & Graham, 1985 (apud SILVA, IHA & FERREIRA, 2007).

Na Figura 4, estão ilustradas as quatro fases de uma explosão e seus efeitos sobre estruturas. O ponto **A** desta figura representa a fase inicial, antes da passagem da onda de choque, sucedida pela detonação de um explosivo, quando ocorre o chamado pico de “sobre pressão”, correspondente ao ponto **B**, que é a fase imediatamente após a passagem da frente de onda, com um aumento súbito de pressão acima da pressão atmosférica e que irá determinar a forma da onda de choque. O ponto **C** representa a fase de “sobre pressão” negativa com o vento reverso, neste ponto ocorre um decréscimo logarítmico até uma fase de pressão “negativa”. Por fim, a tendência natural é a estabilização, atingindo novamente a pressão atmosférica ilustrado pelo ponto **D**.

O efeito de pressão “negativa” - sucção - é a diminuição da pressão abaixo da atmosférica, que ocorre para equilibrar o sistema. A sucção é devida à contração dos fluidos que se expandiram na explosão.

A duração da fase positiva da onda de choque é aproximadamente $\frac{1}{4}$ da fase negativa. Em relação à pressão atmosférica, a fase positiva é muito mais duradoura que a fase negativa.

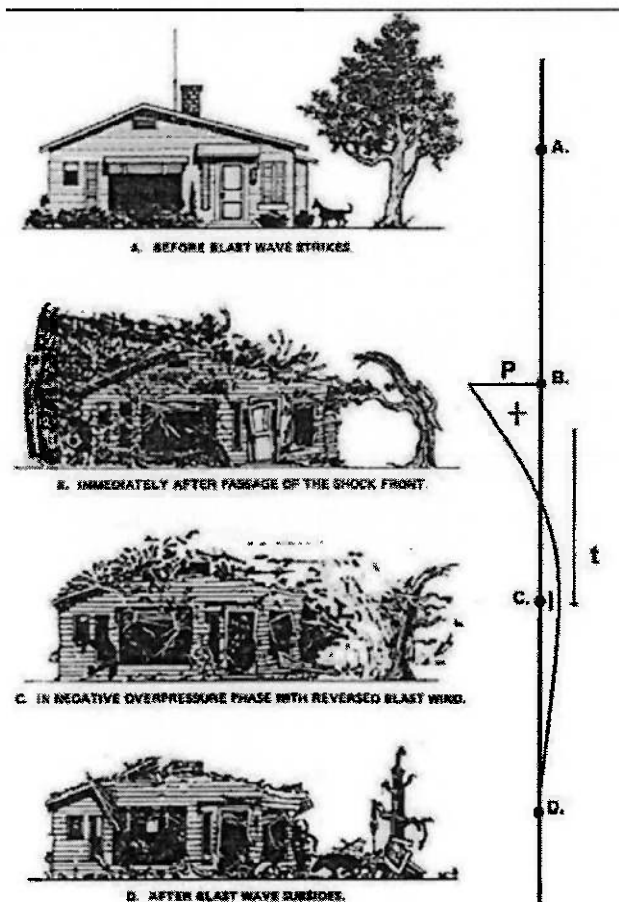


Figura 4 – Ilustração das fases de uma explosão e seus efeitos sobre estruturas.

Fonte: Kinney & Graham, 1985 (apud SILVA, IHA & FERREIRA, 2007)

O efeito de uma onda de choque é comparável aos efeitos de um forte terremoto, pois as paredes de alvenaria são destruídas e os tetos desmoronam. Esta ação é mais ou menos uniforme em torno de uma área circular (Technical Manual Nº 9-1300-214, 1990).

A incidência da onda de choque sobre superfícies gera reflexões que devem ser consideradas. Esta é uma característica que ocorre quando o deslocamento de ar encontra um obstáculo resistindo à sua propagação. Quando o centro da explosão possui uma altura diferente de zero muito elevada, o solo acaba sendo uma destas estruturas reflexivas.

A Figura 5 ilustra a propagação esférica de uma detonação no ar de uma onda de choque incidente no solo e refletida. Em seguida, a onda refletida encontra a onda incidente, gerando no ponto de interseção, ponto triplo, uma terceira onda de intensidade maior que a onda incidente - ONDA MACH-.

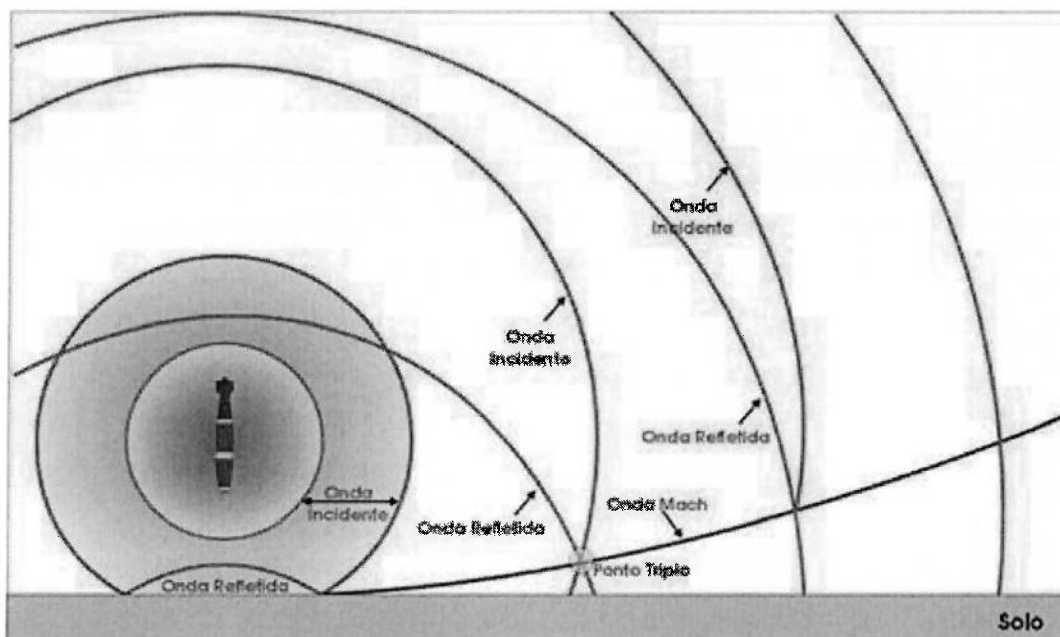


Figura 5 – Reflexões da Onda de Choque - Formação da ONDA MACH
Fonte: SILVA (2007)

Da mesma maneira como uma onda reflete no solo, ela reflete nas estruturas em que incide dependendo do ângulo formado entre a onda e a superfície. Esta reflexão aumenta a sobrepressão efetiva, assim como a carga resultante sobre a estrutura. (SANTIAGO, 2003, apud SILVA, 2007)

Outras forças resultantes sobre a estrutura são chamadas de carregamento por difração e carregamento por arrasto.

Uma estrutura submetida a um carregamento por difração, onde ocorreu uma aplicação repentina da pressão sobre todas as faces do alvo, de forma aproximadamente simultânea é mostrada na Figura 6.

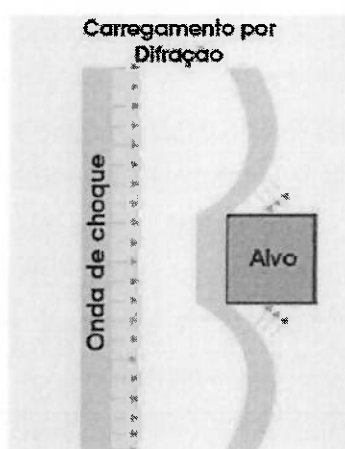


Figura 6 – Estrutura submetida a carregamento por difração.
Fonte: SILVA, 2007

Nessa condição, a frente de choque não envolveu todo o alvo, ocorrendo uma diferença de pressão entre a parte dianteira e traseira, que produz uma força resultante lateral. O esforço lateral tende a deslocar o alvo na mesma direção da propagação da onda de choque.

Quando o alvo fica totalmente envolvido, a diferença de pressões deixa de existir, e como a pressão aplicada é maior que a pressão normal, a força resultante lateral tende a comprimir o alvo.

O carregamento gerado pela pressão de arrasto é chamado de carregamento por arrasto. A influência do carregamento por arrasto é tanto maior quanto mais longo for o período da fase positiva da pressão (LEE, 1996, apud SILVA, 2007), ou quanto menor for à dimensão da estrutura na direção de propagação da onda de choque.

Na fase positiva da onda de sopro, o alvo é submetido a um carregamento de pressão dinâmica pelos ventos de grande intensidade que acompanham a frente da onda de choque, produzindo uma força lateral da direção da onda.

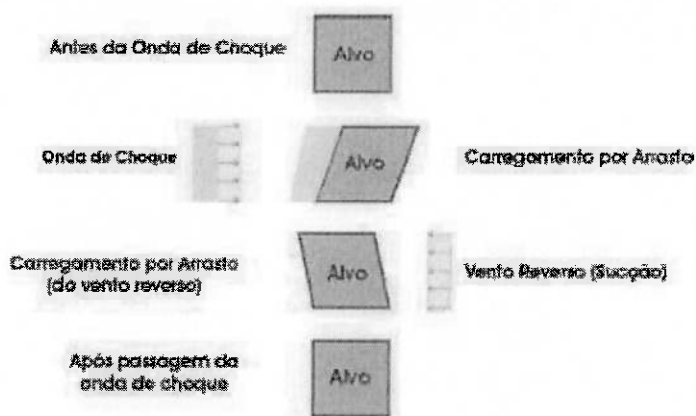


Figura 7 – Estrutura submetida a carregamento por arrasto.
Fonte: SILVA, 2007

A suscetibilidade a danos por um tipo ou outro de carregamento será definida pela geometria da estrutura. O carregamento por difração é mais importante para edifícios e tanques de armazenagem, enquanto que estruturas altas e esguias como postes e torres são mais afetados pelos carregamentos por arrasto.

Quando as estruturas são relativamente flexíveis, elas não são danificadas pelo carregamento por difração. Por outro lado, podem ser vulneráveis aos danos causados pelo carregamento por arrasto. Os alvos que não são firmemente fixados serão arrancados e poderão ser deslocados por vários metros. As pessoas são muito suscetíveis a este tipo de dano, bem como à ameaça secundária de ser atingido por outros objetos e destroços lançados pela explosão.

2.3.3.2 Brisância

O poder de fragmentação de um explosivo, conhecido como brisância, é definido pela sua capacidade em fragmentar corpos de aço. O efeito de fragmentação de um explosivo depende da rapidez com que são gerados os produtos gasosos resultantes da explosão.

De acordo com o Technical Manual Nº 9-1300-214, os danos causados por fragmentos são menores que os gerados por uma onda de choque, pois consistem meramente em furos nas paredes e telhados em pontos aleatórios na direção da trajetória dos estilhaços.

2.3.3.3 Explosão por simpatia ou por influência

A iniciação de um explosivo causada pela transmissão, pelo ar, de uma onda de choque, originada pela detonação de outro explosivo é conhecida como explosão por simpatia ou por influência. A distância que a carga explosiva pode ser detonada por outra carga do mesmo explosivo aumenta com a quantidade de carga iniciadora (Technical Manual Nº 9-1300-214, 1990).

2.3.3.4 Sensibilidade

Os explosivos apresentam considerável perigo quando sujeitos ao impacto ou choque, à fricção, ao calor e às centelhas elétricas e não elétricas.

A sensibilidade de um explosivo ao impacto é determinada pela altura da qual deve cair um peso padrão sobre o explosivo para provocar a sua detonação.

A verificação da sensibilidade à iniciação é determinada pela quantidade mínima de um explosivo capaz de iniciar 0,4 g do explosivo sob teste. Quanto menor a quantidade de explosivo necessária para iniciar um dado explosivo, maior será a sensibilidade desse explosivo à iniciação.

2.3.3.5 Estabilidade Química

A estabilidade química é a propriedade de um explosivo ser armazenado sem se deteriorar. Esta característica é relevante tanto para os explosivos quanto para os propelentes, em face da necessidade deles serem armazenados por longos períodos de tempo, mesmo em condições adversas de temperaturas e umidade.

2.3.3 Substâncias explosivas de interesse

As substâncias de interesse neste estudo são os altos e baixos explosivos que têm, nas suas características explosivas, as propriedades que lhes conferem o potencial de danos.

Desenvolvido pela *Royal Gunpowder Factory*, no Reino Unido, para uso em torpedos, o torpex é um explosivo composto por:

- 42% RDX
- 40% TNT
- 18% de pó de alumínio.

O RDX ou ciclonita, um dos explosivos mais poderosos, é muito sensível ao choque para ser usado em aplicações militares, porém, pela mistura do RDX com o TNT, conseguiu-se diminuir a sensibilidade e aumentar o poder de destruição.

Durante a detonação do torpex, o oxigênio liberado combina com o alumínio em pó fino, numa reação altamente exotérmica, gerando maior volume de produto explosivo e força expansiva.

A fim de reduzir a sensibilidade ao choque e ao impacto, é adicionado um produto à base de petróleo e carbonato de cálcio. Este composto funciona como um absorvedor de umidade para reduzir a produção de gás hidrogênio.

Segundo o *Department of the Army Technical Manual TM9-1300-214*, o torpex apresenta alta estabilidade e característica não higroscópica quando exposto a temperatura de 30°C e umidade relativa do ar de 90%. Entretanto, a presença de umidade dentro da carga explosiva, pode ocasionar o aumento da sensibilidade ao impacto. No interior de um paiol de armazenamento de torpex, a temperatura máxima admitida é de 40°C.

Originalmente desenvolvido para uso em torpedos, o torpex começou a ser empregado em 1942, durante a Segunda Guerra Mundial. Como carga de ruptura em minas e torpedos, o torpex apresenta, sob a água, poder de destruição 50% maior que o TNT.

Na impossibilidade de se divulgar informações reais a respeito do tipo de explosivo utilizado nos torpedos pesados da Marinha do Brasil, este trabalho tomará como exemplo o emprego do torpex como o explosivo de ruptura do armamento.

2.4 OS TORPEDOS

Torpedo é um projétil autopropulsado que, após ser lançado acima ou abaixo da superfície livre da água, opera debaixo da água sendo projetado para detonar ao entrar em contato, ou ao aproximar-se de determinado alvo.

2.4.1 Origem dos torpedos

A princípio, os torpedos consistiam de troncos de madeira com uma carga de explosivo na ponta que, quando lançados contra as embarcações inimigas, detonavam por baixo da linha de água.

Em 1800, o inventor americano Robert Fulton demonstrou o método de ataque de seu submarino *Nautilus* utilizando uma carga explosiva que seria rebocada, submergindo abaixo do navio inimigo, até entrar em contato com a embarcação. Fulton obteve sucesso em suas demonstrações na França e na Grã-Bretanha, porém nenhum governo estava interessado na compra do submarino ou do torpedo, e suas experiências cessaram em 1805.

Durante a Guerra Civil Americana, o termo “torpedo” foi aplicado a uma variedade de dispositivos explosivos que atualmente seriam classificados como minas de contato. O “torpedo” flutuava livremente na superfície ou era amarrado logo abaixo desta, e detonava ao ser atingido por um navio ou após um determinado tempo, porém a confiabilidade neste tipo de ataque era reduzida.

Em 1860 Ivan Lupis-Vukić, engenheiro naval Croata da Marinha Austro-Húngara, apresentou o primeiro protótipo de um torpedo autopropulsionado. Posteriormente este protótipo foi aprimorado por Robert Whitehead, engenheiro inglês que trabalhava para a Marinha Real. Em 1890 Whitehead comprou os direitos do giroscópio e continuou a desenvolver torpedos mais eficazes.

Os torpedos foram amplamente utilizados durante a Primeira Guerra Mundial em ataques contra navios e submarinos. Durante a Segunda Guerra Mundial todas as classes de navios, incluindo os submarinos, bem como as aeronaves estavam armadas com torpedos. Durante a Guerra Fria os torpedos foram um trunfo importante contra os submarinos nucleares, que raramente vão à superfície, e carregam mísseis nucleares. Com o aumento da força e da velocidade dos submarinos, os torpedos receberam maior carga explosiva e melhor propulsão.

2.4.2 Classificação dos torpedos e sua estrutura

Quanto ao tamanho e peso os torpedos podem ser classificados em:

- Torpedos leves: Possuem em torno de 0,33m de diâmetro, 2,5m de comprimento, peso de 250 kg e utilizam uma cabeça de combate com aproximadamente 45 kg de alto explosivo. Projetado para ter um alcance máximo de 10 km e velocidade de deslocamento submerso de 85 km/h. São capazes de atingir alvos a profundidades de 350 m, sendo geralmente lançados por aeronaves e navios de superfície.

- Torpedos pesados: Possuem em torno de 0,53m de diâmetro, 6m de comprimento, peso de 1.600 kg e utilizam uma cabeça de combate com aproximadamente 300 kg de alto explosivo. Projetado para ter um alcance máximo de 25 km e velocidade de deslocamento submerso de 90 km/h. São capazes de atingir alvos a profundidades de 350 m. Devido às suas dimensões, são geralmente lançados por submarinos.

Para a realização da análise dos riscos realizada neste trabalho, serão usadas as características básicas de um torpedo pesado, sem menção a nenhum torpedo específico.

Em tempos de paz, a tripulação de um submarino é constantemente submetida a adestramento para atingir e manter a sua máxima eficiência operativa em combate.

Frequentemente são realizados exercícios de ataque ao tráfego marítimo sem o emprego de torpedos com cabeças explosivas. Nesses casos, a cabeça de combate do torpedo é substituída por uma cabeça de exercício, que não oferece perigo de explosão, na qual são gravadas informações sobre a corrida.

Por razões de segurança, os torpedos de exercício são configurados para que passem por baixo do alvo, sem perigo de colisão com o alvo, evitando danos a ambos. Após a corrida de exercício, o torpedo é resgatado e são analisados os dados retirados da gravação. Assim, é possível o seu reaproveitamento em outros lançamentos.

Os torpedos mais antigos não possuíam sistemas de guiagem para o alvo e eram conhecidos como torpedos de corrida reta.

Os torpedos modernos possuem sistema de guiagem e, ao saírem do tubo de lançamento, são orientados em direção ao alvo. Um tipo de governo utiliza o fio de

guiagem, ou *guide wire*, que permite que os sinais do sistema de direção de tiro do submarino lançador sejam enviados ao torpedo, orientando-o até as proximidades do alvo.

Os torpedos também podem ser direcionados pelo ruído que o alvo produz, podendo inclusive emitir ondas de sonar, e pela recepção do eco, orientar-se contra ele.

A Figura 8 apresenta a ligação entre o submarino lançador e o torpedo através do cabo de guiagem, ou *guide wire*.

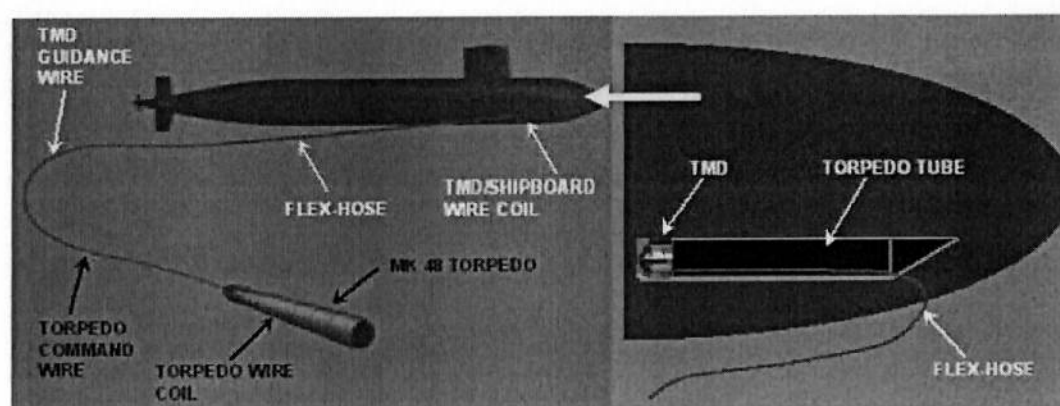


Figura 8 – Conexão do cabo de guiagem entre o submarino lançador e o torpedo.
 Fonte: <http://www.tri-austin.com/index.php?c=2&s=4&id=104>

A cabeça de combate ou *warhead*, é a seção do armamento que contém o detonador e a carga explosiva. Sua detonação pode ser desencadeada por contato, quando o torpedo colide com o alvo ou por proximidade quando, através do uso de sonar e sensores magnéticos, a ogiva é detonada a uma distância especificada do alvo.

A figura 9 demonstra as seções que compoem o torpedo pesado MK 48 ADCAP 6AT, fabricado pelos Estados Unidos.

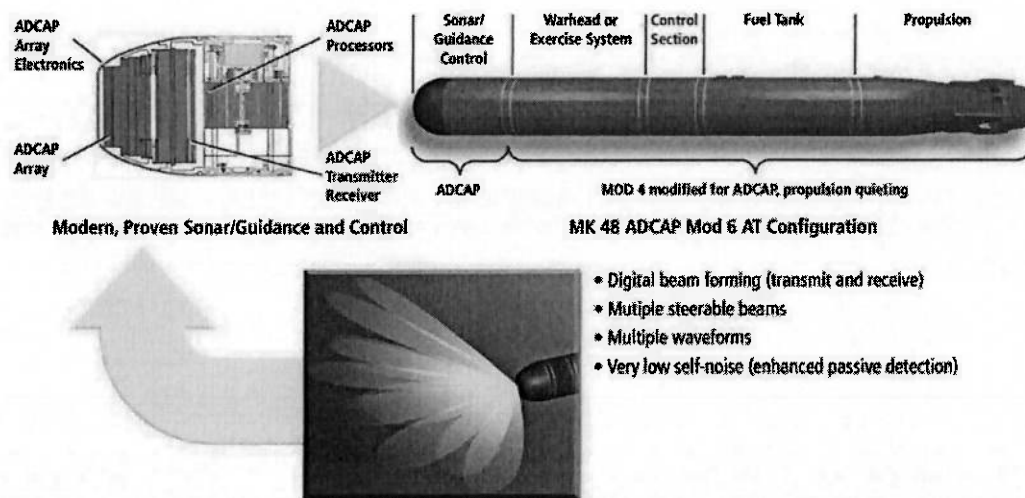


Figura 9 – Seções do torpedo pesado MK 48 ADCAP 6AT.

Fonte: <http://www.naval.com.br/blog/2009/11/13/marinha-do-brasil-realiza-lancamentos-de-torpedo-mk-48-mod-6at-adcap/>

O poder da explosão quando a ogiva detona por proximidade abaixo da quilha do navio-alvo, é maior quando comparado com a explosão originada pela colisão direta do torpedo. Com a detonação abaixo da quilha, a onda de pressão resultante "levanta" o navio podendo causar o alquebramento ou ruptura da quilha.

A Figura 10 apresenta a colisão de um torpedo pesado lançado pelo submarino *HMAS Farncomb*, da Marinha Australiana, usando como alvo o contratorpedeiro descomissionado *Torrens*.

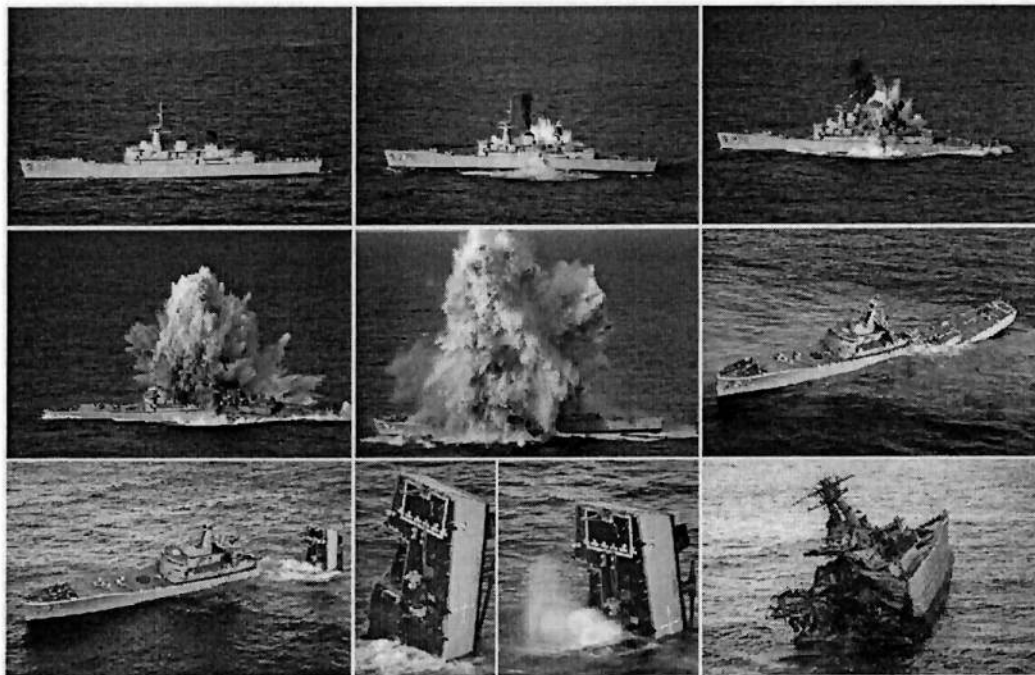


Figura 10 – Colisão de um torpedo pesado sobre o contratorpedeiro australiano *Torrens*
Fonte: <http://www.dcfp.navy.mil/mc/presentations/Mark-48.htm>

3 METODOLOGIA

Após o estudo das diversas técnicas empregadas na análise de riscos, escolheu-se o método da Análise Preliminar de Risco (APR). A decisão pelo uso desta técnica decorre de sua estrutura simples e da maior facilidade de sua implementação, com bom nível de resposta.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE RISCO

A identificação dos eventos de riscos foi realizada com a ajuda de nove 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).

Os especialistas foram escolhidos em virtude do reconhecimento, pela tripulação de bordo, como muito experientes, além da vontade de colaborar para a realização do trabalho.

A identificação dos perigos foi realizada utilizando-se a técnica de Análise Preliminar de Riscos (APR) de acordo com os critérios estabelecidos pelo Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01.

.As categorias de freqüências de ocorrências estão descritas na Tabela 1 e as de severidades dos perigos identificados na Tabela 2.

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	FREQUENTE	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

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). 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

3.2 MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS

Segundo o Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01, os riscos são classificados em cinco níveis, como apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Níveis de Risco

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

Para a classificação dos riscos, que conjuga as categorias de frequência e severidade, definidos no item 3.1, é possível construir uma Matriz de Classificação dos Riscos, em função da frequência e severidade, de acordo com os níveis de risco da Tabela 3.1. Essa Matriz é apresentada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - 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

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

3.3 RESULTADO DA ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO

Segundo o Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01, são estabelecidas quatro categorias de risco, descritas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – 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.

3.4 ESTIMATIVA DE EFEITOS FÍSICOS DE ACIDENTES

Os acidentes típicos em instalações industriais envolvem incêndios, explosões e liberação de materiais tóxicos para a atmosfera e interiores de prédios.

Os principais perigos associados aos explosivos são os efeitos da onda de choque sobre as estruturas (Tabela 4) e pessoas (Tabela 5), que ocorrem a vários níveis de variação de pressão.

De acordo com a Norma CETESB P4.261, de maio de 2003, o perigo é definido como a possibilidade de existir uma ou mais condições, físicas ou químicas, com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade, ao meio ambiente ou à combinação desses.

Tabela 4 – Efeito da Onda de Choque sobre as Estruturas.

Dano	Variação da pressão (psi)
Quebra de janelas	0,15 – 0,22
Danos mínimos em construções	0,52 – 1,12
Danos em painéis metálicos	1,12 – 1,87
Falha em painéis de madeira (construções)	1,12 - 2,25
Falha em paredes de tijolos	1,87 – 3,00
Rompimento de tanques de refinarias	3,00 – 4,50
Danos em edificações (estruturas metálicas)	4,50 – 7,50
Danos em estruturas concretadas	6,00 – 9,00
Destruição total da maioria das construções	10,50 -12,00

Fonte: SILVA, IHA & FERREIRA (2007)

Os efeitos da onda de choque sobre as pessoas podem causar muitos danos. Na visão de Baker et all (1983, apud SILVA, 2007), os efeitos sobre as pessoas são de dois tipos: diretos e indiretos.

Os efeitos diretos, ou primários, estão relacionados com as variações de pressão geradas pela detonação da carga explosiva. Alguns fatores específicos ainda poderiam ser detalhados para um levantamento mais criterioso destes danos, tais como idade, condições físicas das pessoas, peso e altura, entre outros.

Baker et all (1983, apud SILVA, 2007), definem que os efeitos indiretos se subdividem em secundários, terciários e diversos, onde os secundários envolvem lançamentos de projéteis oriundos da própria explosão ou da passagem da onda de pressão sobre algum material.

Os efeitos terciários estão diretamente ligados à aceleração ou desaceleração que o corpo humano pode atingir, quando submetido a uma onda de pressão ou quando desacelerado bruscamente ao impactar com alguma barreira.

Os efeitos diversos envolvem as radiações térmicas e as nuvens de areia, sendo consideradas insignificantes em explosões convencionais.

Tabela 5 – Efeito da Onda de Choque sobre as Pessoas.

Dano	Varição da pressão (psi)
Suportável (não causa dano)	Até 0,0015
Queda	1,05 – 1,5
Ruptura do tímpano	5,25 – 15,0
Lesões nos pulmões	30,0 -75,0
Morte	105,0 -225,0

Fonte: SILVA, IHA & FERREIRA (2007)

A lesão nos pulmões causados por explosões é uma consequência direta da sobrepressão gerada pela onda de choque. É o ferimento fatal mais comum dentre os sobreviventes iniciais, seguido de perfuração nos tímpanos, que é uma lesão no ouvido médio e depende da orientação do ouvido no momento da explosão.

Explosões em espaços confinados como minas, prédios ou grandes veículos estão associadas a grande índice de mortalidade.

A estimativa dos efeitos físicos de acidentes deverá ser realizada através da aplicação de modelos matemáticos que efetivamente representem os fenômenos em estudo, de acordo com os cenários acidentais identificados e com as características e comportamento das substâncias envolvidas (LEE, 1996 apud REIS, 2007).

3.4.1 Distância de segurança

Na avaliação das consequências 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).

A estimativa deste parâmetro pode ser feita, utilizando-se a seguinte fórmula empírica: (SENNE JR.,2003)

$$d = d^* \times W^{1/3} \quad \text{Equação 2}$$

Na qual:

d - distância mínima de segurança [m];

d^* - distância normalizada [$m/kg^{1/3}$]; e

W - massa equivalente do material combustível, em kg de TNT.

O valor de d^* para a sobrepressão de 1 psi (0,07bar), obtido na Figura 11, é de aproximadamente $18 \text{ m/kg}^{1/3}$ ($45 \text{ feet/ lb}^{1/3}$).

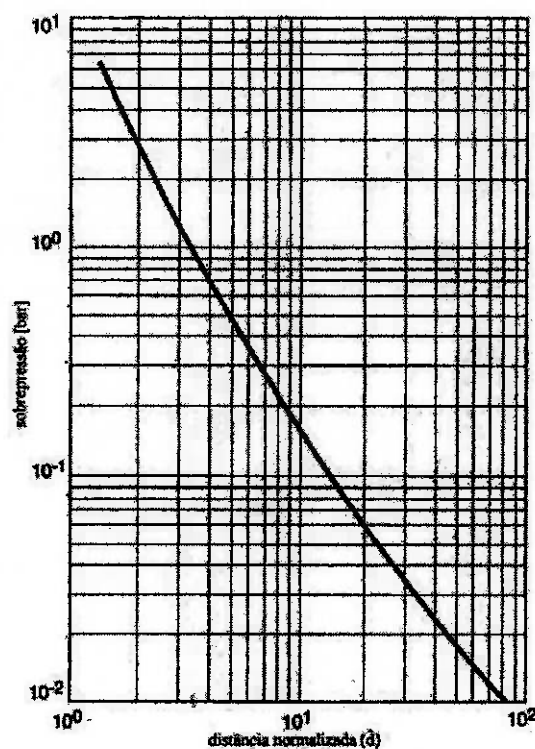


Figura 11 - Distância normalizada d^* [$\text{m/kg}^{1/3}$] para detonação de cargas de TNT
Fonte: SENNE JR, 2003

Na estimativa do valor do equivalente em TNT, $E_{q.\text{TNT}}$, devem ser levados em conta três fatores: a relação entre o calor de combustão do material considerado; o calor de combustão do TNT (4680 kJ/kg); e a eficiência da explosão, η (tipicamente 10%). (SENNE JR. & Vasconcelos, 1995, apud REIS, 2007)

$$E_{q.\text{TNT}} = \eta \times \Delta H_c / 4680 [\%]$$

Equação 3

Para líquidos e sólidos, tem-se:

$$W = m \times Eq. \text{TNT} / 10^2 \text{ [kg]} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

ΔH_c – calor de combustão do material [kJ/kg]; e

m – massa do material combustível [kg].

A publicação NAVSEA OP5 - *Ammunition and Explosives Safety Ashore*, baseia-se no grau de proteção necessário, no tipo e quantidade de material envolvido, nos efeitos da explosão e na exposição permitida, para a determinação das distâncias de segurança. Neste manual a fórmula de distância é apresentada como:

$$D = K W^{1/4} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

D - distância de separação [ft];

K - fator variável dependente do risco assumido ou permitido, expresso em [ft/ lb^{1/4}];

W - peso líquido do explosivo [lb], em equivalente de TNT.

É usada a terminologia **K9, K11, K18...** para os valores de K iguais a 9, 11, 18, etc. de acordo com as distâncias que se deseja determinar, utiliza-se um valor para K .

Para a determinação das distâncias de segurança utiliza-se a Equação 5 e os respectivos valores de K . Os critérios que relacionam os fatores K , com os valores de sobrepressão estão descritos na Tabela 6 apresentada a seguir.

Tabela 6 - Sobrepressão em função dos valores de K.

K (ft / lb ^{1/2})	Sobrepressão (psi)	Usado para determinar distância entre:
6	27	Paíóis protegidos por barricadas
9	12	Paíol e as instalações que manipulam explosivos com barricadas
11	8	Paíóis
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 decresce, diminui também a distância de separação entre a área exposta e a área de possível acidente, indicando uma aceitação maior do perigo.

O NAVSEA OP5 define os efeitos devidos a sobrepressão em estruturas, nas pessoas e nos veículos conforme a Tabela 7 apresentada na próxima página.

Tabela 7 - Efeitos devidos a sobrepressão em estruturas, nas pessoas e nos veículos.

Sobrepressão (psi)	Efeitos esperados em:		
	Estruturas	Pessoas	Veículos
27	Edifícios convencionais, não reforçados, serão totalmente destruídos.	O pessoal poderá ser atingido por destroços do edifício ou jogado contra superfícies duras, causando em ambos os casos a morte.	Veículos de transporte poderão ser virados e esmagados.
12	Edifícios convencionais, não reforçados, sofrerão graves danos estruturais, próximos à destruição total.	É provável que sofram graves ferimentos ou morte, causados pela própria onda de choque, pelo desabamento do edifício ou por estilhaços e escombros.	Os veículos de transporte serão gravemente avariados, resultando possivelmente em perda total.
8	Os edifícios não reforçados sofrerão danos próximos à destruição total	É provável que o pessoal sofra graves ferimentos causados pela onda de choque e pelos estilhaços e escombros arremessados pela explosão. 20% de risco de ruptura de tímpano, podendo sofrer lesões graves nos pulmões.	Os veículos de transporte sofrerão avarias na carroceria, pequenas avarias no motor e quebra de todos os vidros.
3,5	Não é esperada a propagação direta de uma explosão. É possível uma propagação retardada da explosão, causada por um incêndio ou em decorrência de falha em algum equipamento no local. É possível a ocorrência de graves avarias causadas a edifícios não reforçados.	Existe a possibilidade de que o pessoal venha a sofrer lesões nos tímpanos, ferimentos graves ou morte, devido a estilhaços, escombros, fragmentos incendiário ou outros objetos lançados pela explosão.	Veículos de transporte sofrerão diversas avarias sem gravidade, consistindo principalmente de amassamento dos painéis da carroceria e rachaduras nos vidros.
2,3	Pode-se esperar que edifícios não reforçados sofram danos razoáveis. Os ocupantes de construções expostas e não reforçadas podem sofrer ferimentos causados por efeitos secundários, como destroços do edifício.	O pessoal que se encontrar a céu aberto não deve ser morto ou ferido gravemente pela onda de choque, porém poderão sofrer alguns ferimentos causados por estilhaços e escombros.	Veículos que estiverem na rodovia devem sofrer avarias leves, a não ser que sejam atingidos por estilhaços ou que o motorista perca momentaneamente o controle do veículo devido à onda de choque.
1,7	Pode-se esperar que alguns edifícios não reforçados sofram alguns danos.	Ocupantes de construções expostas e não reforçadas podem sofrer ferimentos causados por efeitos secundários, como destroços do edifício. As pessoas que se encontrarem a céu aberto não devem ser mortas ou feridas gravemente pelo deslocamento do ar. Poderão sofrer alguns ferimentos causados por estilhaços e escombros.	XXXX
1,2 a 0,9	Pode-se esperar que os edifícios não reforçados sofram poucos danos.	Ao pessoal será proporcionado um alto grau de proteção, sendo improváveis morte ou ferimentos graves. Se houver ferimentos, eles terão sido causados principalmente por vidros quebrados e destroços dos edifícios.	XXXX

Fonte: NAVSEA OP-5

Observando que o valor de d^* para a sobrepressão de 1 psi, obtido na Figura 11, é de aproximadamente $45 \text{ ft/ lb}^{\frac{1}{4}}$; e que o valor de K para sobrepressão de 1,2 a 0,9 psi, obtido na Tabela 6, é de 40 a $50 \text{ ft/ lb}^{\frac{1}{4}}$, conclui-se que o cálculo da distância mínima apresentado por Senne Jr. (2003) e o método utilizado pelo NAVSEA OP-5 são concordantes.

3.4.2 Valores de referência

Conforme mencionado no item 3.3, o Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01 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.

Para explosões de qualquer natureza (de nuvens de vapor, físicas, confinadas ou não e de substâncias explosivas), deverão ser indicadas as curvas de vulnerabilidade dos efeitos esperados conforme os valores de referência da Tabela 8:

Tabela 8 - Valores de referência para a análise das consequências de uma explosão.

Sobrepressão	Dano esperado
13kPa (1,88 psi)	1% de probabilidade de ruptura de tímpanos
7kPa (1,01 psi)	Danos estruturais em residências

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

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 classificação de Risco 3 para a categoria de Risco 4 (maior nível de risco), ficando sujeito à exigência de uma análise quantitativa de risco, devendo ser apresentado um estudo dos riscos sociais e individuais (Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01)

O referido Manual define o risco social como o número de mortes esperadas por ano em decorrência de acidentes com origem na instalação/ atividade e é usualmente expresso em mortes/ano.

A determinação do risco individual (RI) define a frequência esperada anual de que um indivíduo situado em uma determinada posição nas proximidades de uma instalação industrial seja vítima fatal em decorrência de um acidente na instalação. Este limite é estabelecido com vistas à proteção da população e pontos sensíveis do ambiente externos às instalações do empreendimento.

Os critérios de tolerabilidade de riscos sociais aceitos pela FEPAM são os mesmos adotados internacionalmente.

A Tabela 9, apresentada na próxima página, mostra a probabilidade de riscos de morte e vida esperados nas pessoas em função dos danos observados devido à sobrepressão.

Tabela 9 - 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

4 APLICAÇÃO

4.1 LEVANTAMENTO DAS HIPÓTESES ACIDENTAIS

Durante o *brainstorm*, foi realizado o levantamento das hipóteses acidentais e identificados os principais perigos associados à manobra e ao armazenamento dos torpedos pesados:

a) Manobra

- Descarga eletrostática no explosivo iniciador;
- Descarga eletrostática no torpedo carregado;
- Queda do explosivo iniciador durante seu transporte a pé;
- Impacto do torpedo carregado durante seu transporte em ponte rolante, biga, guindaste e batelão;
- Centelhamento dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado;
- Alta temperatura dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado;
- Alta temperatura do torpedo durante sua movimentação ao ar livre;
- Vazamento de gases tóxicos durante o transporte do torpedo.

b) Armazenamento

- Acúmulo de eletricidade estática no paiol;
- Centelhamento no interior do paiol;
- Alta temperatura no interior do paiol;
- Ativação acidental do motor do torpedo;
- Vazamento de combustível do tanque do torpedo;
- Iniciação por simpatia em paiol adjacente.

Os especialistas participaram da organização do material gerado, e como resultado obteve-se a lista com os principais eventos de risco, suas causas, modos de detecção/controle, categorias de frequência e severidade, riscos e recomendações. As Tabelas 10 e 11 apresentam, respectivamente, as planilhas da APR referentes às análises durante a manobra e o armazenamento.

Tabela 10 - Planilha da APR durante a manobra com torpedos pesados

Perigo	Causa	Modos de Detecção/Controle	Efeitos	Categoria de frequência	Categoria de severidade	Risco	Recomendação
Descarga eletrostática no explosivo iniciador	Falha no sistema de aterramento individual (EPI)	Testes nos equipamentos de aterramento individual	Danos severos nas imediações e lesões de gravidade moderada	B - Remota	III - Crítica	2	Manter controle da realização de testes periódicos
	Falha no sistema de aterramento das bancadas	Testes de verificação de aterramento no barramento das bancadas		B - Remota	III - Crítica	2	Manter controle da realização de testes periódicos
Descarga eletrostática no torpedo	Falha no sistema de aterramento de explosivos	Testes de verificação de aterramento no barramento de explosivos	Danos leves aos equipamentos, sem lesões à tripulação	B - Remota	II - Marginal	1	Manter controle da realização de testes periódicos
Queda do explosivo iniciador durante seu transporte a pé	Falha humana	Controle e supervisão durante a faixa de movimentação	Danos severos nas imediações e lesões de gravidade moderada	B - Remota	III - Crítica	2	Manter um programa de treinamento
	Falha no mecanismo de micro-velocidade da ponte rolante	Manutenção e supervisão periódica das pontes-rolantes		B - Remota	IV - Catastrófica	3	Manter controle da realização de testes periódicos
Impacto do torpedo carregado durante seu transporte	Excesso de velocidade na biga. Falha humana	Controle e supervisão durante a faixa de movimentação	Danos irreparáveis. Provoca mortes ou lesões graves	B - Remota	IV - Catastrófica	3	Manter um programa de treinamento
	A lança do guindaste não suporta o peso do container	Manutenção e supervisão periódica guindaste		B - Remota	IV - Catastrófica	3	Manter controle da realização de testes periódicos
	Falha de estabilidade do container no batelão	Controle e supervisão durante a faixa de armazenamento do container no batelão		B - Remota	IV - Catastrófica	3	Manter um programa de treinamento

continua

continuação

Tabela 10 - Planilha da APR durante a manobra com torpedos pesados

Perigo	Causa	Modos de Detecção/Controle	Efeitos	Categoria de frequência	Categoria de severidade	Risco	Recomendação
Centelhamento dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado	Falha no sistema de proteção contra descarga atmosférica da oficina	Manutenção periódica do sistema de proteção contra descarga atmosférica	Danos irreparáveis. Provoca mortes ou lesões graves	A - Extremamente remota	IV - Catastrófica	2	Verificação periódica do sistema de proteção contra descarga atmosférica
Alta temperatura dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado	Falha no sistema de resfriamento da oficina	Manutenção periódica e monitoramento diário do sistema de resfriamento	Danos severos aos equipamentos, porém sem lesões à tripulação	A - Extremamente remota	III - Crítica	1	Instalação de um sistema auxiliar para servir de backup em caso falha do sistema de resfriamento principal
Alta temperatura do torpedo durante sua movimentação ao ar livre	Incidência direta de raios solares	Realização da faina de movimentação nas primeiras horas do dia	Danos severos aos equipamentos, porém sem lesões à tripulação	B - Remota	III - Crítica	2	Controle do horário de realização da faina
Vazamento de gases tóxicos durante o transporte do torpedo	Erro durante o procedimento de abertura do plug de ventilação. Falha humana.	Controle e supervisão durante a faina de abertura do plug de ventilação	Provoca mortes ou envenenamento	B - Remota	IV - Catastrófica	3	Manter um programa de treinamento rígido e uso de EPI

conclusão

Tabela 11 - Planilha da APR durante o armazenamento de torpedos pesados

Perigo	Causa	Modos de Detecção/Controle	Efeitos	Categoria de frequência	Categoria de severidade	Risco	Recomendação
Acúmulo de eletricidade estática no paiol	Baixa umidade relativa do ar	Monitoramento da UR% dentro do paiol	Danos leves aos equipamentos, sem lesões à tripulação	B - Remota	II - Marginal	1	Manter controle e aferição dos higrômetros
	Falha no sistema de aterramento de explosivos	Testes de verificação de aterramento no barramento de explosivos		B - Remota	II - Marginal	1	Manter controle da realização de testes periódicos
Centelhamento no interior do paiol	Falha no sistema de descarga atmosférica do paiol	Manutenção periódica do sistema de proteção contra descarga atmosférica	Danos irreparáveis. Provoca mortes ou lesões graves. Explosão nos paióis adjacentes	A - Extremamente remota	IV - Catastrófica	2	Verificação periódica do sistema de proteção contra descarga atmosférica
Alta temperatura no interior do paiol	Falha no sistema de resfriamento do paiol	Manutenção periódica e monitoramento diário do sistema de resfriamento	Danos severos aos equipamentos, porém sem lesões à tripulação	A - Extremamente remota	III - Crítica	1	Instalação de um sistema auxiliar para servir de backup em caso falha do sistema de resfriamento principal
Ativação acidental do motor do torpedo	Vazamento de eletrólito nas células das baterias	Monitoramento da tensão de saída do cabo umbilical	Danos severos e lesões de gravidade moderada	B - Remota	III - Crítica	2	Instalação de um sistema de alarme sonoro com sinalização na Sala de Estado

continuação Tabela 11 - Planilha da APR durante o armazenamento de torpedos pesados

Perigo	Causa	Modos de Detecção/Controle	Efeitos	Categoria de frequência	Categoria de severidade	Risco	Recomendação
Vazamento de combustível do tanque do torpedo	Falta de estanqueidade do torpedo. Falha humana.	Controle e supervisão durante a faixa de abastecimento do torpedo	Danos severos e lesões de gravidade moderada	C - Ocasional	III - Crítica	3	Manter um programa de treinamento
Iniciação por simpatia em patil adjacente	Armazenamento do torpedo com o explosivo iniciador instalado.	Controle e supervisão durante a faixa de retirada do explosivo iniciador e instalação do <i>blanking cover</i>	Danos irreparáveis. Provoca mortes ou lesões graves. Explosão nos patóis adjacentes	A - Extremamente remota	IV - Catastrófica	2	Manter um programa de treinamento rígido

conclusão

4.2 RISCOS CATASTRÓFICOS

A Tabela 12 contém a listagem dos cenários de risco identificados como catastróficos, de acordo com as planilhas de APR das Tabelas 1, 2, 10 e 11.

Tabela 12 - Cenários de risco identificados como catastróficos

Número do 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

4.3 CURVAS DE VULNERABILIDADE

As consequências de um possível acidente podem ser estimadas conhecendo-se a pressão esperada pela propagação da onda de choque resultante da detonação de um explosivo químico a uma distância conhecida, bem como os limites suportados por cada estrutura, pelas pessoas e por veículos. Assim, pode-se afirmar que as consequências de um acidente dependem de sua localização e do potencial de danos possíveis.

Na determinação das distâncias de segurança para rodovias públicas e prédios habitados, foi utilizada a Equação 5 e os respectivos valores de K da Tabela 6.

Para a análise das consequências 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 torpedo por vez;
- b) Os torpedos são armazenados dentro dos paióis sem o explosivo iniciador instalado, e os alto explosivos secundários do torpedo são bastante insensíveis ao choque mecânico e a chama.
- c) Para o cálculo das distâncias de segurança, foi considerado que cada torpedo possui 454 Eq.TNT. Este valor foi obtido utilizando o programa Calculations for Class/Division, integrante do Manual Técnico NAVSEA OP-5;
- d) A distância de segurança da ilha 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; corresponde a um pico de sobrepressão entre 1,2 e 0,9 psi; e oferece alto grau de proteção às áreas habitadas.
- e) Como pode ser verificado no mapa capturado do site <http://www.google.com> (Figura 10), o Cais de Explosivos é o ponto da ilha mais próximo dos prédios habitados e rodovias públicas, sendo adotado como a referência para o traçado das curvas de vulnerabilidade.

A Tabela 13 relaciona as distâncias de segurança e os valores de sobrepressão.

Tabela 13 – Distância de segurança para valores de sobrepressão.

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

A Figura 12 representa as curvas de vulnerabilidade a partir do Cais de explosivos.

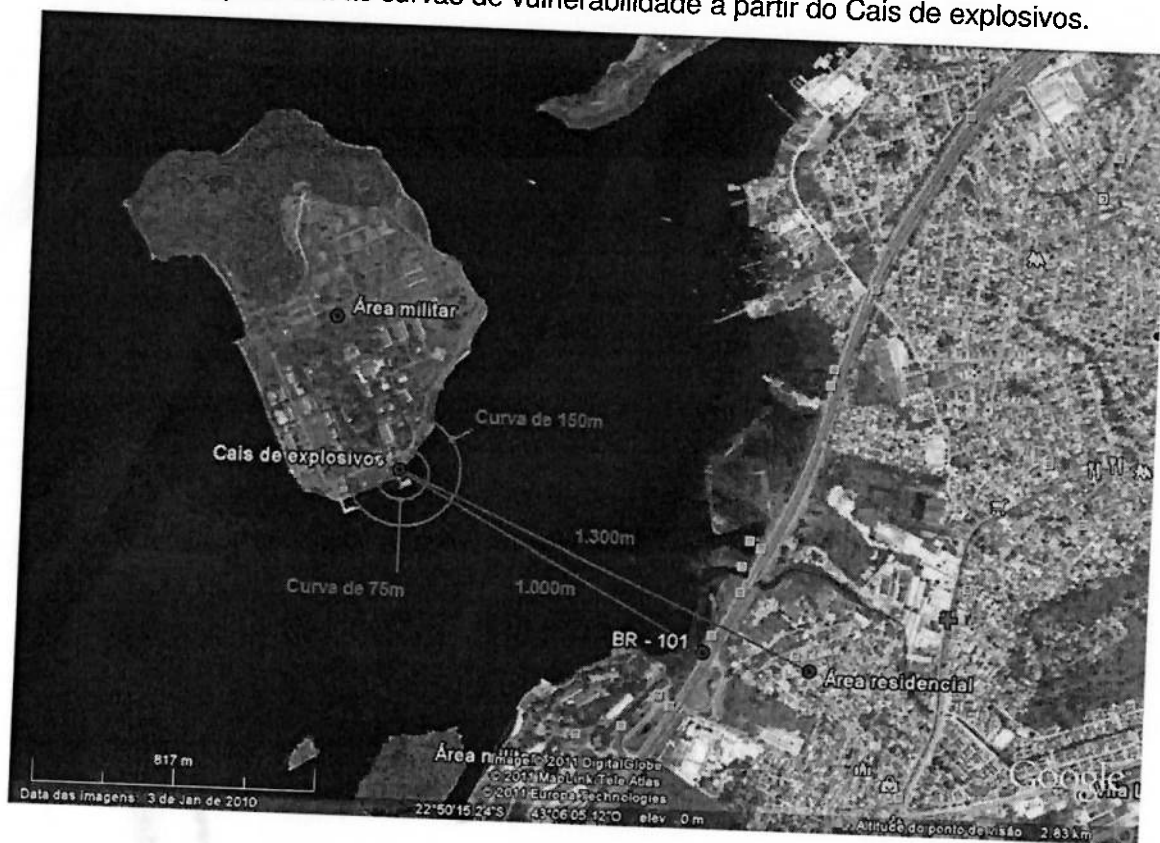


Figura 12 - Curvas de vulnerabilidade a partir do Cais de explosivos.
Fonte: Google Earth

Referente à Figura 12 pode-se observar o seguinte:

- A distância de segurança a partir do Cais de explosivos não ultrapassa o limite dos 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 à rodovia pública nem à área residencial mais próxima.

5 RESULTADOS

Analisando-se os resultados obtidos na Tabela 13 e comparando-os com os valores das Tabelas 5 e 9, que estabeleceram os efeitos da onda de choque sobre as estruturas e a probabilidade de riscos de morte e vida devido a sobrepressão, espera-se que a 1.000m do cais de explosivos não ocorram danos relativos à ruptura de tímpano.

As distâncias definidas pelas curvas de vulnerabilidade apresentadas na Figura 12 permitem concluir que a probabilidade de quebra de vidros é pequena.

Considera-se que, em caso de explosão no cais de explosivos, os impactos causados à rodovia pública e à área residencial mais próxima serão de pequeno vulto, restringindo-se a quebra de vidros, não sendo, portanto, necessária a realização de análise quantitativa de risco completa, com avaliação dos riscos sociais e individuais, conforme os requisitos descritos no item 3.4.2.

6 CONCLUSÕES

Este estudo permitiu 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.

Inicialmente foram apresentadas as diversas técnicas existentes para a realização de um estudo de análise de riscos e, dentre elas, a metodologia de Análise Preliminar de Riscos (APR) foi escolhida.

O estudo dos aspectos legais e normativos indicou a norma NAVSEA OP5 como a referência utilizada pela Marinha do Brasil para a determinação das distâncias de segurança dos paióis em relação às rodovias públicas e áreas habitáveis.

As propriedades físico-químicas dos explosivos foram expostas para a melhor compreensão das características intrínsecas das substâncias envolvidas que são utilizadas nas cabeças de combate dos torpedos pesados.

Na sequência fez-se necessária uma abordagem sobre as ondas de choque produzidas por explosões químicas, englobando os efeitos da pressão em função das distâncias, as reflexões da onda de choque e como essas ondas atuam sobre as estruturas.

Os conceitos sobre brisância, explosão por simpatia, sensibilidade dos explosivos ao impacto, calor, umidade e às centelhas elétricas seguida de uma breve descrição da arquitetura de um torpedo também foram apresentados.

A aplicação da Análise Preliminar de Riscos utilizou os critérios estabelecidos pelo Manual de Análise de Riscos Industriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM Nº 01/01.

Foram levantadas as hipóteses acidentais e identificados os perigos a fim de realizar a montagem das planilhas de APR, Tabelas 10 e 11, relacionando os perigos identificados com as categorias de frequências de ocorrências e de severidades dos perigos, e posterior classificação de riscos.

Na APR foram classificados como cenários de riscos aqueles identificados como catastróficos:

- Impacto do torpedo carregado durante seu transporte;
- Centelhamento dentro da oficina durante manobra com torpedo carregado;
- Vazamento de gases tóxicos durante o transporte do torpedo;
- Centelhamento no interior do paiol; e
- Iniciação por simpatia em paiol adjacente.

O resultado da APR classificou a Organização Militar como de risco moderado, de modo que foi necessário fazer uma estimativa dos efeitos físicos de acidentes e a análise de vulnerabilidade da rodovia pública e áreas habitáveis próximas.

Para a estimativa dos efeitos físicos utilizou-se informações sobre os efeitos da onda de choque sobre as estruturas e as pessoas, e aplicou-se o método que relaciona as distâncias de segurança com o peso líquido do explosivo, em equivalente de TNT.

Os resultados foram representados na forma de curvas de vulnerabilidade nas distâncias de 75m e 150m, considerando o cais de explosivos como epicentro de explosão, e levaram a conclusão de que não ocorreriam impactos à rodovia pública e às áreas habitáveis próximas visto que estão localizadas a 1.000m e 1.300m de distância da Organização Militar.

A escolha da ilha para a instalação da Organização Militar foi estratégica no sentido de conferir segurança à população civil próxima. A Organização em questão foi considerada uma instalação de risco moderado.

Quanto às propostas referentes às medidas de gerenciamento, sugere-se que sejam observadas e implementadas as recomendações constantes das Tabelas 10 e 11 relativos às planilhas da APR.

Cabe ressaltar a necessidade de se realizar constantemente adestramentos em ambientes controlados, com o correto emprego de procedimentos, táticas, doutrina e trabalho de equipe.

Por fim, constatou-se a importância da metodologia do estudo, visto que poderá ser estimado o impacto esperado do acidente com um torpedo pesado sobre as áreas habitáveis e rodovias próximas.

REFERÊNCIAS

BAKER, S.; PONNIAH, D.; SMITH, S. Survey of risk management in major U.K. companies. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, New York, v. 125, n.3, p.94-102, July, 1999.

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

BERNSTEIN, P. L. **Desafio aos Deuses: a fascinante história do risco**. 20. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

BRASIL, Decreto n.º2.998, de 23 de março de 1999. Estabelece as normas necessárias para a fiscalização das atividades exercidas por pessoas físicas e jurídicas envolvendo produtos controlados pelo Exército Brasileiro. **Diário Oficial da União**, 24 mai. 1999, p.58

BRASIL, Decreto n.º 96.044, de 18 de maio de 1988. Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 19 mai. 1988, p. 8.737/41.

BRASIL, Lei n.º 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo à segurança e medicina do trabalho e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 23 dez. 1977, Seção 1 p.17777.

BRASIL, Portaria n.º 3214, de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras -NR- do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho. **Diário Oficial da União**, 06 jul. 1978, Seção 1, Parte 1, p.10423.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB - Norma Técnica P 4.261. **Manual de orientação para elaboração de estudos de análise e avaliação de riscos**. São Paulo, 2003.

COOK, M. A.. **The Science of High Explosives**. Reinhold Publishing Corporation. New York, 1958.

DE CICCIO, F.; FANTAZZINI, M.L. **Introdução a Engenharia de Segurança de Sistemas**. 3 ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 1981.

DE CICCIO, F.; FANTAZZINI, M.L. **Introdução a Engenharia de Segurança de Sistemas**. 3 ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 1985.

DE CICCIO, F.; FANTAZZINI, M.L.; **Tecnologias Consagradas de Gestão de Riscos**; Série Risk Management; São Paulo; 2003.

DEPARTMENTS OF THE ARMY AND THE AIR FORCE. **Technical Manual Nº 9-1300-214. Military Explosives**. Headquarter, Washington, USA - Change 4 – 1990.

ELKINGTON, P.; SMALLMAN, C. Managing project risks: a case study from the utilities sector. **International Journal of Project Management**, Guilford, v.20, n.1, p.49-57, Jan. 2002.

ESTADO MAJOR DEL EJERCITO. **Explosivos y Destrucciones para Ingenieros**, Madrid, Espanha, 1976.

FEDOROFF, B. T.; SHEFFIELD, O. E. **Encyclopedia of Explosives and Related Items**. Picatinny Arsenal. Dover, New Jersey, USA -1969

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.

KERZNER, H. **Project Management: a system approach to planning, scheduling, and controlling**. 9th. New Jersey: John wiley & Sons, Inc, 2005.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. Estado Maior do Exército. **Manual Técnico T9-1903 - Armazenagem, Conservação, Transporte e Destruição de Munições, Explosivos e Artifícios**, 1970.

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. Newton Square: PMI, 2004.

REIS, H. G. Exigências de análise de risco de acidentes, para fins de licenciamento, em instalações que manipulam substâncias perigosas, e proposição de abordagem para atendimento. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000406339>. Acesso em: 10 out. 2010.

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.

SILVA, W. C. L.; IHA, K. ; FERREIRA, P. C. M. Dimensionamento Explosivos em Cabeça de Guerra para o Efeito de Sopro. 2007. Artigo. Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA - São José dos Campos – São Paulo. Disponível em: http://www.sige.ita.br/IX_SIGE/Artigos/AA_01.pdf. Acesso em: 05 ago. 2010.